

Bernd Herrmann • Klaus-Steffen Saternus (Hrsg.)  
Biologische Spurenkunde  
Band 1 Kriminalbiologie

Bernd Herrmann • Klaus-Steffen Saturnus (Hrsg.)

---

# **Biologische Spurenkunde**

## **Band 1**

# **Kriminalbiologie**

Mit 62 Abbildungen

 Springer

PROFESSOR DR. BERND HERRMANN  
Georg-August-Universität Göttingen  
Historische Anthropologie und Humanökologie  
Bürgerstr. 50  
37073 Göttingen

PROFESSOR DR.H.C. KLAUS-STEFFEN SATERNUS  
Georg-August-Universität Göttingen  
Institut für Rechtsmedizin  
Robert-Koch-Str. 40  
37099 Göttingen

ISBN 978-3-540-71110-0 Springer Berlin Heidelberg New York

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media  
[springer.de](http://springer.de)

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Text und Abbildungen wurden mit größter Sorgfalt erarbeitet. Verlag und Autor können jedoch für eventuell verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, GEFMA, VDMA) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

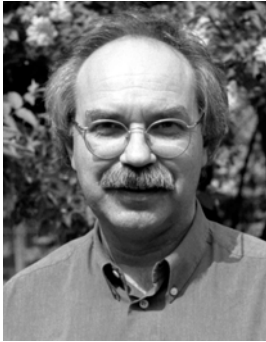
Planung: Dr. Dieter Czeschlik, Heidelberg

Redaktion: Anette Lindqvist, Heidelberg

Satz und Herstellung: LE-TeX Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig

SPIN 11669869 31/3100/YL 5 4 3 2 1 0

# Herausgeber



Bernd Herrmann ist Leiter der Abteilung Historische Anthropologie und Humanökologie am Johann-Friedrich-Blumenbach-Institut für Zoologie und Anthropologie der Georg-August-Universität Göttingen.

Er arbeitet über die Biologie vor- und frühgeschichtlicher, mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Bevölkerungen, archaeometrische Aspekte biologischer Materialien sowie zu Fragen der Umweltgeschichte im Mittelalter und in der Frühen Neuzeit.

Klaus-Steffen Saturnus ist Direktor des Instituts für Rechtsmedizin der Georg-August-Universität Göttingen.

Seine wissenschaftliche Arbeit betrifft den Plötzlichen Kindstod, sozialmedizinische Aspekte der Rechtsmedizin mit primärer Krisenintervention und der Begleitung Angehöriger nach unerwarteten Todesfällen.

Auf dem morphologischen Sektor beschäftigt er sich mit biomechanischen Aspekten der Wirbelsäulentraumatologie.



# **Vorwort der Herausgeber zur „Biologischen Spurenkunde“**

Biologisches Wissen durchdringt alle Bereiche des täglichen Lebens und beeinflusst heute stärker als jede andere naturwissenschaftliche Kenntnis die Lebenswirklichkeit. Die Erforschung der Lebewesen, ihrer Gemeinschaften und ihrer naturräumlichen Einbettungen sind selbstverständliche Tätigkeiten von Biologen. Ihre Arbeit wird breit akzeptiert, weil sie am Ende der Bewahrung unserer eigenen Lebensgrundlagen dient. Wie sehr die Entkoppelung des Menschen von seiner naturalen Umwelt durch die fortschreitende Entwicklung der technischen Umwelt auch voranschreiten wird, eine Trennung von der biologischen Basis ist undenkbar. Nicht nur die physiologischen Prozesse, die unser eigenes Leben ausmachen und bestimmen, auch die biologischen Prozesse der vom Menschen genutzten oder umsorgten Pflanzen und Tiere werden nach wie vor unsere eigene Lebensgrundlage bilden. Es handelt sich um jene Prozesse, Regeln, Gesetze, nach denen das Leben im Prozess der Evolution organisiert ist.

Diese Gesetzmäßigkeiten bestimmen auch über unser eigenes physisches wie psychisches Wohlbefinden. Die ultimative Frage, ob dabei die menschliche Entscheidungsfreiheit an der Leine molekularer Strukturen und Substanzen hängt oder sich als von diesen emanzipiert erweist, beherrscht gegenwärtig weite Teile der biologischen Forschung und reicht weit hinein in unser philosophisches Selbstverständnis.

Dabei bestimmen die Gesetze der Biologie nicht nur vordergründig Abläufe des menschlichen Lebens, sei es in der Arbeitswelt oder in der Privatsphäre. Die Gesetze der Biologie beeinflussen auch die Regeln, die Menschen für ihr Zusammenleben gefunden haben. Vom Inzestverbot bis zur Hygienevorschrift, von den verschiedenen Stufen der Rechtsmündigkeit, die an biologische Reifestadien gebunden sind, bis zur Staatsbürgerschaft, vom Artenschutz bis zum Umweltschutz, die Biologie steckt in vielen Verordnungen und Gesetzen. Folgerichtig muss biologisches Wissen auch zum Schutz und zur Weiterentwicklung der normativen Grundlagen des Zusammenlebens von Menschen verfügbar sein und eingesetzt werden.

Überraschenderweise existieren zu dieser Aufgabe der Biologie keine breiteren Systematisierungen und Zusammenfassungen des einschlägig eingesetzten Wissens. Es ist als Expertenwissen auf zahlreiche spezialisierte biologische Teildisziplinen verteilt und damit einer kompetenten und

ökonomischen Orientierung nicht ohne weiteres zugänglich. Die „Biologischen Spurenkunde“ soll diese Zusammenfassung bereitstellen. Sie ist auf zwei Bände angelegt. In ihrem ersten Band, der „Kriminalbiologie“, ist das Spektrum biologischer Expertise für die Bewertung kriminaltechnisch bzw. forensisch relevanter Spuren zusammengefasst. Der zweite Band, „Umweltmonitoring“, behandelt den Beitrag biologischer Expertise zur Umweltüberwachung und zur Umweltrechtsetzung. Damit sind die beiden Bereiche bezeichnet, in denen biologisches Wissen zur Unterstützung der Organe von Verwaltung und Rechtspflege herangezogen wird. Wir hoffen, dass die „Biologische Spurenkunde“ hier als Orientierungs- und Informationshilfe ihren nützlichen und angenommenen Platz findet.

Neben dem praktischen Berufsfeld ist die hauptsächliche Zielgruppe der „Biologischen Spurenkunde“ der akademische Ausbildungsbereich. Die Hochschullandschaft befindet sich heute europaweit in einer historischen Umbruchsituation, die eine Umorientierung auch der Ausbildungsprofile universitärer Lehre zur Folge hat. Wir sind der Überzeugung, dass die Zukunft die Herausbildung spezifischer Ausbildungsprogramme in der Biologie mit sich bringen wird. Diese werden sich verstärkt an den unmittelbaren Berufsfeldern von Biologen außerhalb des rein akademisch bestimmten Biologiebildes orientieren bzw. orientieren müssen. Eines dieser Berufsfelder wird die „Biologische Spurenkunde“ sein. Sie wird die Nachfrage nach Biologen ansteigen lassen, die mit ihrem organismischen, analytischen und systemaren Wissen zu wichtigen Experten im Rechts- und Verwaltungssystem werden. Das Werk will hierbei als Orientierungshilfe über Fragestellungen und Anwendungsbezüge dienen, zumal dieses Wissen noch nicht zum systematisierten Regelinhalt universitärer Lehre gehört.

Unsere Idee hätte ohne die Ermutigung, Unterstützung und die verlegerische Tatkraft von Herrn Dr. Dieter Czeschlik vom Springer-Verlag nicht so komplikationslos in dem Buchprojekt umgesetzt werden können. Ihm danken wir ausdrücklich für die Unterstützung und die freundschaftliche Fürsorge, mit der er das Projekt betreute. In diesen Dank schließen wir die beteiligten Mitarbeiter des Springer-Verlages, die das Vorhaben kompetent und engagiert begleitet haben, vor allem Frau Anette Lindqvist, mit ein.

Göttingen, Lüneburg im August 2006

*Bernd Herrmann  
Klaus-Steffen Saternus  
Meinfried Striegnitz*

# Vorwort der Herausgeber zum Band „Kriminalbiologie“

Der erste Band der auf zwei Bände angelegten „Biologischen Spurenkunde“ ist der „Kriminalbiologie“ gewidmet. Wir verstehen hierunter den Einsatz biologischer Methoden bzw. die Entwicklung biologischer Methodik zur Klärung kriminaltechnischer und forensischer Sachverhalte.

Der Weg zu diesem Buch folgte einer logischen Entwicklung. Die Kooperation zwischen der Göttinger Anthropologie und Rechtsmedizin führte vor einiger Zeit zur Entwicklung eines Konzeptes für einen Aufbaustudiengang „Biologische Spurenkunde“, der am „Zentrum für Biodiversitätsforschung und Ökologie“ der Universität Göttingen eingerichtet werden sollte. Wenn auch das Vorhaben durch aktuelle hochschulpolitische Planungen gegenwärtig suspendiert wurde, hatte die Resonanz im Vorfeld der Einrichtung des Aufbaustudiengangs auf ein erhebliches Nachfragepotential und einen größeren Bedarf hingewiesen. Tatsächlich existiert eine eher organismisch ausgerichtete „biologische Spurenkunde“, wie sie etwa im Polizeidienst oder Einrichtungen der Rechtsmedizin täglich nachgefragt und in Anspruch genommen wird, als akademisches Lehr- und Forschungsgebiet an keiner europäischen Hochschule. Bestenfalls die einschlägig bekannten Standorte Fribourg (CH) und Glasgow (IR) wären hier mit kleinen Anteilen ihres Lehrprogramms zu nennen. Natürlich bieten auch die Fachhochschulen der bundesdeutschen Polizei zu einzelnen Problemfeldern Ausbildungsteile an. Eine zusammenfassende Lehre einer „*natural sciences forensics*“ und die damit verbundene eigenständige Forschung, die nach dem Humboldtschen Universitätsverständnis jede Lehre fruchtbar begleitet, ist noch zu entwickeln. Diese Angebotslücke soll die Biologische Spurenkunde mit dem Teilband „Kriminalbiologie“ überbrücken, nicht zuletzt deswegen, weil sich hier ein wachsendes Berufsfeld für Biologen entwickelt.

Wir haben in unserer Bemühung, ein entsprechendes Kompendium zusammen zu stellen, bei einschlägigen Praktikern, Theoretikern und akademischen Grundlagenforschern bereitwillige kollegiale Zustimmung und Unterstützung gefunden. Für diese komplikationslose Zusammenarbeit danken wir allen Beiträgern zu diesem Bande. Sofortige Zustimmung zum Projekt fanden wir bei Kollegen, die sich an der Göttinger Ringvorlesung „Biologische Spurenkunde“ im Wintersemester 2004/2005 beteiligten. Weitere Spezialisten stellten sich dankenswerter Weise mit Fortschreiten des

Projektes zur Verfügung. Mit der Auswahl der Themen haben wir unserer Meinung nach die wichtigsten und stetig nachgefragten Problemfelder der Kriminalbiologie abgedeckt. Sicher ließe sich das eine oder andere ergänzen, z. B. aus dem Bereich der jagdkundlichen Spurenkunde. Die Entscheidung für die Aufnahme eines Fachgebietes richtete sich primär nach den Erfordernissen der Rechtspflege, für die etwa eine jagdkundliche Spurenkunde nur sehr bedingt von Interesse ist bzw. deren in diesem Zusammenhang praktisch relevanten Fragen auch über andere biologische Zugänge beantwortet werden können. Davon etwas unterschieden ist die Situation bei Problemfeldern, für die es kaum noch biologische Spezialisten gibt. Struktur- und Formenkenntnis, die etwa bei der Artbestimmung von Haaren und Federn eine eminente Rolle spielen, sind selbst in der organischen Biologie rückläufig, weil die molekularen Techniken oft schnelle und sichere Beantwortung leisten, die Ausbildung des morphologischen Kenners jedoch Jahre beansprucht. Entsprechend ist die Zahl qualifizierter morphologischer Experten stark rückläufig wie auch die Zahl der zum Erwerb der entsprechenden Qualifikation bereiten Biologen. Dabei können die molekularen Methoden nicht in jedem Fall helfen. Diese insgesamt bedenkliche Entwicklung wird auch ein Buch wie die „Kriminalbiologie“ nicht aufhalten, sondern es kann ihr nur durch gezielte Qualifikationsmaßnahmen der Forschungsförderer begegnet werden. Der auf schnellen wissenschaftlichen Erfolg ausgerichtete Qualifikationsalltag auch des wissenschaftlichen Nachwuchses wird auch hier zu einer zunehmenden Nischenbildung führen, ungünstigstenfalls zum völligen Verlust einschlägiger Experten. Vor einer solchen schädlichen Entwicklung ist eindringlich zu warnen.

Wir hoffen, dass die „Kriminalbiologie“ ihren festen Platz als Orientierungshilfe wie auch als einführendes Kompendium finden wird.

Dankbar sind wir für Hinweise zu ihrer Verbesserung.

Dank sagen wir Frau Magdalena Krokowski M. A. für redaktionelle Hilfe. Dem Springer-Verlag, namentlich Herrn Dr. Dieter Czeschlik, danken wir für das Vertrauen in das Vorhaben und für seine Realisierung. Unser Dank gilt auch der engagierten Mitarbeiterin des Verlages, Frau Anette Lindqvist, und der Sorgfalt des Copyeditors, Herrn Dr. Ernst Gebhardt, mit deren Hilfe die Manuskripte Buchgestalt annehmen konnten. Frau Peggy Glauch-Ruge sind wir für ihre Sorgfalt und das Engagement dankbar, mit denen sie Satz und Herstellung des Werkes betreute.

Göttingen, im April 2007

*Bernd Herrmann  
Klaus-Steffen Saternus*



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zur Einführung</b>	<b>1</b>
<i>Bernd Herrmann</i>	
1.1 Allgemeineres zur Spur und ihrer Bedeutung.....	2
1.2 Spuren und Erzählungen darüber .....	3
1.3 Die „biologische“ Spur und ihre Bewertung.....	8
1.4 Themen der biologischen Spurenkunde .....	10
Literatur .....	13
<b>2 Praxis der kriminalbiologischen Spurenkunde</b>	<b>15</b>
<i>Dietrich Inhülsen</i>	
2.1 Das Aufgabenfeld eines Biologen bei der Polizei .....	15
2.2 Allgemeine biologische Spuren am Tatort und deren fachgerechte Sicherung.....	17
2.2.1 Sicherung textiler Spuren .....	18
2.2.2 Sicherung von Bodenspuren .....	22
2.2.3 Sicherung von Tierhaaren, Vegetation und weiteren allgemeinen biologischen Spuren .....	25
2.3 Untersuchungsmethoden der allgemeinen forensischen Biologie und deren Beweiswert .....	28
2.3.1 Untersuchung und Würdigung textiler Spuren.....	30
2.3.2 Untersuchung und Beweiswert von Bodenspuren.....	35
2.3.3 Untersuchung und Würdigung von Tierhaaren .....	38
2.3.4 Untersuchung und Beweiswert von Vegetation, Holz, psychoaktiven Pflanzen und Mageninhalten.....	43
2.3.5 Untersuchung und Auswertung beim Verdacht einer biologischen Selbstentzündung .....	46
2.4 Gutachtertätigkeit vor Gericht .....	48
2.5 Arbeitsprofil in der allgemeinen forensischen Biologie .....	49
Literatur .....	51
<b>3 Die rechtsmedizinische Expertise</b>	<b>55</b>
<i>Klaus-Steffen Saternus, G. Hegner, B. Spörhase, P. Ertl, T. Kuhlmann, B. H. Briese</i>	
3.1 Einleitung.....	55

3.2	Die Spurenlage bei der Auffindung .....	56
3.3	Organisatorischer Ablauf und Methoden .....	58
3.4	Spuren .....	59
3.4.1	Spuren am Strangwerkzeug .....	59
3.4.2	Ergebnisse der Obduktion zur Feststellung von Verletzungsspuren .....	60
3.5	Diskussion .....	68
3.5.1	Die Strangmarke .....	68
3.5.2	Geformte Marken und ihre zeitliche Reihung .....	71
3.5.3	Spurenanalyse des Kehlskeletts .....	75
3.5.4	Die Halswirbelsäule- (HWS-) Verletzung als Spur .....	76
3.5.5	Die Ganzkörperverletzung als Spur .....	81
3.5.6	Spuren und seelisches Geschehen .....	82
3.6	Schlussbetrachtung .....	83
	Literatur .....	84
<b>4</b>	<b>Grundzüge der morphologischen Blutspurenanalyse</b> .....	<b>87</b>
	<i>Bernd H. Briese</i>	
4.1	Einleitung .....	87
4.2	Blutspuren als Informationsquelle .....	87
4.3	Einordnung von Blutspuren .....	88
4.4	Aspekte der morphologischen Blutspurenanalyse .....	89
4.4.1	Anfänge der Blutspurenkunde .....	89
4.4.2	Blut und wichtige physikalische Größen .....	90
4.4.3	Tropfengröße – Mikro- und Makrospuren .....	91
4.4.4	Tropfspuren und Fallhöhe .....	92
4.4.5	Textilien als Oberflächen .....	93
4.4.6	Tropfversuche – Tierblut als Alternative .....	95
4.4.7	Blutspuren in Theorie und Praxis – Auftrittswinkel und mögliche Aussagen .....	95
4.5	Zusammenfassung .....	98
	Literatur .....	98
<b>5</b>	<b>Fingerspuren</b> .....	<b>101</b>
	<i>Rainer Herrmann</i>	
5.1	Einleitung .....	101
5.1.1	Geschichte der Daktyloskopie .....	102
5.1.2	Entwicklungsstationen bis zur Gegenwart .....	105
5.2	Grundlagen der Daktyloskopie .....	106
5.2.1	Einmaligkeit und Unveränderlichkeit .....	106
5.2.2	Physiologie und Funktion der Hautleisten .....	107
5.3	Entstehungsbedingungen von daktyloskopischen Spuren .....	108

5.4	Der daktyloskopische Identitätsnachweis und dessen Voraussetzungen .....	111
5.5	Ausblick .....	114
	Literatur .....	114
<b>6</b>	<b>Knochen als Spureträger</b> .....	<b>115</b>
	<i>Bernd Herrmann, Birgit Grosskopf, Lars Fehren-Schmitz, Reinhold Schoon</i>	
6.1	Einleitung .....	115
6.2	Knochen als Spuren .....	116
6.3	Auffindesituationen .....	119
6.4	Dekomposition des Knochens, Hinweis auf die Liegezeit .....	121
6.5	Unterscheidung von menschlichen und tierlichen Knochen ..	124
6.6	Diagnosen am menschlichen Skelett .....	125
	6.6.1 Altersdiagnose .....	125
	6.6.2 Geschlechtsdiagnose .....	128
	6.6.3 Rekonstruktion der Körperhöhe .....	129
	6.6.4 Individuelle Kennzeichen .....	130
	6.6.5 Geographische Herkunft .....	132
	6.6.6 Bearbeitungsspuren, Eingriffs- bzw. Verletzungsspuren .....	133
6.7	Leichenbrand .....	134
6.8	Tierknochen .....	136
	Literatur .....	142
<b>7</b>	<b>Rekonstruktion der Gesichtswichteile auf dem Schädel</b> .....	<b>145</b>
	<i>Steffi Burrath</i>	
7.1	Einleitung .....	145
7.2	Historische Entwicklung .....	146
7.3	Rekonstruktionsmethoden .....	148
7.4	Arbeitsschritte einer Gesichtswichteilrekonstruktion .....	150
	7.4.1 Faktensammlung und Recherchen .....	150
	7.4.2 Protokoll .....	154
	7.4.3 Vorbereiten des Schädels .....	154
	7.4.4 Anfertigung einer Rekonstruktionszeichnung .....	157
	7.4.5 Anfertigung einer plastischen Rekonstruktion .....	159
	7.4.6 Dreidimensionale Rekonstruktion per Computersoftware .....	164
	7.4.7 Öffentlichkeitsfahndung .....	165
7.5	Schlussbetrachtung .....	166
	Literatur .....	167

<b>8 Zur forensischen Bedeutung pflanzlicher Makroreste</b>	<b>169</b>
<i>Ulrich Willerding</i>	
8.1 Einleitung.....	169
8.2 Material und Methode .....	170
8.3 Befunde und Probleme .....	174
8.3.1 Zum Material.....	174
8.3.2 Zum Tatort.....	183
8.3.3 Zur Tatzeit.....	185
8.3.4 Zum Diebstahl.....	187
8.4 Folgerungen und Ausblick .....	188
Literatur .....	188
<b>9 Kieselalgen als mikroskopisch kleine biologische Spuren</b>	<b>193</b>
<i>Joachim Hürlimann, Thomas Kilchör, Richard Dirnhöfer, Daniel Wyler</i>	
9.1 Einleitung.....	193
9.2 Kieselalgen als Organismen.....	194
9.3 Historischer Rückblick über die Verwendung von Kieselalgen in Rechtsmedizin und Kriminalistik.....	197
9.4 Fallbeispiele zum Ertrinken und zu Tatort- und Täterverifizierungen .....	198
9.5 Schlussfolgerungen .....	202
Literatur .....	203
<b>10 Forensische Palynologie – Möglichkeiten und Grenzen der Pollenanalyse beim Einsatz in der Kriminalistik</b>	<b>205</b>
<i>Eberhard Grüger</i>	
10.1 Einleitung.....	205
10.2 Grundlagen.....	206
10.2.1 Entstehung und Funktion des Pollens.....	206
10.2.2 Die Verbreitung von Pollenkörnern .....	206
10.2.3 Die Nachweisbarkeit von Blütenstaub im Jahresgang.....	208
10.2.4 Bestimmung und Bestimmbarkeit von Pollenkörnern.....	209
10.3 Entnahme, Lagerung und Aufbereitung von Pollenproben.....	211
10.4 Wie viel Pollen wird benötigt? .....	213
10.5 Beispiele.....	213
10.5.1 Beispiele für Ortsbestimmungen .....	213
10.5.2 Beispiele für die Bestimmung eines Zeitpunktes .....	215

10.5.3	Sonderfälle.....	216
	Literatur.....	218
<b>11</b>	<b>Forensische Entomologie</b>	<b>221</b>
	<i>Jens Amendt</i>	
11.1	Einleitung.....	221
11.2	Kriminalistische Insektenkunde.....	222
11.2.1	Geschichtliche Entwicklung.....	222
11.2.2	Aktuelle Situation .....	223
11.3	Todeszeitbestimmung .....	223
11.3.1	Frühe Leichenerscheinungen .....	223
11.3.2	Autolyse, Fäulnis und Verwesung.....	224
11.3.3	Leichenliegezeitbestimmung mit Insekten .....	225
11.4	DNA-analytische Untersuchungen an Insekten.....	232
11.4.1	Identifikation nekrophager Insekten .....	232
11.4.2	Nachweis und Typisierung menschlicher DNA .....	234
11.5	Entomotoxikologie.....	234
11.5.1	Nachweis von Giften und Medikamenten .....	234
11.5.2	Einfluss von Drogen auf die Entwicklung nekrophager Insekten .....	235
11.6	Postmortale Spurenmanipulation.....	235
11.7	Nachweis einer Vernachlässigung.....	236
11.8	Asservierung.....	236
11.8.1	Auffinden entomologischer Spuren .....	237
11.8.2	Sicherung entomologischer Spuren.....	237
11.8.3	Begleitende Datenaufnahme .....	239
11.8.4	Labor .....	240
11.8.5	Präparation und Identifizierung der Insekten .....	241
11.9	Fazit .....	241
	Literatur.....	241
<b>12</b>	<b>Forensische Mikrobiologie</b>	<b>245</b>
	<i>Wolfgang Liebl, Dirk Porstendörfer, Michael Hoppert</i>	
12.1	Allgemeine Aspekte zu Mikroorganismen und Spurenkunde .....	245
12.2	Isolierung, Differenzierung und Identifizierung von Mikroorganismen .....	247
12.3	Lebensmittelrelevante Mikroorganismen .....	251
12.4	Bakterien und Viren als „Biowaffen“ .....	252
12.5	Technologien und Geräte zur Detektion von Biowaffen.....	256
	Literatur.....	258

<b>13 Forensische Untersuchung von Blut- und Sekretspuren, Epithelzellspuren, Urin, Kotspuren, Haaren, Knochen, Zähnen sowie Vergleichsmaterial</b>	<b>259</b>
<i>Cadja Lassen, Lothar Kaup</i>	
13.1 Einleitung.....	259
13.2 Systematik von DNA-Spuren .....	260
13.3 Sicherung und Asservierung der Spuren .....	263
13.4 Differentialdiagnose.....	268
13.5 Bewertung von DNA-Spuren .....	275
Literatur .....	277
<b>14 DNA-Analysen in der forensischen Fallarbeit</b>	<b>279</b>
<i>Diane Schmidt, Susanne Hummel</i>	
14.1 Einführung .....	279
14.1.1 DNA.....	280
14.2 Genetische Typisierung .....	283
14.2.1 Der genetische Fingerabdruck – autosomale STRs ....	284
14.2.2 Y-chromosomale STRs .....	290
14.2.3 X-chromosomale STRs.....	291
14.2.4 Mitochondriale Haplotypen.....	292
14.2.5 Spezies.....	294
14.3 DNA-Extraktion .....	295
14.3.1 Chelex .....	296
14.3.2 Organische Extraktion – Phenol-Chloroform .....	296
14.3.3 Festphasenextraktion – Silica-Säulen/ Magnetische Partikel .....	297
14.3.4 Differentielle Lyse.....	298
14.3.5 Weitere Extraktionsmethoden.....	299
14.3.6 Zusätze .....	299
14.4 DNA-Quantifizierung .....	300
14.4.1 Agarosegele .....	301
14.4.2 Photometrie .....	302
14.4.3 Fluorometrie .....	302
14.4.4 Slot-Blot-Quantifizierung .....	302
14.4.5 Realtime-PCR .....	303
14.5 PCR-gestützte Amplifikation .....	304
14.5.1 PCR-Parameter .....	304
14.5.2 Amplifikationssysteme .....	308
14.6 PCR-Produktanalyse .....	311
14.6.1 Elektrophorese.....	312
14.6.2 Fragmentlängenanalyse .....	312
14.7 Genetisches Phantombild.....	314

14.8	Qualitätssicherung.....	314
	Literatur.....	315
<b>15</b>	<b>Molekularbiologische Bestimmung der einheimischen Fauna und CITES-geschützter Tierarten</b>	<b>325</b>
	<i>Ina Pfeiffer</i>	
15.1	Haustiere in der Forensik.....	325
15.1.1	Hunde-DNA.....	326
15.1.2	Die molekulargenetische Untersuchung.....	327
15.1.3	Katzen-DNA.....	329
15.1.4	Nutztier-DNA.....	329
15.1.5	Mitochondriale DNA.....	330
15.2	Speziesbestimmungen bei CITES-geschützten Tieren.....	332
15.3	Molekulargenetische Speziesbestimmungen aus schwierigem Probenmaterial.....	336
15.4	Besonderheiten in der DNA-Extraktion aus Asservaten tierlicher Herkunft (Haare).....	338
	Literatur.....	340
<b>16</b>	<b>Molekulare Analyse von Pflanzenteilen in der Forensik</b>	<b>343</b>
	<i>Reiner Finkeldey, Oliver Gailing, Hans H. Hattemer, Barbara Vornam</i>	
16.1	Einleitung.....	344
16.2	Einsatz molekularer Marker bei Pflanzen.....	344
16.2.1	Markertypen.....	345
16.2.2	Artbestimmung mit molekularen Markern.....	347
16.2.3	Individuelle Genotypisierung.....	348
16.3	Pflanzen als Zeugen – Pflanzenreste zur Klärung von Tathergängen.....	348
16.3.1	Genotypisierung von Individuen.....	348
16.3.2	Identifizierung von Arten und Populationen.....	349
16.4	Pflanzen als Täter – Schäden durch Pflanzen.....	350
16.5	Pflanzen als Opfer – Illegaler Raubbau bei Tropenhölzern als Beispiel.....	353
16.6	Verstöße gegen besondere Rechtsvorschriften.....	355
16.6.1	Patentrecht.....	355
16.6.2	Betäubungsmittelgesetz.....	355
16.6.3	Lebensmittelgesetz.....	356
16.6.4	Forstvermehrungsgutgesetz.....	356
16.7	Diskussion.....	358
16.7.1	Fragestellungen und Ziele von Untersuchungen.....	358
16.7.2	Material.....	359

16.7.3 Methoden .....	359
Literatur .....	360
<b>17 Biometrische Verfahren</b>	<b>363</b>
<i>Rainer Herrmann</i>	
17.1 Einleitung.....	363
17.1.1 Begriffsbestimmungen.....	364
17.1.2 Historische Entwicklung .....	365
17.2 Ablauf einer biometrischen Erkennung.....	366
17.2.1 Fingerabdruck.....	366
17.2.2 Iris.....	373
17.2.3 Gesichtserkennung.....	375
17.3 Fazit .....	379
Literatur .....	379
<b>18 Isotopensignaturen von Bio- und Geo-Elementen in der Forensik</b>	<b>381</b>
<i>Susanne Rummel, Stefan Hölzl, Peter Horn</i>	
18.1 Einleitung – Grundlagen für Anwendungen der Isotopenmethoden .....	381
18.1.1 Ursachen für variable Isotopenhäufigkeitsverhältnisse der Bioelemente H, C, N, O, S .....	382
18.1.2 Ursachen für variable Isotopenhäufigkeitsverhältnisse der Geoelemente Sr und Pb.....	383
18.1.3 Geogenes und anthropogenes Blei .....	384
18.1.4 Isotopensignaturen menschlicher Gewebe und der globale Warenhandel.....	385
18.2 Anwendungen der Isotopensignaturen – der Fall eines unbekanntem Toten .....	386
18.2.1 Anfrage bzgl. eines Tötungsfalles zum Nachteil (z. N.) eines nichtidentifizierten toten Mannes .....	386
18.3 Untersuchte Gewebe des Mannes und fallrelevante Objekte (s. Tabelle 18.1).....	388
18.3.1 Frühgebildete Gewebe.....	392
18.3.2 Gewebe mit unterschiedlichen Umbauraten oder Isotopenakquisitionszeiten.....	393
18.3.3 Zu späten Lebenszeiten gebildete Gewebe (Keratin der Haare und Nägel) .....	396
18.4 Analytische Ergebnisse an Geweben des Toten, an den sächlichen Asservaten und deren Interpretation.....	397
18.4.1 Wechsel der Aufenthaltsorte des Mannes .....	398



18.4.2	Die Leitmarkerfunktion der Pb-I.V. in Geweben des Toten und ein Lösungsansatz .....	401
18.4.3	Weitere Ergebnisse .....	402
18.5	Ausblick .....	405
	Literatur .....	405
<b>19</b>	<b>Forensisch-toxikologische Spurenuntersuchungen an biologischem Material</b>	<b>409</b>
	<i>Herbert Käferstein</i>	
19.1	Einleitung .....	409
19.2	Forensische Fragestellungen .....	411
19.3	Rechtsrelevante Grenzwerte .....	413
19.4	Nachweismethoden .....	414
19.4.1	Flüchtige Substanzen .....	414
19.4.2	Begleitstoffe/Begleitalkohole .....	415
19.4.3	Analytik .....	416
19.4.4	Schwerflüchtige Substanzen .....	416
19.5	Screeningverfahren .....	417
19.5.1	Interpretation/Weiteres Vorgehen .....	419
19.5.2	Chromatographische Screenings .....	419
19.5.3	Quantitative Bestimmungsverfahren .....	420
19.5.4	Gaschromatographisch-massenspektrometrische Methode .....	420
19.5.5	Flüssigkeitschromatographie/Spektrophotometrie ....	420
	Literatur .....	421
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>423</b>

# Autorenverzeichnis

Dr. Jens Amendt

Universität Frankfurt Zentrum der Rechtsmedizin – Forensische Biologie,  
Kennedyallee 104, 60596 Frankfurt am Main, amendt@em.uni-frankfurt.de

Dr. Bernd H. Briese

Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Rechtsmedizin,  
Robert-Koch-Str. 40, 37099 Göttingen, bbriese1@uni-goettingen.de

Dipl.-Ing. Steffi Burrath

Landeskriminalamt Sachsen-Anhalt, Dezernat 23.1,  
Lübecker Straße 53–63, 39124 Magdeburg, steffi.burrath@lka.pol.lsa-net.de

Prof. Dr. Reinard Dirnhofer

Marienstrasse 11, CH-3005 Bern, richard.dirnhofer@gmx.ch

Dipl. agr. Peter Ertl

Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Rechtsmedizin,  
Robert-Koch-Str. 40, 37099 Göttingen, ksatern@gwdg.de

Lars Fehren-Schmitz, M.A.

Georg-August-Universität Göttingen,  
Johann-Friedrich-Blumenbach-Institut für Zoologie und Anthropologie,  
Abtlg. Historische Anthropologie und Humanökologie,  
Bürgerstraße 50, 37073 Göttingen, lfehren@gwdg.de

Prof. Dr. Reiner Finkeldey

Universität Göttingen, Institut für Forstgenetik  
und Forstpflanzenzüchtung, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen,  
rfinkel@gwdg.de

Dr. Oliver Gailing

Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Forstgenetik  
und Forstpflanzenzüchtung, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen,  
ogailin@gwdg.de

Dr. Birgit Großkopf  
Georg-August-Universität Göttingen,  
Johann-Friedrich-Blumenbach-Institut für Zoologie und Anthropologie,  
Abtlg. Historische Anthropologie und Humanökologie,  
Bürgerstraße 50, 37073 Göttingen, bgrossk1@gwdg.de

Prof. Dr. Eberhard Grüger  
Georg-August-Universität Göttingen,  
Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften,  
Abteilung für Palynologie und Klimadynamik,  
Wilhelm-Weber-Straße 2a, 37073 Göttingen,  
egruege@gwdg.de

Prof. Dr. Hans H. Hattemer  
Georg-August-Universität-Göttingen, Institut für Forstgenetik  
und Forstpflanzenzüchtung, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen,  
hhattem@gwdg.de

KHK Gerhard Hegner  
Zentraler Kriminaldienst – 1. Fachkommissariat,  
Polizeiinspektion Göttingen, Groner Landstraße 51, 37081 Göttingen,  
pressestelle@pd-goe.polizei.niedersachsen.de

Prof. Dr. Bernd Herrmann  
Georg-August-Universität Göttingen,  
Johann-Friedrich-Blumenbach-Institut für Zoologie und Anthropologie,  
Abtlg. Historische Anthropologie und Humanökologie,  
Bürgerstraße 50, 37073 Göttingen, bherrma@gwdg.de

KHK Rainer Herrmann  
Landeskriminalamt Niedersachsen,  
Abteilung Kriminalwissenschaft und -technik, Schützenstraße 25,  
30161 Hannover, rainer.herrmann@polizei.niedersachsen.de

Prof. Dr. Stefan Hölzl  
Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie,  
Luisenstraße 37, 80333 München, s.h@lmu.de

PD Dr. Michael Hoppert  
Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Mikrobiologie  
und Genetik, Grisebachstraße 8, 37077 Göttingen,  
mhopper@gwdg.de

Prof. Dr. Peter Horn  
Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie,  
Luisenstraße 37, 80333 München, p.horn@lrz.uni-muenchen.de

Dr. Susanne Hummel  
Georg-August-Universität Göttingen,  
Johann-Friedrich-Blumenbach-Institut für Zoologie und Anthropologie,  
Abtlg. Historische Anthropologie und Humanökologie, Bürgerstraße 50,  
37073 Göttingen, shummel1@gwdg.de

Dr. Joachim Hürlimann  
AquaPlus, Bundesstrasse 6, CH-6300 Zug,  
joachim.huerlimann@aquaplus.ch

Dr. Dietrich Inhülsen  
Landeskriminalamt Niedersachsen, Kriminaltechnisches Institut,  
Schützenstraße 25, 30161 Hannover,  
dietrich.inhuelsen@polizei.niedersachsen.de

Prof. Dr. rer. nat. Herbert Käferstein,  
Institut für Rechtsmedizin, Melatengürtel 60–62, 50823 Köln,  
herbert.kaeferstein@uk-koeln.de

Dr. Lothar Kaup  
Landeskriminalamt Niedersachsen, Schützenstraße 25, 30161 Hannover,  
lothar.kaup@polizei.niedersachsen.de

Thomas Kilchör, Chemiker FH  
Universität Bern, Institut für Rechtsmedizin, Abt. Kriminaltechnik  
und Forensische Physik, Bühlstrasse 20, CH-3012 Bern,  
thomas.kilchoer@irm.unibe.ch

Dr. med. Tanja Kuhlmann  
Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Neuropathologie,  
Robert-Koch-Str. 40, 37075 Göttingen, tanjakuhlmann@gmx.de

Dr. Cadja Lassen  
Landeskriminalamt Niedersachsen, Schützenstraße 25, 30161 Hannover,  
cadja.lassen@polizei.niedersachsen.de

Prof. Dr. Wolfgang Liebl  
Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Mikrobiologie  
und Genetik, Grisebachstraße 8, 37077 Göttingen, wliebl@gwdg.de

PD Dr. Ina Pfeiffer

Universität Kassel, Institut für Biologie, Heinrich-Plett-Straße 40,  
34109 Kassel, ipfeiff@gwdg.de

Dr. Dirk Porstendörfer

Landeskriminalamt Nordrhein-Westfalen, Kriminaltechnisches  
und -wissenschaftliches Institut (KTI), Völklingerstraße 49,  
40221 Düsseldorf, dirk.porstendoerfer@kti.polizei.nrw.de

Prof. Dr.med. Dr.jur.h.c. Klaus-Steffen Saternus

Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Rechtsmedizin,  
Robert-Koch-Str. 40, 37099 Göttingen, ksatern@gwdg.de

Dr. Diane Schmidt

Hessisches Landeskriminalamt, Abteilung 732, Hölderlinstraße 5,  
65187 Wiesbaden, diane.schmidt2@polizei.hessen.de

Dr. Reinhold Schoon

Johannisstraße 27, 37073 Göttingen, r.schoon@t-online.de

KOK Bernd Spörhase

Zentraler Kriminaldienst – 5. Fachkommissariat,  
Polizeiinspektion Göttingen, Groner Landstraße 51, 37081 Göttingen,  
pressestelle@pd-goe.polizei.niedersachsen.de

Dr. Barbara Vornam

Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Forstgenetik  
und Forstpflanzenzüchtung, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen,  
bvornam1@gwdg.de

Prof. Dr. Ulrich Willerding

Calsowstraße 60, 37085 Göttingen

Daniel Wyler, MD

Universität Basel, Institut für Rechtsmedizin, Pestalozzistraße 22,  
CH-4056 Basel, daniel.wyler@unibas.ch

# 1 Zur Einführung

Bernd Herrmann\*

Die Systematik der „Biologischen Spurenkunde“ teilt das Werk aus praktischen Gründen in zwei Bereiche, die „Kriminalbiologie“ und das „Umweltmonitoring“. Beide Bereiche konzentrieren sich auf „Spuren“, im engeren wie im weiteren Sinne. In einem allgemeinen Sinn ist unter einer „Spur“ zunächst ein materieller Hinweis auf ein früheres Geschehen zu verstehen.

In diesem Band werden die kriminaltechnisch bzw. rechtsmedizinisch relevanten biologischen Spuren behandelt, wobei einer intuitiven Systematik und dem praktischen Erfordernis der Vorzug gegenüber einer puristisch-akademischen Sichtweise gegeben wurde. Sie lässt sich auf eine einfache operationale Annahme reduzieren: Wird die Spur durch Polizeidienststellen oder Gehilfen der Ermittlungsbehörden (mit der Untersuchung beauftragte Wissenschaftler) sichergestellt oder wäre sie durch diese sicherzustellen oder erweist sich eine auf andere Weise gesicherte Spur als möglicher Hinweis auf ein strafbewehrtes Geschehen, ist ein „*kriminalbiologischer*“ Sachverhalt anzunehmen. Selbstverständlich ist dabei der Übergang in den Bereich des „Umweltmonitorings“ fließend. Dort werden aber in der Regel anstelle der Polizei Verwaltungsdienststellen tätig, in deren Zuständigkeit die Aufgaben zur Überwachung der Umwelt und der Gütekontrolle konzentriert sind.

Die kriminalbiologische Spurenkunde betreibt Erkenntnisgewinn, der auf die Klärung bzw. auf die Mithilfe zur Klärung eines forensischen Sachverhaltes abzielt. Es handelt sich also um eine anwendungsorientierte Wissensproduktion. Dabei werden biologische Methoden entwickelt und zur Klärung forensischer Fragestellungen eingesetzt. „Spurenwissen“ wird in zahlreichen bio- und humanwissenschaftlichen Disziplinen überwiegend organismischer und systemischer Ausrichtung zur Klärung dort verfolgter wissenschaftlicher Fragestellungen ständig benötigt und verwendet. Es liegt in diesen Bereichen daher eine Expertise vor, die für forensische Fragestellungen nutzbar gemacht werden kann. In den Biowissenschaften wird die Untersuchung jedoch nicht im Hinblick auf die Zweckbindung an

---

Bernd Herrmann: Georg-August-Universität Göttingen, Historische Anthropologie und Humanökologie, Bürgerstraße 50, 37073 Göttingen, E-Mail: bherrma@gwdg.de

\* Ich danke Susanne und David Herrmann für ihre Beratung bei den hier berührten juristischen Fragen.

forensische Zusammenhänge durchgeführt. Daher ist dort auch die Unterscheidung in forensische und nicht-forensische Anwendungen irrelevant.

Tatsächlich stehen in der hier angewandten Systematik die biologische Herkunft, der biowissenschaftliche Zugang zur Spur und die Tätigkeit der üblicherweise mit der Expertise solcher Spuren befassten Biologen im Vordergrund. Deren Zuständigkeitsbereich ist hauptsächlich die laborseitige Bearbeitung der Spuren. Entsprechend werden Fragen der Kriminaltechnik und der kriminaltechnischen Tatortsicherung nur am Rande behandelt, weil sie in aller Regel nicht in das Tätigkeitsprofil einschlägiger Biologen fallen. Damit werden hier auch keine weitergehenden Erwägungen zur grundlegenden Theorie der Spur verfolgt.

Zum einen, weil die Erfordernisse und Zweckmäßigkeiten im hier behandelten Zusammenhang eine komplexe allgemeine „Theorie der Spur“ nicht erforderlich machen. Das schließt selbstverständlich nicht aus, dass jeder der in diesem Buch vertretenen Wissensbereiche über die von ihm analysierten Spuren spezifische und komplexe Vorstellungen von deren Ursache hat.

Zum anderen, weil die allgemeinen erkenntnistheoretischen Erwägungen zur Spur in der Semiotik (Zeichenlehre) angesiedelt sind, deren vorrangiges Thema Sprachstrukturen sind (z. B. Eco 2002). Mit dem Weg in dieses Theoriengebäude würde nur ein irritierender Marsch durch linguistische Instanzen angetreten und am Ende das schwierige Terrain der Kulturtheoretiker erreicht werden, die ihren Streit um die Interpretation von kulturellen Gegenständen und die Entwicklung einer Geschichtstheorie austragen (z. B. Ginzburg 1983). Dieser Gelehrtenstreit selbst und die in der Semiotik fokussierten Themenfelder enthalten kaum thematisch nennenswert Verwertbares. Allerdings wird aus diesem Diskurs eine inhaltlich bedeutsame Einsicht vermittelt. Sie betrifft die Bedeutung der wissensproduzierenden „Erzählung“ über ein vergangenes Geschehen. (vor allem Suter u. Hettling 2001, Kiesow u. Simon, 2000) Geschichte entsteht nur durch die Hervorbringung von Erzählungen über sie. Erzählungen sind Texte. Texte beinhalten immer mehr als bloß das vermeintlich Mitgeteilte. Dieser Gesichtspunkt ist bedeutsam für die Herstellung des Verwertungszusammenhanges, der Kontextualisierung von Spuren. Daher wird auf diesen Aspekt kurz einzugehen sein.

## 1.1

### **Allgemeineres zur Spur und ihrer Bedeutung**

Die Komplexität menschlichen Zusammenlebens führt zur Festlegung von Verbindlichkeiten für das gesellschaftliche Handeln, zu Normen und Gesetzen. Ein Verstoß gegen diese Normen hat Sanktionen zur Folge, wenn der

Verstoß als Schaden begriffen wird. Sofern der Schädiger nicht unmittelbar bekannt oder überführt ist, soll bzw. muss ihm sein Tun nachgewiesen werden. Diesem Nachweis dient die Untersuchung von Spuren.

Spuren werden „gelesen“. Bereits der sprachliche Ausdruck verweist auf das Grundsätzliche des Vorgangs: Hier findet eine Transferleistung statt, eine Übersetzung von einer Ebene der Zeichen in eine Ebene der Bedeutungen. Spurenlesen beruht auf einem Wissen über Sachzusammenhänge. Man benutzt ein Wissen über Ursache-Wirkung-Beziehungen und/oder Handlungsabfolgen und liest Wirkungen als Signifikanten (nach der allgemeinen Zeichentheorie: „Bedeutungsträger“), die für etwas anderes stehen, z. B. für ihre Ursachen im weitesten Sinne (Hard 1995, S. 64).

Überlegungen zum Spurenbegriff betreffen daher zwei Bereiche. Der eine behandelt die materielle Seite der Spur selbst und ist der eigentliche, unmittelbare Gegenstand der Spurenkunde und daher auch dieses Bandes. Der andere betrifft die grundsätzliche erkenntnistheoretische Seite der Spur und ihrer Einbeziehung in weiterführendes menschliches Handeln, den Verwendungszusammenhang des Wissens über die Spur. Mit ihm ist jener oben erwähnte erörterungswürdige Bereich präzisiert.

## 1.2

### Spuren und Erzählungen darüber

Ein Beispiel veranschaulicht das Problemfeld (Abb. 1.1). Für die weiterführende Erläuterungen empfehle ich die Ausführungen von Hard (1995, Kap. 2.4.), die aus meiner Sicht das brauchbarste erreichbare gedankliche Hilfsmittel zur Einarbeitung in die Theorie der Spur darstellen.

Das Taubenbild am Fenster ist ein Zeichen, also etwas, „was aufgrund einer vorher vereinbarten sozialen Konvention als etwas aufgefasst werden kann, das für etwas anderes steht“ (Eco 2002). Zeichen existieren also nicht als solche, sondern werden es erst durch Wahrnehmung und Konvention. Spuren sind eine besondere Art von Zeichen. „In Alltag und in der Wissenschaft werden aus direkt zugänglichen und manifesten Informationen, Wahrnehmungen, Beobachtungen und Zeichen immer auch Informationen über Ereignisse und Zustände gewonnen, die so nicht direkt zugänglich sind. Manifeste Zeichen werden dann zu Anzeichen oder Spuren. Spurensichern ist Ausnutzen eines Wissens über Verursachungen und andere Korrelationen. Wer nicht weiß, dass Feuer Rauch produzieren kann, kann Rauch nicht als Anzeichen von Feuer interpretieren (und Feuer auch nicht als Anzeichen von Rauch)“ (Hard 1995, S. 63).

Der Spurenleser verwandelt Wirkungen (z.B. Abdruckspuren an Fenstern) in Bedeutungsträger (Signifikanten), deren Bedeutungsinhalt (Signifikat) ihre Ursache oder ihre Entstehung ist. Diese Transferleistung ist





**Abb. 1.1.** Abdruckspur einer Taube auf einem Fensterglas. Staub- und Fettgehalt des Gefieders führten dazu, dass beim Auftreffen auf dem Glas die Spur des frontalen Flugbildes der Taube entstand. (Foto: Sibylle Hourticolon; verändert)

unausweichlich mit dem Entwurf einer Geschichte, einer Erzählung über ein Geschehen verbunden.

Die Abb. 1.1 zeigt eine biologische Spur, weil sie ein Hinweis in Form einer Materialablagerung bzw. eines Abdruckes ist, woraus belegt ist, dass ein Lebewesen an einem Ort gewesen ist. Die Abdruckspur ist ein Ausschnitt aus einem Prozessgeschehen, also eines Handlungsablaufs, für den sich drei Möglichkeiten der Entstehung ergeben:

- Die Taube ist gegen das Fenster *geflogen*.
- Die Taube ist gegen das Fenster *geworfen* worden.
- Das Fenster ist auf die in der Luft schwebende Taube *getroffen*.

Die dritte Möglichkeit ist nach aller Erfahrung, nicht aber nach den bloßen naturwissenschaftlichen Regeln bewegter Körper auszuschließen.

Dass eine Taube gegen das Fenster *geflogen* ist, ergibt sich aus:

- allgemeinen physikalischen Gesetzmäßigkeiten,
- der allgemeinen Kenntnis über Vögel und insbesondere über Tauben,
- der Übereinstimmung der Spur mit bekannten und anerkannten Regeln empirischen Wissens.

Nach Rekonstruktion des Flugbildes der Taube aus der Spur kann ausgeschlossen werden, dass sich die Taube zum Zeitpunkt des Auftreffens in einer passiven Raumlage befand. Die Taube hat das Fenster *nicht* einfach

*getroffen*, sondern ist dagegen *geflogen*. Tauben-Werfen ist daher als unmittelbare Ursache auszuschließen. Jedoch könnte die Taube nach einem ursprünglichen Wurfakt noch die Möglichkeit zur aktiven Einnahme einer Fluglage gehabt haben. Auf den Beginn der Bewegung, an dessen Ende die Abdruckspur entstand, ergibt sich also keine Rückschlussmöglichkeit.

Aus der Spur sind begrenzte weitere Angaben (durch nachfolgende Rückschlüsse) möglich:

- zum Zeitpunkt (Tag-Nacht),
- über die anschließende Befindlichkeit der Taube (die wird eine Zeitlang benommen rumgesessen haben oder als Unfallfolge gestorben sein),
- möglicherweise würde eine DNA-Analyse aus der Spur sogar das spezifische Individuum identifizierbar machen (Spezies und Individuum).

Hingegen sind keine Angaben möglich zum Handlungsantrieb der Taube. Ob sie durch eine Fensterspiegelung in ihrer Flugbahn irritiert war, ob sie in panischer Flucht nicht weiter auf das Hindernis achtete, womöglich verhaltensgestört war usw., kann nicht rekonstruiert werden. Vergleichende Beobachtungen und Erfahrungswissen aus anderen Abdruckspuren von Vögeln an Fensterscheiben lassen plausibel vermuten, dass die Taube das Hindernis Fenster nicht erkannt und eine ungehinderte Fortsetzung ihrer Flugbahn angenommen hatte. In der Konsequenz würde damit hinsichtlich des Handlungsantriebs nach der allgemeinen Lebenserfahrung hinreichend plausibel *unterstellt*, dass die Taube nicht gegen die Fensterscheibe fliegen *wollte*.

Die aus der Spurenanalyse resultierende „Erzählung“ konstruiert, in dem sie den Ablauf des Prozesses „re-konstruiert“. Der Spurenleser übersetzt den engen Ausschnitt (Spur) aus der Handlungsabfolge in eine längere Sequenz derjenigen Handlungsabfolge, in deren Verlauf die Spur entstand. Zweifellos werden mit der Rekonstruktion von Handlungsabfolgen zugleich Bewertungen im Hinblick auf die Kontextualisierung einer Spur abgegeben. Die Kontextualisierung nimmt die Bewertung einer Spur vor, mit deren Hilfe die Erzählung über den Handlungsablauf bzw. das Tatgeschehen entwickelt wird.

Nun sollen naturwissenschaftliche Analysen Verdinglichungen ausschließen, also frei bleiben von Überzeugungsargumenten, denen Wirklichkeitswert zugeschrieben wird. Diesem Grundsatz folgt die Naturwissenschaft, seit Bacon seinen erkenntnistheoretischen und wissenschaftsethischen Imperativ, „von uns selber schweigen wir“, formuliert hat. Naturwissenschaftliche Aussagemöglichkeiten über Spuren enden bei sachgerechter Handhabung zunächst mit der Feststellung der Materialeigenschaft und der unmittelbaren Ursache einer Spur. Eine anschließend mögliche Ableitung eines Handlungsablaufs bzw. eines Prozessgeschehens hat selbstverständ-

lich ebenfalls dem naturwissenschaftlichen Reproduzierbarkeitskriterium der Aussage zu genügen. Sie prüft allein und ausschließlich die naturwissenschaftlich und logisch stimmigen Erklärungsmöglichkeiten, unter denen die Spur als Handlungsfolge angenommen werden darf. Wissenschaftstheoretisch ist dies die weithin akzeptierte Position des logischen Empirismus, wonach sich gesichertes Wissen auf Erfahrungssätze und Naturgesetze gründet. Dagegen steht die differenzierende Position des kritischen Empirismus, der das Erreichen gesicherten Wissens in den empirischen Wissenschaften grundsätzlich ausschließt. (Ich verweise hier abkürzend auf einschlägige grundlegende Arbeiten zur Wissenschaftstheorie und empfehle zur Orientierung vor allem Lakatos 1982). Man mag diese Sichtweise als philosophischen Luxus abtun wollen angesichts des praktischen Problems, sich für das menschliche Alltagsleben hinreichend auf Tatsachenaussagen stützen zu müssen. Tatsächlich aber handelt es sich um ein gravierendes Problem. Wollte man wirklich bestreiten, dass Aussagen Tatsachen beweisen können, wäre völliger Skeptizismus die Folge. Der pragmatische Weg, unter dem die Interpretation einer wissenschaftlichen Theorie ihre hinreichende Belastbarkeit erreicht, ist an die in der Theorie üblicherweise enthaltene *Ceteris-Paribus*-Klausel gebunden. In der neueren Logikforschung (das Folgende nach Schurz 2006) wird deshalb für den Bereich des praktischen Alltags von normischen Gesetzen gesprochen („das Licht geht normalerweise an, wenn der Lichtschalter betätigt wird“; im Gegensatz dazu: Strenge Gesetze). Das Schließen aus normischen Gesetzen wird im Rahmen einer nichtmonotonen Logik rekonstruiert, die eine Logik zum Erreichen von Hochwahrscheinlichkeitsbehauptungen ist.

Bei monotonen Schlüssen (nach strengen Gesetzen) bleibt jeder deduktive Schluss auch beim Hinzufügen beliebiger anderer Prämissen gültig. Schlüsse aus normischen Gesetzen haben dagegen diese Monotonieeigenschaft nicht:

G 1: Vögel können normalerweise fliegen.

G 2: Gegenstände bestimmter Größe können normalerweise geworfen werden.

A 3: Dieser Abdruck auf der Fensterscheibe stammt von einem Vogel.

Aus diesen beiden normischen Gesetzen (1, 2) und der Aussage (3) folgen zwei konkurrierende Schlüsse:

S 1: Also ist der Vogel gegen das Fenster geflogen.

S 2: Also ist der Vogel gegen das Fenster geworfen worden.

Diese Nichtmonotonie des Schließens aus normischen Gesetzen macht die rationale Akzeptanz normischer Schlüsse sehr viel stärker von der Verfüg-

barkeit von Hintergrundwissen abhängig, als dies bei deduktiven Schlüssen aus strengen Gesetzen der Fall ist. Durch die Hinzuziehung weiterer Prämissen (Flugbild eines Vogels beim Geworfenwerden) wird S2 als falsch erkannt.

Das Erkennen dieser Voraussetzungen der logischen Operationen, die sich bei der Bewertung einer Spur ergeben, führt nun direkt in die Rechtsprechungspraxis. Die Spuren-Bewertung betrifft den Gutachter im Hinblick auf die Rekonstruktion des Handlungsgeschehens, nicht im Hinblick auf deren rechtliche Würdigung. Die „Erzählung“ des Gutachters hat sich nach den „Grundsätzen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ (DFG) einerseits, den denktheoretisch erforderlichen Eingrenzungen andererseits (s. oben) sowie, drittens, der erforderlichen Neutralität im Hinblick auf eine außernaturwissenschaftliche Bewertung der Spur wie der rekonstruierten Handlungsfolge zu richten.

Im Kontext der forensischen Würdigung der Spur als eines Beweismittels ist der Gutachter eingebunden in die richterliche Beweismwürdigung, die gutachterliche Stellungnahme ist nur Hilfsmittel des Richters. [§ 261 StPO: „Über das Ergebnis der Beweisaufnahme entscheidet das Gericht nach seiner freien, aus dem Inbegriff der Verhandlung geschöpften Überzeugung“]. Das Angebot einer möglichst großen Zahl konkurrierender Schlüsse aus der Spur wäre nicht nur nach logischen Prinzipien abzulehnen, es würde auch dem Richter nicht helfen. Denn dieser müsste dann die Erkenntnisarbeit leisten, die der naturwissenschaftliche Gutachter aufgrund seiner fachlichen Expertise (das entspricht nach dem logischen Verfahren seiner Prämissenkompetenz) zu leisten hat, um die Eigenschaft, Ursache und Entstehung einer Spur zu erklären. Schließlich hat der Richter die Beweismwürdigung ebenfalls nach den Prinzipien normischer Logik auszurichten: „Dabei [d.h. bei der Beweismwürdigung] ist zu beachten, dass eine absolute, das Gegenteil denknotwendig ausschließende und von niemandem anzweifelbare Gewissheit nicht erforderlich ist, vielmehr ein nach der Lebenserfahrung ausreichendes Maß an Sicherheit genügt, das vernünftige und nicht bloß auf denktheoretische Möglichkeiten gegründete Zweifel nicht zulässt.“ [BGH 1 StR 40/02 – Urteil vom 16. Mai 2002]

Nach dieser höchstrichterlichen Rechtsprechung finden die denktheoretischen Erwägungen ihre Begrenzung im Hinblick auf die Zweckdienlichkeiten bei der richterlichen Entscheidungsfindung. Zur Erinnerung: Auch die empirische Wissenschaft hatte ihre Erwägungen begrenzt, durch *Ceteris-Paribus*-Klausel und Parsimonitätsprinzip sowie durch die Nichtmonotonieeigenschaft beim Schließen aus normischen Gesetzen.

Der Richter darf im Urteil nicht gegen die in einem Gutachten vorgebrachten Ergebnisse und Folgerungen entscheiden. Kann der Richter der Gutachtermeinung nicht folgen, wird er ein weiteres Gutachten einholen, sofern der allgemeine Wissenstand dies erforderlich erscheinen lässt. Da-

mit ist die Bewertung einer Spur im forensischen Kontext klar von den Zielen, aber nicht den Anforderungen des rein akademischen Denkens geschieden.

### 1.3

## Die „biologische“ Spur und ihre Bewertung

Für das kriminalistische Verständnis ist der Spurenbegriff auf die materiellen Veränderungen der Umwelt, die in Zusammenhang mit einer Handlung entstanden sind, reduziert. Folgt man dieser lexikalischen Definition der Spur oder der Variante „Hinweis, wonach ein Lebewesen oder Gegenstand an einem Ort gewesen ist“, dann ergibt sich daraus, dass die in den Naturwissenschaften gängigen deskriptiven Eigenschaften wie Größe, Gewicht oder Mengenangaben als konstitutiver Bestandteil der Definition einer Spur nicht relevant sind. Es sind also Ursache und materielle Eigenschaften, welche die Qualität der Spur bestimmen. Die Suche nach einer Definition endet damit in einer Tautologie: das einzig Spezifische an einer biologischen Spur ist ihre biologische Herkunft.

Mit der fortschreitenden morphologischen und analytischen Methodik hat sich in den vergangenen Jahren das Spektrum der biologischen Substrate, die tatrelevante Spuren sein könnten, nur scheinbar vermehrt. Tatsächlich wurde der Einsicht mehr Raum gegeben, dass neben den klassischen Spuren, die zunächst mit Resten von Körperflüssigkeiten oder Körperausscheidungen gegeben waren (Blut, Sperma, Erbrochenes, Urin, Kot), auch vielen anderen biologischen (Klein-) Objekten ein Spurencharakter zukommen kann.

Bestimmt hatte an dieser Entwicklung auch das gesteigerte Interesse der Biologie, der Boden- und Geowissenschaften an der Untersuchung von Bodensubstraten und anderen Umweltmedien seinen Anteil, in denen eine Vielzahl kleinerer Partikel oder molekularer Substanzen identifiziert wurden. Andererseits hat es in der Biologie selbst einen Interessensverlust an der Bewahrung klassischer morphognostischer und morphologischer Kenntnisse gegeben. Deutlich wird dies z. B. am zunehmenden Fehlen von Feder- und Haarspezialisten, allgemeiner am Fehlen morphologisch sowie organismisch gebildeter Fachleute. Dabei ist das Sichtverfahren, also die Beurteilung eines Objektes durch Inaugenscheinnahme durch den sachverständigen Fachmann, nach wie vor das effizienteste Prüfverfahren für die Beurteilung von Oberflächeneigenschaften eines Objektes.

Die fachliche Kompetenz des Bearbeiters ist auch dort erforderlich, wo aus der Fülle aller Zeichen diejenigen zu erkennen sind, welche für die Rekonstruktion des konkreten Tatgeschehens als bedeutungsvoll heranzuziehen sind. Eine objektiv existierende Spur ist so lange keine kontextua-

lisierte Spur, bleibt also für die Rekonstruktion des Geschehens irrelevant, so lange sie nicht als zum Geschehen dazugehörig erkannt wird. Damit wird die Kompetenz des Sachverständigen zum unverzichtbaren Bestandteil auch der allgemeinen Spurendefinition.

Die erkenntnistheoretische Anschlussfrage nach den Grundlagen der Beweisführung aus einer Spur ist bereits weiter oben behandelt worden. Die Beweiswürdigung ist kein Gegenstand der Spurenkunde. Die Wahrnehmung und Bewertung der Beweise im Hinblick auf eine Handlungsfolge ist allein Aufgabe des Richters (BGHSt 10, 208, 209). Hierzu muss dieser sich der Denkgesetze und der Erfahrungssätze bedienen. Diese gelten als ungeschriebene Rechtsnormen (BGHSt 6, 70, 72). Verfügt der Richter nicht über die erforderliche Sachkunde, um einen speziellen Sachverhalt richtig bewerten zu können, so bedient er sich eines Gehilfen, des Sachverständigen. Damit ist dieser, neben dem Zeugen, das zweite persönliche Beweismittel (Personalbeweis) in der Strafprozessordnung.

Die wichtigste Aufgabe des Sachverständigen, also desjenigen, der die biologischen Spuren bearbeitet, ist die Erstattung des Gutachtens (§ 75 I StPO). Die Aufgabe des Gutachters besteht darin, sein Erfahrungswissen anzuwenden und dem Gericht zu vermitteln. Die Tatsachen, die er dem Gutachten zugrunde legt, werden Anknüpfungstatsachen genannt, diejenigen, die er mit seiner Sachkunde ermittelt, heißen Befundtatsachen. Stellt er darüber hinaus weitere Tatsachen fest, so heißen diese Zusatztatsachen. Bei der Erstattung des Gutachtens muss der Sachverständige die Anknüpfungstatsachen und die angewendeten Erfahrungssätze mitteilen und die Schlussfolgerungen darlegen, die ihn zu einem bestimmten Ergebnis geführt haben. (Hierzu ausführlich Meyer-Goßner §§ 78, 79).

Es ist zu betonen, dass der Sachbeweis (die Sicherung und Auswertung der Tatspuren) nur naturwissenschaftliche Feststellungen treffen kann und keine juristischen oder philosophischen Fragen beantwortet. Das gern bemühte Beispiel von der Leiche und dem daneben knienden Mann, an dessen Kleidung das Blut der Leiche haftet und dessen Fingerabdrücke auf dem Tatmesser gefunden werden, zeigt aber gerade, dass Spuren allein keine Auskunft darüber geben, ob der Kniende der Täter oder ein Helfender ist. In der Sprache der Kriminaltechnik ist eine solche Person wertneutral ein „Spurenleger“.

Erst durch die weitere Tätigkeit des Kriminalisten wird hier zwischen Helfer und Täter unterschieden werden können. Selbst wenn aufgrund der Lage und der Individualität der Spuren keine Zweifel an der Täterschaft bestehen, sind damit andere zentrale Fragen des Strafprozesses, wie Tatmotiv und Rechtfertigungsgründe bzw. Schuldausschließungsgründe noch nicht beantwortet. Daher beruht die Bewertung des Straftatbestandes im Wesentlichen auf dem Personalbeweis.

## 1.4

### Themen der biologischen Spurenkunde

Grundsätzlich gilt, dass eine umfassende „Biologische Spurenkunde“ eine endlose Aufgabe darstellt. Denn biologische Spuren sind von ihrer

- stofflichen Beschaffenheit (Flüssigkeiten, Blätter, Haare, ...),
- artlichen Herkunft (300 000 Pflanzenarten, > 10 Mio. Tierarten) und
- Erhaltungsform (frisch, degradiert, medial spezifischer Erhalt)

sehr verschieden. Zudem ist jeder Tathergang ein historisch einmaliges Ereignis unter einmaligen materiellen Konstellationen. Eine grundsätzliche Systematik müsste also die Permutationsmöglichkeiten aus Tatereignis und Spurenqualitäten so weit reduzieren, dass immerwährende Grundmuster erkennbar bleiben. Der einzig gangbare Systematisierungsansatz liegt also in der spezifischen biologischen Qualität einer Spur, zu deren Bearbeitung der Gutachter nach seinem Erfahrungswissen den geeigneten Zugang wählt.

Die Praxis unterscheidet von den tatrelevanten **Spuren** im engeren Sinne die **Trugspuren** (die nicht im Zusammenhang mit der Begehung von Straftaten entstanden sind) und **Fingierte Spuren** (solche, die vom Täter oder Opfer bewusst gelegt wurden, um die Ermittlung in eine falsche Richtung zu leiten).

Weiterhin werden die Spurenarten nach ihrer Beschaffenheit unterschieden in (hier bereits eingegrenzt auf biologische Herkunft):

- **Materialspuren** (nach der materiellen Zusammensetzung): menschliche, tierliche, pflanzliche Herkunft. Kriminalistisch werden auch die Medien Wasser, Boden und Luft hierzu gerechnet.
- **Formspuren, Ab- und Eindrucksuren**: hierzu gehören u. a. auch Antragungen in Form von Tropfen und Spritzern von Flüssigkeiten, aus denen Fallhöhe und Schleudergeschwindigkeit und Schleuderrichtung ermittelt werden kann.
- **Situationsspuren**, bei denen es um die Anwesenheit, die besondere Lage von Materialien oder Gegenständen und Zustandsbilder geht. Hierzu würden auch gehören der Chlorose-Grad an Pflanzen (anhaltendes Aufliegen von Gegenständen auf Pflanzen vermindert das Blattgrün, ⇒ Abschätzung eines Zeitintervalls) sowie Dekompositionsvorgänge an Leichen (⇒ Abschätzung eines Zeitintervalls).

Anleitungen für die kriminaltechnische Arbeit enthalten Kataloge häufig vorkommender Spuren (z. B. Pfefferli u. Germann 2005, Weihmann

2002 a,b), die Hilfestellungen für die Tatorterhebung bilden. In alphabetischer Reihenfolge (ohne Vollständigkeitsanspruch) können dies sein:

Ausweisdokumente  
*Biologische Gewebe/Fingernägel*  
*Bissspuren*  
*Blut*  
Brandspuren  
Explosionen/Sprengstoffe  
*Fingerspuren*  
*Gifte*  
Glas  
Glühlampen  
*Haare*  
Handschriften  
Handschuhspuren  
Lacke/Farben  
Maschinen- und Druckerschriften  
Passstücke  
*Pflanzen- und Bodenspuren*  
Reifenspuren  
Schuhspuren  
Schmauchspuren  
Schussspuren/Munition  
Schusswaffen  
*Speichel/Schweiß/Nasensekret*  
*Sperma*  
*Textilfasern*  
Werkzeugspuren  
*Zigarettenkippen*

Die hier kursiv gesetzten Spurengruppen gehören selbsterklärend in die Gruppe der biologischen Materialien. Allerdings kann eine solche Zusammenstellung nicht einheitlich dem Prinzip der Materialeigenschaft folgen, da Passstücke z. B. auch Fingernagelreste sein können. Einem Fingernagelrest kann darüber hinaus eine weitere biologische Spur anhaften, ebenso wie etwa der Zigarettenkippe. Diese Mehrfacheigenschaft einer Spur kann daher für zahlreiche hier aufgeführte Spurengruppen gelten.

Der vorliegende Band fasst Beiträge über gängige biologische Spuren und ihre biowissenschaftliche Bearbeitung zusammen. Seine vorrangige Aufgabe ist nicht die Darstellung der kriminaltechnischen Sicherung einschlägiger Spuren, sondern die Darstellung des Einsatzes biologischen Fachwissens bei der Analyse solcher Spuren. Für diese Aufgabe wird sowohl breites organismisches Wissen eingesetzt als auch analytisch-



molekularbiologisches Wissen. Beide Bereiche sind wissenschaftspraktisch-methodisch sowohl eigenständige Erkenntniszugänge als auch sich wechselseitig in der heutigen Biologie ergänzende Arbeitsfelder. Wegen dieser methodischen Symbiose, die letztlich auf der organismischen Herkunft jeder biologischen Spur beruht, ist eine rigide Trennung von Themenfeldern und Bearbeitungswegen nicht nur in der Durchführung schwer realisierbar. Sie ist auch nicht besonders funktional im Hinblick auf das Erkenntnisziel. Dennoch werden die hier zusammengefassten Aufsätze nach Gesichtspunkten überwiegender Zusammenhänge gruppiert. Zunächst wird in die Arbeitspraxis der kriminalbiologischen Spurenkunde eingeführt (Inhülsen), die ein hauptsächliches kriminalbiologisches Tätigkeitsfeld darstellt. Das zweite hauptsächliche Tätigkeitsfeld für Kriminalbiologen besteht in der Rechtsmedizin, in deren Einrichtungen seit langem Biologen wichtige Aufgaben übernommen haben. In dieses Arbeitsfeld führt der Beitrag von Saturnus et al. ein. Er variiert die Problematisierung des Spurenthemas im Hinblick auf die rechtsmedizinische Begutachtung und Verwertung von Spuren. Zusammen mit dem Einführungskapitel sind damit Spuren im Allgemeinen und biologische Spuren im Besonderen aus drei unterschiedlichen Zugängen erörtert.

Im anschließenden zweiten Teil wird in einer eher traditionellen Spuren- und Biologiefeld-Systematik der organismische Zugang in den Vordergrund gestellt. Am Beginn stehen die wohl klassischsten biologischen Spuren, nämlich Blutspuren (Briese) und der Fingerabdruck (R. Herrmann). Es folgt die Darstellung zweier humanbiologischer Themen, die häufig aus der rechtsmedizinischen Begutachtung herausgenommen und anderen Spezialisten überantwortet sind. Es ist dies die Bearbeitung von Skelett- und Knochenfunden, die dann von forensischen Anthropologen und Archäozoologen begutachtet werden (B. Herrmann et al.). Die Rekonstruktion der Gesichtswichteile auf dem Schädel nicht identifizierter Toter (Burath) ist eine sehr spezielle Aufgabe. Sie zielt aber auf die Identifizierung ab und ist daher nach unserem Verständnis anderen spurenkundlichen Tätigkeiten gleichgestellt. Es folgen Ausführungen über Spuren pflanzlicher Herkunft. Von besonderer Bedeutung erscheint dabei das in der Paläoethnobotanik angesammelte Wissen (Willerding), das für kriminalbiologische Verwertungszusammenhänge viel stärker herangezogen werden sollte, als es bisher der Fall ist. Als Spuren haben auch Pflanzenpollen erhebliche Bedeutung (Grüger). Für sie wie für die pflanzlichen Makroreste gilt, dass erhebliche Probleme in der Rekrutierung von Biologen bestehen, die zur Einarbeitung in diese Bereiche bereit sind. Eine Domäne absoluter Spezialisten sind Diatomeen (Hürlimann et al.), die gelegentlich in forensischen Zusammenhängen für überraschende Resultate gesorgt haben.

Tierspuren sind, soweit sie nicht im Grundlagenkapitel bereits zur Sprache kamen, nur noch mit dem dynamischen Gebiet der forensischen In-

sektenkunde (Amendt) vertreten. Selbstverständlich ist Artenkenntnis z. B. für die zollamtliche Begutachtung von Naturprodukten oder importierten Organismen bedeutsam. Sofern eine Speziesbestimmung nicht durch geschulte Beamte selbst erfolgen kann, werden diese sich um einschlägige Kenner biologischer Arten bemühen, die in den systematischen Abteilungen der Universitäten und Naturkundemuseen tätig sind. In der Praxis aber machen bereits heute molekularbiologische Untersuchungen zur Artenbestimmung einen großen Teil dieser Gutachtertätigkeit aus. Ihnen ist daher ein eigenes Kapitel (Pfeiffer) im dritten Abschnitt gewidmet. Sofern sonstige Tierspuren zur Begutachtung anstehen, kann auf ein umfangreiches Schrifttum der Wild- und Jagdbiologie verwiesen werden. Den zweiten Teil beschließt die Darstellung der forensischen Mikrobiologie, die hier noch organismisch ressortiert, in ihrer Methodik aber zum dritten Abschnitt überleitet.

Im dritten Teil sind Beiträge zusammengefasst, die mit der DNA-Analyse über einen einheitlichen methodischen Hintergrund verfügen. Bei Spuren, die einer DNA-Analyse zugeführt werden sollen, gewinnen Systematik und Asservierung besondere Bedeutung (Lassen u. Kaup). Neben den Grundzügen der Analytik humaner DNA-Spuren (Schmidt u. Hummel) steht die DNA-Analyse von Tierspuren (Pfeiffer) und Pflanzen (Finkeldey et al.). Die DNA-Analytik deckt wohl zusammen mit der Mikrobiologie heute den Haupteinsatzbereich von forensischen Biologen ab.

Der letzte Teil ist ebenfalls methodisch ausgerichtet, jedoch handelt es sich hierbei um unterschiedliche analytische Zugänge. Uneinheitlich in den je eingesetzten methodischen Zugängen und in seinen Konturen noch nicht völlig geschärft, ist der in Entstehung begriffene Bereich der biometrischen Verfahren (R. Herrmann). Seiner in bestimmten Bereichen zunehmenden Bedeutung wegen war ein entsprechender Beitrag in den Band zu integrieren. Der Fortschritt analytischer Techniken hat den Zugang zu Istotopensignaturen erleichtert, die u. a. forensisch hilfreiche Auskunft über Nahrungskomponenten und frühere Aufenthaltsorte von Mensch und Tier geben können (Rummel et al.). Der wichtige Bereich der forensischen Toxikologie (Kauert et al.), in dem häufig Biochemiker tätig sind, beschließt den Band.

## Literatur

- Eco U (2002) Einführung in die Semiotik. 9. Aufl. Wilhelm Fink, München  
Ginzburg C (1983) Spurensicherungen. Über verborgene Geschichte, Kunst und soziales Gedächtnis. Wagenbach, Berlin  
Hard G (1995) Spuren und Spurenleser. Zur Theorie und Ästhetik des Spurenlesens in der Vegetation und anderswo. Rasch, Osnabrück

- Kiesow RM, Simon D (Hrsg) (2000) Auf der Suche nach der verlorenen Wahrheit. Zum Grundlagenstreit in der Geschichtswissenschaft. Campus, Frankfurt New York
- Lakatos I (1982) Philosophische Schriften. Bd 1. Die Methodologie der wissenschaftlichen Forschungsprogramme. Vieweg, Braunschweig Wiesbaden
- Meyer-Goßner L (2004) Kommentar zur Strafprozessordnung. 47. Aufl. Beck, München
- Schurz G (2006) Einführung in die Wissenschaftstheorie. Wiss Buchgesellschaft, Darmstadt
- Suter A, Hetting M (Hrsg) (2001) Struktur und Ereignis. Geschichte und Gesellschaft. Zeitschrift für historische Sozialwissenschaft, Sonderheft 19. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen
- Vec M (2002) Die Spur des Täters. Methoden der Identifikation in der Kriminalistik (1879–1933). (= Juristische Zeitgeschichte, Abteilung 1, Bd. 12) Nomos, Baden-Baden

## Spezielle kriminaltechnische Literatur

- Kube E, Störzer HU, Timm KJ (Hrsg) (1992) Kriminalistik. Handbuch für Praxis und Wissenschaft. Bd 1 und 2. Richard Boorberg Verlag, Stuttgart München Hannover
- Pfefferli P, Germann U (2005) Die Spur: Ratgeber für die spurenkundliche Praxis. 4. Auflage. Kriminalistik-Verlag, Heidelberg
- Vordermayer H, Heintschel-Heinegg B von (Hrsg) (2003) Handbuch für den Staatsanwalt. 2. Aufl. Luchterhand, München
- Weihmann R (2000a) Spurenkunde I. Lehr- und Studienbriefe Kriminalistik Nr 22. 2. Aufl. Deutsche Polizeiliteratur, Hilden/Rhld
- Weihmann R (2000b) Spurenkunde II. Lehr- und Studienbriefe Kriminalistik Nr 23. 2. Aufl. Deutsche Polizeiliteratur, Hilden/Rhld
- White P (ed) (2004) Crime Scene to Court. The Essentials of Forensic Science. 2nd ed. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Wigger E (1980) Kriminaltechnik. Leitfaden für Kriminalisten. [= BKA-Schriftenreihe Bd 50, Jahrg 1980 (1–3)] Bundeskriminalamt, Wiesbaden
- Zirk W, Vordermaier G, Schulte R (1998) Kriminaltechnik und Spurenkunde. Richard Boorberg, Stuttgart München Hannover

## Internetportale

mit zahlreichen weiterführenden Hinweisen (und kostenpflichtiger Suchfunktion nach spezieller Literatur):

[www.FORENSICnetBASE.com](http://www.FORENSICnetBASE.com) bzw. [www.LAWENFORCEMENTnetBASE.com](http://www.LAWENFORCEMENTnetBASE.com)

für kostenlose Recherche bei eingeschränkter Spezifität:

[www.pubmed.gov](http://www.pubmed.gov)

# 2 Praxis der kriminalbiologischen Spurenkunde

Dietrich Inhülsen

Im folgenden Beitrag werden die Organisation eines Landeskriminalamtes (LKA) und die vielfältigen Aufgaben dargelegt, die diese Polizeibehörde hat. Dabei wird insbesondere die Arbeit der Biologen in dem „Kriminalwissenschaftlichen Institut“ des LKA Niedersachsens (LKA NI) vorgestellt, die Sachbeweise in Strafverfahren erarbeiten. Das Dezernat „Biologie“ ist unterteilt in die Gruppe der Humangenetiker, die mithilfe der DNA-Analytik die menschlichen Körperausscheidungen wie Blut, Sperma, Epithelzellen, Haare usw. analysieren, und in die Kollegen, die sich mit der restlichen „Allgemeinen Biologie“ (Textilspuren und Boden, Vegetation, Holz, Tierhaare, Mageninhalte und ähnliches) befassen. Dazu bedarf es einer festgelegten Vorgehensweise bei der Sicherung, Auswertung, Untersuchung und Beweiswürdigung der vielfältigen Spuren an den unterschiedlichsten Tatorten, Gegenständen, Leichen usw. Es sind hierbei auch andere als nur die eigenen Spurenkomplexe zu berücksichtigen, um optimale Analysen und Befunderhebungen zu gewährleisten. Neben der reinen Labortätigkeit hat der biologische Sachverständige auch die Vertretung der Gutachten vor Gericht zu verantworten. Er muss Polizeikollegen beschulen und sich ständig auf dem neuesten wissenschaftlichen Stand seines Fachgebietes halten.

## 2.1

### Das Aufgabenfeld eines Biologen bei der Polizei

Der Rechtsstaat hat u. a. die Aufgabe, seine Bürger zu schützen und bei begangenen Straftaten und Ordnungswidrigkeiten die zunächst Beschuldigten zu überführen und zu verurteilen. Polizeibeamte ermitteln vor Ort, sei es, dass ein KFZ aufgebrochen wurde, sich ein Wildunfall ereignete oder ein Kapitaldelikt wie Mord, Totschlag, Vergewaltigung geschah. Die anfallenden Spuren werden photographisch und im Original gesichert, um sie dann je nach Beweislage auszuwerten. Dabei nimmt der Sachbeweis eine zunehmende Bedeutung ein. Die so erarbeiteten naturwissenschaftlichen, objektiven Befunde sollen die Strafverfolgungsbehörden (Polizei, Staatsan-

---

Dietrich Inhülsen: Landeskriminalamt Niedersachsen, Kriminaltechnisches Institut, Schützenstraße 25, 30161 Hannover, E-Mail: dietrich.inhuelsen@polizei.niedersachsen.de

waltschaften) sowie die Gerichte bei der Findung ihres Urteils maßgeblich unterstützen. Da die Bundesrepublik ein föderalistischer Staat ist, ist die polizeiliche Organisation Ländersache. Aus diesem Grund hat jedes Bundesland ein eigenes Landeskriminalamt (LKA), das in seiner Organisation jeweils eine Abteilung aufweist, die sich mit Kriminaltechnik und Kriminalwissenschaft befasst. In Niedersachsen ist es das „Kriminaltechnische Institut“ (KTI), welches neben der klassischen Kriminaltechnik (Finger-spuren, Schusswaffenuntersuchungen, Handschriften, Formspuren) auch die naturwissenschaftlichen Dezernate Biologie, Chemie und Physik enthält (s. Internetportal der Polizei Niedersachsen). Während in den ersten Jahrzehnten nach Gründung der Republik lediglich in den wissenschaftlichen Bereichen studierte Sachverständige (SV) arbeiteten, werden diese in stärkerem Maße auch heute in der klassischen Kriminaltechnik (KT) eingesetzt, da die zunehmend kompliziertere Auswertung der Spuren auch eine entsprechende Ausbildung erfordert. Das Bundeskriminalamt (BKA) ist in der Regel nicht mit der Routinearbeit der KT befasst. Es übernimmt länderübergreifende Aufgaben, wie z. B. die Untersuchungen in den Verfahren gegen den Terrorismus.

Das biologische Aufgabenfeld in den Landeskriminalämtern (LKÄ) hat sich bereits zu Beginn seiner Gründung aufgespalten in den Bereich, der die humanen Körperflüssigkeiten inkl. der menschlichen Haare bearbeitet, und in den Part, der mit der „Allgemeinen Biologie“ befasst ist. Über den letztgenannten Untersuchungsbereich soll hier ausführlicher berichtet werden. Historisch betrachtet wurden in Niedersachsen zunächst Mikrobiologen eingesetzt, um den Nachweis von biologischen Selbstentzündungen im Heu und anderen vegetabilischen Substanzen zu führen. Auch wurden hier erste bodenkundliche Untersuchungsverfahren erarbeitet. So fanden auch kleinere, zumeist zerstörende Tüpfelreaktionen zur Analyse von Naturfasern Anwendung. Mit zunehmender Verfeinerung der Methoden gesellten sich zu diesen Aufgaben die Erarbeitung von komplexeren textilen Fasergutachten, die Analyse von Vegetationsantragungen (Blätter, Holz, Samen, Pollen, Algen usw.), die Befunderhebung an Tierhaaren, die Bestimmung des Mageninhaltes zur Todeszeitbestimmung usw. (Inhülsen 1983a). Wie überall müssen sich die Untersuchungen immer neueren Anforderungen stellen. Der Gesetzgeber gibt vor, dass die Gutachten nach neuesten wissenschaftlichen Standards erarbeitet werden. So kommen in dem allgemeinen biologischen Bereich auch Videoaufnahmen von Überwachungskameras z. B. von Geldinstituten oder Tankstellen zur Auswertung, um diese abzugleichen mit Kleidungsstücken von EC-Karten- oder Tankbetrügnern. Die großen Erfolge bei der Typisierung von menschlicher DNA und ihre nahezu 100-prozentige Zuordnung zu Beschuldigten/Angeklagten werden in Zukunft auch Fuß fassen bei der Analyse von pflanzlichem Material oder von Tierhaaren und tierischen

Produkten, um den mikroskopisch erarbeiteten Beweiswert noch weiter zu erhöhen.

Während die Wissenschaftler in der Humangenetik eine fundierte Ausbildung in der DNA-Analytik haben sollten, werden von den Sachverständigen in der „Allgemeinen Biologie“ vertiefte Kenntnisse in der klassischen Biologie sowie auch in Bodenkunde, Mikrobiologie, Mikroskopie, Systematik usw. erwartet. Viele Aufgaben, wie z. B. die Textilkunde, sind jedoch so speziell, dass sie ohnehin eine längere Einarbeitung erfordern. Mitunter werden in anderen Kriminalämtern für diesen Bereich auch Textil-Chemiker oder Textil-Ingenieure verschiedener Fachrichtungen eingestellt, die aber nur diesen Teilabschnitt der Forensik weitgehend selbständig führen und bearbeiten.

Weiterhin muss hervorgehoben werden, dass der Biologe im Labor nicht nur mit den Untersuchungen ein Gutachten erarbeitet, vielmehr wird der Befund in schwierigen Fällen auch mündlich vor Gericht dargelegt. Selbstverständlich ist es im ureigensten Interesse des Wissenschaftlers, die Polizeibeamten zu beschulen, die mit der Spurensicherung vor Ort befasst sind. Stets sollte sich der biologische Sachverständige darum bemühen, vor Ort die Kollegen bei der Spurensicherung zu unterstützen. Allein eine Tatortbegehung bringt Erfahrung und die nötige Grundlage für eine Beurteilung der Spurenbilder, die man nachher vertreten muss. Da es sich bei jedem Tatdelikt um unwiederbringliche Spuren handelt, muss bei der gesamten Arbeit mit der gebotenen Sorgfalt vorgegangen werden. Ohnehin ist die rein wissenschaftliche Arbeit nur ein Teil der Gesamtaufgabe eines SV, mindest genauso wichtig ist die Kenntnis der Spurensuche und -kunde am Tatort und an den einzelnen Asservaten.

Die Gliederung dieser kleinen Abhandlung hält sich mit ihren Punkten an das polizeiliche Vorgehen im Realbetrieb: Zunächst werden die Möglichkeiten der Sicherung von den aufgeführten Spurenkomplexen dargelegt, daraufhin folgen die methodischen Vorgehensweisen im Labor und die daraus abgeleiteten Beweiswerte.

## 2.2

### **Allgemeine biologische Spuren am Tatort und deren fachgerechte Sicherung**

Bei jedem Delikt fallen zum Tathergang und vom Täter Spuren in irgendeiner Form an. Diese müssen erkannt, fachgerecht gesichert und beweiswürdig untersucht werden. Der Sachverständige der „Allgemeinen Biologie“ hat sich dabei um die groben Bereiche Fasern, Boden und Vegetation/Tierhaare so zu kümmern, dass andere Spurenkomplexe (z. B. Formspuren, humane DNA-Spuren, toxikologische Substanzen, Material-,

Schmauchspuren, Glas usw.) nicht beeinträchtigt oder gar vernichtet werden. Dies erfordert auch ein größtes Maß an Kenntnis von anderen Spuren und deren Auswertungsmöglichkeiten. Ist man selbst am Tatort oder am Fundort einer Leiche, kann man als Sachverständiger entscheiden, ob zu Gunsten besonders aussagekräftiger Asservate andere Untersuchungsmöglichkeiten zurückgestellt werden. Nur die Kenntnis der Eingliederung seines eigenen Faches in den großen Komplex aller Spuren erlaubt eine optimale Sicherung und Auswertung. Im Folgenden soll auf die einzelnen biologische Bereiche exemplarisch eingegangen werden.

## 2.2.1

### Sicherung textiler Spuren

Textile Flächengebilde geben bei einem Kontakt mit anderen Gegenständen mehr oder weniger Eigenmaterial ab. Wird beim Übersteigen eines Stacheldrahtzaunes durch den Täter ein mit bloßem Auge erkennbares Fasergebilde durch Herausreißen aus seiner Kleidung hinterlassen, so sprechen wir von textilen Makrospuren. Setzt sich eine Person z. B. mit einem Pullover auf einen Fahrzeugsitz, so überträgt dieses Textil Eigenmaterial in Form von „textilen Mikrospuren“ (<1 mm) auf den Sitz. Andererseits gibt auch der Sitz Fasern auf den Pullover ab (gegenseitige Faserübertragung oder Faserüberkreuzung).

Textile Makrospuren sind durchaus häufig an Tatorten vorzufinden. So werden z. B. beim Durchgreifen durch Glasbruchzentren nach einem Einbruchsdiebstahl Faserspuren an den Glasbruchkanten hinterlassen. Auch bei Schlägereien, Vergewaltigungen o. ä. sind am Tatort ausgerissene Knöpfe, textile Gewebsrelikte nach massiver Gewalteinwirkung vorzufinden. Diese Spuren werden mit einer Pinzette in eine Klemmverschlussstüte aus Kunststoff verpackt. Hierin ist das Material unverwechselbar aufgehoben, es kann durch Fremdeinwirkung von außen nicht mehr beeinträchtigt werden. Auf eine trockene Spur sollte jedoch geachtet werden, ansonsten müsste eine Nachd Trocknung auf den Dienststellen erfolgen. Diese Spuren werden im Labor zügig untersucht und analysiert, damit den Ermittlungsbehörden gezielte Hinweise auf Kleidungsstücke des Täters oder auf einen speziellen Tatablauf gegeben werden können.

Bei schweren Verkehrsunfällen ist es vielfach fraglich, wer das Fahrzeug zum Unfallzeitpunkt geführt hat. Oft stehen die Insassen unter Alkohol oder Drogeneinfluss, haben keine Fahrerlaubnis (mehr) und behaupten, dass eine nur mit Vornamen bekannte Kneipenbekanntschaft gefahren sei. Hier helfen die Ansmelzspuren als objektive Befunde im Faserbereich in der Regel weiter (Pabst 1992). Es handelt sich zumeist um Makrospuren: Bei einem abrupten, unfallbedingten Stopp des Fahrzeuges kommen

die bekleideten Körperteile der Insassen in intensiven Kontakt mit der Innenverkleidung des Fahrzeuges. Bei einem derartigen Zusammentreffen entsteht so viel Reibungswärme, dass die Kunststoffverkleidung und/oder die Textilien anschmelzen und sich hierbei eine innige Verbindung ergibt. Diese Anschmelzspuren bilden die Situation der Sitzordnung im Fahrzeug bei einem Unfall ab, sie können danach nicht verändert werden und müssen für die weiteren Untersuchungen im Original aus dem Fahrzeug herausgetrennt werden. Das Spurenaufkommen in diesem Bereich ist um so erfolgsversprechender, je schwerer ein Verkehrsunfall war. Vielfach unterstützen die Sachverständigen der allgemeinen forensischen Biologie die Ermittlungsbeamten vor Ort bei der Suche und Sicherung derartiger Spuren. Hierzu werden in der Regel Einmaloveralls getragen, die aufgrund ihrer Oberflächenstruktur weder Faserspuren abgeben noch aufnehmen. Derartige Anschmelzspuren entstehen auch an den Außenseiten des Fahrzeuges z. B. beim An-/Überfahren von Personen. Gerade hierbei ist es unerlässlich, sich die Fahrzeuge auch von der Unterseite auf einer Hebebühne anzusehen. Sollte diese Gegebenheit vor Ort an der Dienststelle nicht vorhanden sein, kann das Fahrzeug auch im LKA in entsprechenden Untersuchungshallen in Augenschein genommen werden. Ohnehin sollten bei derartigen Spurensicherungen beleuchtete Handlupen oder auch Polylight-Lichtquellen eingesetzt werden, die mit unterschiedlichen Filtersystemen arbeiten.

„Textile Mikrospuren“ sind aufgrund ihrer geringen Größe mit bloßem Auge nicht erkennbar, so dass ihre Sicherung vorsorglich unter Einhaltung von Schutzmaßnahmen zur Vermeidung einer Spurenverwischung geschieht. Wenn zwei oder mehrere bekleidete Personen einen intensiven Körperkontakt haben, werden Mikrospuren der einzelnen Kleidungsstücke des Täters auf die entsprechenden Textilien des Opfers übertragen und umgekehrt. Kannten sich diese Personen vor der Tat nicht und haben sie sich auch vorher nicht berührt, kann der positive Befund einer Mikrofaserübertragung den rein tatbedingten Kontakt nachweisen. Während bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts mit Lupe und Pinzette gesichert wurde, hat sich in den letzten Jahrzehnten die Spurenabnahme mit Klebefolien weltweit durchgesetzt. Die Folien werden speziell für die polizeiliche Fasersicherung hergestellt, sie sind alterungs- und UV-beständig, und ihre Klebschicht beeinträchtigt nicht die textile Mikrospur in ihrer Farbe, ihrem Material und Verhalten in optischen Untersuchungsmethoden. Es stehen mehrere Abklebeverfahren mit unterschiedlichen Foliengrößen und -längen zur Verfügung. Jedes Labor hat hier seine ureigene Vorgehensweise, die nach Überprüfung von anderen Untersuchungsstellen allgemein akzeptiert werden.

Sollten die Tatbeteiligten noch leben, wie z.B. nach Vergewaltigung, Körperverletzung, Einbruch, Raub usw., wird die Faserabnahme an den Textilien mit Folien in den Laboren des LKA NI durchgeführt. Dabei ist



jedoch streng darauf zu achten, dass Kleidungsstücke des Opfers von anderen Personen asserviert werden als die Textilien des Beschuldigten. Nur dann ist auszuschließen, dass Mikropuren sekundär, also nicht tatbedingt, übertragen werden. Auch werden die Kollegen vor Ort angehalten, bei einer derartigen Sicherung der Kleidungsstücke Einmaloveralls zu tragen; die asservierten Beweisstücke sind staubdicht in Klemmverschlussbeutel zu verpacken. Nur so kann gewährleistet werden, dass die textilen Mikropuren nicht durch hereinziehende Luft usw. verändert und überlagert werden. Wie bei jeder Sicherung ist eine genaue Dokumentation (auch fotografisch erwünscht) erforderlich. Aus den Untersuchungsanträgen an das Amt muss ersichtlich sein, wer, wo, was und wie gesichert hat. Erst wenn diese Vorgehensweise nachvollziehbar und ordnungsgemäß durchgeführt worden ist, werden in den Laboren des LKA weitere Sicherungsmaßnahmen in Schutzkleidung (weißer Baumwollkittel, Einmalhandschuhe, ggf. Mund- und Haarschutz) durchgeführt: Die vorgelegten, trockenen oder hier (in separaten Räumen) nachgetrockneten Textilien werden zeitgleich in verschiedenen Laboren von unterschiedlichen Mitarbeitern mit Hilfe von Folien abgeklebt, so dass die dort auflagernden textilen Mikropuren zur weiteren Untersuchung auf gegenseitigen textilen Kontakt analysiert werden können. Im LKA Ni werden  $8 \times 10$  cm große Neschenfolien (Dicke S 75) zur Sicherung herangezogen. Mit einer Folie kann ein vorher festzulegender Bereich durch mehrfaches Andrücken auf den Spurenläger abgeklebt werden. Die Folie ist mitsamt des abgenommenen Spurenmaterials in die unbeschriftete Innenseite einer entsprechend großen Klarsichtfolientüte mit Klemmverschluss einzukleben. Eine Kennzeichnung dieser neu angelegten Spur in Hinblick auf Datum, Sicherungsraum und Lage am Gegenstand, sichernde Person, Gesamtzahl der Folien usw. hat zu erfolgen. Nur so kann auch vor Gericht nachgewiesen werden, dass eine Spurensicherung ordnungsgemäß erfolgt ist und dass keine nicht tatbedingte Faserübertragung in den Laboren stattgefunden hat.

Diese Methode wird auch angewandt, wenn Personen z.B. in einem Fahrzeug entführt und oder missbraucht worden sind. Ein geschulter Mitarbeiter des Erkennungsdienstes klebt dann in Schutzkleidung das Fahrzeug innen inkl. Koffer- und Fußraum ab, ein zweiter Kollege sichert z. B. bei der Vernehmung die Kleidungsstücke des Opfers, die hernach im Labor des KTI's separat abgeklebt werden. Daraufhin kann im Labor der Untersuchungsgang stattfinden, der analysiert, ob Fasern des Opfers im Fahrzeug sind und/oder Fasern des Fahrzeuges sich an die Kleidung des Opfers übertragen haben.

Bei Kapitaldelikten wie Mord weicht die textile Spurensicherung wiederum ab von den zuvor geschilderten Vorgehensweisen. Hier ist eine Sicherung in Schutzkleidung (Einmaloverall, Mundschutz, Kapuze, Einmalhandschuhe, Schuhüberzieher) unerlässlich, um das generelle und ins-

besondere das textile Spurenbild an der Leiche nicht zu verwischen. Auch hat eine textile Spurensicherung direkt vor Ort an der Leiche zu erfolgen: Die tote Person wird bei unveränderter Fundlage bereichsweise mit Hilfe der Folien abgeklebt. Dabei ist je nach Delikt vorzugehen: Bei einem Sexualdelikt ist der Genitalbereich verstärkt in die Spurensicherung einzubeziehen. Unabdingbar sind jedoch Folienabzüge von den Handinnenflächen, Gesicht, bei Strangulationsmerkmalen vom Hals usw. Hier ist jedoch Rücksicht zu nehmen auf andere Spuren. Wird erkennbar, dass das Opfer mit Händen erdrosselt worden ist, sollte eine textile Mikrospurensicherung am Hals zu Gunsten einer DNA-Untersuchung unterbleiben. Gleiches gilt auch bei der Untersuchung von „Schusshänden“, bei denen eine spezifische Foliensicherung von Schmauchpartikeln an der Hand für den Tathergang aussagekräftiger ist als das mögliche Faserspurenauftreten. Das beeinträchtigt aber eine textile Untersuchung kaum bzw. nicht, denn Faserspuren finden sich bei einem Tathergang nicht nur ausnahmslos an Händen, Hals oder anderen eng begrenzten Körperpartien. Vielmehr verteilen sich die textilen Mikrospuren auf den gesamten Körper und Tatort in einer so unterschiedlichen Konzentration und Zusammensetzung, dass hieraus später sehr zeitaufwändig ein Spurenbild erarbeitet werden kann. Dies kann umso beweismächtigender interpretiert werden, da aufgrund der Arbeit in Schutzkleidung kein nicht deliktbedingtes Fremdmaterial übertragen worden ist.

Vorausgesetzt werden muss natürlich, dass auch die anderen tatortberechtigten Spurensicherer Schutzkleidung tragen, wie etwa Rechtsmediziner, Staatsanwaltschaft, Ermittler usw. Selbstverständlich sind von den Textilien der ersten Personen am Tatort (Finder der Leiche) Informationsfolien zu ziehen, damit der Sachverständige im Labor unterscheiden kann, ob die Fasern von der Leiche und von Tatunbeteiligten kommen oder ob sie offensichtlich tatrelevant sind.

Auch gehört zu einer textilen Sicherung die Abnahme von Fasern an möglichen Tatwerkzeugen wie Messern, Hämmern, Schwertern usw. im Labor. Dabei müssen teilweise Griff und Schneide separat abgesucht werden: Die Antragsungen am Griff geben Hinweise auf den Besitzer des Messers (evtl. Täter), die Auflagerungen an der Schneide werden abgeglichen mit den Materialien der beschädigten Kleidungsstücke der Opfer (evtl. Tatwerkzeug). Auch die hieran entstandenen Defekte lassen gut auf das verursachende Werkzeug schließen. Da diese Spurensicherung wie üblich in Schutzkleidung erfolgt, wird im LKA NI die Abnahme der Fasern vor der Asservierung der DNA-Spuren durchgeführt.

Mitunter treten bei der Spurensicherung auch textile Abdruckspuren auf, z. B. wenn Socken über den Sohlen zur Vermeidung von Schuhspuren getragen worden sind. Die Muster werden als solche identifiziert und mit vorgelegten Textilien von Tatverdächtigen abgeglichen. Ein Mordopfer

in einer Sickerklärgrube eines Asylantenheimes war u. a. in ein Bettlaken gehüllt, das einen ganz außergewöhnlichen Textilabdruck aufwies, der sich offensichtlich durch Feuchte an das Laken dauerhaft übertragen hatte. Bei einer Hausdurchsuchung des Heimes konnte das abdruckverursachende Textil als Matratzenüberzug bei dem späteren Angeklagten angetroffen werden. Der vor Gericht dargestellte Videoabgleich zwischen Spur- und Vergleichsabdruck war ein wichtiges Indiz, das auch in die Urteilsbegründung maßgeblich mit einfluss.

Aufgrund von Erfahrungen in der forensischen Untersuchung von Textilien sind auch Kenntnisse über textile Bindungen, Faltenbildungen an Textilien und herstellungsbedingten Besonderheiten hier vorhanden. So werden Videosequenzen der Überwachungskameras von Tätern nach Raubüberfällen, EC-Kartenbetrug und ähnlichen Delikten verglichen mit Kleidungsstücken eines Beschuldigten. Ist die Aufnahmequalität gut, können teilweise noch wichtige Details, wie z. B. Bindungsverläufe oder Musterecksabsätze in den Kleidungsstücken erkannt und zugeordnet werden. Teilweise sind auch individuelle Änderungen an den Textilien erkennbar (zusätzliche selbst aufgenähte Taschen, Rissdefekte usw.), die eine nahezu 100-prozentige Überführung des Täters erlauben (Nehse u. Wendt 2002). Auch hat sich gezeigt, dass sich z. B. Jeanshosen hinsichtlich der Herstellung der Gesäßpartien (Taschenformen, Nähte, Muster, Etikettierung) mannigfaltig unterscheiden (Kohlhof 1999). Treten dann noch individuelle abriebbedingte Aufhellungen des Stoffes durch das Tragen von Gegenständen in den Taschen auf, lassen sich auch hier Zuordnungen vornehmen. In diesen Untersuchungsbereich fallen auch Abgleiche von bei Beschuldigten gefundenen, hochwertigen Orientteppichen mit dem Photomaterial der textilen Flächengebilde des Geschädigten. Durch die manuelle Knüpfung ist jede Ware ein Unikat und kann somit 100-prozentig identifiziert werden (Kunkel 1980).

### 2.2.2

#### **Sicherung von Bodenspuren**

Bei vielen Deliktarten kommt ein intensiver Kontakt von Personen, Gegenständen, Fahrzeugen oder Werkzeugen usw. mit Bodensubstanzen vor. Ist ein Täter z. B. nach dem Einbruchsdiebstahl über ein Rosenbeet gelaufen, hat er sich wahrscheinlich entsprechendes Bodenmaterial an seine Schuhe in das Profil und/oder an das Oberleder aufgelagert. Hat eine Vergewaltigung auf einem frisch gepflügten Acker stattgefunden, weist das Opfer im rückwärtigen Bereich massive Bodenpartikel auf, die direkt in das textile Gewebe eingerieben worden sind. Sogar innen zeigt der Slip entsprechend faltig aufgetragene Einlagerungen.

Als weiteres Beispiel sei ein angetrunkener Autofahrer aufgeführt, der sein Fahrzeug in einen Graben fährt, bei der Polizei aber einen Diebstahl des Kfz anzeigt. Seine Schuhe und Hose sind aber so stark verschmutzt, dass den Kollegen vor Ort der Verdacht kommt, der Halter habe seinen PKW selbst verunfallt.

Mit Boden versehene Schaufeln und andere Werkzeuge fallen den Ermittlern bei einer Hausdurchsuchung auf und können den Verdacht erhärten, dass der Beschuldigte seinen in einem Meter Tiefe gefundenen toten Angehörigen eigenhändig vergraben hat. In allen diesen Fällen lassen sich die angetragenen Bodensubstanzen, die vielfach auch noch mit Beimengungen wie Holz, Vegetationsmaterial (Rosenstacheln s. oben), Federn, anthropogen bedingten Teilen (Glas, Schweißperlen, Lack o. ä.) durchsetzt sind, erfolgreich mit Vergleichsbodenproben vom Tatort, Fluchtweg, Unfallort, Vergrabungsort usw. abgleichen.

Die Spurensicherung ist in Niedersachsen für die Kollegen vom Erkennungsdienst relativ einfach: Die entsprechend verschmutzten Kleidungsstücke bzw. Gegenstände müssen asserviert und soweit noch feucht, luftgetrocknet werden. Um den Verlust von Boden beim Trocknen zu vermeiden, sollten die Beweismittel auf Fließpapier o. ä. ausgebreitet werden. Abgefallenes Bodenmaterial wird von der Unterlage separat in Folientüten verpackt. Die Asservate selbst werden dann eingetütet (Kleidung und auch Schuhe einzeln in Kunststofftüten) und ins hiesige biologische Labor des LKA mit detailliertem Untersuchungsantrag eingesandt. Hier erfolgt dann, evtl. nach einer Nachtrocknung, eine entsprechende Abnahme der Bodensubstanzen. Da Boden im feuchten Zustand eine wesentlich dunklere Farbe aufweist, werden nach einer Trocknung auch geringfügige Farbabweichungen oder Korngrößenunterschiede innerhalb der Antragsungen bereits mit bloßem Auge erkennbar. Das ist der Grund, warum erst zu diesem Zeitpunkt die Bewertung der Spurenlage erfolgt: Sind, wie z. B. bei der oben geschilderten Vergewaltigung, auch die Substanzen unter Druck, also tatbedingt, in das textile Gewebe eingerieben worden? War das Opfer tatsächlich teilweise bei der Tat entkleidet? Lassen sich Menge und Lage der Bodenverschmutzungen mit der Schilderung der Zeugin in Einklang bringen? Die Auflagerungen von den Textilien und Gegenständen werden je nach Lage und makroskopisch erkennbaren Farb-, Korngrößenunterschieden und anderen Variablen separat in Petrischalen (je nach Untersuchungserfordernissen in Glas oder Kunststoff) abgenommen und lufttrocknend aufbewahrt. Dabei ist es äußerst hilfreich, eine phototechnische Dokumentation der Lage, der Menge und Ausbreitung der Antragsungen vorzunehmen. So haben Vergewaltiger in der Regel in den Knieeregionen, Ellenbogenbereichen usw. auf ein Sexualdelikt hinweisende Bodenverschmutzungen.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Untersuchungsbereich die Entnahme von Vergleichsbodenproben zu. Da sich ein Boden bereits auf wenigen Metern in der Farbe und Zusammensetzung, in den Beimengungen von Vegetation, Tierhaaren, Kot, Düngesubstanzen usw. häufig verändert, müssen immer etliche Vergleichsproben eingesandt werden, die diesen auch kleinflächigen Variationen Rechnung tragen. Unbedingt ist zu berücksichtigen, dass der Vergleichsboden aufgrund seiner Restfeuchte bei der Sicherung in aller Regel dunkler ist als das bereits asservierte Spurenmaterial. Die Abweichungen kann vor Ort nur ein erfahrener Untersucher einschätzen, das sind in der Regel Laborpersonal und Sachverständige der „Allgemeinen Biologie“ der LKÄ. Diese Unterstützung vor Ort wird von den Dienststellen in schwierig gelagerten Fällen gerne in Anspruch genommen. Bei der Vergleichsbodenentnahme reicht es aus, zwei bis drei Esslöffel pro Probe in eine Kunststofftüte oder in eine Fotodose zu verpacken und diese ins LKA zu senden. Der Boden wird im Labor getrocknet, auf dem Transport erfährt er keine erkennbare Veränderung durch Schimmel oder Gärprozesse. Stets ist anzuregen, lieber zu viele Vergleichsproben als zu wenige zu nehmen. Eine Beweisführung ist nur schwer durchzuführen, wenn die einzige asservierte Vergleichsbodenprobe nicht mit den Spurenantragungen übereinstimmt, obwohl, wie sich später durch andere Sachbeweise oder Geständnis herausstellt, der Beschuldigte der Täter gewesen ist. Die Vergleichsprobenentnahme sollte in einem engen zeitlichen Rahmen zur Tat stehen, da sich Böden in ihrer Beschaffenheit durch Witterungseinflüsse, Düngung (Gülle), Grabungen (Verlegen eines Erdkabels) usw. stark verändern.

Bei Bodenabgleichen mit Antragungen von vergrabenen Gegenständen und Leichen ist zu berücksichtigen, dass ein gewachsener Bodentyp in der Regel eine horizontale Schichtung aufweist. Dies muss bei einer Vergleichsbodenprobenentnahme so berücksichtigt werden, dass von jeder Zonierung Proben zu asservieren sind.

Von Bedeutung für die Beweisführung sind auch Spurenabnahmen an einer Leiche selbst, die vor bzw. während der Obduktion mit Pinsel, Spatel oder ähnlichen Hilfsmitteln zu sichern sind. Mitunter handelt es sich bei Bodenverschmutzungen am Toten um Anhaftungen von Mineralpartikeln, die sich in der Luftröhre, Mund usw. befinden. Auch mit Boden durchsetzte Schleifspuren z. B. am Gesäß oder an den Fersen ergeben mitsamt den anderen Auflagerungen wichtige Hinweise darauf, ob der Fundort eines Toten der Tatort gewesen ist und ob der vom Beschuldigten angegebene Tatablauf mit dem Spurenbild konform geht.

Abgefallene Bodensubstanzen von Schuhen, Reifen usw. an Tatorten bieten gute Vergleichsmöglichkeiten mit später aufgefundenen bodenverursachenden Gegenständen. Diese werden auf keinen Fall mit Folie gesichert,

sondern vielmehr mit einem Pinsel auf eine kleine Schaufel oder einen Spachtel überführt und in eine Folientüte geschüttet.

Manche Zeitgenossen stehlen aus Paketen deren wertvollen Inhalt. Damit dies zunächst nicht auffällt, wird der entstandene Gewichtsverlust mit Boden/Steinen ausgeglichen, ebenfalls eine lohnende Aufgabe für vergleichende Untersuchungen mit Proben aus dem Umfeld eines Beschuldigten.

Bei den Antragungen von Fußmatten aus Fahrzeugen handelt es sich in aller Regel um ein Sammelasservat. Hier sind in einem längerem Zeitraum Mineralpartikel durch den ständigen Gebrauch eingetragen worden. So wird typischerweise Basaltsplitt als Streumittel oder Fußwegbelag immer angetroffen. Nur wenn das Gefährt kurz vorher gereinigt wurde oder sich auffällige, lehmige Brocken finden lassen, die noch nicht zertreten worden sind, können gezielte vergleichende Analysen Erfolg haben. Bodenverschmutzungen an Reifen, Kotflügeln und Unterböden haben durch Überfahren verschiedener Bodenarten vielfach einen schichtartigen Aufbau. Hier sollte die Spur in größeren Teilen so abgenommen werden, dass der Schichtaufbau auch noch separat untersucht werden kann.

Vom Delikt her vielfach gering aber vom Untersuchungsaufwand erheblich ist der Nachweis von Pflanzendiebstählen. Teilweise sind davon Gärtnereien bzw. Baumschulen in großem Umfang betroffen, sie sind jedoch auch Ursache von nachbarschaftlichen Streitigkeiten. Bei einer derartigen Tat werden zunächst die Pflanzen vom Beschuldigten im Original asserviert und hieran schichtweise von außen nach innen die einzelnen Bodenlagen abgetragen. Diese werden dann abgeglichen mit dem Material an den noch verbliebenen Pflanzen aus der betroffenen Gärtnerei/Baumschule/Nachbar. Dazu gehören noch zusätzliche neutrale Bodenvergleiche vom Geschädigten und des Beschuldigten. Es ist erstaunlich, wie die Kombination dieser verschiedenen Untersuchungsbefunde schlussendlich zur Aufklärung einer derartigen Straftat beiträgt, teilweise sind in Spur und Vergleich auf den Millimeter genau noch die quadratischen Wurzelformen zu erkennen, die durch die Anzuchtbedingungen (z. B. Jiffy-Pots) der mittlerweile stark gewachsenen Vegetation entstanden sind.

### 2.2.3

#### **Sicherung von Tierhaaren, Vegetation und weiteren allgemeinen biologischen Spuren**

Wildunfälle treten recht häufig auf ländlichen Straßen zu jeder Jahreszeit auf. Auch hier ist die kriminelle Energie eines Bürgers mitunter so ausgeprägt, dass er einen Fahrfehler z. B. bei Glatteis durch seine Versicherung regulieren lassen will, indem er einen Unfall mit einem Tier (jagdbares Wild) vortäuscht. Meist werden diese Unfälle durch Kollegen der Polizei-

stationen bearbeitet, die wenig mit Spurensicherungen zu tun haben. Aus diesem Grund muss in solchen Fällen immer darauf hingewiesen werden, dass die Sachverständigen der LKÄ auch Beratungsfunktionen haben und für telefonische Nachfragen bei Unklarheiten vor Ort dankbar sind. Denn es kommt in diesem Fall auf die genaue Lage der Haare am Fahrzeug an. Sie sollten daher auch fotografisch gesichert werden. Die Haare selbst sind mit einer breiten Pinzette (Haare nicht quetschen) in Papiertüten einzupacken, damit sie durch eine mögliche Restfeuchte bei einer längeren Lagerung nicht schimmeln. Dies gilt selbstverständlich auch für Federantragungen, die nicht nur bei einem Überfahren einer Gänsefamilie unterm Fahrzeug auftreten, sondern auch an einem Messer kleben können, mit dem eine schlafende Person durch eine Bettdecke hindurch erstochen wurde (Heimtücke).

Haarspuren von Tieren treten auch durchaus bei Kapitaldelikten auf. In der Regel sind sie als Beigabe der Mikrospuren auf den Spurensicherungsfolien zu erkennen (Inhülsen 2001). Es ist zu berücksichtigen, dass in ca. 20% der deutschen Haushalte ein Tier lebt. So lässt sich mit derartigen tierischen Antragsungen der Beweiswert textiler Mikrospuren noch weiter erhöhen. Andererseits sind die Haare auf den Folien besser und schneller zu identifizieren als Fasern, so dass man recht zeitnah einen in Frage stehenden Kontakt zweier Personen zunächst mit einer Tierhaaruntersuchung abklären kann. Nicht zuletzt geben auch Pelzmäntel und Teppiche Haare von Kamel, Ziege, Alpaka, Schaf usw. ab, deren Untersuchung sich durchaus lohnt. So konnte ein Serien-Autoaufbrecher dadurch überführt werden, weil an jedem aufgebrochenen Fahrzeug gebleichte Ziegenhaare gesichert wurden, die seinem (seltenen) Ziegenfellmantel zuzuordnen waren.

Vergleichshaarproben von (lebenden) Tieren und Pelzen müssen dem Auftreten verschiedenen Haarlängen, Farben und Typen (Grannen- und Wollhaare) gerecht werden. Es sind vollständige Haare mit Wurzel und Spitze vorzulegen, die jede Partie des Tieres berücksichtigen. Am besten gelingt die Entnahme eines Vergleiches durch Auskämmen des Tieres, was der Halter selbst vornehmen sollte. Auch wenn das Spurenmaterial nur aus wenigen Exemplaren besteht, braucht der Sachverständige einen Überblick über die Varianz des Haarkleides, um Aussagen im Gutachten treffen zu können.

Vielfach sind Bodenspuren durchsetzt mit vegetativen Beimengungen, wie etwa Blattfragmenten kleinster Art, Holzpartikeln, Algen, Flechten, Pilzen, pflanzlichen Samen usw. Überwiegt der Bodenanteil an derartigen Beimengungen, so sind sie, wie in Kap. 2.2.2 aufgeführt, zu asservieren. Liegen sie separat vor (z. B. an Unfallfahrzeugen bei angefahrenen Bäumen, Sträuchern, Zäunen), sind diese Asservate in Papiertüten einzusenden, da ansonsten bei dem hohen Feuchtigkeitsgehalt des pflanzlichen Gewebes die Gefahr der Schimmelbildung besteht. Das Vergleichsmaterial sollte

hinsichtlich der Menge und Zusammensetzung umfangreicher sein und ebenfalls in Papiertüten verpackt werden.

Bei (vorgetäuschten) Einbrüchen werden vielfach Werkzeuge wie Bohrer, Schraubendreher, Brechstangen eingesandt, die noch intensiv angefragene Mikroholzspäne zeigen. Hier ist das Asservat im Original einzuschicken, eine Spurenabnahme geschieht im Labor. In der Regel gehört hierzu auch entsprechendes Vergleichsmaterial von Türen, Fenstern o. ä., um nach einer Bestimmung der Antragungen auch entsprechende Zuordnungen zum verursachenden Material machen zu können. Als Kuriosum am Rande sei erwähnt, dass nach Auflösung des Streichholzmonopols nunmehr auch andere Hölzer zur Herstellung herangezogen werden als Pappel- und Weidenholz, so dass bei Brandstiftungen der Abgleich zwischen Tat- und Beschuldigtenzündhölzern wieder an Beweiskraft gewinnt.

Profunde Kenntnisse der Holzanatomie waren auch hilfreich, als es um eine Begutachtung von hölzernem Stehlgut ging. Es galt, einen Schrank (im Original) bei einem hoch angesehenen Antiquitätenhändler im norddeutschen Raum zu vergleichen mit einem Photo vom Frankfurter Wellenschrank, der einem pensionierten Lehrer gestohlen worden war. Die Maserung der kleinflächigen Wurzelholzteile war in ihrer Kombination so einmalig, dass kein Zweifel bestand, dass der unter massivem Aufwand aufgearbeitete Schrank vom Händler dem Bestohlenen gehört hat. Die Restaurierung war so gelungen, dass der Geschädigte sein Eigentum zunächst nicht wiedererkannt hatte.

Die Kenntnisse der mikroskopischen Bestimmung von Pflanzenfragmenten (Gassner et al. 1989) führen auch dazu, dass man aus der Untersuchung eines Mageninhaltes vom Toten Rückschlüsse auf den Todeszeitpunkt schließen kann. Hierbei werden die Bestandteile des Magens bei der Obduktion gesichert, gewogen und eingefroren, um dann für die späteren Untersuchungen wieder aufgetaut und abgeglichen zu werden mit der zuletzt bekannten eingenommenen Mahlzeit des Opfers.

Ist man als biologischer Sachverständiger selbst am Leichenfundort, können die Vergeilungen der Pflanzen unterhalb der lagernden Leiche Ausschlag über eine Leichenliegezeit geben (Bickel 1993). Auch ist zu berücksichtigen, dass in der Natur abgelagerte Gegenstände/Leichen Zweige oder kleinere Bäume aus ihrer ursprünglichen Wachstumsrichtung herausbringen und eine Ausrichtung der Blätter und des Zweiges erst nach einer gewissen Zeit wieder eintritt. Die entomologische Untersuchung der Besiedlung einer Leiche mit Insekten wird wegen des Aufwandes und der Spezialisierung von den meisten LKÄ nicht durchgeführt, die einschlägigen Institute für Rechtsmedizin in Hamburg und Frankfurt nehmen diese Aufgabe wahr. Bei einer fachgerechten Sicherung können die Biologen des Amtes unterstützen, wenn die eigentlichen Fachleute vor Ort nicht greifbar sind.



Generell sollten die Spurensicherungen fotografisch mit entsprechendem Maßstab festgehalten werden, damit auch vor Gericht das Vorgehen bei der Asservierung dokumentiert werden kann. Vielfach wird von den Erkennungsdiensten bereits routinemäßig eine Videodokumentation vorgenommen.

Unabdingbar ist weiterhin eine detaillierte Auflistung der Spuren und die Erstellung eines zielgerichteten, nachvollziehbaren Untersuchungsantrages der jeweiligen Dienststelle mit ausreichender Sachverhaltsschilderung. Speziell im Qualitätsmanagement (QM) geschulte Kollegen der örtlichen Erkennungsdienste überprüfen noch einmal die beantragte Untersuchung, ehe dann per Post oder per Kurierfahrzeug der Polizei die Asservate mit Antrag an die Annahmestelle des KTIs weitergereicht werden. Hier werden die Beweisstücke elektronisch erfasst und den jeweiligen Fachgruppen unter Beachtung der allgemeinen Gesetzeslage zugeordnet: Menschliche DNA-Untersuchungen dürfen (bei Nichteinverständnis eines Beschuldigten mit richterlichem Beschluss) nur beantragt werden, wenn die Namen der Opfer und Beschuldigten mit Vornamen, erstem Buchstaben des Nachnamens sowie des Geschlechtes und Geburtsjahres verschlüsselt worden sind. Parallel zur originären Weitergabe der Asservate mit Untersuchungsantrag werden auch elektronisch die Spuren an die zu bearbeitenden Fachgruppen und schließlich dem jeweils zu bearbeitenden Sachbearbeiter zugeteilt. Dies ermöglicht eine lückenlose Darstellung einer Asservaten- und Bearbeitungshistorie. Gerade nicht in Bearbeitung befindliche Spuren werden pro Fachgruppe in verschlossenen Asservatenräumen aufbewahrt. So haben auch in der Asservaten- und Vorgangsverwaltung QM-Maßnahmen in der Kriminaltechnik Fuß gefasst.

## 2.3

### **Untersuchungsmethoden der allgemeinen forensischen Biologie und deren Beweiswert**

Die in der Fachgruppe eingehenden textilen und biologischen Spuren sind relativ vielfältig in Größe und Art (Textilien, Fahrzeugteile, Werkzeuge, Folienabzüge u. v. a. m.). Häufig handelt es sich um Untersuchungen von Mikrospuren, die erst im Labor gesichert werden können und die nur unter Lupenbetrachtung und mit Hilfe verschiedenster mikroskopischer Verfahren beweiswürdigend zu identifizieren sind. Die angewandten, vielfach von und für die KT entwickelten Analyseverfahren tragen diesem Umstand Rechnung. Das ist auch der Hauptgrund, warum in der Regel auf diesen Arbeitsgebieten andere Institutionen als die polizeieigenen Labore derartige Untersuchungen nicht durchführen. So konnten wir die Ursache von Kurzschlüssen in Hochspannungs-Erdkabeln in Schleswig-Holstein

auf das Auftreten von Viskosefasern zurückführen, die bei der Herstellung in die Kunststoffisolierung gelangt waren. Da diese Fasern eine erhebliche Menge an Feuchtigkeit aus dem Boden aufnahmen, musste es zu den schwerwiegenden Ausfällen des Netzes kommen.

Zusammenfassend sei festgehalten, dass die in der Forensik angewandten Analysemethoden folgenden Erfordernissen gerecht werden müssen:

- Sie müssen der Kleinheit der Spuren in der Sicherung und Auswertung angepasst sein.
- Sie zerstören kein noch so kleines Untersuchungsmaterial und erlauben daher Analysen durch Zweitgutachter.
- Sie können auch Mikrospuren mit der geforderten Sicherheit beweiswürdig differenzieren und identifizieren.
- Sie erlauben aufgrund der angewandten vergleichenden Analysen eine hohe Zuordnung zu eingesandtem Vergleichsmaterial.
- Sie sind naturwissenschaftlich abgesichert, objektiv und entsprechen (inter)nationalen Standards.
- Sie sollen, wie vom Gesetz vorgegeben, auf dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik sein.

Die Untersuchungsverfahren sind in den letzten Jahrzehnten bundesweit in den LKÄ und dem BKA angeglichen worden, so dass ein einheitlicher Untersuchungsstandard gegeben ist. Eine Weiterentwicklung geschieht in der Regel durch die kriminaltechnischen Institute selbst. Nicht oft genug kann hervorgehoben werden, dass diese objektiven Untersuchungsmethoden mit ihrer Bewertung sowohl zu einer Be- als auch zu einer Entlastung von Beschuldigten und Angeklagten führen.

Im LKA NI wird in der Fachgruppe Textil/Boden/allgemeine Biologie das gesamte biologische Material untersucht, das nicht Gegenstand der Humangenetik ist. Somit kommt ein recht umfangreiches Beweissortiment zur Untersuchung. Gerade bei der mikroskopischen Durchsicht fallen mitunter andere Spuren auf, die bisher aufgrund ihrer Kleinheit noch nicht erkannt und somit bei Untersuchungsanträgen auch nicht erwähnt werden konnten. Hier ist es ebenfalls Aufgabe des Sachverständigen und der Mitarbeiter im Labor, die Asservate für eine weitere zielgerichtete Untersuchung an andere Fachgruppen des Hauses nach Rücksprache mit der beantragenden Dienststelle zu überweisen. Als Beispiel seien hier kleinste Lackpartikelchen genannt, die bei der Faseruntersuchung auf dem Autositz auffielen (Halter war Pulverbeschichter in einer Lackiererei). Der mutmaßliche Dieb des Fahrzeuges hatte entsprechende Lackpartikel ebenfalls an seiner Kleidung, so dass neben der beantragten Faser-

untersuchung noch eine chemische Analyse der Farbspuren erforderlich wurde.

Die in den folgenden Kapiteln angeführten Untersuchungsverfahren arbeiten z. Z. nicht mit einem Beweiswert, wie er bei den humanen DNA-Untersuchungen statistisch abgesichert ist. Die aufgeführten Methoden können zwar sehr gut differenzieren, aber über das prozentuale Vorkommen eines Birkenblattes, das Auftreten einer bestimmten Polyesterfaser, dem Erscheinen von Glimmermineralien oder eines Bernhardinerhundehaares liegen keine statistischen Angaben vor. Der vom Sachverständigen abgeleitete Beweiswert beruht daher auf den in den einzelnen Untersuchungspunkten angegebenen Grundlagen, die sich in der Regel auf die Kombination der verschiedenen Analyseergebnisse oder unterschiedlicher Spurenarten beziehen.

### 2.3.1

#### **Untersuchung und Würdigung textiler Spuren**

Die am Tatort gesicherten Makrospuren sowie die mit Folie asservierten Mikrospuren müssen für die Durchlichtmikroskopie zunächst auf Objektträger abpräpariert werden. Ist kein Vergleichsmaterial vorhanden, weil gegen Unbekannt ermittelt wird, können Art, Farbe und Häufung der Fasern der Dienststelle mitgeteilt werden. Hier wird auch in einem Gutachten aufgeführt, welche Kleidungsstücke aufgrund einer generellen Materialzusammensetzung möglicherweise als Verursacher dieser Spuren in Frage kommen, so dass bei Hausdurchsuchungen gezielt textile Flächengebilde sichergestellt werden können. Dabei muss man wissen, dass blaue, schwarze und rote Baumwollen in dieser Reihenfolge das zahlenmäßig größte Aufkommen im Spurenmaterial haben (Watt u. Roux 2005). Je seltener eine Faser daher ist, umso effektiver sind die Hinweise des Labors an die Dienststellen.

Ist Vergleichsmaterial zu den asservierten Spuren vorhanden, wird eine mikroskopisch vergleichende Untersuchung erforderlich. Zunächst werden bei hoher Lupenbetrachtung mögliche übereinstimmende Fasern von den Folien oder anderen Spurenträgern abgenommen, auf Objektträgern präpariert und dem entsprechenden Vergleichsmaterial mikroskopisch gegenüber gestellt. Eine Vergleichseinrichtung besteht aus zwei Mikroskopen derselben Herstellungscharge, die über eine mikroskopische Brücke verbunden sind. Es sollte neben dem üblichen Hellfeld und Durchlicht mit Polarisation, Phasenkontrast, Fluoreszenzauflicht, Dunkelfeld, Fluoreszenzkontrast ausgerüstet sein, damit bereits bei dieser ersten vergleichenden Untersuchung auf eine weitgehende Übereinstimmung hin abgeglichen werden kann. In diesem Arbeitsschritt wird auch die Morphologie der

Faser mit Querschnitt, Oberflächenstruktur, Mattierungseinlagerungen, Beschädigungen usw. mit berücksichtigt. Dieser Analysegang kann sehr zeitaufwändig sein. Untersucht man z. B. bei einem Sexualdelikt die Textilien des Opfers und eines Beschuldigten im Hinblick auf eine gegenseitige textile Faserübertragung (inkl. Unterwäsche), fallen hier ohne weiteres 30 bis 40 Folienabzüge mit ca. zehn Vergleichsmaterialien an. Allein die epimikroskopische Absuche einer einzigen Mikrospurenfolie auf drei bis fünf Faserarten hin dauert mitunter mehrere Stunden.

Es ist erstaunlich, welche Varianz von unterschiedlichen Kunst- und Naturfasern in Material und Morphologie auftritt. Zum einen besteht die Möglichkeit der Bedruckung, der Färbung bei Kunstfasern im Herstellungsprozess (spingefärbt), es liegen die unterschiedlichsten Querschnitte (rund, hantelförmig, sternförmig, Mantelkernfaser usw.) und Breiten vor. Es treten Hohlfasern auf, neue Faserkunststoffe werden entwickelt (z. B. Lyocell). Bei der Ausrüstung werden Veränderungen vorgenommen, u. a. bei den optischen Aufhellern, Imprägnierung mit Antitranspirantien, Ummantelung mit wasserabstoßenden Mitteln usw. Bereits mit diesen einfachen Hilfsmitteln hätte man Anfang der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts ohne weiteres die vermeintlichen Hitlertagebücher sofort als Fälschung entlarven können, denn die Einbindung der Bücher ist mit Polyestergerüst vorgenommen worden. Diese Kunstfaser ist aber erst nach dem 2. Weltkrieg großtechnisch hergestellt worden. So hat die Abklärung der Graphologen und Historiker Monate gedauert, ehe sie zum selben Ergebnis kamen (Steinke 1984). Sehr gute Einführungen in diese Methodik der weitergehenden Faseranalysen bietet folgende Literatur: Petraco u. Kubic (2004), Robertson u. Grieve (1999), Schlegelsberger (1999), Koslowski (1998), Rouette (2003), Freund (1972).

Nach dem morphologischen Abgleich schließt sich nun eine mikrospektralphotometrische Farbmessung (Transmissions- oder Absorptionsspektren) der Einzelfasern (immer Spur und Vergleich) im sichtbarem und überwiegend auch im ultravioletten Bereich an (250 bis 800 nm). Dies ist ein sehr wichtiges Kriterium, da (bis auf indigofarbene und schwarze Baumwollfasern) das Material vom Färber/Drucker zumeist mit einer speziellen Farbmischung pro Charge koloriert wird. Bei der Untersuchung im Mikroskopphotometer werden die einzelnen Komponenten erkennbar. Mitunter kann es auch angebracht sein, die Farben dünnschichtchromatographisch von Einzelfasern darzustellen, was insbesondere bei dunklen Schafwollfasern gut gelingt (Jenne 1981). Die früher mit Gittermonochromatoren arbeitenden Photometer werden heute zunehmend durch nach meiner Einschätzung nicht mehr ganz so exakt aber dafür schneller arbeitende Dioden-Array-Photometer ersetzt.

Eine Materialanalyse ist bei Wollfasern und Baumwollanteilen bereits allein anhand der Mikromorphologie gegeben, bei Kunst- und auch bei

manchen Naturfasern (Sisal, Jute usw.) besteht die Möglichkeit einer Vor-diagnose im Polarisationsmikroskop (Sommer u. Winkler 1960). Dies muss jedoch durch andere Untersuchungsverfahren verifiziert werden. Hierzu eignet sich insbesondere die Infrarotspektroskopie: die Fasern werden leicht gequetscht, auf einer Lochplatte fixiert und im IR-Mikroskop direkt vermessen. Gerade bei Kunstfasern, die Copolymerisate enthalten, ist eine sehr gute Differenzierungsmöglichkeit gegeben (Grieve 1995). So lassen sich bei Polyacrylnitrilfasern etliche Untergruppierungen nachweisen. Auch Raman-Spektren zeigen bei ersten Analysen Erfolge für eine weitere Differenzierung der Fasern (Thomas et al. 2005, Jochem u. Lehnert 2002). In einem hochwertigen Polarisationsmikroskop kann mit Hilfe von Kompensatoren auch der Gangunterschied einer Faser ebenso bestimmt werden wie deren optische Eigenschaften (positiv oder negativ, s. auch Petraco u. Kubic 2004).

Teilweise wird die Rasterelektronenmikroskopie zur Darstellung besonderer Effekte der Ausrüstung von Fasern herangezogen, Beschädigungen lassen sich hiermit ebenfalls sehr plastisch abbilden. Auch eine 100-prozentige Passspur zwischen der Nylonschnur aus der Tasche eines Beschuldigten und der Schnur aus dem Spielautomaten, an der eine Münze befestigt war (Trickbetrug), ließ sich im REM gut darstellen.

Neben diesen zerstörungsfreien Verfahren kommen mitunter auch noch zerstörende Untersuchungsgänge zum Einsatz. So kann an Kunstfasern mit einem Heitztischmikroskop unter Zuhilfenahme einer Polarisations-einrichtung der Schmelzbereich bestimmt werden. Das optische Verhalten bei dieser „thermischen Depolarisation“ wird gleichfalls zur Charakterisierung herangezogen (Brüschweiler u. Schach 1982). Eine Thermoanalyse (DTA oder DSC) kann Schmelzbereiche und auffälliges thermisches Verhalten aufzeigen. Sie wird angewandt, wenn ausreichend Material vorhanden ist, wie z. B. bei Vergleichen von Verschnürungsmaterial einer Leiche mit Seilen des Beschuldigten.

Gelegentlich kommen noch die Gaschromatographie (teilweise Pyrolyse-GC), die Kapillarelektrophorese und die NMR-Spektroskopie zum Einsatz, die HPLC wird in wenigen Fällen zur Identifizierung von Farbkomponenten herangezogen (Kretschmer u. Helbig 1992, Takekoshi et al. 1997).

In der Regel werden die zerstörungsfreien Verfahren routinemäßig eingesetzt, zerstörende nur bei Besonderheiten. Dieses methodische Vorgehen ist standardisiert worden, das Hauptaugenmerk wird zunehmend auf den Beweiswert bzw. die Häufigkeit und die Verteilung entsprechender Fasertypen gelegt. Von der Industrie werden aus Wettbewerbsgründen keine detaillierten Angaben über die Art und Menge einzelner Fasern, Faserstoffe, Gewebe usw. angegeben. Es liegen nur grobe Angaben über weltweite Ton-nagen, z. B. von verschiedenen Polyamiden, Polyestern, Baumwollen usw. vor. So haben Biermann u. Grieve (1996, 1998) Versandkataloge nach Faser-

art und -material durchforstet und hierüber Verteilungsschlüssel erarbeitet. Weiterhin musste dieser Forensik-Bereich eigene Kriterien erarbeiten, um den Beweiswert einer textilen Spurenanalyse aufzuzeigen: Der amerikanische Forensiker Houck (2003) hat das Mikrofaseraufkommen von 50 unabhängigen Fällen untereinander abgeglichen. Die nicht sehr beweiskräftigen (indigo-)blauen und schwarzen Baumwollfasern wurden bei der Untersuchung herausgelassen. Er kam zu dem Ergebnis, dass keine übereinstimmenden Fasern zwischen den verschiedenen Delikten vorzufinden waren. Andere Veröffentlichungen belegen, dass es sich bei Kleidungsstücken nicht, wie früher angenommen, um Massenware handelt. Auch wenn ein Textil häufig vertrieben wurde, ist die Faser dieses Kleidungsstückes innerhalb der Gesamtverteilung in der Bevölkerung und im Spurenaufkommen selten und hat demnach eine hohe Bedeutung und einen entsprechenden Beweiswert (Brüschweiler u. Grieve 1997, Woltmann et al. 1994). So kommen z. B. unterschiedlich gefärbte Kunstfasern auf Sitzen von Fahrzeugen höchstens in geringen, einstelligen Prozentbereichen noch einmal in anderen Fahrzeugen vor. Diese Werte sind für Einzelfasern ermittelt worden. Für eine unabhängige Kombination verschiedener Fasertypen ist es daher bei einer Wahrscheinlichkeit von weit unter 1% sehr selten, dass diese Zusammenstellung unterschiedlicher Faserarten noch einmal woanders erscheint (Roux u. Margot 1997).

Aus diesem Grund liegt das Hauptaugenmerk bei einer textilkundlichen (Mikro)Spurenuntersuchung in dem Auffinden verschiedener Fasertypen auch in Hinblick auf einen gegenseitigen textilen Kontakt. Dabei kommen auch Sekundärfasern zur Untersuchung und zur Wertung: Es handelt sich hierbei um Fasern, die in den Folien erscheinen, die aber nicht in den vorgelegten Textilien als Eigenmaterial auftreten. Da bei der Sicherung mit Schutzkleidung gearbeitet worden ist, stammen diese Sekundärfasern aus dem Lebensbereich des Opfers/Beschuldigten und geben somit zusätzliche Informationen bei einer kontaktbedingten Übertragung. Diese Spuren sind weitere hervorragende Mittel zum Nachweis eines textilen Kontaktes von Personen, die vorher keinerlei Beziehung hatten (Inhülsen 2001). Das verdeutlicht noch einmal, wie wichtig eine gewissenhafte Spurensicherung vor Ort ist, ohne die eine beweismächtige, langwierige Untersuchung nicht erfolgreich abgeschlossen werden kann.

Insbesondere gilt dies für die Erarbeitung von Spurenbildern und Leitfaserkonzepten, die überwiegend bei Kapitaldelikten eingesetzt werden (Neubert-Kirfel 2000, Decke 2000). Hier werden Leichen kleinflächig abgeklebt, die so erhaltenen Mikrosuren werden abgeglichen mit Informationsfolien aus dem Haus/Lebensbereich des Opfers. Bei zeitintensiven vergleichsmikroskopischen Untersuchungen werden Fasern identifiziert, die nicht aus diesem Bereich stammen und aufgrund weiterer Informationsfolien auch nicht aus dem weiteren Umfeld des Opfers herrühren können.

Sie können dann nur noch vom Täter verursacht worden sein. Diese „Leitfasern“ werden den Ermittlungsbehörden an die Hand gegeben, um gezielt Textilmaterial oder Folienabzüge bei Beschuldigten asservieren zu können. Das Labor arbeitet dann zeitnah diese Vergleiche ab, bis irgendwann Treffer erzielt werden. Da dieser Untersuchungsgang nach einem vorher genau festgelegten Konzept durchgeführt wird, sind solche Übereinstimmungen von einem enorm hohen Beweiswert. Im Jahr 2004 hat in der Mordsache Levke der Täter auf einem Parkplatz den Blouson des Entführungsopfers zurückgelassen. Die Mikrospurenuntersuchung im niedersächsischen KTI ergab, dass dieses Textil drei auffällige Fasertypen u. a. von den darunter getragenen Kleidungsstücken in erheblicher Anzahl aufwies. So war davon auszugehen, dass die drei Leitfasern bei einem Kontakt Opfer-Fahrzeug in massiver Form übertragen wurden. Mit diesem Konzept ist dann eine Vielzahl von Fahrzeugen mit relativ wenigen Folien innen abgeklebt worden. Nach etlicher erfolgloser Suche konnte dann bei einem Beschuldigten diese vorher postulierte Kombination von Fasertypen angetroffen werden, die nur mit einem Kontakt Fahrzeug/Opfer zu erklären war. U. a. mit diesem Befund konfrontiert, räumte der Beschuldigte die Tat ein. Er ist zwischenzeitlich zu einer lebenslangen Haftstrafe rechtskräftig verurteilt worden.

Bei den kriminaltechnischen Untersuchungen nimmt dieses methodische Vorgehen an Bedeutung auch in Zeiten der humanen DNA-Analytik zu, denn es gibt Tatabläufe, die nicht mit der Übertragung von menschlichen Körperausscheidungen oder -zellen einhergehen. Hierbei sind die Ermittler auf die Analyse eines textilen Kontaktes zum Nachweis einer Tat angewiesen. Da aber bei den Mikrospuren jede Faser und jeder Fasertyp einzeln individuell mit einem möglichen verursachenden Kleidungsstück abgeglichen werden muss, sind diese Analysen äußerst zeitaufwändig. Auch die Erarbeitung von Spurenbildern, die einen besonders intensiven textilen Kontakt an bestimmten Körperstellen oder Gegenständen nachweisen, sind überaus erfolgreich, aber auch übermäßig zeitraubend. Mit Faser-Suchgeräten, den Fibre-finder, können Mikrospurenfolien zwar automatisch nach bestimmten vorher eingespeicherten Faserdaten (Farbe, Dicke, Helligkeit, Länge usw.) auf übereinstimmende textile Spuren hin abgesucht werden. Dies ist zwar eine Zeitersparnis, die Abpräparation und weitere Analyse muss jedoch beibehalten werden (Bickel 1996). Andererseits ist das menschliche Auge bei der Differenzierung von Farbvarianten immer noch unübertroffen.

Zum Abschluss dieser Betrachtungen sei noch erwähnt, dass nach Körperverletzungen o. ä. auch Beschädigungen an Textilien im Hinblick auf ihre Entstehung zu untersuchen sind. Mitunter zerreißen vermeintliche Opfer ihre Kleidung und geben an, dass sie mit einem Messer angegriffen worden sind. Wiederum andere durchtrennen ihre Unterwäsche mit einer Schere und erklären diese Defekte mit der reißenden Gewalteinwirkung

eines Vergewaltigers. Aber auch Begutachtungen von Beschädigungen eines Taucheranzuges durch Schiffsschrauben standen hier schon an, als untersucht werden musste, ob das Opfer von einem Sportboot überfahren wurde.

### 2.3.2

#### **Untersuchung und Beweiswert von Bodenspuren**

Die vor Ort oder im Labor von den Asservaten abgenommenen Bodenspuren und das hoffentlich mengen- und zahlenmäßig ausreichende Vergleichsmaterial werden in Petrischalen getrocknet aufbewahrt. Mit Hilfe der Auflichtmikroskopie kann nun der erste vergleichende Untersuchungsgang für folgende bodenkundliche Kriterien durchgeführt werden: Farbe, Bodenart und -gefüge (Sand, Lehm, Ton und deren Mischformen), Belegung und Bestimmung der einzelnen Rundungsgrade der Mineralkörner sowie deren farbliche Zusammensetzung. Es schließt sich die Separierung und weitere getrennte Untersuchungen von Beimengungen an, wie Vegetation, Holz, Kot, Farbe, Fasern, Düngepartikel, Federn, Haare, Pollen, Flechten, pflanzliche Samen, Metallteile usw. Dieser erste aber sehr wichtige Untersuchungsschritt ist meist sehr entscheidend für den Fortgang der weiteren Analysen. Zeigen sich nämlich hier schon Abweichungen zwischen den Spuren und den Vergleichssubstanzen, brauchen weitere Untersuchungen nicht mehr durchgeführt zu werden. Als einführende Literatur kann auf Scheffer u. Schachtschabel (1979), Adam (1982), Schiller u. Röhm (1977) und auf sehr gute Bilddarstellungen von Petraco u. Kubic (2004) verwiesen werden.

Bestehen Übereinstimmungen in den Analysen bis zu diesem Zeitpunkt, schließt sich in der Regel eine Korngrößenanalytik an, die mit verschiedenen Methoden durchgeführt werden kann (Leschonski 1987). Bei den großen Sander- und Geestflächen Norddeutschlands hat sich eine Trockensiebung bewährt. Sie hat den Vorteil, dass die einzelnen Fraktionen separat aufgefangen und unverändert weiter untersucht werden können. Dies ist bei den anderen Verfahren der Korngrößenanalytik nur bedingt der Fall: Nasssiebung, Ultraschallsiebung, Laserbeugung. Diese Methoden verändern (Wasserspülung) und werfen teilweise das eingesetzte Material. Sie sind untereinander nicht vergleichbar, weil sie aufgrund der verschiedenen Analyseverfahren auch andere Ergebnisse erbringen. Von der Industrie werden für Trockensiebungen turmartige Systeme angeboten, die reproduzierbar die Proben dispergieren, schütteln und die einzelnen Siebfractionen auch gewichtsmäßig graphisch darstellen. Ist eine Probe (ob Spur oder Vergleich) von der Menge her zu groß, muss vorher eine Probenentzug nach wissenschaftlichen Vorgaben gemacht werden, denn man



darf auf keinen Fall davon ausgehen, dass eine größere Bodenprobe homogen ist. Hierzu sind Probenteiler im Handel erhältlich. Als weiterer Untersuchungsgang wird das magnetische Verhalten mit einem stärkeren Handmagneten überprüft. Neben den entsprechenden Mineralien werden auch anthropogen bedingte Metallrelikte wie z. B. Schlacketeile, Schweißperlen o. ä. separiert. Gerade bei Braunkohle-Kraftwerken in Ostdeutschland konnte man in Böden, die sich in der Hauptwindrichtung der Anlagen befanden, eine erhöhte Konzentration dieser Schlackepartikel nachweisen (Adam 1982). Ein weiterer Analysegang ist das Gradientenverfahren nach Kirk, in dem das Verhalten der Gesamtprobenmenge hinsichtlich ihrer Dichte überprüft wird (Schiller 1978). Die ursprünglich eingesetzten hochgiftigen Chemikalien sind heute durch verträglichere ersetzt worden.

Eine sehr wichtige Aussage erbringt die Polarisationsmikroskopie unter Hinzuziehung von Rot I (Lambda-Plättchen). Unter Einsatz von verschiedenen Dichtemedien können die Schwermineralien mit Hilfe der Becke-Linie identifiziert werden (Tröger 1969, 1982). Es wird in der Regel bei 250–400facher Vergrößerung mit Streupräparaten gearbeitet (Mange u. Maurer 1991). Hier ist eine halbquantitative Ermittlung der Verteilung von Quarz, Feldspäten und anderen Mineralien gut durchzuführen. Gerade bei den Quarzen kann je nach Einschlüssen (flüssig, fest, gasförmig) und Oberflächenbeschaffenheit auf ihre Genese geschlossen werden (Rykart 1989). In diesem Untersuchungsschritt werden auch mikroskopisch kleine Beimengungen wie Diatomeen, Phytolithe (Marumo u. Yanai 1986), Moosblattfragmente, Blau- und Grünalgen usw. erkannt und mitbeschrieben. Dabei wird in der Regel nicht bis zur Art herunterbestimmt, für vergleichende Angaben reichen durchaus auch gröbere Raster aus. Sollten jedoch auffällige Besonderheiten auftreten, die für eine Überführung eines Täters wichtig sind, würde, wie in solchen Fällen üblich, ein weiterer SV mit Spezialkenntnissen herangezogen werden. Auf Workshops, Tagungen und anderen Arbeitstreffen der „Kriminalbiologen“ haben wir Kollegen von Fremdinstituten kennen gelernt, die noch weitergehende Gutachten den Gerichten zur Verfügung stellen können.

Teilweise kann für die Darstellung von besonderen Oberflächenstrukturen auch die Rasterelektronenmikroskopie beigezogen werden. Mit dem röntgenenergie dispersiven Analyse-System wird sie auch zur Materialbestimmung von anthropogen bedingten Beimengungen wie etwa Metallteilen, Lackpartikeln und ähnlichem benötigt.

Neben diesen zerstörungsfreien Methoden können bei ausreichender Menge des Untersuchungsmaterials auch noch spurenverbrauchende Analysen durchgeführt werden. Hier seien zunächst die ionenselektiven Messungen genannt, die in wässrigen Probenauszügen Ionengehalte z. B. von Nitrat, Sulfat, Zink, Eisen, Phosphat usw. colorimetrisch bestimmen. Entsprechende Photometer mit einzusetzenden Fertiglösungen sind im Han-

del erhältlich. Bei der Ausgangslösung bietet sich zunächst die Messung des pH-Wertes und der Leitfähigkeit an.

Zum Abschluss werden noch thermoanalytische Verfahren wie die DTA (Differenzthermoanalyse) eingesetzt. Zumeist 50 mg (oder weniger) der 0,050 mm-Fraktion der Korngrößenanalytik werden auf 1 000 °C erhitzt und dabei die Temperaturdifferenz gegenüber einer gleichen Menge inertem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  aufgezeichnet. Als Beigabe wird hierbei noch die TG (Thermogravimetrie = Massenveränderung) der Probe dargestellt (Hemminger u. Cammenga 1989, Smykatz-Kloss 1974). Neuere Geräte sind mit einem Massenspektrometer oder mit einem Gaschromatographen gekoppelt, so dass auch Aussagen über die thermischen Zersetzungsprodukte der DTA gemacht werden können.

Die früher noch verwendete Röntgenbeugung oder die Emissionsspektalanalyse werden heute kaum noch zur Differenzierung von Bodenspuren herangezogen.

Die vorgestellten Analysemethoden berücksichtigen zum überwiegenden Teil die Gesamtprobe und nicht nur einzeln präparierte Teile. Das ist insbesondere deshalb ausschlaggebend, weil die Bodenantragungen und -vergleiche sich in der Regel nicht aus einer reinen Bodenart zusammensetzen, sondern sie vielmehr ein Gebilde von unterschiedlichster Zusammensetzung sind, das sich auch noch ständig durch menschlich bedingte Einwirkungen sowie Umwelteinflüsse verändert. Dies ist neben der tatbedingt geringen Spurenmenge auch der Hauptgrund, warum sich die sonst gängigen geologischen und mineralogischen Untersuchungsverfahren nicht für den forensischen Untersuchungsbetrieb eignen.

Der Beweiswert der bodenkundlichen Analyse wird vom Sachverständigen in Wahrscheinlichkeitsgraden angegeben. Haller (1981) hat nachgewiesen, dass die von uns eingesetzten Untersuchungsverfahren an 100 Bodenproben zu einer Nichtunterscheidbarkeit einer Probe zu einer weiteren (außer der richtigen) bei weit unter 1% liegt. Ähnliche Ergebnisse führen Wanagho et al. (1985) an. Eigene Untersuchungen an einem Acker zeigten, dass sich bereits kleinflächig die Untersuchungsergebnisse von Bodenprobe zu Bodenprobe unterscheiden. Es wurden zunächst rastermäßig Proben im Abstand von 10 cm, 100 cm, 10 m, 100 m diagonal und im rechten Winkel genommen. Mit zunehmendem Abstand voneinander traten auch größere Abweichungen in der Korngrößen- und Thermoanalyse auf, die auffälligsten Unterschiede wurden jedoch bei ionenselektiven Messungen erkannt. Wird nach etwa einem Jahr wiederum Probenmaterial entnommen, so können hier erhebliche Unterschiede durch Bearbeitung des Bodens, Veränderungen durch Niederschlag, Mistaufbringung usw. auftreten (Freckmann 1989, Inhülsen 1994a, Bickel 1994).

Auch japanische Arbeitsgruppen (Sugita u. Marumo 2001) bekräftigen, dass sich Böden allein mithilfe der Korngrößenanalytik und eines Farb-

vergleiches zu 99,5% diskriminieren lassen. Werden die weiteren beschriebenen Analyseverfahren zusätzlich durchgeführt, ist eine hohe Zuordnung der mineralischen Spuren zu Vergleichsböden von Tatorten gegeben, eine bis heute noch nicht überall bekannte wissenschaftlich begründete Erkenntnis.

Diese Befunde werden durch die forensische Praxis bestätigt. So war eine männliche Person angeklagt worden, einen Bekannten auf einem Parkplatz erschossen zu haben. Die Schuhe des nicht Geständigen waren mit Boden verschmutzt, vom gesamten Verlauf des Parkplatzes waren Vergleichsböden (mit Lagebezeichnung und Photos) eingesandt worden. Lediglich ein Vergleich wies eine vollständige Übereinstimmung mit den Auflagerungen an den Schuhen auf. Wie sich vor Gericht herausstellte, rührte der Vergleichsboden von der Stelle her, von der das Opfer getötet worden war. Auch durch Beweisanträge geforderte Untersuchungen von anderen Böden aus dem Lebensbereich des Angeklagten erbrachten keine Entlastung: Die Auflagerungen von den Schuhen stammten nicht von den nachträglich genommen Proben. Die lebenslange Haftstrafe wurde vom Gericht schwerpunktmäßig auch mit dem Bodengutachten begründet.

Im Internet wurden beim Auktionshaus Ebay historische Pfeilspitzen und Armbrustbolzen angeboten, was dem Bezirksarchäologen auffiel und er daher diesen Umstand zur Anzeige brachte. Die daraufhin sichergestellten, metallenen Spitzen wiesen außen und im Innern minimale Bodenauf lagerungen auf, die abgeglichen wurden mit umfangreichen Bodenvergleichen von der Burg Grubenhagen bei Göttingen. Bei den Analysen wurde eine Übereinstimmung mit den Vergleichsböden erzielt, die an einer Stelle asserviert wurden, an der im Jahr 1448 größere Kampfhandlungen bei einer Belagerung stattfanden. Der Beschuldigte hatte mit einem Metalldektektor „Raubgrabungen“ vorgenommen und finanzierte mit dem Verkauf der Pfeilspitzen und Bolzen seine Rauschgiftabhängigkeit. Mit dem ergangenen Urteil konnte das Land Niedersachsen die Einziehung der Funde für das Museum betreiben.

In diesem Zusammenhang ist auch ein Kollege des BKA zu zitieren, der vor Gericht ausführte, dass „er noch keine 2 Böden gesehen habe, die 100% genau identisch seien“ (Demmelmeyer 2006). Dies berücksichtigt nicht nur das Grundmaterial Boden, hier sind auch die Befunde der Beimengungen usw. mit eingeflossen.

### 2.3.3

#### **Untersuchung und Würdigung von Tierhaaren**

Die von den Tatorten, Unfallfahrzeugen oder anderen Gegenständen im Original in Tüten oder mit Folien asservierten Tierhaare werden im LKA

zunächst lupenmäßig betrachtet. Es wird festgestellt, ob das Material vollständig mit Spitze und Wurzel vorliegt. Weiterhin wird auf Beschädigungen geachtet, wie sie z. B. bei Wildunfällen typisch sind. Auch Verschmutzungen, Blutantragungen und andere Auffälligkeiten, wie etwa periodische Verdickungen auf der gesamten Haarlänge, müssen vermerkt werden.

In den meisten Fällen kommt es bei der forensischen Tierhaaranalyse zunächst auf die Tierart bzw. Tierrassenbestimmung an, eine vergleichende Untersuchung mit in Frage kommenden spurenverursachenden Tieren ist eher die Ausnahme. Dabei ist noch einmal hervorzuheben, dass typischerweise nur wenige Haare zur Analyse vorliegen. Die eigentliche Tierartbestimmung lässt sich seit Jahrzehnten gut mit Hilfe der haaranatomischen Merkmale durchführen. Die im Durchlichtmikroskop erkennbaren Kutikula- (äußere Schuppung), Mark- (Ausbildung von Lufträumen im Innern) und Rindenstrukturen (Schicht zwischen Mark und Kutikula) sind hier ausschlaggebend. Die zunächst makroskopisch, dann auch mikroskopisch erkennbare Pigmentierung, die Dicke, Wurzelform, Spitze usw. müssen zur Beurteilung herangezogen werden. Die Summe aller Befunde ergibt dann die Tierart und mögliche Untergruppierungen (Lochte 1938, Teerink 1991, Debrot 1982, Inhülsen 1997). Ein Strukturmerkmal allein (wie z. B. Kutikula) ist für eine Charakterisierung von Tierhaaren nicht ausreichend. Bei Wildunfällen langt eine derartige Artanalyse aus, hier lässt sich aufgrund des Mark-Rindenverhältnisses gut auf Winter- und Sommerfell schließen. Unbedingt ist dabei aber auf die Lage der Haare am Fahrzeug einzugehen. Es ist verständlich, dass bei einem echten Wildunfall Kaninchenhaare nicht am A-Holm eines Unfallfahrzeuges gefunden werden können. Derartige Exemplare können maximal bis an die unteren Stoßstangenteile gelangen. Auch lässt sich der Fund ausgerissener Rehhaare in beiden Frontscheinwerfern eines Unfallfahrzeuges (Streuscheibe zersplittert) nicht mit einem Wildunfall in Einklang bringen, es hätten zumindest schnittartige Durchtrennungen des Materiales zu finden sein müssen. Aber auch der Nachweis von Tierhaaren in beiden Scheinwerfern ist mit der Kopf-Rumpf-Länge des in Rede stehenden Tieres nicht vereinbar. Auf Vorhalt des Gutachtens räumte der beschuldigte Fahrzeughalter ein, dass ein Abschlepper im Raum Osnabrück die Haare als Serviceleistung so platziert hatte, damit ein entstandener Unfallschaden als Wildunfall von der Versicherung reguliert werden konnte.

In ähnlicher Weise wollte ein Taxifahrer den Unfalltod seines Gastes mit einem Wildunfall auf glatter Fahrbahn erklären. Ein Reh sei ihm über die Motorhaube (!) gesprungen, als Beweis wurden 2 vollständige Rehhaare eingesandt, die nach photographischer Sicherung mit ihrer Wurzel (!) und nicht mit der Spitze zwischen Dichtung und Frontscheibe klemmten. Die

Frontpartie selbst wies keine Wischspuren o. ä. auf. Auch hier musste der Taxifahrer seine Angaben nach Vorlage des Gutachten korrigieren: Er hatte telefoniert und dabei einen Fahrfehler begangen, der den 16jährigen Fahrgast das Leben kostete.

Unerlässlich bei diesen Tierhaaruntersuchungen ist der Abgleich mit einer umfangreichen Haarsammlung. Für die erforderliche analytische Sicherheit ist eine jahrelange Einarbeitungszeit erforderlich, um auch kleinere Unterschiede in den mikroskopischen Befunden deuten zu können. Mit Hilfe dieser Methoden konnten ohne weiteres z. B. Spitzmaushaare im Hundefutter, eingespießte Rinderhaare in Unterhosen von Sodomisten oder uralte Fuchshaare von einer Trophäe (völlig zerfallenes Mark) bei vorgetäuschten Wildunfällen nachgewiesen werden usw.

Auch ist es möglich, aufgrund der röntgenenergiedispersiven Analyse im Rasterelektronenmikroskop Hinweise auf eine chemische Behandlung oder Gerbung einzelner Tierhaare zu erhalten (Inhülsen 1988).

Hunde- und Katzenhaare zeigen wie andere Tiergruppen auch eine Vielzahl von Varianten entsprechend ihrer Rassen- und Mischlingsformen. Schwierig ist es bei nur wenigen Einzelhaaren, auf derartige Untergruppierungen hinzuarbeiten. Schäferhundhaare sind ohne weiteres anhand der Lufträume und der äußeren Pigmentierung leicht zu erkennen. Bei anderen Tierrassen, wie z. B. Schnauzern, fällt sofort eine übliche Trimmung (Beschneiden) der Haare auf. All dies sind wichtige Merkmale, die man den Ermittlungsbehörden zur weiteren Vergleichsmaterialbeschaffung geben kann. So konnten an einer Baumwolltragetasche, die ein Bankräuber am Tatort hinterlassen hatte, eine Kombination von zwei Katzenhaartypen (normale und Perserkatze) vorgefunden werden. Mit diesem Wissen ermittelten die Kollegen vor Ort ein Pärchen, das sich in einer Ferienwohnung in Hameln eingemietet hatte. Bei einer Hausdurchsuchung in Stuttgart wurde der Tat zuzuordnendes Registriergeld sichergestellt, die Vergleichshaarproben von beiden Katzen der Täter stimmten bei der mikroskopischen Analyse in allen Varianten mit den Spurenexemplaren von der Tasche überein.

Liegt Vergleichsmaterial vor, wird ebenfalls eine Untersuchung der Hauptmerkmale (s. oben) durchgeführt und auf Übereinstimmung zum möglicherweise verursachenden Tier hin überprüft. Dabei zeigt sich ebenfalls eine recht hohe Zuordnungswahrscheinlichkeit, wenn man kleinere Merkmale oder Auffälligkeiten mit in die Untersuchung einbezieht. Dies gilt für die Veränderung der Markstruktur (z. B. doppelter Markstrang) im Verlaufe des Haares sowie für aufgespaltene Spitzen, Wurzelformen, Beginn und Unterbrechung des Markes, Änderung der Verlaufsformen der Kutikulasäume, Form und Anordnung der Pigmentkörner, Anteil einer diffusen Färbung usw. So ist es ohne Schwierigkeiten möglich gewesen,

bei einem Autobahnunfall, der durch einen Bernhardiner verursacht worden ist, unter fünf tatverdächtigen Hunden den Verursacher zu ermitteln.

Konturfedern von Vögeln sind anhand von Literatur und vorhandenem Vergleichsmaterial aufgrund der Färbung, der Form der Fahne usw. gut zu differenzieren und identifizieren (Brown et al. 2003, Bushing 2005). Durch derartige Untersuchungen konnten beispielweise die Angaben eines Beschuldigten bestätigt werden: Die in seiner Voliere asservierte Einzelfeder gehörte zu einem derzeit legal gehaltenen Habicht und nicht zu einem gestohlenen Bussard. Da sich die Forensik auf Mikrospuren spezialisiert hat, werden die Exemplare auch mikroskopisch anhand der Charakteristika von Daunenfedern bestimmt. Die bei höherer Vergrößerung erkennbaren Haken- und Bogenstrahlen der Konturfedern unterscheiden sich im Aufbau bei den einzelnen Vogelarten nicht. Deshalb werden Tertiärfasern der Dunen mit ihren lokalen Ausformungen zur Identifizierung von Vogelgruppen und auch zur Artbestimmung herangezogen. Es handelt sich hierbei um frei flottierende, nicht verhakte Daunenfasern vornehmlich an den unteren Federteilen, die diese spezifische Ausprägung zeigen (Robertson et al. 1984).

In zunehmendem Maße hält auch bei der Untersuchung von Tierhaaren die DNA-Analytik Einzug. Es lässt sich ohne weiteres DNA-Material aus den vorhandenen Wurzeln der Tierhaare isolieren und charakterisieren. Bestehen Unterschiede zwischen Spur- und Vergleichs-DNA, so eignet sich heute die Methode hervorragend zum Ausschluss einer Täterschaft. Die Frage ist jedoch, was eine Übereinstimmung eines DNA-Musters zwischen Spurenhaar und möglicherweise verursachendem Tier aussagt. Zum einen gibt es unterschiedliche Untersuchungssysteme, z. B. bei Hundezuchtvereinen, Pferde- und Kamelzüchtern mit internen DNA-Bibliotheken, aber auch abweichende Analysemethoden etwa zwischen der USA und Europa (Hellmann u. Schleenbecker 2005). Die auf diese Weise erstellten DNA-Befunde gelten somit für einen eng begrenzten Bereich. Sie sagen noch wenig über die statistische Gesamtverteilung innerhalb einer Tierart aus. Ziel wird es sein, derartige DNA-Ergebnisse auch mit entsprechenden Statistiken zu hinterlegen, damit auch bei Tierhaaruntersuchungen eine Wahrscheinlichkeit gegeben ist, wie es die Gerichte bei den humanen DNA-Analysen gewohnt sind. Generell sollte jedoch vor der DNA-Analytik eine mikroskopische Bestimmung der Haare nach ihrer Art (Hund, Katze, Kaninchen usw.) erfolgen, damit für die folgenden genetischen Untersuchungen die geeigneten Primer eingesetzt werden können. Mit einer derartigen Analytik können auch Tierblute, tierische Produkte, mögliche Speichelreste bei Bissspuren usw. untersucht und individuell zugeordnet werden. So lassen sich auch Fleischteile aus der Kühltruhe ei-

nes Beschuldigten mit den Schlachtabfällen eines Wildereideliktes abgleichen. Der Nachweis der Blutart mit Hilfe der Überwanderungselektrophorese mit Anti-Tierseren geht aufgrund dieser Entwicklung zunehmend zurück.

In diesem forensischen Arbeitsbereich werden teilweise in Kombination mit Tierhaaren und Tierkot auch Bissspuren untersucht (Dorion 2005). So sind beschädigte Bremsschläuche daraufhin zu untersuchen, ob es sich um Marderbisse oder um Werkzeugspuren handelt. Dabei sind die Kollegen, die Werkzeugspuren in der KT untersuchen, darüber zu informieren, dass es Abformungen gibt, die nicht durch Gegenstände, sondern von Tieren verursacht werden. An Leichen treten durchaus Bissformen von Tieren auf, die teilweise auch noch individuell differenziert werden können: Einem vorsitzenden Richter in Stade fielen halbmondförmige, teilweise noch blutige Hämatome auf, die der medizinische Sachverständige nicht erklären konnte. Wir führten diese Verletzungen eindeutig auf den Abdruck des Oberkiefers eines Hundes zurück und konnten dabei noch herausarbeiten, dass aufgrund einer erkennbaren Fehlstellung eines Zahnes zwei Hunde das Opfer gebissen hatten. Wie sich herausstellte, besaßen beide Angeklagten einen Hund, den sie auf das Opfer gehetzt hatten (Inhälsen 1991).

In einem anderen Todesermittlungsverfahren konnte der Stromtod eines Kochs abgeklärt werden. Das Elektrokabel seines Hochdruckreinigers war von Ratten bis auf das Metall durchnagt worden, so dass es bei Reinigungsarbeiten zu den tödlichen Stromstößen kommen konnte.

Nicht ganz so spektakulär waren nachbarschaftliche Auseinandersetzungen. Nach dem Diebstahl von Gartenstühlen beschuldigte das Opfer seinen Nachbarn. Als besonderes Merkmal gab es an, dass diese Stühle von seinem Terrier angenagt worden waren. Bissspuren konnten an den Stühlen des Nachbarn zunächst nicht angetroffen werden. Erst als im Labor die unteren Holzteile mit Lackabbeizern und Werkzeugen vorsichtig freigelegt wurden, waren die sehr individuellen Bissformen sichtbar und damit der Täter überführt.

Ungewöhnliche kleine Löcher im Linoleumfußboden unterhalb einer länger liegenden Leiche konnten als Fraßspuren von Maden entlarvt werden. Auch handelte es sich im Harz-Gebirge nicht um einen Puma oder Panther, der die Bevölkerung aufschreckte, sondern vielmehr um einen größeren schwarzen herrenlosen Hund, was sich recht gut anhand der Pfotenabdrücke ableiten ließ (Katzen ziehen die Krallen ein, so dass sie im Trittsiegel nicht erscheinen, Bouchner 1996). Auch die Zuordnung von Knochenfunden zu bestimmten (Haus)Tierarten ist anhand der erkennbaren anatomischen Unterschiede zumeist mit bloßem Auge schon zu treffen (Nickel et al. 1984).

### 2.3.4

#### **Untersuchung und Beweiswert von Vegetation, Holz, psychoaktiven Pflanzen und Mageninhalten**

Die in der Regel völlig durchgetrockneten Spuren und Vergleichsmaterialien im botanischen Bereich lassen sich mit Hilfe der verschiedensten mikroskopischen Verfahren (Durch- und Auflicht-, Polarisation-, Rasterelektronen-Mikroskopie) gut differenzieren. Generell gilt, dass Pflanzen eine artspezifische Oberflächenstruktur aufweisen, die Behaarung ist ebenso zu berücksichtigen wie die Kutikula-Struktur, die Form und Verteilung der Spaltöffnungen, die unter der Epidermis liegenden Zellstrukturen usw. Die Artbestimmung gelingt außer bei Gräsern auch an Mikrofragmenten (Westerkamp u. Demmelmeyer 1997). So kann aufgrund der Kombination verschiedener Blätter an einer Leiche darauf geschlossen werden, ob Tatort gleich Fundort ist. Das Auffinden von Lärchennadeln im Kofferraum des Täterfahrzeuges ließ sich damit vereinbaren, dass der zuvor entwendete Tresor in einer Lärchenschonung entsorgt worden war.

Auch sind die Einspießungen von Birkensamen und -fruchtschuppen in die Unterwäsche des Opfers und des Beschuldigten in massiver Form gut damit in Einklang zu bringen, dass eine Vergewaltigung in einem Birkenhain stattgefunden hat.

In einem anderen Fall wiesen seltene Flechtenuflagerungen an der Kleidung eines vermeintlichen Diebes darauf hin, dass diese nur von einem bleihaltigem Untergrund stammen konnten. Und zwar in diesem Fall vom eingeschlagenen, bleiverglasten und flechtenbesetzten Kirchendachfenster, durch das der Beschuldigte eingestiegen war.

Aufgrund der im Elektronenmikroskop erkennbaren Oberflächenstrukturen konnten so auch die eingespießten Stachelteile in der Unterhose eines Beschuldigten als Stacheln einer Brombeerpflanze identifiziert werden, die auch am Fundort des Opfers angetroffen wurden. Die Einlassungen des Beschuldigten, er habe in seinem Garten Rosen geschnitten, konnten widerlegt werden, da diese Stacheln eine völlig andere Struktur aufweisen (Inhülsen 1981).

Vor Jahren war in der Betäubungsmittel (BtM)-Szene der Opium-Tee in Mode. Vollständige getrocknete Schlafmohnkapseln wurden zermörsert, mit heißem Wasser aufgegossen und dieses getrunken, da die Kapseln einen erheblichen Morphingehalt besitzen. Die Pflanze ist explizit im BtM-Gesetz aufgeführt, doch wie bestimmt man die Reste eines solchen Aufgusses? Auch hier zeigten die Oberflächenstrukturen der Samen im Rasterelektronenmikroskop eine Artspezifität, so dass die Bestimmung im Sinne des Gesetzes erfolgen konnte (Inhülsen 1984). Ohnehin ist die Charakterisierung der vielen psychoaktiven Pflanzen, die zunehmend über das Internet angeboten werden, ein weites Feld. Wenn auch meist nicht das BtM-Gesetz



greift, wird zunehmend dazu übergegangen, derartige Verstöße nach dem Arzneimittelgesetz (AMG-Gesetz) zu ahnden (Inverkehrbringen von Arzneimitteln), zumal wenn eine Kombination von verschiedenen pflanzlichen Substanzen vorliegt, was dann als Arznei gilt.

Vermeintliche Sachbeschädigungen an Fahrzeugen oder Wäscheteilen können dadurch aufgeklärt werden, dass man die Antrugungen als „Bienenkot“ (verkittete Pollenagglomerationen) oder als Vogelkot (Stare nach Besuch einer reifen Kirschplantage) und damit als natürliche Ursache identifiziert (Bickel 2005).

Auffällige Pollen und Algen einschließlich der Diatomeen werden ebenfalls bestimmt. Dies gilt z. B. für den Fall, dass ein Beschuldigter durch ein Maisfeld gelaufen ist oder die Täter sich mit Kiefernpollen verschmutzt haben usw. Sollten jedoch Wasserleichen auf bestimmte Gewässer hin untersucht werden, die möglicherweise als Ablagerungsort gedient haben, so ist in diesem Zusammenhang auf Algenspezialisten hinzuweisen, deren spezifisches Fachwissen den Ermittlungsbehörden wesentlich gezieltere Untersuchungsmöglichkeiten anbietet (Hürlimann et al. 2000). Dies gilt auch für eine umfassende Pollenanalytik, die mitunter gefragt wird, um entsprechende Ablagerungen auf einem Gegenstand zeitlich und örtlich einzuordnen (v. d. Ohe 2003).

Mitunter werden Holzrelikte an Bohrern und anderen Werkzeugen angetroffen, die nach Einbrüchen bei Beschuldigten gesichert werden. Holz(art)-bestimmungen an Mikrofragmenten werden an mikroskopischen Schnittpräparaten durchgeführt, die Tangential-, Radial- und Querschnitt ähnliche Merkmale aufweisen. Hieran lassen sich die holzanatomischen Charakteristika darstellen (Markstrahlen, Holzfaser, Gefäßstrukturen und deren Anordnung usw.), so dass eine Artbestimmung erfolgen kann, die in der Regel ausreicht (Grosser 1977, Wagenführ u. Schreiber 1974). So konnten kleinste Holzpartikel in der Kopfschwarte eines Toten als Silberpappelfragmente identifiziert werden. Beim Joggen fiel ganz offensichtlich dem Opfer ein direkt am Fundort der Leiche stehender morscher Silberweidenzweig durch Sturmwindwirkung auf den Kopf. So war von einem natürlichen Tod und nicht von Mord/Totschlag auszugehen. Die Mindestliegezeit eines Schädels konnte durch die epimikroskopische Auszählung der Jahresringe einer Wurzel (Jahresringe) abgeleitet werden, die durch den mittlerweile skelettierten Schädel gewachsen war.

Liegt kein Vergleichsmaterial zu den vegetationskundlichen Untersuchungen vor, reichen in der Regel die bis zur Art bestimmten Befunde aus, insbesondere dann, wenn es eine Kombination verschiedener Pflanzen ist. Eine derartige Aufeinanderfolge verschiedenster Arten engt einen Tatort/Aufenthaltort stark auf nur wenige Örtlichkeiten ein. Aber auch hier wird in Zukunft die DNA-Analytik an Bedeutung gewinnen, insbesondere wenn Vergleichsmaterial ansteht. Als Beispiel sei hier das Auffinden von

Eichenblättern im Fahrzeug eines Beschuldigten angegeben. Das BKA hat diese Blätter mit der DNA-Analytik positiv abgeglichen mit Eichenblättern vom Fundort einer Leiche, dabei wurden auch andere Eichen im weiteren Umfeld des Tatortes mit einbezogen. Lediglich ein Baum am Leichenfundort zeigte eine vollständige Übereinstimmung (Schleenbecker 2005). Aber auch hier steht wiederum die Frage im Raum, mit welcher statistischen Wahrscheinlichkeit diese Übereinstimmung beweiswürdigend hinterlegt werden kann, an einer Antwort wird weltweit verstärkt gearbeitet (Miller Coyle 2005).

Als ökologische Nische der biologischen Untersuchungen des LKA NI hat sich die Analyse von Mageninhalten von Leichen ergeben (Inhülsen 1993). Liegen Tote über längere Zeit im Freien oder auch in belüfteten Räumen, findet recht schnell eine Besiedlung mit Insekten statt. Nach mehreren Wochen ist die Leiche stark abgebaut, eine Todeszeitbestimmung ist nach den gängigen Methoden nur noch ansatzweise möglich. Auch die entomologischen Bestimmungen führen nicht zwangsläufig zur Eingrenzung des Todeszeitpunktes auf mehrere Stunden. Hier bietet der Mageninhalt gute Möglichkeiten, den Ermittlern weitere Anhaltspunkte zu geben. Aufgrund des sauren Milieus bleiben die Nahrungsmittelbestandteile im Magen auch nach Wochen gut erhalten, eine Nachverdauung findet so gut wie nicht statt. Die pflanzlichen Substanzen sind mikroskopisch sehr gut zu differenzieren. Fleisch als solches kann ebenfalls aufgrund der Querstreifung nachgewiesen werden. Mitunter hilft bei einer weiteren Differenzierung die Überwanderungselektrophorese weiter (Unterscheidung zwischen Hühner-, Schweine- und Rindfleisch). Ist die zuletzt eingenommene Mahlzeit des Opfers bekannt und stimmt diese in ihren einzelnen Bestandteilen mit dem Mageninhalt des Toten überein, kann der Todeszeitpunkt des Opfers gut in Stunden nach Einnahme der Mahlzeit angegeben werden. In der Literatur sind über die Verdauung einzelner Speisen im menschlichen Magen wenige Angaben gemacht worden, die bei der Erarbeitung entsprechender Gutachten berücksichtigt werden können (Tröger et al. 1987). Als Beispiel für die Bedeutung dieser Untersuchungsmethode sei zunächst ein Toter in Wolfsburg genannt, der mit nahezu frischen und unverdauten Pizzabestandteilen im Magen erschlagen in seinem Bett aufgefunden wurde. Die Frau des Opfers gab an, dass ihr Mann morgens zur Frühschicht gefahren sei und er sich dann nach seiner Rückkehr offensichtlich in ihrer Abwesenheit zum Schlafen gelegt habe. Dieses konnte sofort widerlegt werden, als die vorabendliche Mahlzeit erfragt wurde: Das Paar hatte gegen 20 Uhr Pizza gegessen. Nach unseren Untersuchungen hat das Opfer die Einnahme der Mahlzeit maximal eine Stunde überlebt. Auf Vorhalt dieser Befunde gestand die Frau die Tat.

In einem weiteren Fall wurde aufgrund der neueren humangenetischen Untersuchungen in den Abstrichen eines vor etwa 15 Jahren getöteten Mäd-

chens in Koblenz das DNA-Muster einer in der bundesweiten DNA-Datei gespeicherten Person nachgewiesen. Der Beschuldigte räumte die Tat nicht ein. Das Opfer lag längere Zeit im Wald, so dass vom Mageninhalt damals eine Untersuchung in Auftrag gegeben worden ist. Die Analyse im LKA NI konnte eindeutig das gegen 18 Uhr zu Hause gegessene Johannisbeermarmeladenbrot und die spätabends in der Disco genossene Currywurst nachweisen. Der Todeszeitpunkt war somit auf den Tag des Verschwindens auf etwa 23 bis ein Uhr morgens zu legen. Die weiteren Ermittlungen der Polizei führten dann zum Tagebuch der Frau des Angeklagten. Es belegte für diesen Tag, dass der Angeklagte damals in dieser Nacht nicht zu Hause gewesen war und demzufolge kein Alibi hatte. Auch hier erfolgte die Verurteilung.

### 2.3.5

#### **Untersuchung und Auswertung beim Verdacht einer biologischen Selbstentzündung**

Niedersachsen gehört zu den Flächenländern, in denen viele landwirtschaftliche Betriebe ansässig sind. Jedes Jahr werden durch Schadenfeuer auf Bauernhöfen Sachwerte von Millionen an Euro vernichtet. Ist das Feuer im Bereich der Lagerung von Erntegut, z. B. Heu, ausgebrochen, muss sich stets die Frage gestellt werden, ob hier eine „biologische Selbstentzündung“ als Brandursache in Frage kommt.

Heu ist ein Futtermittel, das einen erheblichen Nährstoffgehalt an Stickstoff enthält. Wird das Heu unter einem Feuchtigkeitsgehalt von 10–12% auf der Wiese nach dem Mähen durchgetrocknet, können sich in diesem Material keine mikrobiologischen Prozesse entwickeln. Liegt jedoch der Wassergehalt zumeist aufgrund von Niederschlagseinwirkungen während der Lagerung über 12%, kann ein System mikrobiologischer Tätigkeiten in Gang gesetzt werden. Aufgrund des erhöhten Wassergehaltes können sich zunächst die mesophilen Mikroben (in der Regel verschiedene Bakterienstämme) bei 25–35 °C so gut entwickeln, dass eine Wärmeinsel im Heustapel entsteht, die bald auf einen Wert von 55 °C ansteigt. Dies ist die optimale Temperatur für thermophile Mikroben (ebenfalls überwiegend Bakterienstämme), die in gleicher Weise den Futterstock bis 80 °C und auch mehr erhitzen. Ab 95 °C beginnt dann eine chemische Autolyse, die sich zu regelrechten Verkohlungsprozessen entwickelt. Da in einem Heustapel größeren Ausmaßes eine ausreichende Wärmedämmung ohne viel Sauerstoff vorliegt, bildet sich durch Verkohlung ein Glutkessel, der sich in Form von Brandkanälen den Weg zu den Rändern des gelagerten Erntegutes frisst. Kommt ein derartiger Brandkanal mit seinen Verkohlungsprozessen dann an der Oberfläche mit Luftsauerstoff in Verbindung,

entsteht ein plötzlicher Brandausbruch, zumal sich dann auch die durch die Bakterien entwickelten Gase (überwiegend Methan) explosionsartig entzünden (ausführliche Darstellung bei Inhülsen 1994b).

Auch an solchen Brandorten können noch entsprechende Merkmale direkt nachgewiesen werden. So entdeckt man an Decken, Mauern, Fußböden, Balkenlagen noch blind endende Brandkanäle, auch wenn das brandbetroffenen Gebäude von der Feuerwehr bereits abgeräumt wurde: Es sind durch Balkenlagen von oben nach unten entsprechend konisch verlaufende Kanalreste zu finden, Verrußungen an weißen Wänden deuten ebenfalls auf Brandkanäle hin. Auch werden durch den explosionsartigen Ausbruch vielfach die Wände/Fundamente nach außen gedrückt. Diese Merkmale am Brandort selber sind die wichtigsten Erkennungszeichen für die Ursache „biologische Selbstentzündung“. Sind derartige Charakteristika nicht vorzufinden, können Erntegutproben für eine mikrobiologische Untersuchung ins LKA gesandt werden. Dabei werden mehrere Heuproben gesichert, am geeignetsten sind diese in der Nähe von vermuteten Brandkanälen zu nehmen, und zwar jeweils in einem Abstand von einem halben bis einem Meter. Pro Brandort sind etwa fünf bis sieben Proben in DIN A 4 Papierumschlägen zu asservieren. Diese werden auf der Dienststelle bei Raumtemperatur noch luftgetrocknet und dann ins forensische Labor eingesandt. Hier werden jeweils 1 g von den Proben abgenommen und sterile wässrige Auszüge gefertigt. Je 1 ml dieser Lösungen werden nun dem Kochschen Plattengussverfahren (mit Verdünnungsreihe) unterworfen. Die Sterilanzuchten werden 48 Stunden bei 25 °C und 55 °C bebrütet. Es folgt eine Auszählung der sich in dieser Zwischenzeit entwickelten Bakterienkolonien. Dabei sind mehrere Hunderttausende bis Millionen Keime mesophiler Organismen als normal zu bezeichnen. Liegt jedoch die Keimzahl der Thermophilen doppelt so hoch wie die der Mesophilen, so sind die Verhältnisse gegeben, dass sich das Erntegut in einem Temperaturbereich von etwa 60 °C bewegt hat. Dies ist ein wichtiger Hinweis darauf, dass biologische Röstprozesse im Erntegut stattgefunden haben, die sich je nach weiteren Befunden am Brandort zu einer biologischen Selbstentzündung entwickelt haben können. Derartige Systeme können aber auch wieder abklingen, so dass manchmal bei der Futterentnahme noch erkaltete Glutkessel zu finden sind. Es ist zu erwähnen, dass etwa vier Wochen nach Einlagerung des Erntegutes die Wahrscheinlichkeit am größten ist, dass hier biologische Prozesse zum Brandausbruch führen. Dies zeigt sich auch jedes Jahr an den Einsendeterminen von entsprechenden Heuproben ins hiesige Labor.

Diese Untersuchungsmethoden werden im LKA NI im Gegensatz zu den meisten anderen LKÄ noch angewandt, um auch biologische Brandursachen in anderen Materialien als Heu nachzuweisen. So konnten vor Jahren entsprechende Prozesse in jahrelang gelagerten, gepressten Korkballen vor-

gefunden werden (Inhülsen 1994b). Auch das in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts aus Dänemark kommende Verfahren des „Laugestrohs“ ist anfällig für eine Selbstentzündung (Inhülsen 1983b). Hat man sich einmal näher mit diesem Problem befasst, wird schnell erkennbar, dass es eine Vielzahl von Möglichkeiten gibt, in denen sich diese biologischen Prozesse bis zu einem Brandausbruch entwickeln können. Es sei hier u. a. auf die riesigen Brände in Torfmieten im norddeutschen Raum hinzuweisen, die aufgrund der Materialmenge schwer zu löschen sind. Hierbei sind es jedoch Pilze, die mehrere Monate entsprechende Prozesse aufbauen, gleichartige Vorgänge liegen bei der Lagerung von Holzmehl vor. Gerne wird auch behauptet, dass Stroh sich biologisch selbst entzündet. Dies kann jedoch aufgrund unserer Erfahrungen und der Literatur abschlägig beschieden werden. Stroh ist ein nahezu reines Celluloseprodukt, dem der Stickstoffanteil fehlt, so dass sich hier kaum bakterielle Stämme entwickeln können. Auch bei stark durchfeuchtetem Stroh ist dem Verfasser nach etlichen Brandortbegehungen keine entsprechende Brandursache vorgekommen. Nur wenn eine starke Durchmischung mit Unterwuchs (Heu und krautige Pflanzen) zu erkennen ist, kann bei Strohlagerungen eine biologische Brandursache in Betracht gezogen werden.

## 2.4

### **Gutachtertätigkeit vor Gericht**

Die als Wissenschaftler arbeitenden Sachverständigen im Landeskriminalamt werden nach einer gewissen Einarbeitungszeit in einem behördeninternen Akt als Sachverständige für ihren Fachbereich ernannt. Ohne diese Bestellung können sie ihre polizeiliche Tätigkeit nicht ausüben. Weiteres regelt eine „Dienstanzweisung für Sachverständige im LKA NI“. Die Wissenschaftler fertigen über die im Labor erhobenen Untersuchungsbefunde in den einzelnen Ermittlungsverfahren objektive, wissenschaftlich nachvollziehbare „Behördengutachten“ an, die nach § 256 Strafprozessordnung vor Gericht verlesbar sind. Halten die Prozessbeteiligten es vor oder in einer gerichtlichen Hauptverhandlung für erforderlich, dass diese Analyseergebnisse auch mündlich noch einmal erläutert werden, folgt eine Ladung des Gerichtes, das in diesem Verfahren den Gutachter zum Sachverständigen ernannt. Dieser Ladung ist unbedingt Folge zu leisten, Verhinderungen des SV sind dem Gericht mit Begründung zur Entscheidung vorzulegen.

Das Gutachten sollte vom Sachverständigen in der Hauptverhandlung in angemessener Kleidung weitgehend mündlich vorgetragen werden. Die Fragen der Richter, Staatsanwaltschaft und der Verteidigung sind objektiv und emotionslos zu beantworten. Eine generelle Aussagegenehmigung

des Landeskriminalamtes liegt für jeden dieser Auftritte vor. Es dürfen lediglich keine Dienstgeheimnisse ausgeführt werden, die möglicherweise eine Gefahr für Leib und Leben anderer darstellen. Der Sachverständige muss im Gegensatz zum sachverständigen Zeugen oder Zeugen in seinem Gutachten Schlussfolgerungen ziehen und seine Beweiswürdigung der erarbeiteten Befunde auch nachvollziehbar darlegen. Vielfach geschieht das neuerdings auch mit der Beiziehung von statistischem Material zur Errechnung von Wahrscheinlichkeitsmodellen (u. a. Bayes Theorem, s. auch Grieve 2000, Woltmann et al. 1994).

Verfügen andere Institutionen oder Fachkollegen über mehr Fachwissen oder eine bedeutend bessere Analytik, sollte der Sachverständige (auf Nachfrage) auf diesen Umstand durchaus hinweisen. Aus diesem Grund ist es auch sehr nützlich, Mitglied in den entsprechenden forensischen Fachverbänden (z. B. Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin, European Fibres Group, ENFSI, nationale Arbeitskreise der Landeskriminalämter und des BKA usw.) zu sein, um Kenntnisse über die neuesten Entwicklungen in seinem Fachbereich zu besitzen. Hierzu gehört selbstverständlich auch das Studium der einschlägigen Fachliteratur, die vom Amt zu beschaffen ist. Sollte das Gericht ein weiteres Gutachten für erforderlich halten und einen anderen Sachverständigen damit beauftragen, ist mit dem Zweitbegutachter emotionslos die Spurenlage und deren Bewertung zu erörtern.

Einem Antrag auf Ablehnung des Sachverständigen durch die Verteidigung mit der Begründung, er sei Angehöriger einer Polizeibehörde, wird vom Gericht in der Regel nicht zugestimmt.

Presseauskünfte sind der Stelle für Öffentlichkeitsarbeit des LKAs zu überlassen.

Mitunter kommt es vor, dass die Gutachten auch im Ausland vertreten werden müssen. Hierbei ist zu bedenken, dass sich das Gerichtswesen anderer Länder von dem des deutschen unterscheidet. Die ausländischen Gerichte geben aber in der Verhandlung bereitwillig Hilfestellungen und Unterstützung, so dass sich eine problemlose Führung des Sachverständigen in der mündlichen Verhandlung ergibt.

## 2.5

### **Arbeitsprofil in der allgemeinen forensischen Biologie**

Die Praxis eines forensisch tätigen Biologen im Landeskriminalamt oder BKA ist eine vielschichtige Aufgabe, die grob unterteilt, folgende unterschiedliche Bereiche abdeckt:

- Auswertung der Spurenkomplexe im Labor und Leitung eines Laborteams,

- Erstellen von wissenschaftlichen Gutachten und fallweise deren Vertretung vor Gericht,
- Spurensicherung vor Ort bzw. Spurenberatung auf Anforderung der Dienststellen,
- Schulung von Polizeibeamten, Justizangehörigen usw. (pädagogisches Geschick erwünscht).

Eine spezifische universitäre Ausbildung für den Beruf eines Forensikers in den naturwissenschaftlichen Bereichen existiert in Deutschland im Gegensatz zu anderen Ländern wie etwa England, Australien und der Schweiz nicht, so dass zunehmend verstärkt eine polizeiinterne Zusatzausbildung in verschiedenen Bereichen erfolgt (Inhülsen 2005). Andererseits sei aber auch erwähnt, dass z. Z. eine äußerst medienwirksame Darstellung der Kriminaltechnik und -wissenschaft und des damit verbundenen Sachbeweises erfolgt. Der personelle Bedarf bei den Kriminalämtern hat mit diesem medialen Interesse jedoch nicht mitgehalten. In den letzten Jahren sind neue Stellen für Biologen lediglich im Bereich der DNA-Analytik geschaffen worden. Es ist abzusehen, dass auch in Zukunft nicht mit einer massiven Erhöhung einer Personalstärke in den Fachbereichen Biologie/Physik/Chemie zu rechnen ist, vielmehr wird mehr oder weniger nur die Anzahl der aus Altersgründen ausscheidenden Kollegen ersetzt. Es sei denn, die Politik will eine mehr als wünschenswerte Verstärkung in diesem Bereich und schafft zusätzliche Stellen mit der damit einhergehenden apparativen und räumlichen Ausstattung.

In Zukunft müssen sich die Forensiker der „Allgemeinen Biologie“ mit der DNA-Analytik von tierischem und pflanzlichem Material (einschließlich Haare und Federn) und deren Beweiswert befassen, so dass eine engere Verzahnung der „Humangenetik“ und der „Allgemeinen Biologie“ stattfinden wird. Hier können sich auch durchaus Synergieeffekte ergeben. Ohnehin bilden im LKA NI diese beiden Fachgruppen zusammen ein Dezernat.

Im Arbeitsumfeld des Sachverständigen wird die elektronische Datenverarbeitung weiter Fuß fassen, die Untersuchungsanträge der einzelnen Dienststellen an die Labore des Landeskriminalamtes werden zunehmend elektronisch übermittelt. Teilweise werden bereits heute schon vor Ort die Asservate datenmäßig erfasst (z. B. mit Barcode versehen), virtuell der Tatort aufgenommen und die Daten entsprechend elektronisch an das Kriminaltechnische Institut des LKAs übermittelt. Hier greift die hausinterne Asservaten- und Vorgangsverwaltung, die den genauen Gang der Spuren vom Eingang, der Untersuchung der verschiedensten Fachgruppen (inkl. der Mitarbeiter) und den Ausgang speichert und damit überprüfbar macht.

Auch das Qualitäts-Management wird verstärkt Einzug in die Kriminaltechnik halten. Einzelne Labore, die mit anderen freien Instituten konkurrieren, werden sich als erste entsprechenden Maßnahmen unterwerfen müssen. Neben der Definition der eigentlichen Aufgaben, der Darstellung der Aufbau- und der Ablauforganisationen und deren vielfältigen Schnittstellen wird die sehr zeitintensive Erarbeitung von Handbüchern für die Bedienung von Geräten, die detaillierte Beschreibung der Arbeitsprozesse, die Einhaltung von (Sicherheits-) Bestimmungen und vieles andere mehr erforderlich. Diese qualitätssichernden Maßnahmen werden nicht nur im Landeskriminalamt selbst eingeführt werden, sie erfassen schon jetzt in Niedersachsen den Erkennungsdienst. In jeder Polizeiinspektion arbeiten vom Kriminaltechnischen Institut des LKA NI ausgebildete Qualitätsmanager im KT-Bereich, welche die Untersuchungsanträge, die an das Amt gerichtet werden, auf bestimmte von uns vorgegebene Standards überprüfen.

Insgesamt ist diese Arbeit eine sehr abwechslungsreiche, fordernde Tätigkeit für Biologen, die mitunter noch Zeit für Anfragen von Museen erübrigen müssen, um z. B. durch Untersuchungen an Mageninhalten von Moorleichen herauszufinden, dass bereits in frühgeschichtlicher Zeit Leinsamen gegessen wurde. Die Spezialisierung auf die Untersuchung und Identifizierung von Mikrospuren jeglicher Art ist in der Arbeit der forensischen Wissenschaftler beheimatet. Das Berufsbild ist relativ einmalig und daher auch hoch interessant.

Meiner lieben Gisela danke ich für wertvolle Literaturhinweise, unermüdliches Korrekturlesen und anregende Diskussionen.

## Literatur

- Adam J (1982) Boden- und Staubspuren. Ministerium des Innern der DDR, Berlin
- Bickel K (1993) Biologische Untersuchung zur Liegezeit von Leichen im Freien. 4. Kriminaltechnisches Symposium Allgemeine Biologie, Rehfeld
- Bickel K (1994) Der Computer als Hilfsmittel bei Bodenuntersuchungen. 4. Kriminaltechnisches Symposium Bodenkunde/Mikrobiologie, Fulda
- Bickel K (1996) A short report on Quantimed Q 600 S Fibre Finder System. 4th Meeting of the European Fibres Group, London
- Bickel K (2005) Umweltschäden aus biologischer Sicht. 1. Kriminaltechnische Symposium Allgemeine Biologie/Bodenkunde, Magdeburg
- Biermann TW, Grieve MC (1996) A computerized data base of mail order garments: A contribution towards estimating the frequency of fibre types found in clothing. Part 1 and Part 2. Forensic Sci International 77:65–91
- Biermann TW, Grieve MC (1998) A computerized data base of mail order garments: A contribution towards estimating the frequency of fibre types found in clothing. Part 3: The content of the data bank – is it representative? Forensic Sci International 95:117–131
- Bouchner M (1996) Der Spurenführer. Gondrom, Bindlach
- Brown R, Ferguson J, Lawrene M, Lees D (2003) Federn, Spuren und Zeichen der Vögel Europas. Aula, Wiebelsheim



- Brüschweiler W, Schoch HH (1982) Die Thermomikroskopie an Faserstoffen – eine methodische Ergänzung zur Faseranalyse. *Arch f Kriminol* 169:89–98
- Brüschweiler W, Grieve MC (1997) A study on the random distribution of a red acrylic target fibre. *Science and Justice* 37:85–89
- Busching WD (2005) Einführung in die Gefieder- und Rumpfungskunde. Aula, Wiebelsheim
- Debrot S (1982) Atlas des poils de mammifères d'Europe. Inst de Zool, Neuchâtel
- Decke U (2000) Nochmals: Das Leitspurenkonzept. *Kriminalistik* 7:467–472
- Demmelmeier H (2006) Archiv für Kriminologie (pers. Mitteilung). Bundeskriminalamt, Wiesbaden
- Dorion R (ed) (2005) *Bitemark evidence*. Marcel Dekker, New York
- Freckmann M (1989) Bodenuntersuchung zur Untermauerung des Beweiswertes der forensischen Bodenanalyse in der Kriminaltechnik. *Forschungsergebnisse des Bodenlabors Landeskriminalamt Niedersachsen, Hannover*
- Freund H (Hrsg) (1972) *Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd IV (Teil 1 und 2) Mikroskopie der Textilfasern und Textilien*. Umschau, Frankfurt
- Gassner G, Hohmann B, Deutschmann F (1989) *Mikroskopische Untersuchung pflanzlicher Lebensmittel*. Gustav Fischer, Stuttgart
- Grieve MC (1995) Another look of the classification of acrylic fibres, using FTIR microscopy. *Science and Justice* 35:179–190
- Grieve MC (2000) A survey on the evidential value of fibres and the interpretation of the findings in fibre transfer cases. Part 2 – Interpretation and reporting. *Science and Justice* 40:201–209
- Grosser D (1977) *Die Hölzer Mitteleuropas*. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Haller B (1981) Ein Beitrag zur Abschätzung des Beweiswertes vergleichender Untersuchungen an Erdsuren. *Arch f Kriminol* 167:52–55
- Hellmann A, Schleenbecker U (2005) Forensic canine DNA typing the needs of standardization. 1. Kriminaltechnisches Symposium Allgemeine Biologie/Bodenkunde, Magdeburg
- Hemminger WF, Cammenga HK (1989) *Methoden der thermischen Analyse*. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Houck MM (2003) Inter-comparison of unrelated fiber evidence. *Forensic Sci International* 135:146–149
- Hürlimann J, Feer P, Elber F, Niederberger K, Dirnhofer R, Wyler D (2000) Diatomeen detection in the diagnosis of death by drowning. *International Journal of Forensic Medicine* 114:6–14
- Inhülsen D (1981) Morphologische Differenzierung von pflanzlichen Stachelteilen. *Arch f Kriminol* 168:176–180
- Inhülsen D (1983 a) Der forensisch biologische Sachbeweis. In: Burkhard W (Hrsg) *Taschenbuch für Kriminalisten* 33. Verlag Deutsche Polizei, Hilden, 279–295
- Inhülsen D (1983 b) Selbstentzündungsgefahr von Laugestroh. *Kriminalistik* 4:198
- Inhülsen D (1984) Bestimmung von Mohnkapseln anhand der Mikrostruktur ihrer Samen. *Arch f Kriminol* 174:113–120
- Inhülsen D (1988) Wie ein Pferd zum Reh werden kann. *Kriminalistik* 3:125–127
- Inhülsen D (1991) Identifizierung von Hundebissen mit Hilfe einer Video-Vergleichsanlage. *Arch f Kriminol* 187:111–118
- Inhülsen D (1993) Untersuchung an Magen- und Darminhalten. *Kriminalistik* 11:731–734
- Inhülsen D (1994 a) Reihenuntersuchungen an Bodenproben an einem Acker. 4. Kriminaltechnisches Symposium Bodenkunde/Mikrobiologie, Fulda
- Inhülsen D (1994 b) Biologische Selbstentzündung. *Brandschutz* 48:760–765
- Inhülsen D (1997) Möglichkeiten und Grenzen der Untersuchung von Tierhaaren mittels chemischer und physikalischer Methoden. In: Kijewski H (Hrsg) *Das Haar als Spur, Spu-*

- ren in Haaren. Rechtsmedizinische Forschungsergebnisse. S 59–73. Schmidt-Römhild, Lübeck
- Inhülsen D (2001) Kriminaltechnik auf neuen Wegen? *Kriminalistik* 10:667–669
- Inhülsen D (2005) als Referent im 1. Seminar für Sachverständige der Abteilung Kriminalwissenschaft und -technik der Nord-LKÄ, ausgerichtet vom Landeskriminalamt Niedersachsen, Hannover
- Internetportal der Polizei Niedersachsen: [www.polizei.niedersachsen.de](http://www.polizei.niedersachsen.de)
- Jenne K (1981) Zur Differenzierung schwarzer Wollfasern. *Arch f Kriminol* 168:17–22
- Jothen G, Lehnert RJ (2002) On the potential of Raman microscopy for the forensic analysis of coloured textile fibres. *Science and Justice* 42:215–221
- Kohlhof W (1999) Bekleidung als Identifizierungshilfe. *Kriminalistik* 8:541–542
- Koslowski HJ (1998) Dictionary of man made fibers. Intern business press, Frankfurt/M
- Kretschmer K, Helbig W (1992) Differentiation of commercial polyester fibers using two dimension HPLC and multivariate pattern recognition techniques. *J of Forensic Sci* 37:727–737
- Kunkel H (1980) Fahndungsobjekt: Echte Teppiche. In: Burkhard W (Hrsg) Taschenbuch für Kriminalisten 30. Deutsche Polizei, Hilden, 157–219
- Leschonski K (1987) 9. Clausthaler Kursus: Grundlagen und moderne Verfahren der Partikelmesstechnik. Eigendruck Inst f mechanische Verfahrenstechnik, Clausthal-Zellerfeld
- Lochte T (1938) Atlas der menschlichen und tierischen Haare. Schöps, Leipzig
- Mange MA, Maurer HFW (1991) Schwerminerale in Farbe. Enke, Stuttgart
- Marumoy Y, Yanai H (1986) Morphological analysis of opal phytoliths for soil discrimination in forensic science investigation. *J of Forensic Sci* 31:1039–1049
- Miller Coyle H (ed) (2005) Forensic botany. crc press, Boca Raton London New York Washington/DC
- Nehse K, Wendt C (2002) Wie individuell sind Textilien? *Kriminalistik* 6:391–395
- Neubert-Kirfel D (2000) Das Leitspurenkonzept. *Kriminalistik* 6:398–404
- Nickel R, Schummer A, Seiferle E (1984) Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Parey, Berlin Hamburg
- Ohe K von der, Ohe W von der (2003) Celler Melissopalynologische Sammlung. Niedersächsisches Landesamt für Bienenkunde (Hrsg) Eigenverlag, Celle
- Pabst H (1992) Anschmelzspuren. *Kriminalistik* 8-9:527–549
- Petraco N, Kubic T (2004) Color atlas and manual of microscopy for criminalists, chemists, and conservators. crc press, Boca Raton London New York Washington/DC
- Robertson J, Grieve M (eds) (1999) Forensic examination of fibres. Taylor & Francis, London Philadelphia
- Robertson J, Harkin C, Govan J (1984) The identification of bird feathers. Scheme for feather examination. *J of Forensic Sci* 24:85–98
- Rouette H-K (2003) Handbuch der Textilveredlung. Bd. I und II. Deutscher Fachverlag, Frankfurt/M
- Roux C, Margot P (1997) The population of textile on car seats. *Science and Justice* 37:25–30
- Rykart R (1989) Quarz-Monographie. Ott, Thun
- Scheffer F, Schachtschabel P (1979) Lehrbuch der Bodenkunde. Enke, Stuttgart
- Schiller R (1978) Dichtefraktionierung von Bodenproben in der Kriminaltechnik und eine Möglichkeit zu ihrer Auswertung. *Kriminalistik* 3:107–109
- Schiller R, Röhm E (1977) Vergleichende Bodenanalyse in der Kriminaltechnik. *Kriminalistik* 10:439–443
- Schleenbecker U (2005) DNA Analyse an Pflanzen. 1. Kriminaltechnisches Symposium Allgemeine Biologie/Bodenkunde, Magdeburg
- Schlegelsberger G (1999) Handbuch der Faser. Deutscher Fachverlag, Frankfurt/M

- Smykatz-Kloss W (1974) Differential thermal analysis application and results in mineralogy. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Sommer H, Winkler F. (Hrsg) (1960) Die Prüfung der Textilien, Handbuch der Werkstoffprüfung, 5. Bd. Springer, Berlin Göttingen Heidelberg
- Steinke W (1984) Hitler Tagebücher 40 Jahre nach dem Krieg geschrieben. Kriminalistik 10:520–523
- Sugita R, Marumo Y (2001) Screening of soil evidence by a combination of simple techniques: validity of particle size distribution. Forensic Sci International 122:155–158
- Takekoshi Y, Sato K, Kanno S, Kawase S, Kiho T, Ukai S (1997) Analysis of wool fiber by alkali-catalyzed pyrolysis gas chromatography. Forensic Sci International 87:85–97
- Teerink BY (1991) Hair of westeuropean mammals. Cambridge Univ Press, Cambridge
- Thomas J, Buzzini P, Massonnet G, Reedy B, Roux C (2005) Raman spectroscopy and the forensic analysis of black/grey and blue cotton fibres Part 1. Investigation of the effects of varying laser wave/ength. Forensic Sci International 152:189–197
- Tröger WE (1969, 1982) Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 1 und 2. Schweizerbart, Stuttgart
- Tröger HD, Baur C, Spann KW (1987) Mageninhalt und Todeszeitbestimmung. Max Schmidt-Römhild, Lübeck
- Wagenführ R, Schreiber C (1974) Holzatlas. VEB Fachbuchverlag, Leipzig
- Wanugho S, Gettinby M Sc, Caddy B, Robertson J (1985) A statistical method for assessing soil comparison. J of Forensic Sci 30:864–872
- Watt R, Roux C (2005) The population of coloured textile fibres in domestic washing machines. Science and Justice 45:75–83
- Westerkamp C, Demmelmeyer H (1997) Blattoberflächen mitteleuropäischer Laubgehölze. Bornträger, Berlin Stuttgart
- Woltmann A, Deinet W, Adolf FP (1994) Zur Bewertung von Faserspurbefunden mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen. Arch f Kriminol 194:85–94

# 3 Die rechtsmedizinische Expertise

## Spurenanalyse, dargestellt anhand einer Extremverletzung

Klaus-Steffen Saturnus, G. Hegner, B. Spörhase, P. Ertl,  
T. Kuhlmann, B. H. Briese

### 3.1 Einleitung

Spuren sind Residuen eines vergangenen Ereignisses. Werden sie gefunden, ergibt sich ihr Wesen erst aus der Interpretation. Diese Residuen der Vergangenheit können einen vagen oder auch einen konkreten Hinweis auf das damalige Ereignis liefern. Dabei bedeutet das Vorliegen einer massiven Spur keineswegs, dass sie aussagekräftiger oder spezifischer wäre als eine feine, zunächst kaum wahrnehmbare.

Im Hinblick auf die Verwertung einer Spur *in foro*, um einen Schritt weiterzugehen, läge es nahe, eine Vorauswahl der prägnant und spezifisch erscheinenden Spuren vorzunehmen. Ein solches Vorgehen wäre jedoch unzulässig. Denn dadurch würde man die Interpretation vor die Erhebung stellen. Vielmehr muss das Bemühen darin bestehen, die Gesamtheit möglicher Spuren zu erfassen. Zu Recht würde man sich anderenfalls Vorwürfen von Voreingenommenheit bis zu Spurenunterdrückung aussetzen.

Für eine Auswertung des Pools an Spuren erfolgt bei einer rechtsmedizinischen Beurteilung interpretierend eine Hierarchisierung. So sollte der Weg von der Makrospur zur Detailspur verlaufen. Der den Gesamtablauf beschreibende Ansatz wird schrittweise durch die Details entweder falsifiziert oder verifiziert.

Wird er verifiziert, dann erfolgt anhand immer feinerer Details auf der jeweils nächsten Ebene wiederum eine Überprüfung des gewählten Ansatzes. Keinesfalls sollte von einem noch so interessanten Subdetail allein der Schluss auf das Ganze gewagt werden.

Auch bei noch so feinen und modernen Meßmethoden kann und darf nicht auf Plausibilitätsüberlegungen verzichtet werden, vielmehr dürfte die größte Gefahr einer Fehlbeurteilung wohl eher Folge der Technikgläubigkeit sein.

Nach Möglichkeit sollte eine Befundüberprüfung (bewusst wird nicht der Begriff „Absicherung“ gewählt) mit einer unabhängigen Methode angestrebt werden.

---

Klaus-Steffen Saturnus: Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Rechtsmedizin,  
Robert-Koch-Str. 40, 37099 Göttingen, E-Mail: ksatern@gwdg.de

Um dieses Vorgehen zu verdeutlichen, sollen im Folgenden Ablauf und Auffächerung vom Groben ins Detail an einem Extrembefund dargestellt werden. Dieser Extrembefund ist die Kasuistik einer Dekapitation als Folge suizidalen Erhängens. Die Annahme „suizidal“ ist der Endschritt bei der Interpretation der Summe aller Spuren.

Bei der Dekapitation durch Sturz in eine Schlinge handelt es sich um eine sehr seltene Verletzungsform, der in der Regel große Aufmerksamkeit gewidmet wird. Die Mehrzahl dieser Kasuistiken dürfte publiziert worden sein, weshalb das Schrifttum einen ganz guten Überblick über die Häufigkeit dieses Ereignisses geben dürfte.

Die Beschreibung der Dekapitation ist bisher unter Einzelaspekten erfolgt, nämlich unter kriminologischen, traumatologischen und biomechanischen (Brinkmann 2004; Byard u. Gilbert 2004; James u. Nasmyth-Jones 1992; Nokes et al. 1999; Nowak u. Heise 1990; Pankratz et al. 1986; Pollak u. Stellwag-Carion 1991; Rabl et al. 1995; Raja u. Sivaloganathan 1997; Rothschild u. Schneider 1999; Tracqui et al. 1999; Tsokos et al. 2004; Weigel et al. 1994; Weimann u. Prokop 1963; Zhu et al. 2000). Es ist bisher noch nicht gelungen, die Fülle der Befunde, also der Spuren, zu sammeln. Auch fehlt eine Darstellung über die Vernetzung der Untersuchungen von Ermittlungsbehörden und Kriminaltechnik sowie der medizinischen Disziplinen.

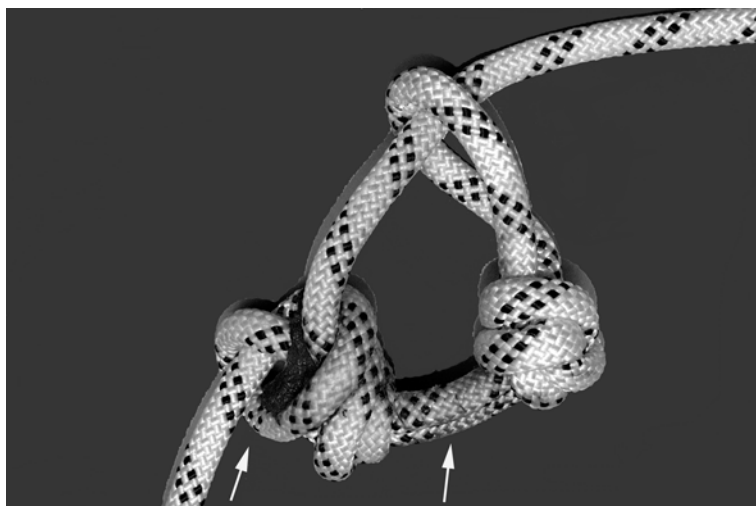
Für die Ermittlungsbehörden stellt sich die Frage, ob es sich um ein Fremdverschulden handelt oder nicht. Damit muss untersucht werden, welche Spuren der Kategorie „fremd“ (Tötung) und welche der Kategorie „selbst“ (Suizid) zuzuordnen wären. Es wäre der Frage nachzugehen, ob es traumatologisch überhaupt berechtigt sei, die Dekapitation nach Sturz in die Schlinge unter die Formen des „suizidalen Erhängens“ zu subsumieren.

## 3.2

### Die Spurenlage bei der Auffindung

Nach Alarmierung durch einen Passanten fanden das 1. Kommissariat (K1) und das 5. Kommissariat (K5) des Erkennungsdienstes (EKD) einen mittvierzig-jährigen Mann von insgesamt etwa 190 cm Körpergröße und 95 kg Körpergewicht, teilweise unter der Überführungsbrücke einer Bahnstrecke liegend, mit einem kompletten Schädelabriss tot auf.

Der Tote war regelrecht bekleidet. Dabei war die Oberkleidung, der Jahreszeit entsprechend (Winter, -5 °C), dick wattiert. Sie war nicht beschädigt. Der Tote, sein Kopf und das Strangwerkzeug waren beim Eintreffen der ermittelnden Beamten leicht mit Schnee bedeckt. Die Totenstarre war noch nicht ausgeprägt.



**Abb. 3.1.** Strangwerkzeug mit laufender Schlinge unter doppelter Knotensicherung. Blut- und Gewebeantragungen auf der Innenseite des Strangwerkzeugs; Einziehung eines Muskelbündels in den 2. Knoten

Der Torso lag in Bauchlage mit dem rechten Unterarm unter dem Bauch und nach links gedrehten Unterschenkeln kopfwärtig zu Zweidritteln unter der Brücke, und zwar unmittelbar vor einem der Pfeiler.

2,4 m davon entfernt, etwa in der Mitte der Brücke und rechtsseitig, bezogen auf die Lage des Toten, stand der abgetrennte Kopf aufrecht auf dem Schotter des Bahnkörpers.

Etwa 1,5 m rechtsseitig des Toten lag ein 6,6 m langes Seil im verdorrten Gras. Es war ein Nylonkletterseil mit einer Stärke von 12 mm, das vollkommen intakt war.

An einem freien Ende fand sich eine laufende Schlinge, die mit 2 Knoten gesichert war (Abb. 3.1).

Der gesamten Innenfläche der Schlinge hafteten zarte Gewebe- und Blut- antragungen an. Kräftige Gewebeanhaftungen lagen zwischen den einander zugewandten Flächen beider Knoten und im inneren Teil des nur dort vorhandenen Doppelstrangs. In den schlingenentfernten Knoten war ein großes Muskelstück fest eingezogen (Abb. 3.1). Am oberen Ende des Seils fanden sich Farbreste vom Ort der Anknüpfung, nämlich dem Handlauf des Geländers einer Überführungsbrücke. Von diesem selber war Material abgeplatzt und abgerieben worden. Dieser Abrieb (Abb. 3.2) gab die Struktur des Seils wieder.

Die Distanz Boden zu Oberkante Brückengeländer betrug 7,88 m.

Der Brückenpfeiler, an dem der Torso lag, wies wenige, zarte Blutspritzspuren auf. Nach dem Spurensicherungsbericht fand sich die höchste Spur



**Abb. 3.2.** Muster des Strangwerkzeugs in Form von Riefen im Handlauf des Geländers eines Bahnübergangs, Aufknüpfungspunkt mit doppelter Umschlingung

an der vorderen Kante des Pfeilers, und zwar 4,4 m über dem Boden und damit 3,5 m unterhalb des Aufknüpfungspunkts vom Strangwerkzeug. Die Spur verlief von vorn oben nach hinten unten. Die höchste Spur an der Frontseite des Pfeilers befand sich in 3,9 m Höhe. Von dort erstreckten sich über 1 m Länge Ablaufspuren nach unten.

Eine große Blutlache umgab den Torso in Halshöhe in der Kleidung und auf dem Boden. Am Pfeiler waren in Bodenhöhe keine Blutspritzspuren vorhanden.

Um den abgetrennten Kopf war im Gleisschotter ebenfalls eine große Blutlache entstanden. Bei einer Entfernung zum 1. Gleisstrang von 1,4 m wurden zwei Spuren an der vorderen Schiene gesichert.

### 3.3

## Organisatorischer Ablauf und Methoden

Trotz der leichten Schneedecke erfolgte sofort die Fundortdokumentation, durch K1 und K5 (Erkennungsdienst), ein Teil der erforderlichen Abklebungen konnte aber erst im Göttinger Institut für Rechtsmedizin (IFR) abgenommen werden. Zum Fundort war ein erfahrener Rechtsmediziner (Dr. Kampmann, IFR) als erster Dienst gerufen worden.

Nach Abschluss der primären spurenkundlichen Untersuchungen im IFR wurden Kopf und Torso bis zur Obduktion am Morgen des nächsten Tags in die Kühlung verbracht, wobei der instabile Kopf unbemerkt über Nacht in Gesichtslage positioniert war. Eigentlich wäre diese Lage

unerwünscht gewesen. Im konkreten Fall stellte sich die nicht gewollte Umlagerung jedoch mittelbar als Informationsgewinn heraus.

Im IFR wurde die gerichtliche Obduktion am Folgetag durchgeführt. Dabei wurden weitere Spuren und Spureenträger asserviert, die erhobenen Befunde ausgiebig fotografisch dokumentiert.

Das vermutete Strangwerkzeug wurde zu Vergleichszwecken mitgeführt.

Die Obduktion wurde gerichtlich angeordnet, typisch rechtsmedizinisch durchgeführt. Sie erfolgte unter schichtweiser Präparation, selbstverständlich auch der Rumpfrückfläche und zirkulärer Präparation der Gliedmaßen.

Von der Rupturstelle aus wurden Unter- und Mittelgesicht präpariert, Obergesicht in Zusammenhang mit der Darstellung der Schädelchwarte.

Nach der Entnahme des Gehirns wurden die Augenhöhlendächer präparativ eröffnet, hintere Schädelbasis mit Halswirbelsäule (HWS) sowie das untere Fragment von HWS, einschließlich BWK 1 asserviert, formalinfixiert und danach präparativ aufgearbeitet.

Präpariert wurden Zungenbein und Kehlkopf nach eingetretener Fixation.

Auf eine Röntgendarstellung des vollständig abgerissenen Kopfs wurde mit Rücksicht auf den radiologischen Betrieb verzichtet. Dieses war um so leichter möglich, als die Befunde präparativ verlässlich erhoben werden konnten. Es wurde also aus Gründen der Zumutbarkeit auf den Einsatz einer unabhängigen Methode verzichtet.

Die inneren Organe wurden histologisch, das Gehirn wurde neuropathologisch untersucht.

Die Untersuchungen wurden durch toxikologische Untersuchungen, einschließlich Ethanol, und DNA-Analyse abgerundet. Es wurden Abstriche von After und Mund (Sperma) genommen.

## **3.4**

### **Spuren**

#### **3.4.1**

##### **Spuren am Strangwerkzeug**

Das Strangwerkzeug wies 2 Knoten zur Schlingensicherung und einen weiteren, ebenfalls sehr fest zugezogenen Knoten einen Meter von der Schlinge entfernt auf. Am Seil fanden sich Farbantragungen vom Handlauf des Geländers, am Handlauf selber bestand eine doppelte Kontaktspur (Abb. 3.2).



### 3.4.2

## Ergebnisse der Obduktion zur Feststellung von Verletzungsspuren

### Totenflecken als Spur

Die Totenflecken waren nach einem halben Tag Liegezeit umgelagert. Das betraf den Rumpf und die Gliedmaßen, hier befanden sie sich in den rückwärtigen Partien. Totenflecken fanden sich aber auch nach Gesichtslage über Nacht im Gesicht. Deutlich waren die Aufliagestellen ausgespart, nämlich Nase und untere Stirnmitte.

### Strangmarke als Spur

**Oberes Fragment:** Die Strangmarke verlief an ihrem tiefsten Punkt, nämlich der Umschlagstelle Kinn-Hals, mit dem Rand der Ruptur zusammen. An diesem unteren Scheitel fand sich eine leichte Auswölbung kinnwärtig (Lage eines der beiden Knoten).

In ihrem weiteren Verlauf entfernte sich die Strangmarke beidseitig leicht zunehmend vom Rand der Ruptur, lag an ihrem höchsten Punkt gering links der Mittellinie, weit oberhalb der Rupturstelle, im behaarten Schädel. Unter der Strangmarke waren die Haare deutlich niedergedrückt.

Auf der linken Kopfseite war als Teil der Strangmarke von der Höhe des Warzenfortsatzes an die Schlinge abgeformt (Abb.3.3, 3.4), über dem linken Unterkieferwinkel der Knoten. Im absteigenden Teil der Strangmarke auf der rechten Seite fanden sich kräftige, gestaffelte Schürfungen, die vom Hinterhaupt bis zum Unterkieferwinkel reichten.

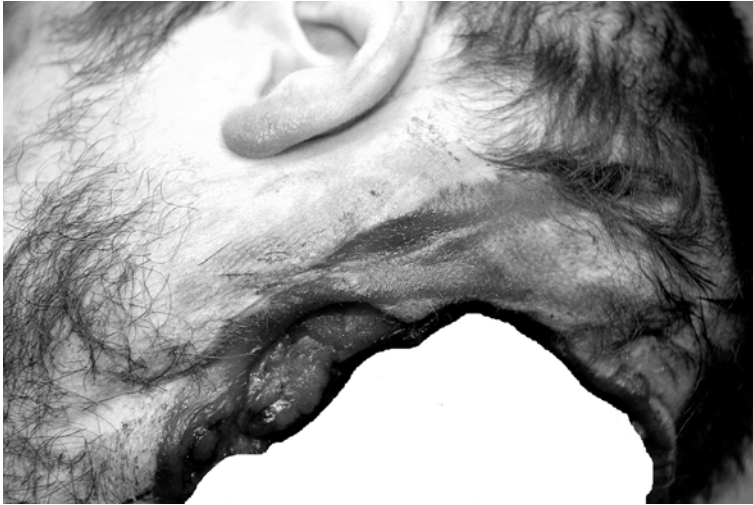
**Torso:** Vorn in der Mittellinie fand sich am Torso eine rundliche Auswölbung fußwärtig mit einer schmalen Schürfung, bestanden, symmetrisch bis zur Mitte der Mm. sternocleidomastoidei verlaufend, angeschrägte Schürfungen mit einem glatten Rand. In der weiteren Zirkumferenz war die Rupturstelle nicht geschürft, wies der Rand der Haut durchgehend feine Unregelmäßigkeiten auf.

Breit war nur die zerrissene Muskulatur des Vorderhalses bis zum freiliegenden Kehlkopf mit einem Decollement unterblutet, sonst gering und nicht untertascht.

Genau umgekehrt waren die Befunde am Kopfteil mit massiven Unterblutungen und einem Decollement in den seitlichen Partien des Halses und im Nacken.

### Verletzungen der Halsweichteile als Spur

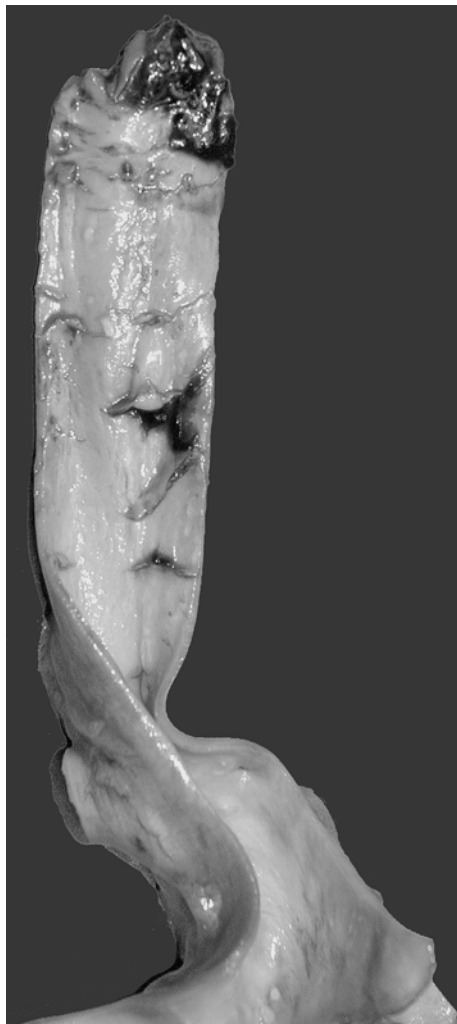
**Gefäße:** Querverlaufender Abriss von Aa. carotis comm. und der Aa. vertebrales. Auf beiden Seiten ist die A. carotis comm. kurz unterhalb ihrer Gabelung gerissen. Rechtseitig finden sich ausgedehnte Querrisse in der Intima und an der Rupturstelle (Abb. 3.5). Ausgedehnte Querrisse in beiden



**Abb. 3.3.** Strangmarke liegt mit Knotenabdruck des Werkzeugs unter dem linken Unterkieferwinkel in Höhe der Ruptur. Abformung der Schlinge des Strangwerkzeugs über dem linken Os occipitale



**Abb. 3.4.** Blick in die abgeformte Marke der Schlinge des Strangwerkzeugs. Strangmarke entfernt sich bis zu ihrem Scheitel zunehmend von der zirkulären Ruptur. Folge des Längszugs niedergedrückte Haare im freien Teil der Schlinge



**Abb.3.5.** Abriss der rechten A. carotis comm. kurz unterhalb der Gabelung der Schlagader. Dichte quergestellte Intimarrisse, die durch einen freien Rand zur Schnittfläche von Artefakten abzugrenzen sind

Vv. jugulares int. in Höhe der Zerreißung. Gefbloten nur im Anfangsteil unterblutet, gleichfalls keine perivasalen Blutungen der Aa. vertebrales. Bei diesen liegen die Rupturstellen beidseitig in Höhe C2/3.

**Halsmuskulatur:** Der obere Rand der Halsmuskulatur ist an der Rupturstelle unterblutet. In Höhe des Ansatzes am Schlüsselbein finden sich zarte Blutungen der Insertionen der Mm. sternocleidomastoidei, und zwar rechts deutlich, links nur schmal umschrieben. Die vordere gerade Halsmuskulatur ist unverletzt. Ausgedehnte flächige Blutung prvertebral; Nackenmuskulatur s. HWS-Befund.

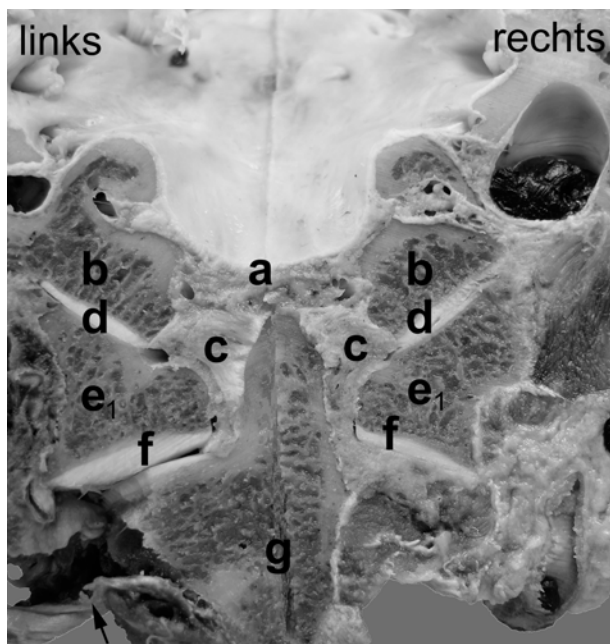


Abb. 3.6. (a) – Lig. apicis dentis, (b) – Condyli occ., (c) – Ligg. alaria, (d) – obere Kopfgelenke, (e<sub>1</sub>) – massae lat., (f) – untere Kopfgelenke, (g) – corpus axis. Schräg-frontaler Schnitt durch die Schädelbasis (Clivus und Condyli occ.), die oberen und unteren Kopfgelenke mit Atlas und Axis. Sprengung des linken unteren Kopfgelenks mit Ausbruch der äußeren Partien der Fac. art. inf. in Fortsetzung des Bogenausrisses

**Schilddrüse:** Kräftige rechtsseitige und geringe linksseitige subkapsuläre Blutung, jeweils im Bereich des oberen Pols.

### **Knöcherne und Weichteilverletzung als Spur**

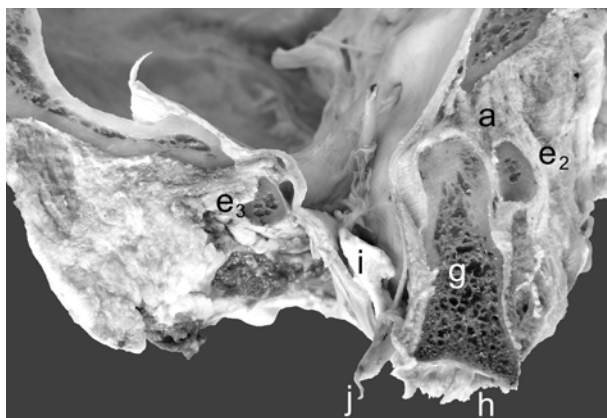
#### **Halswirbelsäule und hintere Schädelbasis:**

**Oberes Fragment:** Die Schädelbasis ist intakt. Abriss des verlängerten Marks in Höhe des 2. Halswirbels. Breite Zerreißung der harten Rückenmarkshaut nach etwa 5 cm Lange, über die Grenze C2/3, also die Rupturstelle hinaus.

Kein Bruch des Zapfenfortsatzes (Dens axis) des 2. Halswirbels (Abb. 3.6, 3.7), aber hangman's fracture mit flachig seitlichem Ausriss des Wirbelkörpers C2 (Axis) auf der linken Seite unter Beteiligung der linken Gelenkflache als Teil des unteren Kopfgelenks (Facies art. sup. axis), etwa in ihrer Mitte (Abb. 3.7).

Komplette Zerreißung der darunter liegenden Bandverbindung (Membr. atlanto axialis posterior).

Abriss der Bandscheibe C2/3, wobei der Nucleus pulposus mit nach caudal ausgerissener Hlle an der Grundplatte C2 haftet.



**Abb. 3.7.** (e<sub>2,3</sub>) – Lig. apicis dentis, (a) vorderer und hinterer Atlasbogen, (g) – corpus axis, (h) – abgelöste Bandscheibe C2/3, (i) – verlängertes Mark, (j) – harte Rückenmarkshaut (Dura). Sagittalschnitt durch Schädelbasis, Atlas und Axis. *Hangman's fracture*: Abriss der Bandscheibe C2/3, der linken Axisbogenhälfte, rechts durch das Wirbelbogengelenk. Hoher Abriss des verlängerten Rückenmarks, tiefer des Duraschlauchs

Zerreißung und Queraufsprengrung der knöchernen Umgrenzung des Kanals für die Wirbelbogenschlagader (Foramen costo transversarium) links.

Rechte Hälfte des Axisbogens mit dem unteren Kopfgelenk und die beiden oberen Kopfgelenke intakt, einschließlich der Menisci.

Oberer Bandapparat unverletzt, also das Lig. apicis dentis, die Flgelbnder, das Kreuzband und die Dura.

Keine Zerreißungen der vorderen Membranen (Membr. atlanto axialis und atlanto occipitalis anterior), keine des hinteren Bandes zwischen Kopf und hinterem Atlasbogen (Membr. atlanto occipitalis posterior).

**Unteres Fragment (aus dem Torso):** Breite Zerreißung des Wirbelbogengelenks C2/3 rechts, wobei das 3. Spinalganglion mit der Wurzel freiliegt.

Ausgerissen die linke Hälfte des Axisbogens mit einem Corpusfragment. Ruptur des linken Wirbelbogengelenks C2/3 mit traumatischer Separierung von Spinalganglion und Wurzel.

Querfraktur des linken Axisbogens am Ansatz des Dornfortsatzes.

Massive epidurale Blutung, rückwärtig betont, mit Einblutungen in den Wirbelbogenlchern auf der linken Seite, und zwar durchgehend. Rechtsseitig keine entsprechenden Einblutungen.

Streifige Blutung, und zwar durchgehend, in der tiefen Rückenmuskulatur von C4-C7.

Gelbe Bänder, vorderes und hinteres Längsband sowie die Dura im weiteren Verlauf der Halswirbelsäule intakt.

Wirbelbogengelenke unterhalb C3 intakt, keine Blutungen in den Menisci.

Bandscheiben unterhalb C3 intakt; C5/6 ein kleiner, alter Bandscheibenvorfall. Aber auch in diesem Segment keine Verletzungen der Bandscheiben. Das Rückenmark ist im unteren Fragment intakt.

**Kehlkopf und Zungenbein:** Abriss innerhalb des Kehlskeletts zwischen Zungenbein und Kehlkopf (Abb. 3.8).

Dabei ist der Kehlkopf so ausgerissen, dass es zu einer Zerreißung der Membran und des Bandes zwischen Kehlkopf und Zungenbein gekommen ist (Membr. thyrohyoidea), wobei am Zungenbeinfragment der Kehldeckel (Epiglottis) verblieben ist.

Der Schleimbeutel des Zungenbeins und die Epiglottis sind dabei unverletzt geblieben.

Das Zungenbein weist linksseitig eine Verknöcherung zwischen großem Horn und Körper, rechtsseitig eine sehr schmale teildurchbaute straffe Verbindung des Gelenks (Amphiarthrose) auf.

Beidseitiger Bruch der großen Zungenbeinhorns an der Grenze mittleres und äußeres Drittel.

Bei der präparativen Darstellung des Kehlkopfs findet sich eine Unterblutung um die zerrissene Membr. thyrohyoidea mediana auf der Innen- und Vorderfläche in der Mittellinie (Inzisur). Fortgesetzt vom Abrissrand setzen sich beidseitig die Blutungen auf der Innenseite des Schildknorpels fort, zart bis in die Taschenfalten.

Das linke Schildknorpeloberhorn ist an seiner Basis nach innen geknickt, das rechte im äußeren Drittel quergebrosen.

Die präparative Darstellung des Schildknorpels ergab keine weiteren Verletzungen, so nach Lösung des Hypopharynx dort keine Unterblutungen; keine in den Mm. postici. Keine Unterblutungen oder Luxationen in den Arygelenken. Keine Blutungen und Zerreißungen in den Kehlkopfringknorpelgelenken.

Nach horizontalem Sägeschnitt durch den Ringknorpel erweist sich dieser als unverletzt.

Gleichfalls bestanden auf dem Sagittalschnitt durch die Kehlkopfweichteile in der Kehlkopfschleimhaut keine Unterblutungen, weiterhin keine in den Taschenfalten und den Mm. vocales.

### **Obduktionsbefund, Neuropathologie, Histologie, Toxikologie**

**Oberes Fragment:** Bei der Obduktion des oberen Fragments fanden sich außer den beschriebenen Verletzungen keine weiteren.

Bis auf diskrete Punktblutungen im Zungengrund bestanden keine weiteren, also keine Punktblutungen in Gesichtshaut, Bindehäuten und Augenmuskulatur.

Die Zunge lag zwischen den Zähnen, entsprechend fanden sich Zahnabformung (Abb. 3.9), auf der Schnittfläche ohne Unterblutungen.

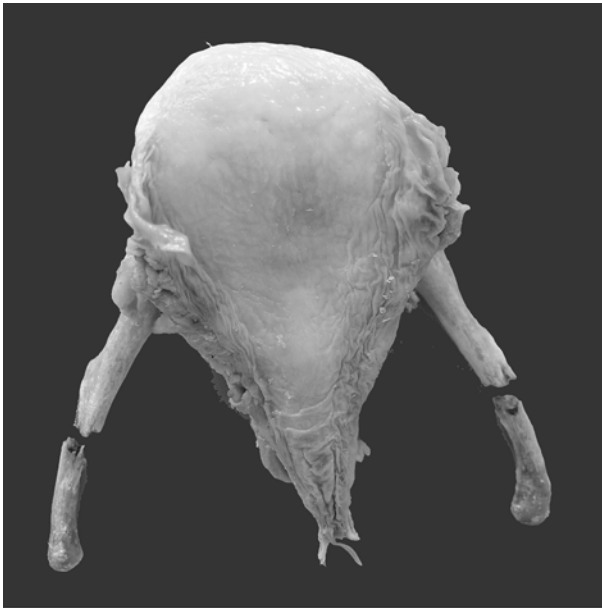
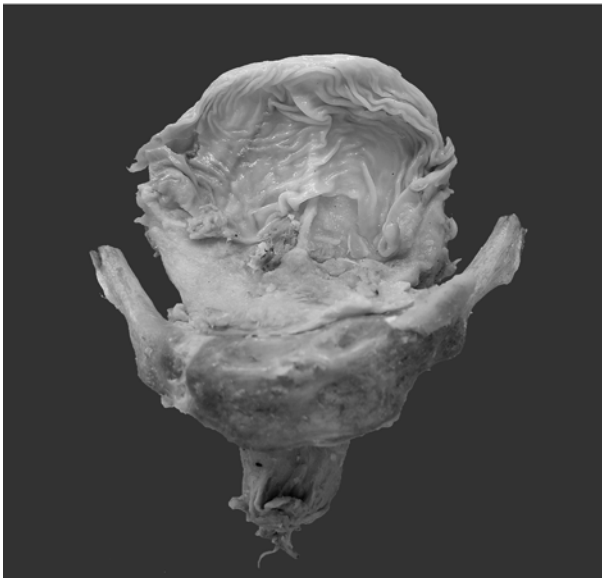
**a****b**

Abb. 3.8a,b. Ruptur zwischen Kehlkopf und Zungenbein mit Ausriss des Kehldeckels (Epiglottis). Präparative Darstellung der Frakturen beider großer Zungenbeinhörner

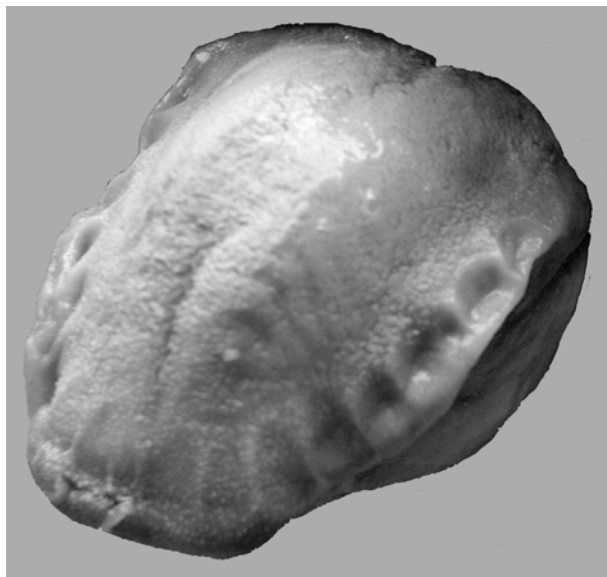


Abb. 3.9. Einklemmung der Zungenspitze und der Seitenfläche zwischen den Zähnen mit Schleimhautimpression. In der Tiefe keine Verletzungen

Unverletzt waren die Schädelshwarte und die Weichteile des Gesichtsschädels. Knöcherne Verletzungen fanden sich weder im Gesichtsschädel noch im Neurokranium, kein epidurales oder subdurales Hämatom, keine Subarachnoidalblutung.

**Neuropathologie (Prof. Dr. Brück):** Verletzungen: Diskrete perivasale Blutungen im linken Nucleus lentiformis.

Chronische Organveränderungen: Meningealfibrose mit diskreter Rundzellinfiltration.

Beidseitig im Ammonshorn in CA2 und CA1 vollständiger Verlust der Neuronen des Pyramidenbandes, dort eine reaktive Gliose und Infiltration durch Makrophagen.

**Torso:** Verletzungen: Außer den beschriebenen fanden sich äußerlich und bei schichtweiser Präparation im Bereich des Rumpfs auf der Vorder- und Rückseite keine Verletzungen, so auch nicht in der Gesäßmuskulatur und über dem Steiß; keine Schulterblatt oder Dornfortsatzbrüche.

Auch die zirkuläre, schichtweise Präparation beider Arme und Beine ergab keine frischen Verletzungen.

Es fanden sich aber ausgedehnte Felder glattrandiger Narben dicht gekreuzt über der Vorderfläche von Brust und Bauch und an beiden Armen. Die Beine waren frei.

Eine große, horizontal verlaufende Narbe lag über dem Vorderhals.





Abb. 3.10. Sich kreuzende Spuren. Blutspritzmuster und Spur eines Reißverschlusses. Morphologische Kriterien für eine zeitliche Reihung

In den Handbeugen bestanden keine Narben. Dagegen lag eine im Bereich des rechten Daumenballens (Abb. 3.10). Dort sind weiterhin neben der Abdruckmarke eines Reißverschlusses Blutspritzer sowie eine Blutantragung zu erkennen.

**Toxikologie:** Die Untersuchung auf Ethanol in Blut und Urin war negativ, die auf Betäubungsmittel sowie zentral wirksame Pharmaka in Blut und Urin ergab lediglich für Amfetamine enzymimmunologisch einen schwach positiven Befund im Blut. Haaranalysen zur Frage der chronischen Medikamentenzufuhr wurden nicht durchgeführt, auch wenn das Haar dafür eine geeignete Matrix gewesen wäre (Kijewski, 1997).

**Spermauntersuchungen:** Die untersuchten Abstriche waren negativ.

## 3.5

### Diskussion

#### 3.5.1

#### Die Strangmarke

##### Die Strangmarke als äußere Spur

Eine Strangmarke stellt eine Excoriation dar, wird durch postmortale Austrocknung prägnant. Grundsätzlich ist sie auch postmortal zu erzeugen, so-

mit kein Beweis einer vital erlebten Verletzung (vitale Reaktion). Dennoch ist sie als Spur verwertbar, kann Aufschlüsse über mechanische Abläufe liefern.

In den Diskussionen über den zukünftigen Schwerpunkt der Spurenanalyse wird gern der DNA-Analyse eine Priorität zuerkannt. Bei bestimmten Fragestellungen ist dieser Ansatz durchaus berechtigt, bei anderen nicht. Es ist jeweils eine Frage der Wahl der richtigen Dimension. So könnte man bei der Beurteilung von Spuren eines Tieres im Schnee natürlich auf eine DNA-Untersuchung zur Bestimmung der Spezies zurückgreifen. Man wird aber diesen Weg selbstverständlich nicht wählen, sondern die Makrodimension verwenden und die anatomische Morphologie der Tritt- oder Fraßspur auswerten.

Auch im konkreten Fall ließe sich durch die DNA-Untersuchung erkennen, ob ein Kontakt zwischen dem später Toten und dem Strangwerkzeug bestanden hat. Eine zeitliche Zuordnung, ob dieser Kontakt vor oder nach dem Tod des Mannes stattgefunden hat, ergibt jedoch erst die Auswertung der Makrospur.

Die Antragungen waren am Strangwerkzeug massiv, sogar ein großes Muskelbündel war in den schlingenfernen Knoten gezogen worden. Aber auch auf die Massivität einer Spur könnte sich keine Zuordnung stützen.

Dieses gelingt durch eine Kombination der Methoden, nämlich der DNA-Untersuchung und der Auswertung der makromorphologischen Spuren an Strangmarke und Strangwerkzeug.

Der Positivabdruck eines Werkzeugs, hier der Schlinge des Strangwerkzeugs, erlaubt weitere Zuordnungen über den Ablauf, nämlich wie das Strangwerkzeug bei der Zugbeanspruchung um den Hals gelegt war. Die Schlinge war im Nacken links abgebildet, der dazu gehörende Knoten unter dem linken Unterkieferwinkel (Abb. 3.3, 3.4). Damit sind zunächst 2 Koordinaten gegeben.

Insgesamt waren aber wesentlich mehr Kontaktstellen sicher nachzuweisen, die ohne Zugbeanspruchung nicht erklärt werden können.

Im Ausschluss einer konkurrierenden Todesursache ließe sich sagen, dass der Sturz in die Schlinge vital erlebt worden ist. Damit wäre aber die Frage nach „fremd“ oder „selbst“ noch nicht beantwortet. Das Fehlen von Begleitverletzungen der Halshaut mit nur einer Strangfurche wäre ein Hinweis auf „selbst“.

Aus diesen Koordinaten ergibt sich, dass der schlingenfernere Knoten in Halsmitte in Höhe des Übergangs zum Mundboden seine Position hatte, dem unteren Scheitelpunkt der Strangmarke. In diesen Knoten war das Muskelstück eingezogen, was für eine sehr starke Zugbeanspruchung spricht.

Der obere Scheitel lag weit von der Rupturstelle entfernt, nämlich links der Mittellinie im behaarten Schädel (Hinterkopf).

Durch den Abstand von Strangmarke zur zirkulären Ruptur, vorn identisch und im Nacken weit oberhalb, und durch den Positivabdruck von Schlinge mit Knoten wird die Lage des Strangwerkzeugs durch 4 Merkmale definiert.

Die Krafteinleitung erfolgte somit in den Mundboden (submental), knöchern in die Unterkiefer.

### **Die indirekten Spuren der Strangmarke**

Betrachtet man die vorliegende Strangmarke unter dem Aspekt typisches suizidales Erhängen versus Sturz in die Schlinge, so finden sich verwertbare Unterschiede. Der morphologisch fassbare Unterschied ergibt sich aus der rotatorischen Komponente. Diese ist als Spur anhand der Weichteilverletzung ablesbar.

Beim suizidalen Erhängen wäre sie praktisch zu vernachlässigen, entsprechend ist ein Decollement dabei eine Rarität. Beim Sturz in die Schlinge stellt die Tangentialkraft (rotatorische Komponente) eine nennenswerte Größe dar (Pankratz et al. 1986).

Diese Berechnung ist stimmig mit früheren morphologischen Befunden (Saternus et al. 1978; Saternus 1990). Dabei fand sich nach verschiedenen Stürzen in die Schlinge um etwa Körperhöhe fast immer, wenn der Knoten in etwa im Nacken oder submental gelegen hatte, ein massives Decollement, nur in einem Drittel dagegen bei seitlicher Knotenlage. Dieser Unterschied dürfte wohl damit zusammenhängen, dass in der Drehrichtung beim Zusammenziehen der Schlaufe das Kinn ein mechanisches Hindernis sein kann.

In einem Fall symmetrischer Knotenlage war in diesem Kollektiv ein Decollement mit einer 10 cm langen Zerreißung der Halshaut in Höhe der Kinnumschlagfalte kombiniert aufgetreten.

Nur wenn ein Strangwerkzeug der Halshaut fest anhftet, es selber eine grobe Oberflächenstruktur aufweist, kann es zum Decollement in der Verschiebeschicht in der Tiefe, nämlich zwischen Platysma und der Muskelfascie der Halsmuskulatur kommen. Bei den im Schrifttum mitgeteilten Stürzen in die Tiefe war wie im hier dargestellten Beispiel das Strangwerkzeug kräftig dimensioniert und profiliert.

In einem abweichenden Fall wurde ein Draht verwandt (Weimann u. Prokop 1963), entsprechend stellt sich dabei von der Wundmorphologie her der Vergleich mit einer Schnittverletzung.

Decollements sind also bei Verwendung eines kräftigen Seils zu erwarten.

Im alten rechtsmedizinischen Schrifttum war es durchaus bekannt, dass bei Sturz in die Schlinge primäre Knotenlage und Endposition durch die erfolgte Rotation verschieden sind (Hofmann 1876; Kinkead 1885).

Eingangs wurde die Frage der vitalen Reaktion beim Erhängen angesprochen. Für das suizidale Erhängen, bei dem die Blutgefäße zum Kopf erhalten sind, läßt sich die mechanische Strömungsbehinderung zum Gehirn mit biochemischen Markern (Berg 1963; Berg 1966; Berg u. Bonte 1973; Kernbach-Wighton 2004; Saturnus et al. 1980) nachweisen.

Für die Dekapitation ist dieser Weg verständlicherweise nicht begehbar.

Es bedarf aber der Feststellung, dass auch das Decollement mit Muskelausriss und Nachblutung, obwohl es sich um einen massiven somatischen Befunde handelt, keine vitale Reaktion darstellt. Das gilt auch für die nur in Höhe der Rupturstelle eingebluteten Lymphknoten, die dennoch in dieser Form als Spuren zu lesen sind (Adebahr u. Erkrath 1982).

### **Strangmarke und Wärme durch Reibung?**

Wärmebildung durch Reibung wäre z. B. bei dem Versuch zu erwarten, ein durch die Hände gleitendes Seil festhalten zu wollen. Dabei können alle frühen Stadien einer Verbrennung erwartet werden.

Rabl et al. (1995) verfolgen in diesem Zusammenhang den sehr interessanten Aspekt der Wärmeentwicklung durch die Seilreibung bei der Dekapitation durch Sturz in die Schlinge. Käme es zu dieser Reibung bei der Strangulation lokal am Hals, sei es suizidal oder als Sturz in die Schlinge, dürfte eine Strangmarke keine Individualität, sondern müsste eine Homogenisierung durch Hitzeeinwirkung aufweisen. Der konkrete Fall mit der Abformung der Schlinge und dem Decollement würde gegen eine solche These sprechen. Der Befund ist stimmig mit der Sicht dieser Autoren, die nämlich keine Hitzeveränderungen an der Strangmarke selber bei der Dekapitation durch Sturz in die Schlinge gefunden hatten, stattdessen aber halsferne hitzebedingte Anschmelzungen durch Reibung beim Entlanggleiten des Knotens am Seil. Beim eigenen Fall bestanden trotz einer Seilablösung unter der Zugbeanspruchung keine Hitzeanschmelzungen, wohl aber eine Seilmarke am Handlauf des Geländers und eine Lackabplatzung.

Mit Hilfe technischer Spurenanalysen könnte somit individuell bei strittigen Fragen nach der Fallhöhe eine Aussage gemacht werden. Die Autoren (Rabl et al. 1995) verweisen in diesem Zusammenhang auf die geläufigen Gurtuntersuchungen nach Verkehrsunfällen.

## **3.5.2**

### **Geformte Marken und ihre zeitliche Reihung**

Nicht selten sind ursprüngliche Spuren von späteren überlagert worden. Eine Differenzierung vorzunehmen, ist nicht nur bei größeren Zeitunter-

schieden in der Spurenlegung gefragt, sondern auch bei einem zeitlich komprimierten Geschehen. Selbst bei einem praktisch einzeitigen Ereignis kann es für die Ermittlungsbehörden von Interesse sein, nach einer zeitlichen Abfolge zu fragen und vorhandene Spuren daraufhin untersuchen zu lassen. Dieses Unterfangen ist keineswegs von vornherein als vergeblich anzusehen. Der scheinbare Widerspruch zwischen „praktisch einzeitig“ und „zeitlicher Abfolge“ soll an einem realen Beispiel aufgelöst werden.

So ist es eine typische rechtsmedizinische Aufgabe bei einer Serie von Hieben gegen den Schädel, eine Reihung der Hiebfolge vornehmen zu müssen. Nicht selten geht es dabei um die Frage, ob sich die Angabe, der erste Hieb hätte das Opfer der Gewalt von hinten getroffen, verifizieren oder falsifizieren ließe. Der rechtliche Hintergrund für die Aufgabenstellung betrifft das Kriterium Heimtücke als sog. Mordmerkmal.

Die Interpretation der Spuren, nämlich der Bruchlinien des Schädels, erfolgt für die zeitliche Reihung nach der „Puppischen Regel“. Das Kriterium ist dabei der physikalische Effekt, dass eine neue Sprunglinie im Knochen ihre Begrenzung an einer vorbestehenden findet.

Noch stärker zeitlich komprimiert sind die Verhältnisse beim Sturz in die Schlinge mit erfolgter Dekapitation. Zwei morphologische Merkmale sollen dazu betrachtet werden:

### **Einklemmung der Zunge**

Das erste davon ist die zwischen den Zähnen eingeklemmte Zunge (Abb. 3.9). Der unmittelbare Anschein besagt, dass die Zunge bereits während des Sturzes zwischen den Zähnen gelegen habe, es sich somit um ein einzeitiges Geschehen gehandelt haben müsste.

Eine Zungeneinklemmung wäre beim suizidalen Erhängen mit oberem Scheitelpunkt des Strangwerkzeugs im behaarten Schädel kein ungewöhnlicher Befund. Konkret ist zu erkennen, dass die Zähne das Zungengewebe breit imprimiert haben (Abb. 3.9).

Beim suizidalen Erhängen findet sich in der darunter liegenden Muskulatur keine Einblutung. Das traf auch auf den vorliegenden Fall zu.

Plausibilitätsüberlegungen sprechen aber wegen der unterschiedlich großen kinetischen Energie gegen eine gleichartige Ausprägung dieses Merkmals bei suizidalem Erhängen und tiefem Sturz in die Schlinge.

Wenn nämlich bei submentaler Krafteinleitung der Kopf mit oberer HWS abgerissen worden ist, müsste erwartet werden, dass eine zwischen den Zähnen liegende Zunge lokal massiv verletzt worden wäre. Das war, wie gesagt, jedoch nicht der Fall.

Damit muss die zeitliche Zuordnung überprüft werden. Die Zunge müsste noch nach dem Ereignis zwischen die Zähne geraten sein, zusätzlich

müsste sich der Mund des Toten sogar noch geschlossen haben. Für einen solchen Ablauf würde auch sprechen, dass auf den Fundortaufnahmen die Zunge noch nicht zwischen den Zahnreihen gelegen hat.

Obwohl die Alternative zweizeitiges Geschehen so abwegig erscheint wie die erste Arbeitshypothese, soll sie überprüft werden.

Sie scheint zum Erfolg zu führen, wenn folgender Ablauf zugrunde gelegt wird:

Bei Eintreffen der Beamten von K1 und K5 am Fundort war die Totenstarre noch nicht ausgeprägt. Die Totenflecken waren noch bei der Unterbringung von Kopf und Torso in die Kühlung (IFR) komplett umlagerbar. Insofern bestätigt ein zweiter postmortaler Parameter die orientierende Todeszeitbestimmung.

Wegen der Gesichtslage konnte die Zunge, der Schwerkraft folgend, nach vorn gleiten. Das war um so eher möglich, als deren Anbindung zum Kehlskelett abgerissen war.

Erst mit Ausbildung der Totenstarre kam es zur Kontraktion der Kau-muskulatur, also zur Zungeneinklemmung.

Bei der postmortalen Einklemmung sind nur Druckmarken, aber keine Verletzungen zu erwarten.

Die Hypothese für die zeitliche Zuordnung der Zungeneinklemmung, nämlich

- einzeitig, während des Sturzes in die Schlinge, ließ sich abweisen;
- zweizeitig, Sturz und Einklemmung sind getrennte Ereignisse, ließ sich verifizieren.

### **Doppelmarke Hand**

Das zweite morphologische Merkmal betrifft die rechte Hand, Dabei soll auf zwei Spuren in ihrer zeitlichen Abfolge eingegangen werden. In Abb. 3.10 ist die rechte Hand des Toten, leicht zur Faust geschlossen, dargestellt. Unter den Spuren soll auf eine vom Endglied des Zeigefingers zum Grundglied-Mittelglied-Gelenk des 5. Fingers verlaufende, symmetrische Abdruckmarke (Reißverschluss) und auf das Blutspritzmuster eingegangen werden.

Zum zeitlichen Ablauf sollen wieder zwei Arbeitshypothesen gebildet werden:

Die erste These lautet: Zeitgleiche Entstehung durch Verfangen der Hand im Reißverschluss und dadurch Nähe zur Blutungsquelle mit erfolgter Aufspritzung der Blutropfen.

Die zweite These lautet: Zweizeitiges Geschehen, erst nach entstandenem Spritzmuster Reißverschlusskontakt.

Dazu sollen Plausibilitätsüberlegungen angestellt werden. Auszugehen ist von folgenden Befunden:

Nach der Lage des Toten bei seiner Auffindung (Kap, 3.2) hatte die rechte Hand keinen Kontakt zur Rupturstelle. Sie lag geschützt vor Antragungen unter dem Rumpf des Torsos.

Betrachtet wird die Doppelspur (Reißverschluss und Spritzmuster) auf der Streckseite des Endglieds vom Zeigefinger. Dort findet sich das Blut-spritzmuster zu beiden Seiten des Reißverschlusses. Es findet sich keine Blutwischspur um die Reißverschlussmarke.

Die Schlussfolgerung wäre: Die Fingerkuppe kann zum Zeitpunkt des Spritzens nicht vom Reißverschluss verdeckt gewesen sein. Die Reißverschlussmarke muss entstanden sein, nachdem die Blutspur getrocknet, jedenfalls nicht fortwischbar gewesen ist.

Der Schluss wäre, dass die Spritzspur vor der Reißverschlussmarke entstanden ist.

Die Hypothese für die zeitliche Zuordnung der Spritzspur zur Reißverschlussmarke lautet:

- einzeitig – während des Sturzes – ließ sich abweisen;
- zweizeitig – Spritzmuster vor Entstehung der Druckmarke entstanden – ließ sich verifizieren.

### **Spritzmuster Pfeiler**

Hier sollen die Spritzer am Pfeiler (Kap. 3.2) betrachtet werden. Ungewöhnlich war deren Höhe, nämlich 4,4 m über dem Boden auf der Innenseite und 3,9 m auf der Stirnseite des Pfeilers. Dabei handelte es sich um zarte Spritzer, die auf der Innenseite von vorn oben nach hinten unten verlaufen waren, auf der Frontseite senkrecht mit einer 1 m langen Ablaufspur.

An der Basis des Pfeilers waren keine Blutantragungen zu finden.

Die Verteilung der Spuren spricht gegen die Sicht, dass aus den abgerissenen Stümpfen der großen Halsschlagadern (Aa. carotis comm.) bei noch vorhandener Herzaktion Blut fontänenartig nach oben gespritzt sein könnte. Bei scharfer Gewalt gegen den Hals mit Verletzungen der Halsschlagadern ist zwar ein solcher Blutaustritt bekannt; es wäre auch vorstellbar, dass der Rumpf bei dem Sturz in die Tiefe noch kurzzeitig in aufrechter Position verharret hat, ehe er in die Endlage gelangt ist, doch ließe sich die Begrenzung der Spritzer auf den oberen Teil des Pfeilers damit nicht erklären. Vielmehr hätten unter diesen Bedingungen die Spritzer unten dichter und oben feiner sein, also von unten nach oben an Intensität abnehmen müssen. Das war jedoch nicht der Fall.

Entsprechend muss nach einer anderen Erklärung für die Entstehung dieser Spur gesucht werden. Sie muss jedoch sehr spekulativ bleiben.

In Frage käme ein Abriss oder beginnender Abriss des Kopfs bereits nach einer Fallhöhe von etwa 3,5 m. Von der Größe der kinetischen Energie her

wäre es eine mögliche Version. Dadurch ließe sich bei der pfeilernahen Endposition des Torsos jedoch die Spurenverteilung nicht erklären. Vielmehr müsste man von einer Bahn an Begleitspritzern ausgehen. Sie lag, wie gesagt, nicht vor.

Als weitere Version böte sich die Annahme eines ersten Stopps mit einer Anspannung des Strangwerkzeugs und dadurch bedingter massiver, akuter Blutstauung oberhalb des Strangwerkzeugs an. Unter dieser mechanischen Konstellation sind Blutaustritte aus Nase und Ohr durchaus geläufig, auch selbst beobachtet worden. Durch eine mit der Anspannung verbundene Störung des freien Falls ließe sich eine Schleuderbewegung annehmen. Die zarten Spuren in umschriebener Höhe würden zu einem Abschleudern einer geringen Blutmenge passen können.

Als Erklärung für die Ablaufstörung des freien Falls käme eine Behinderung der Entfaltung des Strangs durch den dritten Knoten in Betracht.

Mit diesen Vorstellungen ließe sich also eine Hypothese für die Entstehung des zarten Spritzmusters bilden, aber keine Erklärung liefern.

### 3.5.3

#### Spurenanalyse des Kehlskeletts

Eine unterschiedliche mechanische Beanspruchung liegt auch den Verletzungen des Kehlskeletts bei Sturz in die Schlinge und beim suizidalen Erhängen zugrunde. Entsprechend sind unterscheidbare Spuren zu erwarten.

So werden bekanntlich beim suizidalen Erhängen, ausgenommen bei submentaler Knotenlage, die Halsweichteile nach dorso-cranial verlagert (Ecker 1870; Langreuter 1886; Wichmann 1900). Beim postmortalen, rückwärtigen Beschleunigungsversuch (Hinz u. Tamaska 1971) ließ sich zeigen, dass Kehlkopf und Zungenbein selbst infolge der Hyperextension an die HWS angestemmt und auf Biegung belastet werden. Infolge diesen Effekts finden sich beim suizidalen Erhängen am Kehlkopf als charakteristische Verletzung neben geringen der Weichteile am häufigsten Frakturen der Schildknorpeloberhörner (19,2%, n=83), am Zungenbein Frakturen der großen Hörner (21,6%, n=83), letzteres neben Rupturen der Gelenkkapseln auf der Zugseite (Saternus 1979). Ausrissverletzungen fanden sich nicht. In einer neueren Übersicht (Maxeiner 2004) werden Modus und Häufigkeitsangaben bestätigt.

In Abhängigkeit von der Zungenbeinform und dem Verknöcherungsmodus erlaubt häufig die Spurenlage auf die Richtung der Krafteinleitung zurückzuschließen und damit zwischen Drosseln und Erhängen auf der einen Seite und Erwürgen auf der anderen Seite zu unterscheiden (Saternus u. Koebe 1979).



In Übereinstimmung mit der Literatur (Rothschild u. Schneider 1999; Tsokos et al. 2004) war im konkreten Fall eine Ruptur zwischen den knöchernen Elementen des Kehlskeletts aufgetreten, also zwischen Zungenbein und Kehlkopf (Abb. 3.8). Dabei war der Kehldeckel (Epiglottis) komplett mit einem schmalen Bindegewebesaum ventral aus den Kehlkopfweichteilen ausgerissen.

Mechanisch handelt es sich nicht um einen Zungenbeinabriss, sondern um einen Abriss des Schildknorpels vom Zungenbein, einschließlich der Epiglottis. Dieser Zusammenhang ergibt sich aus der breiten muskulären Einbettung des Zungenbeins im Zungengrund.

Mit dem Abriss in Höhe der Ligg. thyrohyoidea war es zu symmetrischen Frakturen der großen Zungenbeinhörner sowie der Schildknorpeloberhörner gekommen.

Außer diesen Frakturen mit dem Ausriss der Epiglottis war es am Kehlkopf nur zur Beteiligung der unmittelbar benachbarten Strukturen gekommen, nämlich innen zu Unterblutungen um den Schildknorpelrand bis zu den Taschenfalten und außen im Bereich der Inzisur.

Der Ringknorpel war intakt, Kehlkopfringknorpel- und Arygelenke waren unverletzt, Mm. postici und vocales nicht eingeblutet, gleichfalls war es nicht die Kehlkopfschleimhaut.

In neuerer Zeit wurde von uns ein solcher Abriss zwischen Kehlkopf und Zungenbein auch bei einem massiven Aufprall des Untergesichts, verbunden mit einem Frontalabriss von Gesichtsschädel und vorderer Schädelgrube gesehen. Bestimmende Qualität war dabei somit gleichfalls die Traktion.

Betrachtet man vergleichend das Spurenbild, so lässt sich die Anstemmverletzung des Kehlskeletts bei suizidalem Erhängen von der Traktionsverletzung bei Sturz in die Schlinge anhand der Verletzungslokalisation trennen.

Auch die Folgen von Würgen und/oder Drosseln entsprechen nicht der inneren Spur im Kehlskelett, wie sie anhand der Extremverletzung für die Traktion ableitbar gewesen ist.

### 3.5.4

#### **Die Halswirbelsäule- (HWS-) Verletzung als Spur**

Es erscheint als simple Aufgabe, eine knöcherne Verletzung als Spur auszuwerten.

In Kap. 3.5.2 wurde auf die „Puppische Regel“ als Beispiel einer Spurenanalyse nach Gewalt gegen den Schädel verwiesen. Eine weitere als typisch anzusehende Verletzung (Leitverletzung für eine mechanische Beanspruchung) wäre ein sich mit der Richtung des Vektors trichterförmig

öffnender Kegelstumpf nach einem Kopfschuss. Auch der Messererbruch (nach Messerer 1880) der Röhrenknochen mit einem Fragment (Bruchkeil), dessen Spitze ebenfalls die Richtung des Vektors wiedergibt, stellt ein Beispiel geläufiger Spurenuordnung einer knöchernen Verletzung dar.

Es gehört aber zu den kompliziertesten Aufgaben, an einem System mit vielen Freiheitsgraden Spuren zu lesen und schon gar, diese zu interpretieren.

Dennoch soll es ansatzweise an der HWS versucht werden, wobei wiederum die Extremverletzung, Dekapitation nach Sturz in die Schlinge, die Gedanken leiten soll. In diesem Abschnitt soll auch das rezente Schrifttum zur Justifikation durch den Strang bei der Fallanalyse Berücksichtigung finden. Deshalb sei nachdrücklich darauf hingewiesen, dass hier nicht die Folgen der Todesstrafe unbefangen biomechanisch betrachtet werden. Eigentlich bedarf es nicht der Erwähnung von Selbstverständlichkeiten, dennoch sei gesagt, dass die Autoren ohne Ausnahme gegen die Verhängung der Todesstrafe eingestellt sind.

### **Form der Krafteinleitung in Abhängigkeit von der Lage des Strangwerkzeugs**

Im folgenden Abschnitt soll die HWS-Verletzung sehr ausführlich betrachtet werden, gilt sie doch als Prototyp des strangulationsbedingten Traumas. Zwar richtet sich die detailreiche Darstellung in erster Linie an einen engen Kreis von Spezialisten, doch soll sie auch allgemeinverständlich sein.

Wie bereits gesagt, kommt man bei der Betrachtung des Schädelabrisse durch den Strang nicht umhin, auf die Auswertung von Präparaten mit dem Strang Justifizierter (Wood-Jones 1913) zurückgreifen zu müssen. Beschrieben wurden dabei zwei verschiedene Verletzungstypen in Abhängigkeit von der Krafteinleitung, als Spur ablesbar von der Lage des Knotens vom Strangwerkzeug. Danach wurden bei einem hinter dem Ohr gelegenen Knoten (retroaurikulär) Schädelbasisfrakturen und unter dem Kinn (submental) gelegenen Knoten charakteristische Verletzungen der HWS beschrieben. Beide könnte man als Leitfrakturen für die Rekonstruktion von Verletzungsvorgängen aus dem Spurenbild auffassen.

Die gefundene HWS-Verletzung bestand aus einer Pedikelfraktur des Axis bei Ruptur der Bandscheibe C2/3 (Wood-Jones 1913).

Diese Verletzungskombination wurde später (Schneider et al. 1965) unter dem Begriff der *hangman's fracture* als Folge eines Kinnaufpralls in die klinische Traumatologie eingeführt. Der Kinnanprall wäre mechanisch einer submentalen Knotenlage gleichzusetzen.

Die Erstbeschreibung einer *hangman's fracture* als Folge eines suizidalen Sturzes in die Schlinge stammt von Sköld (1978a).

Bestätigt wird dieser Mechanismus durch die Ergebnisse einer Auswertung von knöchernen HWS-Präparaten nach Justifikationen durch den Strang, die zwischen 1882 und 1945 in England stattgefunden hatten. Diese Autoren (James u. Nasmyth-Jones 1992) fanden ausschließlich *hangman's fractures*, entweder symmetrisch durch die Gelenkflächen oder asymmetrisch durch einen der Pedikeln und die gegenseitige Gelenkfläche.

Es fällt auf, dass in dem Kollektiv keine knöchernen Schädelverletzungen aufgetreten waren. Zu dieser Aussage passt, dass im Royal Commission on Capital Punishment Report (1953) gleichfalls keine Schädelfrakturen erwähnt worden sind, statt dessen nur HWS-Verletzungen. Eine Höhenangabe der HWS-Verletzung findet sich in diesem Bericht nicht. Offensichtlich konnte sich die Kommission nicht festlegen.

Bei der Nachuntersuchung (James u. Nasmyth-Jones 1992) wurden allerdings die erstbeschriebenen Präparate (Wood-Jones 1913) nicht mitberücksichtigt. Sie waren nicht greifbar, denn sie stammten einerseits von Menschen, die nicht in England durch den Strang hingerichtet worden waren, sondern in den Kolonien. Andererseits waren die Präparate selber nicht mehr zugänglich, vielmehr bei einem Bombenangriff auf das Britische Museum im 2. Weltkrieg zerstört worden. Das waren die Informationen bei einer eigenen früheren Nachforschung im Britischen Museum (Saternus et al. 1978).

Weitere Informationen zur Spurenlage stammen von dem letzten britischen Henker (Pierrepont 1974). Danach wurde in England, anders als in Irland, die submentale Knotenlage (Kinkead 1885) seit über 100 Jahren nicht mehr verwandt. Das gilt auch für die retroaurikuläre. Der Knoten lag im Nacken, also nuchal.

Dabei soll die HWS-Verletzung regelmäßig in Höhe C2/3 gelegen haben, allerdings nicht als *hangman's fracture*, sondern nur als Luxationsfraktur mit Beteiligung des Rückenmarks. Diese Angaben sind widersprüchlich.

Es dürfte für eine Interpretation der Befunde erlaubt sein, sich bei der Knotenlage auf den Henker (Pierrepont 1974) zu beziehen, bei der Auswertung der Frakturen auf die Nachuntersuchungen (James u. Nasmyth-Jones 1992).

Das würde aber bedeuten, dass bei nuchaler Knotenlage die Regelverletzung nicht eine zu erwartende Densfraktur, sondern die *hangman's fracture* gewesen ist.

### **Kontroverse Untersuchungsergebnisse**

Wegen der vorn (Abschn. 3.4.1.) angesprochenen Konstellation soll in einem ersten Schritt erklärt werden, warum bei Knotenlage im Nacken

(nuchal) aus mechanischen Gründen die Densfraktur und nicht die *hangman's fracture* erwartet wäre. In einem zweiten soll die Spurenlage der eigenen Kasuistik zu diesem mechanischen Ansatz in Bezug gesetzt werden.

Die Vorstellungen, nuchale Knotenlage sei gleich Densfraktur, orientieren sich an zwei gleichgerichteten Konstellationen, nämlich an der amerikanischen Form der Justifikation durch den Strang (massiger Knoten) und an der Klinik nach Anstoßverletzung am Os occipitale (White u. Panjabi 1978). Das Prinzip ist darin zu sehen, dass das Hinterhaupt ventralflektiert wird. Dabei wird über die kräftige Membr. atlanto-occipitalis post. der hintere Atlasbogen mitgenommen und der Dens axis zwischen dem Lig. transversum atlantis und dem vorderen Atlasbogen auf Biegung beansprucht. Das Ergebnis ist bei Überschreiten des Schwellenwerts die Densfraktur.

Der hintere Atlasbogen kann deshalb im Kraftschluss mit dem Schädel bei der Vorbeugung mitgenommen werden, weil die Bandverbindung zum Hinterhaupt wesentlich kräftiger dimensioniert ist als die Verbindung im tieferen Segment, zwischen dem hinteren Atlasbogen und dem Axisbogen (Membr. atlanto axialis posterior).

So war es morphologisch ein konstanter Befund, bei jeder Form einer Densfraktur eine Ruptur der Membr. atlanto axialis post. zu finden (Saternus 1979; Saturnus u. Kernbach-Wighton 2006).

Diese traumatologischen Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den erwähnten Frakturanalysen durch den Strang Justifizierter (James u. Nasmyth-Jones 1992).

Modellversuche (Saternus u. Paul 1984) könnten helfen, eine Erklärung für die unterschiedlichen Vorstellungen zur Entstehung der *hangman's fracture* zu finden. So hatte sich bei Bruchversuchen an isotropem Material gezeigt, dass auch unter ventralflektierender Kraft bei steiler Krafteinleitung (Winkel  $75^\circ$ ) *hangman's fractures* erzeugt werden können. Es bedürfte also nicht erst der Zusatzerklärung, wonach es durch die rotatorischen Verlagerung des im Nacken liegenden Knotens beim Zuziehen der Schlinge zur submentalen Lage komme, worüber sich dann die *hangman's fracture* erklären ließe.

Kompliziert werden die mechanischen Verhältnisse dadurch, dass bei den eigenen Nachuntersuchungen (Saternus 1990) zwar bei nuchaler Lage des Knoten das Segment C2/3 knöchern am häufigsten betroffen war, aber nicht ausschließlich. Dort hatten sich z. T. auch nur Unterblutungen oder Zerreißen gefunden.

Betrachtet man alle Formen der Knotenlagen, dann war sogar die Luxationsfraktur C5/6 die häufigste schwere HWS-Verletzung. Bei dieser Segmenthöhe findet sich eine topographische Übereinstimmung mit den HWS-

Verletzungen beim suizidalen Erhängen (Saternus 1978). Beides dürfte der reinen Traktion zuzuordnen sein.

### **Spurenlage und Zuordnung im konkreten Fall**

In einer Literaturübersicht zur strangbedingten Dekapitation über insgesamt 7 Todesfälle haben die Autoren (Rothschild u. Schneider 1999) die Verletzungshöhe angegeben, für 4 Fälle in Höhe C2/3, für 3 jedoch C1/2.

Pollak und Stellwag-Carion (Pollak u. Stellwag-Carion 1991) benennen bei 2 eigenen Fällen die Verletzungshöhe und -form genau. Dabei handelte es sich in einem Fall um eine *hangman's fracture*, in dem anderen um eine Densfraktur.

Auch der hier analysierte Fall einer Dekapitation stellt eine *hangman's fracture* dar. Es fällt nicht schwer, ihn als submentale Form der Krafteinleitung zu klassifizieren. Der Ort der Krafteinleitung entspricht dem tiefsten Punkt der Strangmarke, also dem Mundboden und den Unterkieferästen.

Damit besteht zum suizidalen Erhängen mit nuchaler Knotenlage bei scheinbarer Ähnlichkeit in Bezug auf die Lage des Strangwerkzeugs mechanisch ein Unterschied. So werden beim suizidalen Erhängen die Weichteile mit dem Kehlskelett am Unterkieferwinkel vorbei nach cranio-dorsal verlagert, die HWS streckt sich aus der lordotischen Haltung. Die Folge sind Spannungserhöhungen in den dorsalen Partien des Faserrings der Bandscheibe mit zarten Fasereinschnitten, Dehnungen der Kapseln und damit auch der Menisci der Wirbelbogengelenke mit Einblutungen sowie der Dura spinalis mit epiduralen Blutungen.

Ein vollkommen anderer Mechanismus ist die Krafteinleitung mit einem kräftig dimensionierten Strangwerkzeug bei nuchaler Knotenlage, wenn es sich nämlich nicht um den massigen „amerikanischen Knoten“ handelt, der durch Anspannen des Strangwerkzeugs aus Raumgründen das Hinterhaupt nach vorn beschleunigt.

Dabei wird der Kopf nämlich nicht ventral-, sondern dorsalflektiert, und zwar durch mittelbare submentale Krafteinleitung über die Unterkiefer. Auch dieser Mechanismus ergibt sich aus Raumgründen.

Damit lässt sich zusammenfassen, dass für die Interpretation der knöchernen Halsverletzung Zusatzinformationen gegeben werden müssen. Ohne Kenntnis des Strangwerkzeugs, insbesondere seiner Dimensionierung, würde man bei einer Spurenanalyse zu keinen eindeutigen Ergebnissen kommen können.

Betrachtet man vergleichend die Befunde der Justifikation durch den Strang untereinander, so muss auch deren Modus in die Analyse eingehen. Die frühere österreichische Form unterscheidet sich z. B. mecha-

nisch grundsätzlich von deren Handhabung in anderen Ländern (Hofmann 1876).

### 3.5.5

#### Die Ganzkörperverletzung als Spur

Bei einem Sturz in die Tiefe wären eigentlich erhebliche Verletzungen am gesamten Organismus zu erwarten gewesen, knöchern wie an den Weichteilen. Konkret fanden sich aber weder äußere noch innere Verletzungen.

Das Fehlen äußerer Verletzungen ließe sich beim Torso auf die Dämpfung durch wattierte Kleidung zurückführen. Dieses würde aber nicht für Verletzungen in der Tiefe eine Erklärung sein können. Vielmehr besteht eine breite Palette an Verletzungsmöglichkeiten, auf die im Folgenden hingewiesen werden soll.

Bei einer axialen Beschleunigung oder Verzögerung wären unter den knöchernen Verletzungen Kompressionsfrakturen der Fersen und Wirbelkörper, Frakturen des Steißes und Sprengungen der Darmbein-Kreuzbein-Fugen (Sacroiliacalfugen) zu erwarten. Sie lagen im konkreten Fall nicht vor.

Bei einem Abriss des verlängerten Marks würde man primär von axonalen Zerreißen in angrenzenden Arealen des Gehirns ausgehen, sogar von Prellungsherden der Hirnrinde (Oehmichen et al. 2006; Unterharnscheidt 1993). Tatsächlich bestanden nur diskrete Blutungen im linken Nucleus lentiformis.

Weil bei einem Sturz in die Schlinge ein massiver Druckpuls in den großen und kleinen Gefäßen des Gehirns zu erwarten wäre, hätte man nicht nur diskrete Blutungen perivasal, sondern eine kräftige Ausprägung zu erwarten. Diese Sicht leitet sich von der Mechanik der unteren Thoraxkompression ab (Voigt 1968; Voigt et al. 1973), bei der es sogar zur Aortenruptur an den Gefäßabgängen und dem Lig. Botalli kommt.

Von allen diesen Erwartungswerten unterscheiden sich die hier gefundenen diskreten perivasalen Blutungen. Sie entsprachen lediglich denen, die man auch beim suizidalen Erhängen findet (Schröder u. Saturnus 1983). Allerdings sollen bei begleitenden offenen Verletzungen Stauungsblutungen bei der Strangulation vergleichsweise wesentlich diskreter ausfallen können (Adebahr 1981; Lignitz u. Strauch 1990; Paltauf 1889).

Auch bei umfangreicher Präparation der Weichteile in allen Regionen und an den inneren Organen fanden sich keine Verletzungsspuren. Die Folgen der Massenkkräfte wären in erster Linie am Herzen und/oder den großen parenchymatösen Organen zu erwarten gewesen.

Der Effekt einer Beschleunigung des Herzens aufgrund seiner Massenkkräfte bei einem Sturzgeschehen wäre der Abriss vom aufsteigenden Aor-

tenbogen, und zwar direkt oberhalb der Aortenklappe. Ob dabei die enge Verbindung des Herzbeutels mit dem Zwerchfell eine Rolle spielt, ist noch nicht geklärt. Denn die größte Masse besitzt die Leber. An dieser würden axial wirksame Massenkräfte zu einer massiven Zugbeanspruchung am Zwerchfell führen. Unterblutungen des Aufhängeapparats wären die Folgen. Nach Adebahr (nicht publiziert) führt weiterhin eine solche Relativbeschleunigung der Leber wegen ihrer engen topographischen Beziehung zur rechten Nebenniere zu deren innerer Abscherung. Es besteht also ein ganzer Komplex an Verletzungsspuren nach axialen Sturzverletzungen, wie hier eine zu betrachten wäre.

Im konkreten Fall lagen keine inneren Verletzungen vor. Dennoch widerlegt das Fehlen zu erwartender Spuren im konkreten Fall nicht die These vom Sturz in die Schlinge.

Dazu würde der Erklärungsversuch lauten, dass mit dem Abreißen des Schädels die kinetische Energie weitgehend aufgebraucht gewesen sei. Mittelbar stützt eine Mitteilung von Weigel et al. (1994) diese Sicht. Die Autoren beschreiben bei einem 46-jährigen Mann eine Dekapitation durch Sturz in den Strang, bei dem noch eine Hautbrücke im Nacken erhalten geblieben war. An dieser wurde der frei suspendierte Mann noch etwa 1,60 m über dem Boden in seiner Schlinge gehalten.

### 3.5.6

#### Spuren und seelisches Geschehen

Es soll nicht der Eindruck erweckt werden, als sei es möglich, aus den gefundenen Verletzungen die aktuelle Gemütslage beschreiben zu können. Andererseits ist es nicht so, dass sich nicht doch Spuren gefunden hätten, die einen Teileinblick in das psychische Geschehen vermitteln könnten.

Dabei handelt es sich nicht um einen Versuch, vom Umfang und der Massivität der akuten Verletzungen her auf die Gemütslage zum Zeitpunkt der Tat zu schließen.

Gemeint sind die zahlreichen feinen und gewulsteten Narben in der Haut von Brust und Bauch, intensiv fortgesetzt auf beide Arme. Die in Scharen verteilten glattrandigen Verletzungen lagen ausschließlich in selbsterreichbaren Regionen.

Es handelt sich um die Spuren von selbstverletzendem Verhalten, wie sie in der Rechtsmedizin häufig gesehen werden (König 1996; Saternus u. Kernbach-Wighton 1995).

Diese Narben belegen, dass bei dem Toten, einem früheren Patienten in einer entfernten Psychiatrischen Klinik, sehr starke seelische Spannungen aufgetreten waren. Seine Form der Spannungsreduktion bestand in

der Verletzung des eigenen Körpers, deren Spuren deutlich sichtbar waren.

Auch wenn Suizidintendenzen beim selbstverletzenden Verhalten häufig vorkommen, so dürfte doch eine andere seelische Störung für das konkrete Geschehen noch bestimmender gewesen sein. Denn es lag bei ihm klinisch eine Schizophrenie (Typ nicht bekannt) vor. Korrespondierend fand sich wieder eine deutliche Spur, nämlich eine kräftige, horizontal verlaufende Narbe als Folge einer früher bereits massiv gegen den Hals gerichteten Verletzung.

Betrachtet man unter diesem Blickwinkel die vorliegenden Verletzungen als Spuren für die Einordnung „selbst“ oder „fremd“, so muss gesagt werden, dass es sich nicht um den Typ des „suizidalen Erhängens“ mit einer unmittelbar nachvollziehbaren Angst vor Schmerzen handelt. Denn der Versuch einer Schmerzvermeidung führt beim suizidalen Erhängen zur vorsichtigen Belastung der Schlinge mit insgesamt diskreten Verletzungen von Halsweichteilen und HWS.

Im konkreten Fall weisen die Verletzungen jedoch alle Charakteristika der massiven Fremdeinwirkung auf. Damit muss nach der Vorgeschichte und den ermittelten Spuren eine dritte Gruppe gebildet werden, die als selbst beigebrachte Verletzung vom Typ der Fremdeinwirkung verstanden werden müsste.

Unter der Psychose ist es bei einer seelischen Abspaltung mit einer von außen gegen sich selbst gerichteten Sicht zu einem Überspringen von Schranken gekommen.

## 3.6

### Schlussbetrachtung

Eingangs wurde festgestellt, dass ein massiver Befund bei einer Spurenanalyse nicht informativer sein muss als ein diskreter. Allein vom Umfang der Verletzungen des Kopfabrisses her hätte eine Zuordnung in die falsche Richtung führen müssen.

Entsprechend muss bei einer komplexer Ausgangssituation, eine häufige Konstellation, ohne die Vorgabe von Anknüpfungstatsachen die Spurenanalyse auf der Ebene der Deskription bleiben.

Der Vorgang der Spurenanalyse besteht darin, Erwartungsbilder, die aus einer Arbeitshypothese generiert werden, mit den Residuen (Spuren) des tatsächlich stattgehabten Ereignisses zu vergleichen. Verifizieren oder falsifizieren lassen sich dabei nur konkrete Vorgaben. Gehen aber in die Hypothese unzutreffende Daten als wahr und gesichert ein, kann die korrekt durchgeführte Spurenanalyse nicht zu einem richtigen Ergebnis führen, nicht zur Klärung des tatsächlichen Geschehens beitragen.



Eine Spurenanalyse als einen rein technischen Vorgang verstehen zu wollen, wäre eine verkürzte Sicht. Erst durch die Interpretation wird der mit den verschiedensten Techniken erhobene Befund zur Spur.

## Literatur

- Adebahr G (1981) Über die Wertigkeit von Zyanose und Petechien bei Gewalteinwirkung auf den Hals und gleichzeitig vorhandener erheblicher Anämie. *Z Rechtsmed* 86:123–128
- Adebahr G, Erkrath KD (1982) Der cervicale Lymphknoten bei Gewalteinwirkungen auf den Hals. *Z Rechtsmed* 88:79–91
- Berg S (1963) Physiologisch-chemische Befunde im Leichenblut als Ausdruck des Todesgeschehens. *Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med* 54:136–149
- Berg S (1966) Adrenalin- und Noradrenalinwerte im Blut bei gewaltsamen Todesursachen. *Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med* 57:179–183
- Berg S, Bonte R (1973) Catecholaminwerte im Leichenblut und –liquor bei verschiedenen Agonieformen. *Z Rechtsmed* 72:56–62
- Brinkmann B (2004) Erhängen. In: Brinkmann B, Madea B (Hrsg) *Handbuch gerichtliche Medizin*. Bd.I, S 761–776. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Byard RW, Gilbert JD (2004) Characteristic features of deaths due to decapitation. *Am J Forensic Med Pathol* 25 (2):129–130
- Ecker (1870) Die Stellung des weichen Gaumens beim Tode durch Erhängen. *Virchow's Arch path Anat* 49:290–291
- Hinz P, Tamaska L (1971) Die Beweiswerte der sogenannten vitalen Zeichen bei Toten im Straßenverkehr mit Halswirbelsäulenverletzung. *Z Rechtsmed* 68:95–100
- Hofmann E v (1876) Justifikation durch den Strang. *Wien Med Wschr* 26:1265–1267
- James R, Nasmyth-Jones R (1992) The occurrence of cervical fractures in victims of judicial hanging. *Forensic Sci Int* 54:81–91
- Kernbach-Wighton G (2004) Postmortale biochemische Untersuchungen. In: Brinkmann B, Madea B (Hrsg) *Handbuch gerichtliche Medizin*. Bd. I, S 1060–1069. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Kijewski H (1997) Das Haar als Spur – Spuren in Haaren. *Rechtsmedizinische Forschungsergebnisse* Bd. 16. Schmidt-Römhild, Lübeck
- Kincaid RJ (1885) Nine cases of death by hanging. *Lancet* I: 657–658; 701–703
- König HG (1996) Spurentechnischer Vergleich realer und fingierter Überfälle. In: Saternus KS, Kernbach-Wighton G (Hrsg) *Selbstbeschädigung. Forensische Bewertung und Therapiemöglichkeiten*. S 23–49. *Rechtsmedizinische Forschungsergebnisse*, Bd. 14
- Langreuter (1886) Über die mechanischen Verhältnisse des Strangulationstodes. *Vjschr gerichtl Med III.F.* 45, 295–309
- Lignitz E, Strauch H (1990) Halskompression vor oder nach Todeseintritt durch andere Gewalteinwirkung. S 86–95. In: Brinkmann B, Püschel K (Hrsg) *Ersticken*. Festschrift für Werner Janssen. Springer, Berlin Heidelberg
- Maxeiner H (2004) Innere Halsbefunde. In: Brinkmann B, Madea B (Hrsg) *Handbuch gerichtliche Medizin*. Bd.I, S 720–760 Springer, Berlin Heidelberg New York
- Messerer O (1880) Über Elastizität und Festigkeit der menschlichen Knochen. *Verl Cotta'sche Buchhandl*, Stuttgart
- Nokes LD, Roberts A, James DS (1999) Biomechanics of judicial hanging: a case report. *Med Sci Law* 39(1):61–4

- Nowak R, Heise B (1990) Schwere mechanische Gewalteinwirkung am Hals im Rahmen einer Erhängung. S 202–207. In: Brinkmann B, Püschel K (Hrsg) *Ersticken*. Festschrift für Werner Janssen. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Oehmichen M, Auer RN, König HG (2006) *Forensic Neuropathology and Associated Neurology*. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Paltauf A (1889) Über reactionslose vitale Verletzungen. *Wie Klin Wochenschr* 2:714–716, 749–752
- Pankratz H, Schuller E, Josephi E (1986) Dekapitation beim Erhängen. *Arch Kriminol* 178(5–6):157–61
- Pierrepont A (1974) *Executioner*. Harrap, London
- Pollak S, Stellwag-Carion C (1991) Befundmuster bei Dekapitation durch Strangwerkzeuge. S 517–526. In: H. Schütz, HJ Kaatsch, H. Thomsen (Hrsg) *Medizinrecht – Psychopathologie – Rechtsmedizin*. Festschrift für Günter Schewe. Springer, Berlin
- Rabl W, Haid C, Katzgraber F, Walser B (1995) Erhängen mit Dekapitation. *Arch Kriminol* 195(1–2):31–7
- Raja U, Sivaloganathan S (1997) Decapitation – a rare complication in hanging. *Med Sci Law* 37(1):81–83
- Rothschild MA, Schneider V (1999) Decapitation as a result of suicidal hanging. *Forensic Sci Int* 106(1):55–62
- Royal Commission on Capital Punishment 1949–1953 Report. London: Her Majesty's Stationery Office 1953
- Saternus KS (1978) Verletzungen der Halswirbelsäule beim Suizid durch Erhängen. *Z Rechtsmed* 81:299–308
- Saternus KS (1979) Die Verletzungen von Halswirbelsäule und Halsweichteilen. Bd. 84. Hippokrates, Stuttgart
- Saternus KS, Meßler H, Palm W (1978) Die knöcherne Verletzung der HWS beim Tod durch Erhängen. *Z Rechtsmed* 55–69
- Saternus KS, Langenberg K, Iffland R, Berghaus G, Sticht G, Dotzauer G (1980) Zur Aussagekraft der Phospholipid-Konzentration in Sinus- und Herzblut Erhängter. *Z Rechtsmed* 85:29–39
- Saternus KS, Paul E (1984) Hangman's-fracture bei ventralflektierter Traktion. *Z Rechtsmed* 93:301–310
- Saternus KS (1990) Halswirbelsäulenverletzungen nach Strangulation. S 119–132. In: Brinkmann B, Püschel K (Hrsg) *Ersticken*. Festschrift für W. Janssen. Springer, Berlin New York.
- Saternus KS, Kernbach-Wighton G (Hrsg) (1995) Selbstbeschädigung. Forensische Bewertung und Therapiemöglichkeiten. *Rechtsmedizinische Forschungsergebnisse*, Bd. 14. Schmidt-Römhild, Lübeck
- Saternus KS, Koebke J (1979) Das Verletzungsmuster des Zungenbeins. *Z Rechtsmed* 84:19–35
- Saternus KS, Kernbach-Wighton G (2006) Understanding cervical spinal trauma: Biomechanics and pathophysiology. pp 15–54. In: Cassar-Pullilicino VN, Imhof H (eds) *Spinal Trauma – An Imaging Approach*. Thieme Int., Stuttgart New York
- Schneider RC, Livingston KE, Cave AJE, Hamilton G (1965) „Hangman's fracture" of the cervical spine. *J Neurosurg* 22:141–154
- Schröder R, Saternus KS (1983) Stauungszeichen im Kopfbereich und Veränderungen am Gehirn bei suizidalen Erhängungstod. *Z Rechtsmed* 89:247–265
- Sköld, G (1978a) Fracture of the axis caused by hanging. *Z Rechtsmed* 80:329–331.
- Tracqui A, Fonmartin K, Geraut A, Pennera D, Doray S, Ludes B (1999) Suicidal hanging resulting in complete decapitation: a case report. *Int J Legal Med* 112 (1):55–57

- Tsokos M, Türk EE, Uchigasaki S, Püschel K (2004) Pathologic features of suicidal complete decapitations. *Forensic Sci Int* 139:95–102
- Unterharnscheidt F (1993) Pathologie des Nervensystems. Traumatologie von Hirn und Rückenmark, VI.A. In: Doerr-Seifert, Uehlinger. *Spezielle pathologische Anatomie*. Bd. 13/VI.A. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Voigt GE (1968) Die Biomechanik stumpfer Brustverletzungen besonders von Thorax, Aorta und Herz. *H Unfallheilk* 96:1–115
- Voigt GE, Lange W, Dotzauer G (1973) Entstehungsweise der Verletzungen von Fahrern und Beifahrern frontal kollidierter Kraftfahrzeuge. *Z Rechtsmed* 73:252–272
- Weigel B, Wilk E, König C (1994) Über eine erhebliche Verletzung des Halses einschließlich der Halswirbelsäule und der Halsweichteile im Rahmen einer suizidalen Strangulation. *Arch Kriminol* 193:23–28
- Weimann W, Prokop O (1963) *Atlas der gerichtlichen Medizin*. Volk & Gesundheit, Berlin
- White AA III, Panjabi MM (1978) *Clinical biochemis of the spine*. Lippincott, Philadelphia Toronto
- Wichmann P (1900) Über indirecten Kehlkopfbruch. *Vjschr gerichtl Med* 20:236–246
- Wood-Jones F (1913) The ideal lesion produced by judicial hanging. *Lancet* I:53.
- Zhu B, Quan L, Ishida K, Oritani S, Taniguchi M, Fujita MQ, Fukita K, Maeda H (2000) Decapitation in suicidal hanging – a case report with a review of the literature. *Leg Med (Tokyo)* 2(3):159–62.

# 4 Grundzüge der morphologischen Blutspurenanalyse

Bernd H. Briese

## 4.1 Einleitung

In dieser Übersicht soll auf Blutanhaftungen als mögliche Spur eingegangen werden.

Anhand der morphologischen Analyse von Blutspritzern und daraus abgeleiteten Größen, wie Schlagrichtung oder Bewegungsmuster einer Person (Täter/Opfer), lassen sich selbst komplexe Geschehensabläufe rekonstruieren.

Weil die Rückschlüsse forensisch weitreichend sind, bedarf es nachvollziehbarer Daten zur Morphologie in Abhängigkeit von Tropfvolumen, Fallhöhe, Auftreffwinkel oder Eigenschaften des Spurenträgers.

Für eine orientierende Beurteilung von Blutspuren in erster Näherung s. Du Chesne 2003 und Oepen 1986 sowie die darin angegebene Literatur.

## 4.2 Blutspuren als Informationsquelle

Aus der Morphologie einer Blutspur kann eine Vielzahl von Informationen gewonnen werden (Du Chesne 2003; James 1999; James et al. 2005b):

- Herkunft der Blutspuren,
- Distanz zwischen Herkunftsort der Blutspur und Spurenträger zum Entstehungszeitpunkt,
- Art sowie Richtung der die Blutspuren verursachende Gewalteinwirkung,
- Anzahl der verübten Gewalteinwirkungen (Schläge, Schüsse, Tritte),

---

Bernd H. Briese: Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Rechtsmedizin, Robert-Koch-Str. 40, 37099 Göttingen, E-Mail: [bbriese1@uni-goettingen.de](mailto:bbriese1@uni-goettingen.de)

- Position der Person während und nach dem Blutverlust,
- Bewegung bzw. Bewegungsrichtung der Person, von der die Blutropfen abtropften/weggeschleudert wurden,
- Position eines Gegenstandes während und nach der „Blutabgabe“,
- Bewegung bzw. Bewegungsrichtung von Gegenständen, von denen die Blutropfen abgetropft/weggeschleudert wurden,
- Beurteilung der Aussage der angeklagten Person oder von Zeugen zum Vorfall bzw. Tathergang (Verifizierung/Falsifizierung),
- Zusätzliches Merkmal zur Bestimmung der postmortalen Liegezeit.

Für die Interpretation eines Tathergangs liefern Blutspuren sehr wichtige Hinweise. Deshalb wird der Tatort behutsam gründlich inspiziert, um auch möglichst kleine Blutspuren zu identifizieren.

## 4.3 Einordnung von Blutspuren

Blutspuren lassen sich in mehrere Kategorien aufgrund ihrer Entstehungsart einteilen (Du Chesne 2003):

Bezeichnung	Erläuterung
Tropfspuren Abrinnspuren	Blut tropft aus einer Wunde oder von einem Werkzeug ab Blut läuft von einer Verletzung ab oder sekundär an einem Gegenstand
Abschleuderspuren	Blut wird aus einer Verletzung oder einem blutbehafteten Werkzeug in der Bewegung abgeschleudert
Schlagspritzspuren	Einwirken eines Werkzeuges auf eine Wunde oder sekundär auf eine Blutlache
Hochgeschwindigkeits-spritzspuren	Blut und Gewebe werden beim Kontakt mit dem Organismus abgeschleudert (Schuss)
Schlagaderspritzspuren	Blut spritzt mit dem Herzschlag aus verletzter Arterie
Ausgehustete Spuren	Blut tritt aus Mund und/oder Nase nach innerer Verletzung oder Erkrankung
Kontaktspuren	Blut wird von der Blutungsquelle oder sekundär von einer Spur auf einen anderen Träger durch Berührung übertragen

Neben der älteren, konventionellen Einteilung von Blutspuren anhand der einwirkenden Kraft (unterschiedliche Auftreffgeschwindigkeit und daraus folgende Form (James 1999)), wurde inzwischen eine auf Geometrie basierende Klassifikation (nach dem Erscheinungsbild) entwickelt, bei wel-

cher aufgrund des Entstehungsmechanismus die Blutspur weiter zugeordnet wird (James et al. 2005a).

## 4.4

### Aspekte der morphologischen Blutspurenanalyse

In dieser kurzen Darstellung werden ausgesuchte Teilbereiche dargestellt. Auf die Herausarbeitung physikalischer Prinzipien wird Wert gelegt.

#### 4.4.1

##### Anfänge der Blutspurenkunde

Seit über einem Jahrhundert werden Blutspuren untersucht. Es finden sich Angaben über Schlagspritzspuren (hervorgerufen durch Hiebwunden gegen den Kopf) und Abschleuderspuren (Piotrowski 1895).

Nur ein geringer Teil des Blutes wird durch Spritzen von Schlagadern freigesetzt, der bei weitem größte Teil durch Verspritzen von Blut durch das Hiebwerkzeug. Werden die Schläge senkrecht geführt, so spritzt das Blut in alle Richtungen. Werden die Hiebe dagegen in einem Winkel geführt, so spritzt es in diametraler Richtung fort (als Folge bleiben am Täter – trotz zahlreicher Blutspuren in der Umgebung – keine Blutspuren zurück).

##### Bluttropfen und Oberflächen sowie Haupt- und Nebentropfen

1914 wurden bereits Versuche zur Fallhöhe vorgenommen sowie Tropf- und Spritzspuren (Schleuderspuren) differenziert und photographisch dokumentiert (Lochte 1933; Ziemke 1914). Die Abhängigkeit der Morphologie der Blutspritzer vom Untergrund wurde untersucht (Ziemke 1914). Auf hartem Untergrund, wie auf Holz, blankem Metall, glattem und rauem Schreib-, Druck- und Packpapier, feinen Tonwaren und glattem Stein dringt Blut nicht ein, der Tropfen behält die Form. Dagegen verläuft der Bluttröpfchen auf weichem Untergrund.

Auf glatten Unterlagen (die das Eindringen des Blutes erschweren) bleibt die ursprüngliche Form der Blutspuren leichter erhalten als auf Materialien mit rauen Oberflächen.

Haupt- und Nebentropfen werden beobachtet, wenn Blut aus größerer Höhe heruntertropft (Lochte 1933; Ziemke 1914). Tropft Blut auf eine Wand oder eine schräge Fläche, so entstehen entweder Millimeter breite Blutbänder in der Abtropfrichtung (am unteren Ende befindet sich der abgelaufene Bluttröpfchen) oder Blutspuren in Form eines gerade gestellten Ausrufungszeichens.

Versuche zur Erzeugung von Schlagspritzspuren wurden ebenfalls durchgeführt. Bei einem Schlag in eine blutende Wunde oder Blutlache können Blutflecken in Form eines umgekehrten Ausrufezeichens beobachtet werden (Ziemke 1914).

### **Differenzierung von Blutropfen in Primär- und Sekundärtropfen**

Von Lochte (1933) wurden beim Fallen des Blutropfens aus über 1 m Höhe sekundäre Blutspritzer, die Sekundärtropfen, beschrieben. Es entsteht über Randausziehungen eine „Kronkorkenform“. Das Tropfenbild ist dabei abhängig von der Tropfengröße, der Fallhöhe und der Beschaffenheit der Unterlage.

Eine Kronen- bzw. Facettenbildung von Blutropfen wurde von ihm ab einer Höhe von etwa 25 cm beobachtet. Auf Glas trat keine Facettenform auf. Bei Verwendung gefetteter Unterlagen zogen sich die Blutropfen zusammen (Kugelform). Verschiedenste Zerspritzungsgrade wurden auf Linoleum, Strohpappe, Papier bestrichen mit Kreide, Schmirgelpapier, Sandpapier und Ziegelstein erzeugt. Dasselbe wurde bei verschiedenen Stoffen beobachtet.

Je rauer ein Stoff war, desto mehr zerspritzte der aufprallende Blutropfen. Fällt ein Blutropfen auf einen anderen, so können sich hierbei sekundäre Spritzer zu einer Art ‚Rad‘ vereinen. Für die Arbeiten wurde Schweineblut verwandt (Lochte 1933).

## **4.4.2**

### **Blut und wichtige physikalische Größen**

Die Form eines Blutropfens wird durch Oberflächenspannung, Viskosität und Dichte beeinflusst (Hulse-Smith et al. 2005; James et al. 2005c; Raymond et al. 1996).

Die Form eines Blutropfens geht in die Richtung der minimalen Oberfläche. Sie ist ein Produkt der Spannung; die Oberflächenspannung kann definiert werden als der Betrag einer resultierenden Kraft  $F_\gamma$  dividiert durch eine Länge  $L$  senkrecht zur Kraftrichtung ( $\gamma \equiv F_\gamma/L$ ) (Bergmann u. Schaefer 1998). Die Oberflächenspannung  $\gamma$  kann ebenfalls ermittelt werden anhand der Beziehung:

$$F_g = 2\pi R\gamma$$

[Ist  $F_g$  das Gewicht des abreißen Tropfens und  $R$  der Radius des horizontalen Querschnitts an der Kontraktionsstelle des abreißen Tropfens, so gilt angenähert die angegebene Beziehung (Bergmann u. Schaefer 1998)].

Für Wasser wird eine Oberflächenspannung von  $72,5 \cdot 10^{-3}$  N/m und für Blut  $50,0 \cdot 10^{-3}$  N/m angegeben (jeweils gemessen bei  $20^\circ\text{C}$ ) (James et al. 2005c).

### 4.4.3

#### Tropfengröße – Mikro- und Makrospuren

Seit den grundlegenden Arbeiten aus dem Anfang des vorigen Jahrhunderts (Lochte 1933; Ziemke 1914), in denen die Formspuren von Blutropfen mit einem Volumen von etwa  $50 \mu\text{L}$  umfangreich beschrieben sind, wurde eine Vielzahl von Artikeln darüber publiziert (Du Chesne 2003; Eckart u. James 1999; James et al. 2005a). Diese Arbeiten behandeln Rekonstruktionsmöglichkeiten (Mac Donell 1982; Mac Donell 1977). Zum Standardvolumen wird ausgesagt, dass 20 Tropfen 1 mL entsprechen (James et al. 2005d). Es wurde von einem „Normaltropfen“ ausgegangen ( $0,05 \text{ mL}$ ,  $4,6 \text{ mm}$  Durchmesser (Hulse-Smith et al. 2005)), was ermöglichte, Fallgeschwindigkeiten anzugeben (Spurendurchmesser und Tropfengröße sind bekannt).

Der Ansatz eines normierten Tropfens wurde in Frage gestellt (Pizzola et al. 1986 I), da abhängig von der abtropfenden Spitze des Werkzeugs bei gleicher Höhe unterschiedlich große Blutflecken erzeugt werden können (Hulse-Smith et al. 2005; James et al. 2005d; Pizzola et al. 1986 I).

Bei langsamer Ausbildung von Tropfen fallen die Blutropfen dann nach unten, wenn die Gewichtskraft gleich der rückhaltenden Kraft ist.

Dabei gilt folgende Beziehung:

$$mg = vdg = 2\pi r\gamma$$

und für  $\gamma$ :  $\gamma = mg/2\pi r = vdg/2\pi r v$

[ $m$  = Masse des Tropfens,  $v$  = Volumen des Tropfens,  $g$  = Fallbeschleunigung,  $d$  = Dichte der Flüssigkeit,  $r$  = Radius der Spitze der Pipette,  $\gamma$  = Oberflächenspannung, Gewichtskraft:  $F_g = mg$  (Bergmann u. Schaefer 1998)]

Bei unterschiedlichen Radien der Spitze wurden auch unterschiedliche Tropfgrößen erzeugt. Die Pipettenspitze musste entweder komplett benetzt oder komplett trocken sein, wollte man eine Reproduzierbarkeit der Tropfengröße erreichen (Pizzola et al. 1986 I).

Wurden Pasteurpipetten verwendet, entstanden Tropfenvolumina von etwa  $26 \mu\text{L}$  (Pizzola et al. 1986 I). Maschinell gestützte Auftragungen von Blutropfen auf bewegliche Träger/Ziele erlaubten, neben der vertikalen Geschwindigkeit („*dropping height*“) auch die horizontale Geschwindigkeit zu kontrollieren (Pizzola et al. 1986 II).

Anhand des Volumens werden Blutropfen differenziert: Blutropfen unter  $1 \mu\text{L}$  werden als Mikrospuren und Blutropfen mit einem Volumen bis



zu 10  $\mu\text{L}$  als Makrospuren bezeichnet (Brinkmann et al. 1985; Brinkmann et al. 1986).

Mikrospuren weisen regelhaft eine zirkuläre zonale Gliederung auf. Dabei ist das Zentrum abgeblasst, der Randbereich verstärkt und die Peripherie zeichnet sich durch einen verdünnten Saum aus (Brinkmann et al. 1985).

#### 4.4.4 Tropfspuren und Fallhöhe

Wegen der Gravitation unterliegen alle frei fallenden Körper der Fallbeschleunigung ( $g$ ). Diese beträgt  $9,8 \text{ ms}^{-2}$ .

Im Vakuum beträgt die Fallgeschwindigkeit  $v = gt$ .

Da der Fall des Bluttröpfens nicht im luftleeren Raum geschieht, ist noch der Luftwiderstand zu beachten. Letztlich erreicht der Tropfen eine konstante Fallgeschwindigkeit, die als maximale Aufschlaggeschwindigkeit bezeichnet wird (James et al. 2005d). Bei von Fingern abtropfendem Blut wurden zumeist Tropfenvolumina von 50  $\mu\text{L}$  gemessen und als maximale Aufschlaggeschwindigkeit  $\sim 7,5 \text{ m/s}$  angegeben (Du Chesne 2003; Mac Donnell 1982; Mac Donnell 1977; Mac Donnell 1997). Nach einer Zeitspanne, in welcher der Tropfen eine Strecke von etwa 4,3–5,5 m zurücklegt, würde er diese Geschwindigkeit erreichen (James et al. 2005d). Als Faustregel gilt, dass nach einer Fallstrecke  $>1,2 \text{ m}$  keine gravierende Veränderung der Tropfengröße mehr beobachtet wird und dass kleinvolumige Tropfen die maximale Aufschlaggeschwindigkeit schneller erreichen; diese ist aber geringer als bei großvolumigen Tropfen (James et al. 2005d).

Die Beziehung zwischen Spurengröße, Fallhöhe und Tropfenvolumen wurde oft untersucht (Brinkmann et al. 1986; Hulse-Smith et al. 2005; James et al. 2005d; Pizzola 1986 I). Eine Spur von 5  $\mu\text{L}$  aus 1 m Fallhöhe weist z. B. die gleiche Fläche auf wie eine solche von 12  $\mu\text{L}$  aus etwa 10 cm Fallhöhe (Brinkmann et al. 1986).

Die Fallhöhe eines Bluttröpfens kann nicht allein durch Bestimmung des Durchmessers des aufgetropften Bluttröpfens festgestellt werden (der Volumen des ursprünglichen Tröpfens muss bekannt sein und der Einfluss der Oberfläche muss in Erwägung gezogen werden) (James et al. 2005d).

Jedoch kann durch Bestimmen des Durchmessers des aufgetropften Bluttröpfens und der Facettenbildung (abhängig von der Oberfläche) die Auftreffgeschwindigkeit sowie der Durchmesser des Bluttröpfens offenbar festgestellt werden (Hulse-Smith et al. 2005).

Auf verschiedenen glatten Oberflächen wurden Tropfen von Schweißblut aufgebracht. Mit zunehmendem Tropfendurchmesser (3,0–4,3 mm)

und zunehmender Auftreffgeschwindigkeit (2,4–4,9 m/s) wurde eine Zunahme der Durchmesser der Blutflecken und der Facetten-Anzahl beobachtet (Hulse-Smith et al. 2005).

Anhand der Anzahl der Facetten und des Durchmessers des Blutflecks lassen sich bestimmen:

$$V_o = 1,34 \cdot 10^{-2} (N^5/D_s^2)^{2/9}$$

$$D_o = 0,324 (D_s^4/N)^{2/9}$$

[ $D_s$  = Durchmesser des Blutflecks,  $N$  = Anzahl der Facetten,  $V_o$  = Auftreffgeschwindigkeit,  $D_o$  = Durchmesser des Bluttröpfens]

Zur Überprüfung wurde die Auftreffgeschwindigkeit herangezogen:

$$V_o = \sqrt{2gh}$$

[ $h$  = Fallhöhe des Tröpfens,  $g$  = Fallbeschleunigung]

Bei Glas als Unterlage wurde eine Facettenbildung anhand von Hochgeschwindigkeitsphotos festgestellt, beim endgültigen Blutfleck ist jedoch eine Facettenbildung nicht mehr nachweisbar (Hulse-Smith et al. 2005; Lochte 1933).

Mit zunehmender Rauigkeit (Glas < Stahl < Plastik < Papier) wurden im Verhältnis Blutflecken mit kleinerem Radius in Verbindung mit einer Verringerung der Facettenanzahl (Zusammenlaufen von Facetten) erhalten.

#### 4.4.5

#### Textilien als Oberflächen

Stoffe sind am Tatort häufig Spurenträger. Der Spurenträger kann aus Synthese- und/oder Naturfaden bestehen; Bindungsvorgänge sind von komplexer Natur.

Auf textilem Spurenträger sind folgende Kompartimente unterscheidbar (Messler et al. 1982):

- Trockensubstanz aus primär gelösten Blutbestandteilen, in der Faser lokalisiert,
- Trockensubstanzen aus gelösten und korpuskulären Blutbestandteilen, an der Faser angelagert,
- Trockensubstanzen aus gelösten und korpuskulären Blutbestandteilen in den kapillaren Räumen zwischen den Fasern,
- Bei frischen, noch feuchten Blutanhaftungen: zusätzlich Quellungs-, Haft- und Kapillarwasser.

Die Hauptmenge von Trockensubstanz einer Blutanhaftung wird in den kapillaren Räumen zwischen den Fasern bzw. Fäden gebunden. Glatte, dichte Gewebe nehmen weniger Antragungsmaterial in sich auf als lockere, raue Stoffe mit einem großen Kapillarvolumen pro Flächeneinheit (Messler et al. 1982).

Mikrospritzspuren und Mikrokontakts Spuren wurden auf Papier und Textilien aufgebracht und die Verteilung im histologischen Schnitt nach Fixierung untersucht (Madea et al. 1986). Die Stoffoberfläche ist bei Spritzspuren gleichmäßiger benetzt, während bei den Kontakts Spuren die oberflächlichen Fasern benetzt sind, nicht so sehr der Raum zwischen den Fasern.

Verschiedene Stofftypen wurden gezielt mit Tropf- bzw. Kontakts Spuren versetzt (Karger et al. 1998). Bei den Kontakts Spuren wurde weiterhin zwischen Schmier- und Druckspuren differenziert. Dazu wurde hepariniertes menschliches Blut eingesetzt, die verwendeten Volumina reichten von 0,1 bis 10  $\mu\text{L}$ . Bei Baumwolle wurden bei einem Volumen  $> 0,25 \mu\text{L}$  kreisförmige bis irreguläre Blutanhaftungen nach Kontakt beobachtet, wobei auch die Rückseite des Trägers mit Blut durchtränkt war. Bei Tropfspuren wurde dieses nicht beobachtet. Weitere Differenzierungsmerkmale von Kontakt- und Tropfspuren sind (Brinkmann et al. 1985; Karger et al. 1998):

Kontakts Spuren:

- Asymmetrie der Blutspur (keine symmetrische Position),
- Keine Rhythmizität des Blutspurmusters (keine Sekundärtropfen),
- Kein zonales Trocknungsmuster,
- Imprägnierung des Materials (bei Druckspuren tiefe Imprägnierung und weiterführende Verteilung des Blutes).

Tropfspuren:

- Symmetrie der Blutspur,
- Rhythmizität des Blutspurmusters (Auftreten von Sekundärtropfen),
- Zonales Trocknungsmuster.

Für eine Unterscheidung zwischen „dynamischen“ Tropfspuren und Kontakts Spuren sind die genannten Kriterien bei Mikros Spuren wenig geeignet, weil kleinere Volumina an rauer Oberflächenstruktur fester angelagert werden. Deshalb ist es notwendig, Tropfversuche mit dem jeweils gleichen Stoff durchzuführen (Karger et al. 1998).

#### 4.4.6

### Tropfversuche – Tierblut als Alternative

Schweineblut wird aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften dem Verhalten von frischem menschlichem Blut gleichgestellt (Raymond et al. 1996) und stellt damit eine kostengünstige, infektiionsarme Alternative für Versuche dar (Hulse-Smith et al. 2005, James et al. 2005c; Raymond et al. 1996).

Mit bis zu zwei Wochen altem Schweineblut konnte das Spritzverhalten von frischem humanem Blut gut reproduziert werden (Raymond et al. 1996). Es wurde auch Rinder- oder Pferdeblut mit ähnlich guten Ergebnissen in Versuchen eingesetzt (James et al. 2005c).

Verwendetes Blut sollte den realen Bedingungen so nah wie möglich kommen, d. h. dem Blut entsprechen, das gerade den Körper verlassen hat. Ein Zusatz von einem Antikoagulans (z. B. EDTA) wird daher als notwendig angesehen (James et al. 2005c; Raymond et al. 1996).

#### 4.4.7

### Blutspuren in Theorie und Praxis – Auftreffwinkel und mögliche Aussagen

Der generelle Unterschied in der Entstehung zwischen runden und langgezogenen Blutspuren kann prinzipiell dazu verwendet werden, die Position des Opfers zum Zeitpunkt der Tat zu rekonstruieren (Eckart u. James 1999; James et al. 2005a; James et al. 2005e; Knight 1996).

Um den Ursprungsort zu bestimmen, sind vier Ansätze möglich (James et al. 2005e):

- Fadenprojektion („*stringing method*“),
- Trigonometrische Methode,
- Graphischer Ansatz,
- Computerprogramme.

Hier soll auf die Basis der Fadenprojektion bzw. der trigonometrischen Methode eingegangen werden. Dabei werden anhand der Form der Blutspur verschiedene Winkel ermittelt (Auftrittswinkel  $\alpha$ , Richtungswinkel  $\gamma$ ), mit deren Hilfe der Ursprungsort lokalisiert wird (Abb. 4.1) (Carter 2005a; James et al. 2005e).

Der Einfluss des Auftreffwinkels wurde bei Mikrospuren untersucht und ein Längen-Breitenquotient definiert, der den Einfluss des Tropfenvolu-

mens und der Fallhöhe minimiert. Aus dem  $B : L$ -Quotienten kann auf den Auftreffwinkel geschlossen werden:

$$\text{Breite} : \text{Länge} = \sin(\text{Auftreffwinkel})$$

Zur Bestimmung der Länge einer ausgezogenen Blutspur wird das gedachte untere Ende des Ovals herangezogen. Die schon genannte Ausrufezeichenkonfiguration des Blutflecks (Kap. 4.4.1) wird dabei also nicht komplett berücksichtigt. Einflüsse von Tropfenvolumen und Fallhöhe werden durch dieses Verfahren weitestgehend ausgeschaltet (Brinkmann et al. 1986).

Im Mikrobereich findet sich diese Ausrufezeichenkonfiguration ab einem Winkel  $30^\circ$  in einer einstrahligen Form. Eine Verdoppelung bis Vervielfachung des Ausrufezeichenstiels kann im Falle von Makrospuren bei Fallhöhen ab 1,50 m beobachtet werden.

Bewegt man sich von Papier hin zu raueren Materialien wie Stoff, so entstehen bereits bei relativ geringer Fallhöhe Sekundärspritzer, d.h. ein Auftreten von Extremformen der Kronkorkenformation (Lochte 1933). Statt Ausrufezeichen kann es zur Bildung von „Hoppelmustern“ kommen (Brinkmann et al. 1985). Mit zunehmender Rauigkeit des Spurenträgers sind nur noch grobe Abschätzungen bezüglich der Entstehung und des verursachenden Volumens möglich.

Zur Bestimmung der Fallhöhe und des Auftreffwinkels von Bluttröpfen wurde eine mathematische Methode entwickelt, um mögliche Abweichungen zu bestimmen. Die Messunsicherheit des rechnerisch bestimmten Auftreffwinkels eines Bluttröpfens ist danach eine Funktion des Auftreffwinkels selbst (Willis et al. 2001).

Zum Bestimmen des Ursprungs sollten möglichst Tropfen herangezogen werden, welche die Oberfläche in einem flachen Winkel getroffen haben, da hier mit genaueren Ergebnissen zu rechnen ist. Für den durch das Verhältnis ( $B : L$ ) bestimmten Auftreffwinkel ( $\alpha$ ) werden als Ergebnis Werte von  $10^\circ$  bis  $60^\circ$  als akkurat angesehen (Carter 2005a). Neben dem Auftreffwinkel  $\alpha$  wird der Richtungswinkel  $\gamma$  (Carter 2005a) benötigt, um den Ursprungsort zu lokalisieren; die Bestimmung erfolgt im Uhrzeigersinn (Abb. 4.1).

Eine Eingrenzung von Fehlern bei der Bestimmung des Ursprungsortes der Blutspur ist unerlässlich. Hierzu wurden mathematische Berechnungen durchgeführt; ebenso wurden ballistische Fragen dieser Art behandelt (Rowe 2005a; Rowe 2005b).

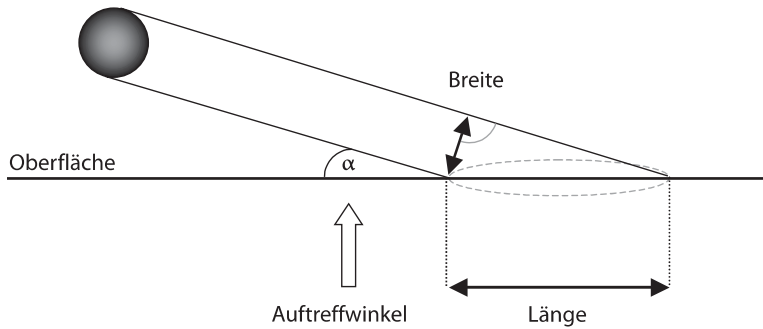
Blutflecken werden herangezogen, um bei Schussverletzungen mittelbar die Schussentfernung zu bestimmen, um beim Suizid eine Aussage zur Position der Schusshand zu machen (Kleiber et al. 2001; Yen et al. 2003). Vor Abnahme der Schmauchspuren werden deshalb selbstverständlich die Blutspritzer an der Hand dokumentiert.

Auftreffwinkel  $\alpha$

Breite/Länge =  $\sin \alpha$

$\Rightarrow \alpha = \arcsin (B/L)$

Tropfen vor dem Aufschlag



Richtungswinkel  $\gamma$

$\Rightarrow \gamma = 90^\circ$

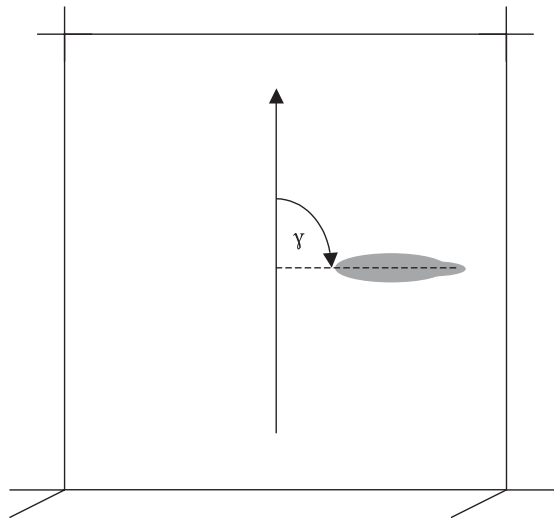


Abb. 4.1. Ermittlung des Auftreffwinkels  $\alpha$  und des Richtungswinkels  $\gamma$  (Carter 2005a, James et al. 2005e)

Bei orientierender Betrachtung werden Blutropfen als sphärisch (kugelförmig) angesehen. Die Eigenschwingungen von Blutropfen wurden nach der Ablösung mit Hochgeschwindigkeitsaufnahmen dokumentiert. Legten danach die Blutropfen eine Strecke von 40 cm zurück, wurde keine Oszil-

lation mehr beobachtet (wegen der Viskosität wird die Veränderung der Tropfenform schnell gedämpft) (Raymond et al. 1996).

Eine computergestützte Analyse des Blutspritzmusters – auch unter Verwendung von CAD (*computer-aided design*) – ist inzwischen möglich (Carter 2005a; Carter et al. 2005b; Pace et al. 2006).

## 4.5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Übersicht wurden Einflussgrößen auf freifallende Blutropfen beschrieben. Daran knüpfte sich eine Beschreibung der Morphologie von Blutspuren auf verschiedenen Oberflächen an. Mikro- und Makrospuren wurden differenziert. Abschließend wurden Grundlagen für eine Rekonstruktion anhand von Blutspuren genannt.

Insgesamt wurden damit Randbedingungen für die Ausprägung von Blutspuren aus fallenden Blutropfen dargestellt und erläutert.

## Literatur

- Bergmann L, Schaefer C (1998) Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. 1. Mechanik, Relativität, Wärme (Autoren: Dorf Müller T, Stierstadt K, Hering WT, u Mitw von Fischer G), 11. Aufl. de Gruyter, Berlin New York
- Brinkmann B, Madea B, Rand S (1985) Charakterisierung von Mikroblutspuren. *Z. Rechtsmed* 94:237–244
- Brinkmann B, Madea B, Rand S (1986) Zu den Einflussfaktoren auf die Morphologie der Blutspur. *Beitr Gerichtl Med* XLIV:67–73
- Carter AL (2005a) Directional Analysis of Bloodstain Pattern with a Computer. In: James SH, Kish PE, Sutton TP, Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice, pp 241–261. Taylor and Francis CRC Press, Boca Raton
- Carter AL, Illes M, Maloney K et al (2005b) Further Validation of the BackTrack™ Computer Program for Bloodstain Pattern Analysis – *Precision and Accuracy*. IABPA News, September 2005, pp 15–22 (<http://www.iabpa.org>)
- Du Chesne A (2003) Spuren: Erkennung, Sicherung, morphologische Blutspurenanalyse. In: Brinkmann SH, Madea B (Hrsg) Handbuch gerichtliche Medizin Band 1, S 235–250. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Eckart WG, James SH (1999) Interpretation of bloodstain evidence at crime scenes (2nd edn). CRC Press, Boca Raton
- Hulse-Smith L, Mehdizadeh NZ, Chandra S (2005) Deducing drop size and impact velocity from circular bloodstains. *J Forensic Sci* 50:54–63
- James SH (1999) Introduction to Bloodstain Pattern Interpretation and Properties of Blood. In: Eckart WG, James SH, Interpretation of bloodstain evidence at crime scenes (2nd edn), pp 1–17. CRC Press, Boca Raton
- James SH, Kish PE, Sutton TP (2005a) Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice. Taylor and Francis CRC Press, Boca Raton

- James SH, Kish PE, Sutton TP (2005b) Introduction to Bloodstain Pattern Analysis. In: James SH, Kish PE, Sutton TP, Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice, pp 1–10. Taylor and Francis CRC Press, Boca Raton
- James SH, Kish PE, Sutton TP (2005c) Biological and Physical Properties of Human Blood. In: James SH, Kish PE, Sutton TP, Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice, pp 41–58. Taylor and Francis CRC Press, Boca Raton
- James SH, Kish PE, Sutton TP (2005d) Physical Properties of Bloodstain Formation. In: James SH, Kish PE, Sutton TP, Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice, pp 59–70. Taylor and Francis CRC Press, Boca Raton
- James SH, Kish PE, Sutton TP (2005e) Determination of the Area of Convergence and Area of Origin of Bloodstain Pattern. In: James SH, Kish PE, Sutton TP, Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice, pp 217–239. Taylor and Francis CRC Press, Boca Raton
- Karger B, Rand SP, Brinkmann B (1998) Experimental bloodstains on fabric from contact and from droplets. *Int J Legal Med* 111:17–21
- Kleiber M, Stiller D, Wiegand P (2001) Assessment of shooting distance on the basis of bloodstain analysis and histological examinations. *Forensic Sci Int* 119:260–262
- Knight B (1996) *Forensic Pathology*. Arnold, London / Oxford Univ Press, New York
- Lochte T (1933) Über die Kronenbildung des auffallenden Bluttröpfens und ihre Beziehungen zu sekundären Blutspritzern. *Dtsch Z Ges Gerichtl Med* 22:387–396
- Mac Donell HL (1982) Bloodstain pattern interpretation. Laboratory of Forensic Science, Corning/NY
- Mac Donell HL (1977) Preserving bloodstain evidence at crime scenes. *Law Order* 25:66–69
- Mac Donell HL (1997) Bloodstain patterns – revised. Laboratory of Forensic Science, Corning/NY
- Madea B, Sander W, Brinkmann B et al (1986) Morphologische Blutspurenanalyse am histologischen Schnitt. *Beitr Gerichtl Med* XLIV:81–85
- Messler H, Berghaus G, Dotzauer G (1982) Der Einfluss textiltechnischer Größen eines Spurenträgers auf die Aufnahmefähigkeit für Blut. *Arch Kriminol* 169:99–113
- Oepen I (1986) Biologische (menschliche) Spuren. In: Forster B (Hrsg) *Praxis der Rechtsmedizin für Mediziner und Juristen*, S. 258–265. Thieme, Stuttgart
- Pace A, Carter AL, Moore C et al (2006) Another Treatment of Three-Dimensional Bloodstain Pattern Analysis. *IABPA News*, March 2006, pp 4–11 (<http://www.iabpa.org>)
- Piotrowski E (1895) Über die Entstehung der Blutspuren nach Hieb- und Stichwunden des Kopfes. *Virchows Jahresber* I:449
- Pizzola PA, Roth S, DeForest PR (1986) Blood Droplet Dynamics–I. *J Forensic Sci* 31:36–49
- Pizzola PA, Roth S, DeForest PR (1986) Blood Droplet Dynamics–II. *J Forensic Sci* 31:50–64
- Raymond MA, Smith ER, Liesegang J (1996) The physical properties of blood – forensic considerations. *Sci Justice* 36:153–160
- Raymond MA, Smith ER, Liesegang J (1996) Oscillating blood droplets – implications for crime scene reconstruction. *Sci Justice* 36:161–171
- Rowe WF (2005a) Errors in the determination of the point of origin of bloodstains. *Forensic Sci Int* 161:47–51
- Rowe WF (2005b) The distribution of shotgun pellets after ricochet from an intermediate target surface. *Forensic Sci Int* 155:188–192
- Willis C, Piranian AK, Donaggio JR et al (2001) Errors in the estimation of the distance of fall and angles of impact blood drops. *Forensic Sci Int* 123:1–4
- Yen K, Thali MJ, Kneubuehl BP et al (2003) Blood-spatter patterns: hands hold clues for the forensic reconstruction of the sequence of events. *Am J Forensic Med Pathol* 24:132–140
- Ziemke E (1914) Die Untersuchung von Blutspuren. In: Lochte T (ed) *Gerichtsärztliche und polizeiärztliche Technik*, S. 152–215. Bergmann, Wiesbaden



# 5 Fingerspuren

Rainer Herrmann

Die Bedeutung des Fingerabdruckes im Ermittlungsverfahren und vor Gericht ist unübertroffen. Die daktyloskopische Spur ist nach wie vor die einzige Spur, die eine eindeutige Identifizierung des Spurenverursachers ermöglicht. Ihr Beweiswert wird nicht einmal vom „genetischen Fingerabdruck“, der DNA-Analyse, erreicht. Sie kann daher in ihrer Bedeutung gar nicht hoch genug eingeschätzt werden.

Das Kapitel beschreibt detailliert die Geschichte der Daktyloskopie, erklärt die Physiologie und die Funktion der Hautleisten, geht auf die Entstehungsbedingungen von daktyloskopischen Spuren und die Möglichkeiten des Identitätsnachweises anhand von Fingerspuren ein.

## 5.1 Einleitung

Zur Aufklärung von Straftaten werden oftmals im Rahmen der Beweisführung zahlreiche Beweismittel subjektiver und objektiver Art herangezogen.

Viele der Beweismittel lassen lediglich den Schluss auf eine bestimmte Tatsache zu, andere Beweismittel beinhalten – insbesondere wenn sie in Form eines wissenschaftlichen Gutachtens zum Ausdruck gebracht werden – Wahrscheinlichkeitsaussagen, die im Verlauf des Strafverfahrens durch den Richter zu werten sind.

### ***Eines der sichersten und häufigsten Beweismittel ist die daktyloskopische Spur.***

Das Wissen von der Identifizierung mittels Fingerabdrücken wird als „Daktyloskopie“ bezeichnet. Sie ist das am weitesten anerkannte und verbreitete, unverwechselbare und unfehlbare Mittel zur Personenidentifizierung.

Dabei handelt es sich um eine komplexe Wissenschaft mit einer eigenen Geschichte, einer Untersuchungsmethode, einem Klassifizierungssystem und einer in vielen Situationen möglichen Anwendung.

---

Rainer Herrmann: Landeskriminalamt Niedersachsen,  
Abteilung Kriminalwissenschaft und -technik, Schützenstraße 25, 30161 Hannover  
E-Mail: rainer.herrmann@polizei.niedersachsen.de

Der Begriff Daktyloskopie stammt aus dem Griechischen: „Daktylos“ bedeutet Finger und „skopein“ schauen: Daktyloskopie heißt also „Fingerschau“. Sie ist heute eine von Wissenschaft und Rechtssprechung anerkannte Personenidentifizierungsmethode, die sich mit der Aufnahme und Auswertung der Abbilder der menschlichen Leistenhaut zum Zwecke der Identifizierung sowie der Feststellung von Spurenverursachern befasst.

### 5.1.1 Geschichte der Daktyloskopie

Erste Zeugnisse, dass der Mensch sich der Bedeutung der Hautleistenbilder bewusst war, stammen aus vorchristlicher Zeit, etwa **3.000 v. Chr.** In Nordamerika, am Kejimkoojik-See, fand man im Gebiet der Micmac-Indianer Steinzeichnungen. Diese Petroglyphen sind Zeichnungen von Handflächen mit vereinfacht dargestellten Papillarlinienmustern in den Fingerkuppen sowie Abbildungen von Linien und Handflächen. Die Micmac-Indianer beobachteten bereits, was bei anatomischen Zeichnungen bis in die jüngsten Jahrhunderte wenig Beachtung fand.

Die Assyrer und Babylonier versahen um **2200 v. Chr.** ihre Tontafeln, die als Urkunden dienten, außer mit dem Namen des Schreibers zusätzlich mit einem Fingernagelabdruck, einem Supurs. Bei diesen Spuren kamen auch die Papillarleisten der Fingerspitzen mit zum Abdruck. Sie waren dadurch geeignet, den Urkundenaussteller zu identifizieren.

Ebenfalls aus vorchristlicher Zeit stammen chinesische Tonsiegel, die auf einer Seite mit einem Stempelbild versehen sind und auf der anderen Seite einen gut ausgeprägten Fingerabdruck aufweisen. Sie dienten der Legitimation des rechtmäßigen Siegeleigentümers.

Der chinesische Schriftsteller Shi nai-ngan veröffentlichte **ca. 1160** einen 40-bändigen Abenteuer- und Kriminalroman mit dem Titel „Die Geschichte des Flussufers“. In einem dieser Bände beschreibt er den Identifizierungswert der Fingerabdrücke, die zu dieser Zeit schon im Strafprozess anerkannt gewesen sein müssen. Der Autor schreibt im Zusammenhang mit der Festnahme zweier Mörderinnen: „rief die beiden Weiber zu sich heran und ließ sie ihre Finger einschwärzen und abdrücken“.

In Europa wurde man sich der Bedeutung der Papillarleisten erst viel später bewusst als in Asien. Im Jahre **1686** veröffentlicht Marcellus Malpighius, ein Arzt aus Bologna, als erster Europäer eine Schrift zum Thema Furchen und Muster der Handflächen. Titel: „Über das äußere Gefühlsorgan“. Eine medizinische Abhandlung über „verschiedenspiralige“ Linien, welche die Haut der Hand und des Fußes durchfurchen, veröffentlichte Christian

Jacob Hintze im Jahre 1747. Johann Evangelista Purkinje, ein gebürtiger Tscheche, war der Erste, der versuchte, die verschiedenen Papillarlinienmuster zu klassifizieren. Der Professor der Physiologie und Pathologie in Breslau stellte im Jahre 1823 neun Grundmustertypen auf und schuf damit die Basis der heutigen Klassifiziermethode. Purkinje fertigte Zeichnungen der einzelnen Papillarmuster, hatte also noch kein Interesse an der Fingerabdrucknahme.

Einen entscheidenden Schritt für die Personenidentifizierung durch den Fingerabdruck leistete Hermann Welker. Der deutsche Anthropologe befasste sich 1856 mit der **Unveränderlichkeit** der Haut- oder Papillarleisten. Er fertigte Abdrücke seiner eingefärbten Hände und wiederholte die Prozedur 41 Jahre später. Er stellte fest, dass das Papillarlinienbild – mit Ausnahme der altersbedingten Falten und Furchen – im Laufe seines Lebens unverändert geblieben ist. Welker erbrachte so den empirischen Beweis der Unveränderlichkeit. An eine kriminalistische Verwertung dachte er indes auch noch nicht.

1858 war es der englische Chief Officer William J. Herschel in Indien, der versuchte, die Fingerabdrücke für polizeiliche Zwecke zu nutzen. Zunächst, um Identitätsschwindeleien bei der Auszahlung von Pensionen zu verhüten. Jeder pensionsberechtigte Inder wurde daktyloskopiert und sein Abdruck amtlich registriert. Bei jeder Pensionsauszahlung musste der Empfänger mit Fingerabdruck quittieren, um die Identität zu beweisen. Später führte Herschel dieses Abdruckverfahren auch im Gefängnis seines Distriktes ein. Er sammelte über Jahre Tausende von Fingerabdrücken. 1860 nahm Herschel auch Abdrücke seines Zeige- und Mittelfingers und kontrollierte diese 1888, also 28 Jahre später. Anhand des gesammelten Materials erbrachte er den wissenschaftlichen Nachweis, dass Papillarleistenbilder im Laufe eines Menschenlebens unverändert bleiben. Sein Vorschlag zur offiziellen Einführung der Daktyloskopie in Bengalen/Indien wurde 1877 trotzdem abgelehnt.

1880 machte – unabhängig von Herschels Versuchen – der Engländer Henry Faulds Studien über Fingerabdrücke. Der praktizierende Arzt in Tokyo war durch Fingereindrucksuren auf prähistorischen Tonwaren auf das Thema aufmerksam geworden. Er wies auf die Möglichkeit hin, Täter durch ihre unbewusst am Tatort hinterlassenen Fingerabdrücke überführen zu können und verfasste eine Anleitung zur Aufnahme von Fingerabdrücken, wobei er die Zehnfingerdaktyloskopie vorschlug. Als Übertragungsmedium für die Abdrucknahme empfahl er Druckerschwärze. Später stritten Herschel und Faulds darum, wer zuerst die Idee der Daktyloskopierung von Straftätern hatte.

In Berlin schlug im Jahre 1888 der Tierarzt Wilhelm Eber der preussischen Regierung die Einführung der Tatortdaktyloskopie vor. Anhand

blutiger Fingerspuren, die Schlächter und Tierärzte im Schlachthof auf Handtüchern sowie Geschäftsbüchern hinterließen, erkannte er die Individualität der Papillarlinienbilder. So wurde die Idee geboren, mittels Hand- oder Fingerabdrücken Verbrecher zu überführen. Eber entwickelte daraufhin ein System, Fingerabdrücke mit Jod sichtbar und haltbar zu machen.

Der Durchbruch der angewandten Daktyloskopie verzögerte sich weiter, als 1888 von dem Franzosen Alphonse Bertillon, einem Hilfsschreiber der Pariser Polizeipräfektur, die Anthropometrie (die Körpervermessung) als Mittel der Personenidentifizierung in Frankreich eingeführt wurde. Sein Verfahren, die „Bertillonage“, basierte auf der Theorie des Kriminalstatistikers Quetelet. Er ging davon aus, dass die Knochenmaße eines Menschen einmalig und ab dem 21. Lebensjahr unveränderlich sind. Dieses Messverfahren umfasste insgesamt elf verschiedene Messungen, darunter Körpergröße, Armspannweite, Sitzhöhe, Kopflänge und -breite, Jochbeinbreite, Länge des rechten Ohres und des linken Fußes sowie die Länge des linken kleinen Fingers. Viele Staaten übernahmen das Bertillonsche System.

Ebenfalls 1888 erhielt in London der Anthropologe Francis Galton den Auftrag, einen Vortrag über das Bertillonsche Messverfahren zu halten. Er sammelte dazu auch Material über andere Identifizierungsmethoden und lernte auf diesem Wege William Herschel kennen. Galton beschäftigte sich fortan ebenfalls mit der Erforschung der Fingerabdrücke und wandte sich den drei Hauptfragen zu: Nach der Unveränderlichkeit, der Einmaligkeit sowie der Möglichkeit der Klassifizierbarkeit von Fingerabdrücken.

Sein Ergebnis: Die Papillarlinien bleiben während des ganzen Lebens konstant; die Variabilität der Muster ist so groß, dass die Unterscheidung Tausender von Personen möglich ist; die Fingerabdrücke lassen sich so in ein Klassifizierungssystem einordnen, dass der Experte, dem neue Abdrücke vorgelegt werden, feststellen kann, ob er die Fingerabdrücke derselben Person bereits früher registriert hat.

1892 veröffentlichte er diese Ergebnisse in seinem Buch „Fingerprints“. Galton schuf damit die ersten brauchbaren Grundlagen der modernen Fingerabdruckklassifizierung. Daraufhin wurde ab 1895 in England sowohl gemessen als auch daktyloskopiert.

Bereits 1892 wurde in Argentinien der erste Mordfall mit Hilfe der Daktyloskopie aufgeklärt. Anhand eines am Tatort zurückgelassenen blutigen Daumenabdruckes identifizierte Juan Vucetich, Leiter des Erkennungsdienstes in La Plata, eine Frau als Mörderin ihrer Kinder. 1896 entwickelte Vucetich sein eigenes Klassifizierungssystem, welches 1905 in ganz Südamerika angewendet wurde.

Der Nachfolger Herschels in Indien und spätere Polizeipräsident von London, Edward Richard Henry, sorgte für die Einführung der Daktyloskopie in England und Europa. Aufbauend auf das Klassifizierungssystem von Galton verbesserte Henry mit Hilfe eines indischen Mathematikers das System und entwickelte das „Galton-Henry-System“, das auch heute noch in seinen Grundelementen von vielen Erkennungsdiensten der Welt angewendet wird. Es wurde 1897 offiziell in Britisch-Indien eingeführt. Ab 1901 wurde in England auf die Anthropometrie verzichtet und die Daktyloskopie als ausschließliches Identifizierungsmittel eingeführt. 1902 folgten Österreich und Ungarn dem britischen Beispiel.

Am 01.04.1903 erfolgte die Einführung der Daktyloskopie in Deutschland. Der Dresdner Polizeipräsident Paul Köttig schuf die erste mit daktyloskopischen Formeln arbeitende Sammlung Deutschlands, nach dem System Galton-Henry, im Königreich Sachsen. Im Herbst 1903 folgte Hamburg, am 21.11.1903 Berlin, Nürnberg am 09.12.1903, Augsburg am 14.12.1903 und München am 01.07.1909.

## 5.1.2

### Entwicklungsstationen bis zur Gegenwart

Im 2. Weltkrieg wurden die meisten Fingerabdrucksammlungen in Deutschland vernichtet. Die Münchner Sammlung überstand diese Zeit jedoch und bildete den Grundstock für die Sammlung des Bayerischen Landeskriminalamtes. 1946 wurde in Hamburg die erste Zehnfingerabdrucksammlung für den Bereich einer Besatzungszone errichtet. Die Sammlung des Bundeskriminalamtes (BKA) ging später hieraus hervor. Mit der Entscheidung des Bundesgerichtshofes vom 11.06.1952 erkannte die Rechtssprechung den Beweiswert der Daktyloskopie im Strafverfahren uneingeschränkt an. 1976 nahm das erste halbautomatische Datenverarbeitungssystem zur Auswertung von Fingerabdrücken – das Bund-Länder-System – den Wirkbetrieb auf.

Das verbesserte, automatisierte Fingerabdruck-Identifizierungs-System (AFIS) wurde im Dezember 1993 eingeführt. Vergangenes Jahr wurde AFIS auf eine noch effizientere Software – „MetaMorpho“ – umgestellt. Nun können auch Handflächenabdrücke und Handflächenspuren systematisch ausgewertet werden.

Pro Jahr werden in AFIS mehr als 13.000 Spurenverursacher vom BKA und den Landeskriminalämtern identifiziert. Zu Zeiten des manuellen Vergleichs wären dafür mehr als 20 Jahre benötigt worden. Aktuell sind in AFIS die Fingerabdrücke von mehr als 3 Mio. Personen gespeichert. Dazu kommen täglich bis zu 1400 neue Datensätze.

## 5.2 Grundlagen der Daktyloskopie

### 5.2.1 Einmaligkeit und Unveränderlichkeit

Zwei bisher nicht zu widerlegende Annahmen bilden Grundlage und Bedingung für jede polizeiliche daktyloskopische Untersuchung und Schlussfolgerung:

Jeder Mensch hat andere, individuell einmalige Hautleistenbilder, die nicht vererblich sind (Grundsatz der Einmaligkeit) und die Hautleistenbilder eines Menschen sind von Natur aus vom etwa vierten Embryonalmonat an bis zur Auflösung des Körpers nach dem Tode unveränderlich (Grundsatz der Unveränderlichkeit).

Diese Annahmen werden immer wieder von Berufenen und Unberufenen angezweifelt. Die Polizei in der ganzen Welt überprüft seit langem jede ihr bekannt werdende Mitteilung, die geeignet sein könnte, die Basis ihrer daktyloskopischen Arbeit zu erschüttern.

Für die Rechtsfindung und Rechtsprechung hat der Bundesgerichtshof den Beweiswert der Daktyloskopie uneingeschränkt anerkannt.

Dem **Grundsatz der Einmaligkeit** steht nicht entgegen, dass heute als naturwissenschaftlich gesichert gilt, bei der Entstehung der Papillarleisten hätten Erbanlagen einen wesentlichen Anteil. Allerdings seien die ihren Erbgang bestimmenden Faktoren im einzelnen noch nicht klar zu erkennen. Wenn man aber bedenkt, dass die meisten Merkmale des Menschen nicht nur von einem einzigen Gen, sondern von vielen Genen abhängen, und wenn man berücksichtigt, dass für die im dritten Embryonalmonat stets an den Fingerspitzen beginnende Ausprägung der Hautleisten die intrauterine Umwelt ganz wesentlich verantwortlich ist, mithin also „Zufallsfaktoren“ eine Rolle spielen, dann ist ein einfacher und unbedingter Erbgang wenig wahrscheinlich. Erbähnlichkeit wird bestenfalls am Mustertyp und an der Leistenzahl deutlich, nicht dagegen an der Individualität des Musters, die wegen der anatomischen Merkmale – Minuzien, d. h. Kleinigkeiten – immer einmalig bleibt.

Das bestätigen vergleichende Untersuchungen von Familienangehörigen, insbesondere von Mehrlingen. Aus denselben Gründen dürften selbst beim denkbaren Klonen eines Menschen, also bei der identischen Reproduktion des Individuums durch künstliche Verdoppelung der gleicherbiggen (homozygoten) Geschlechtschromosomen, identische Papillarleistenbilder kaum hervorgebracht werden.

An der Wahrscheinlichkeitsberechnung des Zufalls als Indiz für die Einmaligkeit haben sich bisher überwiegend Mediziner, Juristen und Kriminalisten versucht, kaum dagegen Mathematiker. Ihre Überlegungen, soweit

sie sich nicht verallgemeinernd auf die Linné'sche Formel „*natura (in operationibus suis) non facit saltum*“ zurückziehen, vermitteln nur ungefähre numerische Vorstellungen über das unwahrscheinliche Auftreten identischer Hautleistenbilder; den Anspruch eines exakten mathematischen Beweises erfüllen sie nicht im geringsten.

Dem **Grundsatz der Unveränderlichkeit** stehen die proportionale Ausdehnung der Papillarleisten durch das Wachstum, der Altersabbau und die jederzeitige Möglichkeit äußerer Verletzungen nicht entgegen.

Nach Beschädigung der Hornschicht der Oberhaut durch äußere Einflüsse, z. B. grobe Handarbeit, bilden sich die Hautleisten immer wieder in ihrer ursprünglichen Form neu aus. Nach Beschädigung der obersten Schicht der Lederhaut (*stratum papillare*) entsteht eine Narbe, die ihrerseits einen neuen zusätzlichen Identitätswert von hoher Qualität gewinnt.

Es gibt auch einige Krankheiten, die unmittelbaren Einfluss auf die Hautleisten ausüben: Die mongoloide Idiotie lässt nur unvollkommene Papillarleistenmuster entstehen; die Lepra bewirkt einen langsamen Zerstörungsprozess der Haut; die Infektion mit „Hansen'schen Bazillen“ führt über eine Kompression der Hautleisten zum teilweisen Verschwinden der Muster. Andererseits hat man bei Contergan-Opfern, soweit sie überhaupt über ausgebildete Hände und Finger verfügten, Anomalien in den Hautleistenbildern nicht festgestellt.

Für die polizeiliche Praxis gilt als bewiesen, dass Papillarleisten ohne mechanische Beschädigung, Zerstörung oder Abtrennung des sie tragenden Gliedes oder Gliedteils dauerhaft nicht verändert oder beseitigt werden können.

## 5.2.2

### Physiologie und Funktion der Hautleisten

Die Haut des menschlichen Körpers besitzt eine unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit: An einigen Stellen ist sie deutlich gerippt (Leistenhaut), an den übrigen fast eben (Felderhaut). Die Verschiedenartigkeit erklärt sich daraus, dass die in der Lederhaut eingepassten und in die unter der Hornschicht der Oberhaut liegende Keimschicht hinaufragenden Gefäß- und Tastzapfen unterschiedlich dicht verteilt sind und eine unterschiedliche Höhe aufweisen. Sie sind an den Innenflächen der Hände und an den Fußsohlen am stärksten konzentriert und am erhabensten. Angeordnet sind sie in regelmäßigen Doppelreihen, den Coriumleisten.

Die Konturen der Coriumleisten stellen sich auf der Hautoberfläche als reliefartig nebeneinander verlaufende Erhebungen, die Haut- oder Papillarleisten dar, die voneinander durch dazwischen liegende furchenartige Vertiefungen abgegrenzt sind.

Bei näherer Betrachtung lassen die Papillarleisten ein scheinbar systemloses Durcheinander von geraden und gekrümmten, sich gabelnden und wieder vereinigenden Linien, kreisähnlichen Gebilden und anderen asymmetrischen Figuren erkennen. Besonders charakteristisch zeigen sie sich an den äußersten Fingergliedern, von Nagelkante zu Nagelkante verlaufend.

Auf der Wiedergabe der Hautleistenbilder als Abdrücke, Eindrücke, Fotografien oder Zeichnungen werden die Papillarleisten als Papillarlinien bezeichnet. Sie sind Grundlage für die heute in allen Erdteilen angewandte Daktyloskopie.

Auf den Kämmen der Hautleisten münden in unregelmäßigen Abständen Austrittsöffnungen der Schweißdrüsengänge. Die von den Schweißdrüsen abgesonderten Substanzen sind für die Entstehung, Sichtbarmachung und Sicherung daktyloskopischer Spuren von entscheidender Bedeutung.

### 5.3

## Entstehungsbedingungen von daktyloskopischen Spuren

Eine daktyloskopische Spur entsteht im Regelfall durch Ab- oder Übertragung von Substanzen durch die unbekleidete menschliche Leistenhaut bzw. durch reliefartige Verformung der Spurenräuger entsprechend des Papillarleistenverlaufes.

Die Entstehung dieser Spuren ist weiterhin abhängig von der Verhaltens- und Vorgehensweise des Spurenlegers, wobei das natürliche bzw. anatomisch mögliche Greifverhalten zu berücksichtigen ist:

- ausgeübter Druck,
- Berührungsdauer,
- Zustand der Papillarleisten,
- Gewicht eines mobilen Gegenstandes,
- Oberflächenbeschaffenheit des Gegenstandes,
- Flexibilität der Haut,
- Vorhandensein der Spurengrundsubstanz sowie der Umweltbedingungen.

Der Hauptteil der übertragenen Substanzen dürfte aus körpereigenen Produkten, der geringere Teil aus körperfremden Stoffen bestehen.

Körpereigene Produkte sind hauptsächlich **Schweiß** und **Talg**.



Etwa 80% der Papillarleistenabdrücke werden durch Schweiß bzw. seinen Inhaltsstoffen gebildet. Aus diesem Grund sind Kenntnisse zur Schweißzusammensetzung für die Anwendung der verschiedenen Spurensicherungsverfahren sowie für eine Altersbestimmung von Bedeutung.

Der menschliche Schweiß ist sowohl den Sekreten als auch den Exkreten zuzuordnen.

Sekrete sind Absonderungen von Drüsen die dem Körper nützlich sind, wie Speichel, Sperma usw. Unter Exkretion versteht man die Absonderung von Abfallstoffen, wie Kot, Urin usw.

Weiterhin wird zwischen exokrinen und endokrinen Sekreten unterschieden.

Bei exokrinen Sekreten, wie Schweiß, handelt es sich um Sekrete, die vom Körper ausgeschieden werden. Endokrine Sekrete, wie Wachstumshormone, verbleiben im Körper.

Schweiß wird in den ekkrinen Schweißdrüsen im Grenzbereich zwischen Lederhaut und Unterhautfettgewebe produziert und gelangt über spiralförmig verlaufende Schweißdrüsenkanäle in die Poren, wo er ausgeschieden wird.

Etwa 2 Mio. Schweißdrüsen sind über die gesamte Hautfläche verteilt. An den Handflächen und an den Fußsohlen kommen nur ekkrine Schweißdrüsen vor. In der Handfläche befinden sich ca. 400 Poren, an den Fußsohlen ca. 700 Poren pro Quadratzentimeter

Die durchschnittliche Schweißexpulsion einer Drüse beträgt 0,003 mg pro Minute.

Überwiegend wird die Zusammensetzung des Schweißes bestimmt durch

- die Sekretionsart (ekkrin, apokrin) und Sekretionsdauer;
- die Art des die Sekretion auslösenden Reizes;
- die Schwitzart, profus (reichlich fließend), intermittierend (zeitweilig aussetzend);
- die psychische Belastung;
- den Gesundheitszustand;
- die Nahrung (Menge, Zusammenstellung);
- den momentanen Stoffwechsel;
- den Einfluss von Drogen, Medikamenten, Umweltverschmutzung;
- Hautverunreinigungen;
- die ethnische Herkunft;
- das Alter und Geschlecht;

- Arbeit, Ruhe, Schlaf;
- die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit.

Die Verteilung der Poren entlang der Kämme der Papillarleisten ist unregelmäßig. Dies gilt ebenso für ihre Größe als auch für die Quantität und den Rhythmus der Schweißexpulsionen.

Folglich wird die Spurenschubstanz von Papillarleistenabdruckspuren größtenteils aus ekkrinem Schweiß gebildet.

Die Zusammensetzung des Schweißes unterliegt individuell starken Schwankungen.

Bei der Durchführung von Schweißuntersuchungen für medizinische oder kosmetische Zwecke konnten außer 97–99,5% Wasser folgende Substanzen nachgewiesen werden:

- Serum- und Nichtserumproteine  
u.a. Albumin, Transferrin, ABO-Antigene
- Produkte schleimbildender Zellen  
u.a. Zn-alpha2-Glycoprotein
- Proteasen  
u.a. Cystein Proteinase
- Elektrolyte und Metalle  
u.a. Natrium, Magnesium, Jod, Eisen
- Niedermolekulare Verbindungen  
u.a. Pharmaka, Drogen, Toxine
- Körpereigene Substanzen aus der Klasse der Aminosäure  
u.a. Isoleucin, Leucin, Tryptophan
- Verwandte Substanzen  
u.a. Citrullin, beta-Alanin
- Andere körpereigene niedermolekulare Substanzen  
u.a. Harnstoff, Glucose, Taurin
- Steroide  
diverse Androstenderivate sowie Testosteron
- Legale Drogen  
u.a. Nikotin, Ethanol
- Pharmaka  
u.a. Aminopyrin, Terbinafin
- Drogen  
u.a. Kokain, Amphetamin

Die apokrine Schweißdrüse bildet sich aus dem Epithel eines Haarfollikels und mündet oberhalb des Talgausführungsganges in den Follikel.

Freie Talgdrüsen finden sich z. B. an den Nasenflügeln, auf der Stirn und den Ohren.

Das Sekret der apokrinen Drüse kann milchig-weiß bis blassgelb aussehen und hat einen hohen Anteil an Cholesterin und Lipiden. Weiterhin finden sich folgende Bestandteile im Talg:

- Kohlenwasserstoff
- Wasser
- Alkohol
- Zellreste
- Freie Fettsäuren

Da die beiden Drüsenarten über die ganze Körperoberfläche in unterschiedlicher Dichte verteilt sind, kommt es meist zu einem Vermischen der Sekrete auf der Hautoberfläche.

Es bildet sich eine Emulsion aus Schweiß und Talg, der Hydrolipidfilm.

Beim Hydrolipidfilm werden die körpereigenen Stoffe Lecithin und Cholesterin als Emulgatoren eingesetzt.

Die beiden Schweißarten haben unterschiedlichen Einfluß auf die Lebensdauer einer Papillarleistenspur. Die fettigen Bestandteile des apokrinen Schweißes verdunsten wesentlich langsamer als das Wasser im ekkrinen Schweiß. Dadurch bleibt eine durch apokrinen Schweiß verursachte Spur viel länger feucht und besitzt eine höhere Klebrigkeit.

Der Papillarleistenabdruck unterliegt zunächst einer Beeinflussung durch die Inhaltsstoffe des Schweißes und deren Konzentration. Alle Faktoren, die auf die Schweißzusammensetzung Einfluss haben, werden als innere Bedingungen bezeichnet.

## 5.4

### **Der daktyloskopische Identitätsnachweis und dessen Voraussetzungen**

Das Papillarlinienbild wird charakterisiert durch den allgemeinen Papillarlinienverlauf und die Form und Lage der anatomischen Merkmale innerhalb dieses Verlaufes. (Hierzu vgl. auch Kap. 17 „Biometrische Verfahren“).

Unter dem allgemeinen Papillarlinienverlauf ist das Erscheinungsbild der Papillarlinien in ihrer Gesamtheit zu verstehen (Abb. 5.1).

Anatomische Merkmale sind Abweichungen vom normalerweise unterbrechungsfreien Papillarlinienverlauf.



a



b



c

Abb. 5.1. Papillarleistenmuster der Fingerbeeren. a Bogenmuster; b Schleifenmuster. Je nach Öffnungsseite der Schleife wird in radiale oder ulnare Schleife unterschieden; c Wirbelmuster. (Abb.: Bundeskriminalamt)

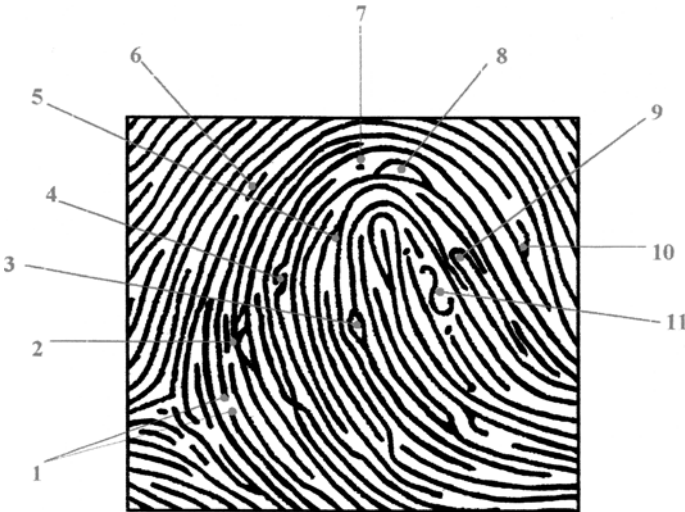


Abb. 5.2. Anatomische Klein-Merkmale (Minuzien) eines Papillarleistenmusters, die bei der spurenkundlichen Analyse von Fingerspuren erfasst werden: (1) Beginn und Ende von Papillarlinien, (2) Linienerästelung, (3) Auge, (4) ausweichende Endstücke, (5) Gabelung, (6) eingelagerte Linie, (7) Punkt, (8) Insel, (9) eingelagerte Schleife, (10) Haken, (11) Besonderheiten (Abb.: Bundeskriminalamt)

Aufgrund ihrer charakteristischen Form werden sie unterschiedlich bezeichnet (Abb. 5.2).

Die Einmaligkeit und die natürliche Unveränderlichkeit der Papillarleistengebilde ermöglichen durch Vergleich von brauchbarem daktyloskopischen Untersuchungsmaterial die Feststellung,

- dass Identität besteht,
- dass Identität nicht ausgeschlossen werden kann,
- dass keine Identität besteht.

Die Feststellung der Identität im daktyloskopischen Sinne bedeutet, dass zwei Papillarlinienbilder in ihrem Papillarlinienverlauf und die anatomischen Merkmale in Form und Lage zueinander übereinstimmen.

In der Bundesrepublik Deutschland gilt der daktyloskopische Identitätsnachweis grundsätzlich als erbracht, wenn im Untersuchungsmaterial der allgemeine Papillarlinienverlauf und mindestens zwölf anatomische Merkmale in Form und Lage zueinander übereinstimmen.

Von diesem Grundsatz sollte nur abgewichen werden, wenn mindestens acht anatomische Merkmale vorhanden und zusätzlich das Grundmuster bestimmbar ist.

## 5.5 Ausblick

Seit dem 15.01.2003 gibt es EURODAC (European Dactyloskopie) – ein zentrales europäisches automatisiertes Fingerabdruck-Identifizierungssystem (AFIS) für Asylbewerber und illegal eingereiste bzw. aufhältige Ausländer. Die Verordnung gilt für alle EU-Staaten außer Dänemark. Erfasst werden alle Ausländer über 14 Jahre. Als Rechtsgrundlage gilt in Deutschland das Asylverfahrensgesetz und das Ausländergesetz in Verbindung mit der Strafprozessordnung. Illegal eingereiste bzw. aufhältige Ausländer werden in das Land abgeschoben, wo sie den ersten Asylantrag gestellt haben.

Mit der „Livescan“-Technik können zudem Fingerabdrücke digital – also ohne Verwendung von Druckerschwärze – aufgenommen und in das AFIS übertragen werden. „MetaMorpho“ ermöglicht die Anbindung von „Livescan“-Stationen an das zentrale AFIS im Bundeskriminalamt. Die Entwicklung der elektronischen Übermittlung von Fingerabdruckdaten soll die rund 3,2 Mio. Fingerabdruckblätter, die der Erkennungsdienst des BKA als Zentralstelle für das polizeiliche Auskunfts- und Nachrichtenwesen archiviert, überflüssig machen. Zukunft hat nunmehr die papierlose Datenbank.

## Literatur

- Amerkamp U (2002) Spezielle Spurensicherungsmethoden: Verfahren zur Sichtbarmachung von daktyloskopischen Spuren. Verlag f Polizeiwiss, Frankfurt
- Heindl R (1927) System und Praxis der Daktyloskopie. 3. Aufl. De Gruyter, Berlin Leipzig
- Maltoni D (2005) Handbook of fingerprint recognition. 2nd edn. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Oppermann K (2000) Der daktyloskopische Identitätsnachweis. (Kriminalwiss Abh 29). Schmidt-Römhild, Lübeck
- Prante H (1982) Die Personenerkennung. Teil 1: Daktyloskopie gestern-heute-morgen. (BKA Schriftenreihe Bd 51). Bundeskriminalamt, Wiesbaden
- Tietze S, Witthuhn K (2001) Papillarleistenstruktur der menschlichen Handinnenfläche und Bestimmung des spurenverursachenden Papillarleistenbereichs bei Handinnenflächen. (BKA Polizei und Forschung 9). Luchterhand, Neuwied

# 6 Knochen als Spureträger

Bernd Herrmann, Birgit Grosskopf, Lars Fehren-Schmitz,  
Reinhold Schoon

Knochen werden zumeist als Einzelfunde, seltener im anatomischen Verband des Skeletts, aber auch zunehmend in kunstgewerblichen oder industriellen Verarbeitungsformen sowie biologisch-forensischen Zusammenhängen begutachtet. Der Beitrag gibt einen Überblick über die häufigsten Überlieferungsformen und ihre Kontexte und fasst die grundlegenden Fragestellungen für die Begutachtung von Knochen menschlicher wie tierlicher Herkunft zusammen. Auf die durchführungstechnische Seite der einschlägigen Vorgehensweisen wird wegen der Fülle verfügbarer Daten in orientierender, weiterführender Übersicht verwiesen.

## 6.1 Einleitung

Knochen kommen durchaus häufiger zur Begutachtung. Während Funde eines *kompletten Skeletts* in forensischen Zusammenhängen eher selten sind, betrifft die Begutachtung vor allem einzelne Skelettelemente, aus Knochen gefertigte Artefakte oder Verarbeitungsformen von Knochenmaterial. Diese sind, ungeachtet ihrer möglichen Größe, deshalb als „Spuren“ im hier verwendeten Verständnis anzusprechen, weil sie mit demselben auf das ursprüngliche Individuum bzw. seine Eigenschaften gerichteten Erkenntnisinteresse untersucht werden, wie das für die „klassischen“ biologischen Spuren zutrifft.

Im Folgenden wird ein spurenkundliches Überblickswissen über Skelette und Skelettelemente des Menschen wie von Tieren zusammengestellt. Diese Zusammenstellung folgt Gesichtspunkten der praktischen Relevanz. Im Begutachtungsfall ist die Konsultation osteologischer Spezialisten dringend zu empfehlen, weil die Verfügbarkeit spezifischer Kenntnisse über Knochen deutlich hinter ihrer scheinbaren allgemeinen Gegenwärtigkeit zurückbleibt. Für zahnmedizinische Fragestellungen, insbesondere der Identifikation über zahn-, mund- und kieferheilkundliche Merkmale oder Behandlungshinweise, wird auf diesen Bereich verwiesen. Er liegt außerhalb

---

Bernd Herrmann: Georg-August-Universität Göttingen, Historische Anthropologie und Humanökologie, Bürgerstraße 50, 37073 Göttingen, E-Mail: bherrma@gwdg.de

der fachlichen Zuständigkeit von Biologen. Forensische Osteologen werden solche Fragen innerhalb des eigenen Qualifikationserwerbs dennoch nicht ausschließen, weil das gegenseitige Verständnis für Betrachtungsweisen und die Kenntnis von Merkmalskatalogen günstig für eine Ergebnisoptimierung ist.

Die Darstellung konzentriert sich auf menschliche Skelett- und Knochenfunde bzw. -spuren. Sie lässt sich, sofern eine forensische Relevanz besteht, mit entsprechenden Modifikationen auf Tierknochen übertragen. Die spezielle Erörterung tierosteologischer Fragestellungen erfolgt in Kap. 6.8.

Obwohl es keinen verbindlichen Kanon für die Bearbeitung von Skelett- und Knochenfunden geben kann, sollte die morphologische Inspektion grundsätzlich durch Röntgenaufnahmen und die Anfertigung histologischer Präparate ergänzt werden. Die Probensicherung für weiterführende Analysen ist zur Kontaminationsvermeidung bzw. -begrenzung in die Ablaufplanung aufzunehmen.

## 6.2 Knochen als Spuren

Anatomisch ist das „Skelett“ definiert als die Gesamtheit aller Elemente des Stützorgans im anatomischen Verband, ohne jede Weichteile bzw. Weichteilreste. Entsprechend ist die Auffindung eines *kompletten Skeletts* im anatomischen Verband auf der Oberfläche extrem selten. Häufiger sind dagegen teilskelettierte Leichen, bei denen Weichteil- oder Kleidungsreste den Artikulationszusammenhang der Skelettelemente wenigstens noch teilweise sichern. Mehrmonatige bis mehrjährige Oberflächenlagerungen von Leichen führen über Mumifikations- und Verwesungsstadien regelmäßig in derartige Zustandsbilder, sofern durch aassfressende Tiere oder sonstige Störungen keine Disartikulation erfolgt. Eine solche Verlagerung oder Verschleppung ist jedoch ihrerseits nicht regelhaft. Funde skelettierter Leichen machen eine besonders sorgfältige Bergung erforderlich. Es können kleinere Skelettelemente (z. B. Zähne, Autopodien) durchaus aus dem Verband gelöst und in die Umgebung eingetragen worden sein, wie das bei Madenfraß an der Leiche häufiger beobachtet werden kann. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass an der bzw. um die Leiche Befunde sowie weitere Spuren Hinweise auf die Kontextualisierung des Toten ergeben können.

Bei Skelettfunden unterhalb der Erdoberfläche stehen als gleichberechtigte Annahmen neben einer fraglichen kriminellen Leichenbeseitigung immer zunächst auch eine regelgerechte Beisetzung bzw. das mögliche Bodendenkmal. Archäologische Funde fallen in den Zuständigkeitsbereich der Denkmalpflegebehörden. Die Hinzuziehung eines Facharchäologen ist in solchen Fällen erforderlich.



Weitgehend ungestörte Skelettfunde, also unter Wahrung der anatomisch korrekten Artikulation, auf bzw. unter der Erdoberfläche sind Beweis für den Ablageort der Leiche. Bei Funden partiell skelettierter Leichen aus dem Wasser ist dagegen eine mögliche Verfrachtung des Leichnams zu prüfen. Schlifffspuren an Knochen sind hierbei besonders hinweisgebend.

Versuche der Leichenbeseitigung durch Vernichtung der Leiche sind durch die Materialeigenschaften des Knochens eingeschränkt. Eine Beseitigung des Skeletts ist mit Säuren zwar möglich, jedoch bleiben organische Knochenbestandteile erhalten, und die benötigten Säuremengen stehen einem solchen Vorhaben entgegen. Eine Leichenbeseitigung in Jauchegruben führt ebenfalls nicht zum Erfolg, da dort normalerweise ein alkalischer pH-Wert vorliegt. Bei Güllegruben könnte jedoch zur Verminderung der Ammoniakimmissionen eine pH-Wert-Absenkung vorgenommen worden sein. Dann können pH-Werte bis  $< 3$  vorliegen.

Häufiger sind Beseitigungsversuche von Leichenteilen. Sie können bis zur Auffindung skelettiert sein. Ob ein isoliert vorliegendes Skelettelement auf ein solches Tatgeschehen zurückgeführt werden kann, wird sich hauptsächlich aus möglichen Oberflächenspuren des Knochens ergeben. Beim Vorliegen von Schnitt- und Sägespuren, Abschlägen oder anderer Gewaltwirkung besteht begründeter Verdacht. Täter mit anatomischen Kenntnissen werden sich jedoch aus präparatorisch-ökonomischen Gründen und wegen der Hinweisvermeidung bemühen, Leichenteile so abzusetzen, dass die Knochen spurenarm bzw. spurenfrei bleiben.

Bei isolierten Knochenfunden kommen auch Verlagerungen aus Erdbe-stattungen infrage. Knochenführender Aushub, der in Unkenntnis oder unsachgemäß abgekippt wurde, zieht erfahrungsgemäß das Interesse Neugieriger auf sich. Sie sorgen, ebenso wie Tiere, für eine großflächige Verstreueung und für eine bisweilen weite Verfrachtung der Knochen aus dem Aushub. Längere Bodenlagerung ist am Skelettelement erkennbar (s. Kap. 6.4). Entwendungen von Skelettelementen aus anatomischen Sammlungen sind zu vernachlässigen, ebenso die unsachgemäße Entsorgung von amputierten oder resizierten Körperteilen aus der Klinik.

Besonders schwierig ist die Beurteilung von Schädeln. Die aus dem privaten Bereich geläufigen Schädel aus dem Lehrmittelhandel, aus anatomischen Sammlungen oder archäologischen Grabungen sind in der Regel durch Farb- und Oberflächenmerkmale noch einfach und sicher als solche anzusprechen. Problematisch werden z. B. Funde aus den Fundamentbereichen von Gebäuden, da entweder nur langwierig oder gar nicht geklärt werden kann, ob es sich um vergrabene Teile eines Opfers oder um ehemaliges Friedhofsmaterial handelt, das heimlich als „Bauopfer“ eingebracht wurde. Bei Schädeln in alternativkulturellen Szenen oder pseudoreligiösen Zirkeln (v. a. Satanskulte) ist grundsätzlich nicht auszu-

schließen, dass sie durch heimliche Graböffnungen und Entwendungen beschafft werden.

Der Versuch zur Beseitigung einer Leiche durch Verbrennen führt nicht zum gewünschten Erfolg. Eine Leichenbeseitigung unter Einsatz von Brandbeschleunigern oder unter anhaltender Zufuhr von Brennstoffen führt zu Brandknochen („Leichenbrand“), wenn es überhaupt zu einer so weitgehenden Leichenzerstörung kommt, weil die Weichteilbedeckung nur schwer brennbar ist und damit eine Wärmezestörung der Knochen lange behindert. Ergebnis sind dann zumeist verkohlte Leichen, wie sie auch von Brandkatastrophen bekannt sind. Für den Leichenbrand selbst bestehen in der Regel noch günstige diagnostische Möglichkeiten (Kap. 6.7). Bei einer erfolgreichen Einbringung einer Leiche in eine Müllverbrennungsanlage, in der mit ca. 800 °C ähnliche Temperaturen wie in einem Krematorium herrschen, würde entsprechend ebenfalls Leichenbrand zurückbleiben. Da größere Anlagen eine tägliche Schlackemenge von mehreren hundert Tonnen erreichen, ist hier die Durchsicht der Rückstände auf Leichenbrandreste praktisch begrenzt.

Knochen erreicht erst bei 1 600 °C seine Schmelztemperatur. Seine Dampftemperatur, die erheblich höher liegen muss, ist nicht bekannt. Unter den Bedingungen eines offenen Feuers, eines Gebäudebrandes und selbst bei geläufigen Unglücksfällen bzw. Brandkatastrophen werden 1 600 °C jedoch praktisch nicht oder nur in punktuellen Ausnahmefällen erreicht. Daher sind z. B. auch im ländlichen Bereich Versuche zum Betrug der Versicherung durch Abbrennen von Stallungen untauglich, wenn behauptet wird, dass die Knochen eines angeblich mitverbrannten Viehbestandes wegen hoher Temperaturen verdampft wären.

Eine selbstintendierte Leichenbeseitigung nach Selbsttötung im Strauchabschnitt eines Osterfeuers durch Inbrandsetzung des Holzstoßes wäre im Niedersächsischen erfolgreich gewesen, sofern der Lauf des Tatgewehrs nicht in den Brandrückständen aufgefallen wäre. Erst dadurch wurde eine beweisgebende Durchsicht der Brandrückstände veranlasst.

Der allgemeine Rückgang offener Feuerstellen für den Hausbrand reduziert auch diese Möglichkeit einer sukzessiven Leichenbeseitigung. Es bleiben auch hierbei Leichenbrandknochen zurück, deren Entsorgung jedoch durch anschließende Zerkleinerung unentdeckt möglich wäre. Nur einem besonderen Auffindeumstand war zu verdanken, dass in der Asche eines Zimmerofens der Leichenbrand eines nach den Reifemerkmale des Skeletts lebensfähigen Neugeborenen nachzuweisen war (Schneider u. Herrmann 1976).

Für einzelne Skelettelemente, Knochenfragmente und aus Knochen gefertigte Artefakte des kulturellen Erbes ergeben sich insgesamt dieselben forensischen Fragestellungen.

Andere Verarbeitungsformen von Knochenmaterial liegen als Mehle oder granuliert bis pulverisierte Formen in ethnomedizinischen Darreichungsformen oder als Naturdünger vor. Eine Artenbestimmung kann wegen der Abschätzung von Verbraucherrisiken bzw. naturschutzrechtlicher Vorschriften (CITES) erforderlich sein. Ist die Korngröße für eine mikroskopische Analyse nicht mehr ausreichend, kann nur noch eine PCR-gestützte Analyse erfolgen (s. Kap. 14 und Kap. 15), weil biochemische Verfahren zur Speziesengrenzung nicht dieselbe analytische Trennfähigkeit besitzen.

Infolge der BSE-Krise wurde erstmals eine Überwachung von Feldfrüchten auf anhaftende Knochenreste durchgeführt, weil mit dem Knochenmaterial pathogene Proteine in die Nahrungskette gelangen könnten. Immerhin erreicht nach Angaben des Bundesinstituts für Risikobewertung aus 2005 der natürliche Hintergrundeintrag von Knochen in einem Versuchsfeld, das seit 130 Jahren nicht mehr phosphatgedüngt wurde, vor allem durch ackerbewohnende Kleinsäuger einen Anteil von 0,7% der Feinsandfraktion. Knochenfragmente der Feinsandfraktion können in die Epidermis von Wurzel- und Knollengemüsen einwachsen. Durch Aufwirbeln der Ackerkrume bei Wind, Regen oder Mähdrusch wird die Kontamination auch oberirdischer Pflanzenteile möglich. Die theoretische Anhaftung von Knochenfragmenten an Zuckerrübenschnitzeln wurde unter den von der Expertenkommission zugrunde gelegten Daten für die natürliche Hintergrundbelastung auf 0,0002 Gew% berechnet. Eine ähnliche Belastung besteht auch bei Eintrag von Tiermehlen als Dünger.

## 6.3 Auffindsituationen

Funde einzelner Skelettelemente stellen immer dekontextualisierte Spuren dar, sie geben daher aus sich selbst zunächst keinen Hinweis auf eine konkrete Leichenablage oder ein konkretes Tatgeschehen. Allerdings können Spuren im Umfeld eines Knochenfundes oder auf diesem selbst Hinweise auf eine Kontextualisierung ergeben. Eine Sicherung des Fundumfeldes erfolgt ggf. durch die Kriminaltechnik. Die Spuren auf dem Skelettelement werden durch sorgfältige Inspektion (obligatorisch mit der Stereolupe, Beobachtung unter UV-Licht) erfasst.

Insektenanhaftungen liefern dabei wesentliche Hinweise auf die Liegezeit (s. Kap. 11). Auch mit Hilfe des Pollenspektrums, welches sich im Nasenraum des Opfers befindet, lässt sich unter günstigen Umständen die Jahreszeit eingrenzen, in der das Opfer zu Tode gekommen ist (s. Kap. 10).

Für Funde skelettierter Leichen bzw. Skelettfunde liegen naturgemäß umfangreiche Beobachtungen und Erfahrungen aus dem forensischen Be-

reich vor. Die Begutachtung am Fundort obliegt dem Rechtsmediziner, der aus dem Erfahrungswissen der Rechtsmedizin eine Beurteilung der Situation vornimmt. Werden Einzelfunde jedoch durch Beamte der Polizei per Asservatenbeutel gesichert, können wertvolle Hinweise unbeachtet bleiben.

Sofern skelettierte Leichen vorliegen, ist die Aufnahme möglicher Zerfallsmuster des anatomischen Verbandes erforderlich. Aus kontrollierten Studien zur Dekomposition von Leichen sind zahlreiche Varianten des natürlichen Zerfalls des Skelettverbandes beim Menschen bekannt (Body-Farm). Natürliche Zerfallsfolgen von Tierkadavern wurden experimentell arrangiert und beobachtet von Wildbiologen und Paläontologen.

Hilfreich für die Erklärung ungewöhnlicher Liegepositionen oder Umfeldarrangements kann die Konsultation volkskundlicher und archäologischer Spezialkenntnisse sein. Insbesondere verfügen historisch arbeitende Anthropologen über Kenntnisse und Erfahrungen der Befundbewertung von Bestattungs- und Leichenablageformen. Diese schließen auch Anzeichen für evtl. Manipulationen an der Leiche und die Leichentoilette aus der Skelettposition ein. Zu beachten ist hierbei, dass dieses Wissen nicht immer unabhängig von rechtsmedizinischen Kenntnissen existiert und damit zirkulär in die forensische Begutachtung zurückführen kann.

Einen Sonderfall von Leichenbeseitigung und Auffindesituation stellen Massengräber dar, die zunehmende Bedeutung in der Arbeitsrealität forensischer Wissenschaften erlangen.

Grundsätzlich ist zwischen Massengräbern, die in Folge von Naturkatastrophen angelegt und solchen, in denen die Opfer politischer Systeme oder (Bürger-) Kriegssituationen beseitigt wurden, zu unterscheiden (Karger 2004). Im Folgenden wird auf die zweite Gruppe eingegangen, da sie in den Tätigkeitsbereich forensischer Anthropologen fällt.

Die Untersuchung von Massengräbern hat zum Ziel, das Geschehen von der Selektion der Individuen bzw. Gruppen von der Tötung bis zum Vergraben nachzuweisen und zu rekonstruieren, um die Verantwortlichen für Kriegsverbrechen, Verbrechen gegen die Menschlichkeit oder Genozid (Völkermord) einer internationalen oder nationalen Gerichtsbarkeit zuzuführen. Außerdem soll den Hinterbliebenen Gewissheit über den Verbleib ihrer Angehörigen verschafft werden (Haglund 2002). Hierfür ist es notwendig, diese komplexen Befunde unter Zuhilfenahme des archäologischen Methodeninventars systematisch zu exhumieren, um eine maximale Beweissicherung zu gewährleisten (Tuller u. Duric 2006) und die Funde und Befunde forensisch interdisziplinär auszuwerten (Skinner et al. 2003).

Jedes Massengrab ist einzigartig. Daher kann nicht vorausgesagt werden, in welchem Erhaltungszustand sich die dort vergrabenen Individuen befinden. Bedingt durch die Akkumulation von Leichen, Umgebungsparametern und feuchtigkeitsstauenden Gegenständen oder Kleidungsstücken kann es

vor allem im Zentrum solcher Ansammlungen von Körpern über längere Zeiträume zum Erhalt von Weichteilen oder zur Bildung von Adipocire kommen, während Individuen am Rand des Fundkomplexes vollständig skelettiert sein können. Ein Beispiel für derartige grabspezifische taphonomische Prozesse ist ein fünf Jahre nach Anlegung aufgefundenes Massengrab in Vukowar, Kroatien. Fast alle 200 Individuen hatten eine so gute Weichteilerhaltung, dass sogar Tätowierungen zur Identifikation herangezogen werden konnten (Haglund 2002). Dagegen enthielt ein bosnisches Massengrab in Cereska nach nicht einem Jahr seit seiner Anlage nur noch skelettierte Leichen. Je weiter der taphonomische Prozess in solchen Körpermassen fortgeschritten ist, desto schwieriger wird es, Körperteile und Skelettelemente einzelnen Individuen zuzuordnen. Ebenso ist die Bestimmung des individuellen Todeszeitpunktes bei Massengräbern durch die erwähnten Umstände häufig nur über datierbare Objekte möglich (Karger 2004).

Grundlage der Auffindung von Massengräbern sind zumeist Zeugenaussagen. Die genaue Lokalisierung erfolgt dann über archäologische Surveys, die Beobachtung geomorphologischer und botanischer Veränderungen, Bodenradar, Methanspürgeräte, Leichenspürhunde und Sonden (Karger 2004). Die Ausgrabung des Grabes sollte in horizontalen Schichten erfolgen, da es so wahrscheinlicher ist, Körper im anatomischen Verband zu bergen, kleinste Gegenstände und Körperteile aufzufinden und auch eine mögliche Stratigraphie, etwa in Folge wiederholter Leicheneinbringung in das Grab oder Umlagerung der Individuen, in der Verfüllung des Grabes zu erkennen (Tuller u. Duric 2006). Alle im Grab aufzufindenden Objekte, aber auch Spuren und Objekte im direkten Umfeld (Arbeitsspuren von Baumaschinen, Werkzeugen, Einwirkung von Waffen, Munition, Kleidungsstücke, Dokumente etc.) und ihre räumliche Beziehung zueinander sind nicht nur für die Rekonstruktion der Prozesse und die Identifikation der Individuen wichtig, sondern auch für die Beurteilung des Fundortes als Tatort.

Zur Klärung der Todesart der Individuen tragen die Lokalisierung von Traumata, Schussrichtung, Einwirkung von Feuer und Chemikalien am Knochen bei. Spuren von Fesseln und Augenbinden können Aufschluss darüber geben, ob es sich bei den Toten um Opfer von Gewaltexzessen oder „regulärer Kampfhandlungen“ handelt (Tuller u. Duric 2006).

## 6.4

### **Dekomposition des Knochens, Hinweis auf die Liegezeit**

Für Skelettelemente aus mumifizierten oder verwesenen Leichen gilt nur allgemein, dass ihre Oberflächen vor allem durch Restfettgehalte mitunter ein wie „leicht glasiges“ Aussehen und eine haptisch bis „seifig-glatte“

Oberfläche aufweisen und dass ihr farbliches und strukturelles Erscheinungsbild eine Annäherung an Oberflächenfunde aufweist. Vereinfachend wird hier die Liegezeit mit der Postmortalzeit gleichgesetzt, obwohl die schließliche Skelettierung eines Leichnams erst bei Anwesenheit geeigneter Milieufaktoren einsetzen kann und damit der Skelettierung eine längere Zwischenlagerung einer Leiche vorausgehen könnte.

Oberflächenfunde von Knochen weisen zumeist witterungsabhängige Veränderungen auf. Lichtexposition führt zum Ausbleichen der nativ schwach buttergelben Knochenfärbung. Es resultieren „bleiche“, weißliche Oberflächen: Anhaltende Erwärmung und Abkühlung der Oberfläche und abwechselnder Feuchtigkeitseintrag führen zu scholligen Zerfallsschichten („abblättern“) der Oberfläche. Das Fehlen solcher Oberflächenmerkmale ist nur ein Hinweis auf mögliche „kurze“ Liegezeit, keinesfalls Beweis.

Abhängig von den Liegebedingungen können an den Knochenoberflächen chemisch und mechanisch bedingte Veränderungen auftreten. Vor allem wird es sich um Fraßspuren [in erster Linie von aasfressenden Wirbeltieren, aber auch von Insekten (z. B. Termiten) oder Detritusfressern wie Schnecken] handeln. Aufliegende Wurzeln von Gefäßpflanzen können durch Auslaugungsvorgänge charakteristische Marken erzeugen. Massenbewegungen des Bodens bewirken Verdrückungen der Skelettelemente oder es kommt infolge solcher Bewegungen (einschließlich kryologischer Vorgänge) u. U. zu Frakturen. Bodenchemische Austauschreaktionen, die sehr kleinräumig ablaufen können, sind in der Lage, an der Knochenoberfläche Defekte zu verursachen, deren Charakter eine differentialdiagnostische Abgrenzung gegenüber Gewalteinwirkung (z. B. bei Lochdefekten) oder pathologischen Knochenläsionen erforderlich machen.

Die Liegebedingungen von Skelett- und Knochenfunden lassen sich nur grob in „Oberflächenfunde“ und „Bodenfunde“ systematisieren. Da Dekompositionsdefekte wegen der mechanischen Festigkeit des Knochens in der Regel erst nach längerer Liegezeit auftreten, sind Dekompositionsphänomene von forensischer Seite wenig untersucht. Sie können ein erstes, grobqualitatives Anzeichen für eine praktisch nicht mehr rechtsrelevante Liegezeit geben (Tabelle 6.1), sind jedoch keine zuverlässigen Indikatoren.

Zwar verjährt die Strafbewehrung von Mord nach § 211 StGB nicht, es wäre aber praktisch unsinnig, ein Ermittlungsverfahren wegen eines Fundstückes bei einer erkennbaren Liegezeit von mehr als 100 Jahren einzuleiten. Da jedoch die Beurteilung der Liegezeit nach dem Augenschein unzuverlässig ist, muss im Zweifelsfall nach Möglichkeiten einer anderweitigen Bestimmung der absoluten Liegezeit gesucht werden. Von erheblicher Bedeutung sind hier Beifunde. Für den rechtspraktisch erheblichen Zeitraum steht mit der  $^{14}\text{C}$ -Methode ein zuverlässiges Datierungsverfahren für Liegezeiten von der Gegenwart zurück bis 1954 zur Verfügung. Für ältere

**Tabelle 6.1.** Parameter zur Liegezeitabschätzung an Knochenfunden. Durchschnittsangaben nach Beobachtungen an bodengelagerten Skelettresten in neutral bis alkalischen, kalkhaltigen Böden Mitteleuropas (aus Berg u. Protsch von Zieten 1998)

Befunde	Liegezeit in Jahren							
	0–5	0–10	10–20	20–30	30–50	50–100	100–1000	>1000
Geruchsaktivität	+	-	-	-	-	-	-	-
Fett-Durchtränkung der Epiphysen	+	+	-	-	-	-	-	-
Weichteilreste	+	+	(+)	-	-	-	-	-
Markhöhlen-Füllung (Femur)	+	+	+	(+)	(+)	-	-	-
Fettwachsreste histologisch	(+)	+	+	+	+	(+)	-	-
UV-Fluoreszenz am Kompakta-Querschnitt	(+)	(+)	+	+	+	+	(+)	-
Kollagenbestand histologisch	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)
Festigkeit, Härte	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)

Funde ist mit dieser Methode zumindest die Einschätzung der Liegezeit möglich.

Die Begrenzung der Regelliegezeit auf Friedhöfen auf 20 Jahre beruht auf der Erfahrungstatsache, wonach unter geeigneten Bodenverhältnissen (pH-Wert, ausreichende Drainage) nach diesem Zeitraum ein erheblicher Anteil der Skelettelemente vergangen ist. Der grundlegende Prozess der Knochenzerstörung ist in einer initialen pH-Wert-Absenkung zu sehen, wodurch das weitestgehend wasserunlösliche Knochenmineral Apatit in Brushit umgewandelt wird, das in wässrigen Bodenphasen gelöst werden kann. Die Brushit-Umwandlung kann zum Erliegen oder in trockenem Liegemilieu nicht einmal in Gang kommen (Herrmann u. Newesely 1982). Brushit bildet feinkristalline Herde, die bei Erreichen größerer Volumina im Knocheninnern wegen ihrer Raumforderung die mürbe Knochenoberfläche durchbrechen können. Differentialdiagnostisch ist zu bedenken, dass Spuren von Brushit-Bildungen in der Skelett-Spongiosa durch Inaugenscheinnahme nicht von Adipocire-Einlagerungen zu unterscheiden sind.

Bei längerer Lagerung in Staunässehorizonten bzw. besonders in kaltem Wasser können gipsartige Adipocire-Bildungen mit Skelettresten assoziiert sein.

## 6.5

### Unterscheidung von menschlichen und tierlichen Knochen

Die einfachste und preiswerteste Methode zur Bestimmung der Herkunftsart eines Skelettelements ist die Sichtprüfung. Souveräne Beherrschung der Skelettmorphologie von Mensch und Tier vorausgesetzt, ist eine Herkunftsbestimmung (Speziesbestimmung) mit morphologischen Mitteln in der Regel gut möglich. Verwechslungsmöglichkeiten zwischen menschlichen Skelettelementen und solchen nichtmenschlicher Herkunft sind, mit der praktisch nicht relevanten Ausnahme, wonach einzelne Autopodialstrahlen bei Mensch, Bär und Menschenaffe ähnlich sind, nicht gegeben. Dagegen bestehen morphologische Verwechslungsmöglichkeiten von Skeletteilen menschlicher Neonaten und Säuglingen mit Skelettelementen von jungem Nahrungsgeflügel und sehr jungen Feten, zuweilen auch Neonaten, von Nutztieren, insbesondere nach Verbrennung. Bekannte Verwechslungen bei domestizierten Säugetieren betreffen einzelne Skelettelemente von Schaf und Ziege. Die Konsultation von Vergleichssammlungen ist bei weniger trivialen Objekten angesichts der vielfältigen Ausformungen des Stützapparates unumgänglich. Allerdings sind solche Sammlungen nur an speziellen Forschungseinrichtungen und großen Naturkundemuseen verfügbar. Neben den Kuratoren der wissenschaftlichen Sammlungen und einschlägig bekannten Fachwissenschaftlern finden sich osteologische Sachverständige oft im Umfeld der archäologischen Disziplinen.

Steht die geringe Größe des Objektes einer morphologischen Diagnose im Wege, kann eine histologische Inspektion hilfreich sein. Ihr Aufwand ist nicht unbedeutend, und für viele Spezies liegen nur kursorische Kenntnisse der Knochenhistologie vor. Zudem ist die Binnenstruktur von Knochengewebe nicht in einfacher Weise mit der systematischen Stellung der Spezies verbunden, so dass umfangreiche Erfahrungen und histologische Vergleichspräparate heranzuziehen sind. Natürlich wäre eine DNA-Analyse eine einfache, aber nicht weniger aufwändige Untersuchungsstrategie, wenn ihr Nachteil nicht wäre, dass ihr arbeitspraktisch eine Verdachtsdiagnose zugrunde gelegt werden sollte (vgl. Kap. 15).

Die histologische Artbestimmung benötigt eine Mindestobjektgröße oberhalb ca. 0,5 cm einer Kantenlänge der Untersuchungsfläche, um eine hinreichend große Zahl spezifischer histologischer Strukturen darstellen zu können. Vorzugsweise werden Femur oder ein anderes großes Röhrenknochenelement untersucht, da über die Langknochen die meisten histologischen Informationen vorliegen. Bei tierlichen Objekten kann die zweite Kantenlänge der Untersuchungsfläche wegen der relativen Dünnwandigkeit des Röhrenknochens nicht immer in derselben Größenordnung liegen. Wichtige Kriterien der Artbestimmung sind das Vorhandensein von Haversschen Systemen und ihr relativer Anteil gegenüber anderen histolo-



gischen Strukturen wie Lamellen, Schaltlamellen, und Nicht-Haversschen Kanälen (s. Abschnitt 7, Taxonomische Bestimmung, Abb. 7.1).

## 6.6 Diagnosen am menschlichen Skelett

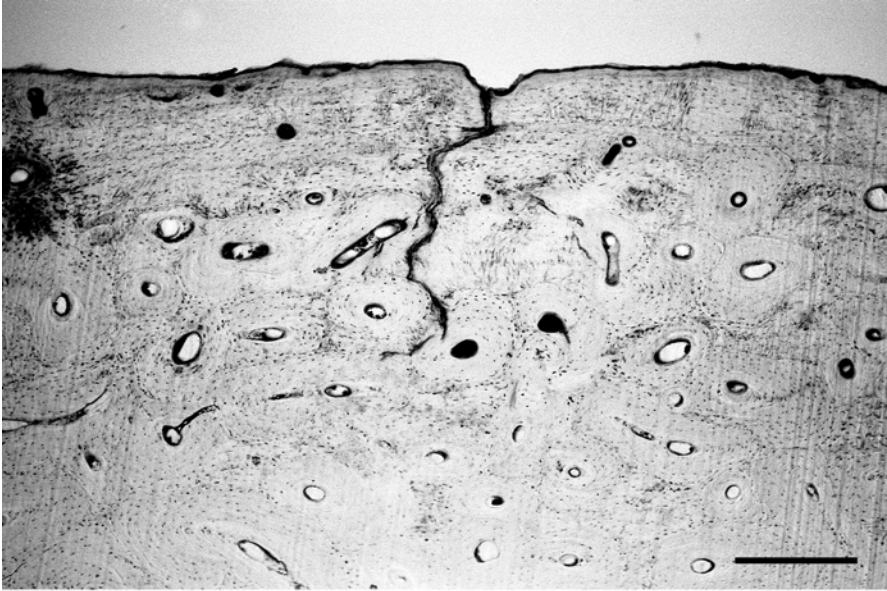
### 6.6.1 Altersdiagnose

Am Skelett wird das Individualalter bestimmt, indem Merkmale alterstypischen Stadien zugeordnet werden. Bei dieser Vorgehensweise kann nur das biologische Alter diagnostiziert werden, welches von dem kalendarischen Alter abweichen kann, da exogene Faktoren, z. B. körperliche Belastungen oder Pathologien, die alterstypischen Merkmale am Skelett modifizieren können. Eine erste Einordnung, ob es sich um ein Kind oder ein erwachsenes Individuum handelt, lässt sich anhand der Größe und Robustizität des Skelettmaterials vornehmen.

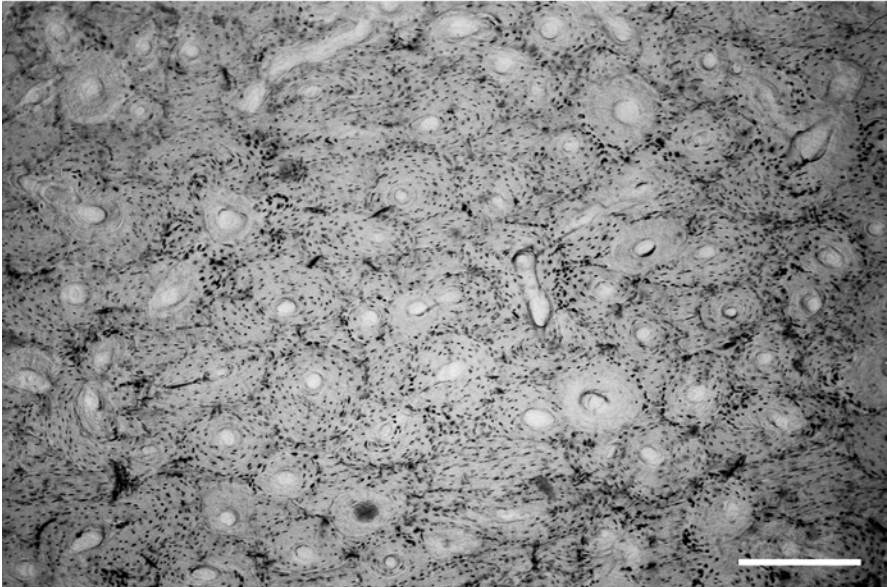
Das Alter von Kindern und Jugendlichen lässt sich am Skelett aufgrund der vielfältigen ontogenetischen Veränderungen recht präzise diagnostizieren. Für die Beurteilung können zahlreiche Reifemerkmale an den Knochen und Zähnen herangezogen werden (z. B. Ubelaker 1987; Scheuer u. Black 2000), die auch für die radiologische Altersbestimmung an Lebenden gültig sind, wie z. B. das Auftreten bestimmter Knochenkerne.

Am Skelett erwachsener Individuen verändern sich die morphologischen Altersindikatoren kontinuierlich in minimalen Varianzen. So verändert sich z. B. das Relief der Schambeinsymphyse von deutlich wellenförmig-konvex bis hin zur geglätteten, konkaven Oberfläche; Methoden zur morphologischen Altersdiagnose finden sich z. B. bei Szilvássy (1988) oder Kemkes-Grottenthaler (2002). Während die Beurteilung isolierter Merkmale nur eine grobe Alterseinschätzung erlaubt, lässt die kombinierte Beurteilung zahlreicher Merkmale in der Regel eine gut eingrenzende Altersdiagnose zu.

Die Binnenstruktur von Langknochen kann für eine histologische Altersbestimmung erwachsener Individuen genutzt werden. Die einzelnen Strukturelemente weisen für die jeweiligen Altersgruppen charakteristische Anteile und Ausprägungen auf. Die Dezimierung der Generallamelle und einzelner lamellärer Bereiche im Knocheninnern kennzeichnet beispielsweise die anthropologische Altersklasse „adult“ (20–40 Jahre) ebenso wie eine eher unregelmäßige Form und Größe der Osteone (Abb. 6.1 a,c). Knochen von Individuen der Altersklasse „matur“ (40–60 Jahre) weisen dagegen eine hohe Packungsdichte von Osteonen auf, die relativ regelmäßig konturiert sind (Abb. 6.1 b,d).

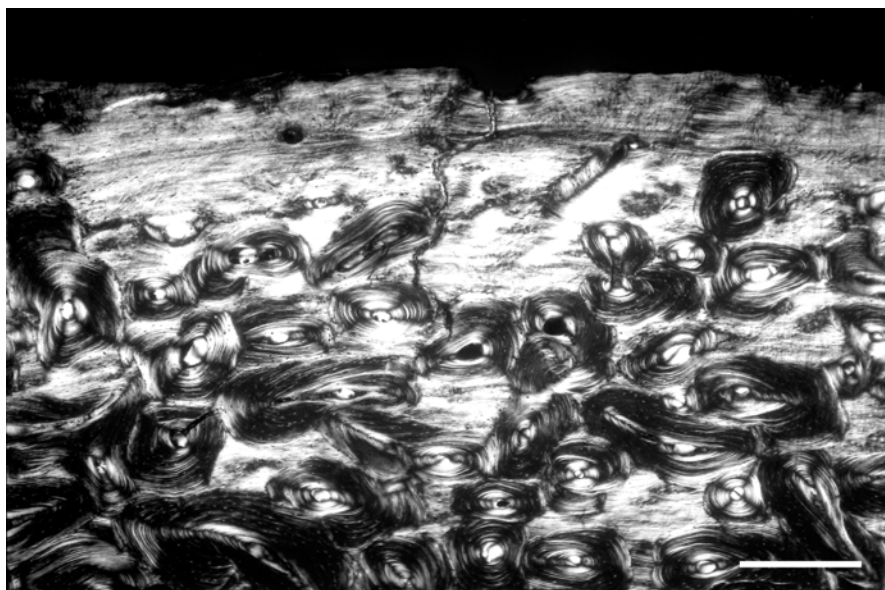


a

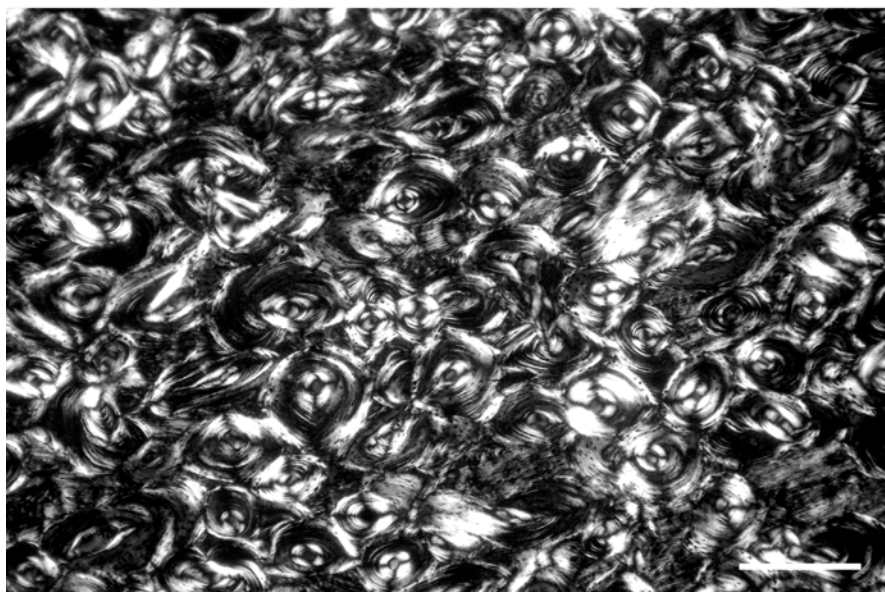


b

Abb. 6.1a,b. Ausschnitte aus der Femurkompakta zweier erwachsener Individuen (*oben*, a und c: juvenil bis frühadult; *unten*, b und d: mittelmatur). Die Verwendung von polarisiertem Licht für die beiden *rechten* Aufnahmen (c und d) erzeugt charakteristische „Brewsterkreuze“ und macht durch eine deutlichere Konturierung der Osteone den Alterswandel anschaulicher. Der *Balken* entspricht einer Länge von 500  $\mu\text{m}$



c



d

Abb. 6.1c,d. (Fortsetzung)

Die Binnenstruktur der Knochen von „senilen“ Individuen (> 60 Jahre) ist durch zahlreiche Resorptionslakunen geprägt, die bis in die periostalen Bereiche hinein auftreten und die bei hochsenilen Individuen einen beinahe löchrigen Gesamteindruck vermitteln. Die konsequente Beurteilung der einzelnen Komponenten über den gesamten Femur-Knochenquerschnitt in der Schaftmitte lässt oftmals noch eine Differenzierung in früh-, mittel- und spätadult, bzw. -matur zu. Quantitativ lassen sich die Strukturen für eine Altersdiagnose neben den Langknochen auch bei verschiedenen anderen Skelettelementen, z. B. Costa, Clavicula oder Mandibula auswerten (Zusammenstellung bei Robling u. Stout 2000).

Eine weitere histologische Methode zur Altersdiagnose stellt die Zementochronologie dar, welche auf der circannualen Bildung der Zementschicht basiert. Durch das Auszählen der Zuwachsringe und der Addition des zahn- und geschlechtsspezifischen Durchbruchalters lässt sich das kalendarische Alter eines Individuums mit einem recht geringen Fehler bestimmen (z. B. Großkopf 1990; Wittwer-Backofen et al. 2004). Wegen mangelnder Reproduzierbarkeit der Zählergebnisse, z. B. in unterschiedlichen Arealen einer Zahnwurzel, wird die Eignung der Methode für die forensische Altersdiagnose jedoch kritisch diskutiert (Renz u. Radlanski 2006).

## 6.6.2

### Geschlechtsdiagnose

Eine Geschlechtsdiagnose ausschließlich am knöchernen Skelett wird im forensischen Kontext eher selten vorkommen, da häufig neben Weichteilen noch Geschlechtsanzeigende Kleidungsstücke oder deren Überreste vorliegen, bzw. durch eine DNA-Analyse auch das Geschlecht bestimmt wird. Ungeachtet dessen lässt die morphologische Geschlechtsdiagnose am Skelett eines erwachsenen Individuums in der Regel eine sichere Bestimmung zu. Der Sexualdimorphismus erwachsener Individuen ist in allen Populationen durch eine durchschnittlich größere Körperhöhe und stärker entwickelte Muskulatur männlicher Individuen gekennzeichnet, welche massivere Knochendimensionen und kräftigere Muskelansätze am Skelett zur Folge haben. Die morphognostische Geschlechtsdiagnose erfolgt vorrangig an Merkmalen des Beckens, da die weiblichen Beckenknochen an die biologische Funktion von Schwangerschaft und Geburt angepasst sind. Durch die breitere Form des Beckens ist z. B. der Winkel des Arcus subpubicus oder der Bogen der Incisura ischiadica major deutlich weiter als bei männlichen Individuen. Schädelmerkmale, wie z. B. der Rand und die Form des Margo orbitalis, sowie die Ausprägung der Glabella und des Arcus superciliaris variieren in ihrer Gestalt deutlich zwischen den Geschlechtern und stellen daher ebenfalls gute Kriterien für die Geschlechtsdiagnose dar.

Eine Zusammenstellung der morphologischen Kriterien findet sich z. B. in Breul (1974) oder Sjøvold (1988), eine Gewichtung der Merkmale bei Rösing et al. (2005).

Sofern es sich nicht um charakteristische Becken- und Schädelknochen handelt, ist bei isolierten Skelettelementen eine morphologische Diagnose in der Regel nicht möglich. In diesen Fällen wird versucht, die Geschlechtszugehörigkeit osteometrisch zu bestimmen. Für praktisch alle Skelettelemente, bis hin zu den Endphalangen und Zähnen, liegen Diskriminanzfunktionen vor, die z. B. von Breul (1974), Sjøvold (1988) oder Leopold (1998) zusammengetragen sind.

Die phänotypische Ausprägung eines Individuums bzw. Skelettelementes wird mit den morphologischen und osteometrischen Methoden beurteilt, weshalb eine absolute Sicherheit in der Diagnose nicht erzielt werden kann. Überschneidungsbereiche in der Merkmalsausprägung sind dabei ebenso wenig auszuschließen wie belastungsabhängige Modifikationen. Populationsspezifische Charakteristika können die Maße ebenfalls beeinflussen und stehen einer direkten Übertragbarkeit der Diskriminanzwerte von einer Population auf eine andere entgegen. In diesem Zusammenhang muss vor allem die säkulare Akzeleration beachtet werden. Daher sollte vor der Anwendung diskriminanzanalytischer Verfahren die Originalliteratur auf die Eignung der Daten kritisch geprüft werden.

Bei Kinderskeletten ist eine morphognostische Geschlechtsdiagnose nicht möglich, da sich erst mit dem Einsetzen der Pubertät geschlechtshinweisende Merkmale am Skelett auszuprägen beginnen. Mit Hilfe osteometrischer Verfahren können jedoch auch Skelette von Kindern einem Geschlecht zugeordnet werden, z. B. durch diskriminanzanalytische Bestimmungen am Ilium oder der Mandibula (Schutkowski 1993).

### 6.6.3

#### Rekonstruktion der Körperhöhe

Die Körperhöhe eines Menschen stellt ein wesentliches individuelles Merkmal dar. Liegen skelettierte Überreste vor, so ist nach Möglichkeit das „*In-situ*“-Maß der Körperhöhe zu erfassen. Sind nur noch dislozierte Skelettelemente überliefert, kann durch eine Rekonstruktion die ursprüngliche Körperhöhe eines Individuums abgeschätzt werden.

Die Knochenlängen korrelieren mit der Körperhöhe eines Individuums. Mit Hilfe von Korrelationskoeffizienten bzw. Regressionsformeln lassen sich die Körperhöhen aus den Maßen einzelner Knochen schätzen, wobei die Knochen der unteren Extremität die beste Korrelation aufweisen. Zusammenstellungen von Regressionsformeln für verschiedene Knochen,

aber auch Teilmaße finden sich z. B. bei Krogman u. Iscan (1986) oder Rösing (1988).

Die Präzision der Regressionsformeln wird immer wieder kritisch diskutiert, da die zugrunde liegende Ausgangskörperhöhe, abhängig von der angewandten Messmethode, divergieren kann. Weil die Standardabweichungen der Formeln im Zentimeterbereich liegen, können die wenige Millimeter betragenden Messfehler vernachlässigt werden. Für eine möglichst präzise Körperhöhenschätzung sollte nach Möglichkeit eine alterskorrelierte Formel angewendet werden, da mit zunehmendem Alter ein Verlust der Körperhöhe zu beobachten ist. Es gibt jedoch nur wenige Studien, in denen individuelle Regressionsformeln für verschiedene Alterskohorten entwickelt wurden (z. B. Penning 2001).

Die sich schnell ändernden Lebensweisen der letzten Jahrzehnte, die zu einem Anstieg der durchschnittlichen Körperhöhen geführt haben (säkulare Akzeleration) und vor allem die zunehmende Mobilität, auch über Ländergrenzen hinweg, erschwert die Körperhöhenrekonstruktion deutlich. Je mehr Informationen über ein Individuum vorliegen (Geschlecht, Individualalter, Populationszugehörigkeit und Akzelerationsgrad) desto genauer kann eine Körperhöhenrekonstruktion erfolgen, vorbehaltlich der Verfügbarkeit von geeignetem osteometrischen Datenmaterial bzw. Regressionsformeln. Unter Berücksichtigung, dass es sich bei der Rekonstruktion der Körperhöhe eher um eine Körperhöhenschätzung handelt, kann die Einordnung in ein Größenintervall die Identifikation erwachsener Individuen erleichtern.

Bei subadulten Individuen ist eine Körperhöhenbestimmung wegen möglicher Proportionsverschiebungen durch individuelle Wachstumschübe problematisch. Längenmaße einzelner Extremitätenknochen werden hingegen u. U. zur Reifebestimmung bei Feten herangezogen.

#### 6.6.4

##### **Individuelle Kennzeichen**

Für den Identifikationsfall können anatomische Varianten an Skelettelementen von Bedeutung sein. Ihre Erfassung ist daher in jedem Fall erforderlich, vor allem von so genannt diskreten Merkmalen (Discreta; Hauser u. De Stefano 1989), deren Entstehung auf genetisch-epigenetische Einflüsse zurückgeführt wird. Ist eine familienanamnestische Erhebung möglich, ist die Heranziehung solcher Varianten zu empfehlen. Obwohl auch in solchen Fällen eine aDNA-Analyse (s. Kap. 16) die Methode der Wahl darstellt, kommt ihnen wegen zumeist ungeklärter Genetik bzw. Entstehungsbedingungen allerdings nur Hinweisqualität zu. Anatomische Varianten der Zahnmorphologie sind in ihren genetischen Beziehungen besser bekannt (Alt 1997).

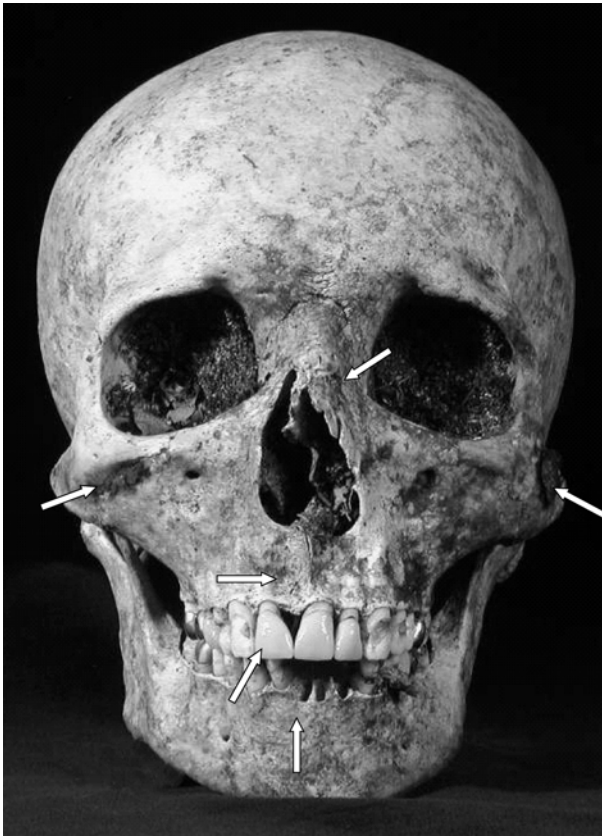


Abb. 6.2. Schädel eines zunächst unbekanntem erwachsenen Mannes (aufgefunden 2003, Niedersachsen)

Biographisch erworbene Merkmale des Skeletts bzw. seiner Elemente sind im Identifikationsfall von herausgehobener Bedeutung. Gestalt-, Struktur- und Dichteabweichungen des Knochens gegenüber dem anatomischen Regelfall weisen grundsätzlich auf ein pathologisches Geschehen oder einmalig adäquate Ereignisse hin, welche ursächlich für diese Zustandsbilder sind. Das radiologische Bild des Skelettelementes erweitert ggf. das Spektrum nutzbarer Merkmale. Die Zahl, Art und Ausbildung solcher individueller Merkmale ist unbegrenzt. Erfasst werden sie nur durch eine besonders aufmerksame Untersuchung des Objektes. Ein Beispiel solcher Merkmale gibt Abb. 6.2.

In der Frontalansicht sind mehrere individuelle Merkmale erkennbar: Senkrechte obliterierte Frakturlinie im maxillaren Alveolarbereich oberhalb Zahnposition 11 mit begleitendem Intravitalverlust von 11; kosmetisch und prothetisch versorgt durch eine Überkronung von 12 in der

Form eines mittleren Schneidezahnes; begleitende Intravitalverluste von 31 und 41. Asymmetrische Apertura piriformis durch multiple Nasendachfrakturen und Abheilung ohne Reposition. Während für die Zahnverluste ein zeitlicher Zusammenhang plausibel erscheint, ist dieser zusätzlich für den Nasenbeinbruch nicht herstellbar, wenn auch nicht unwahrscheinlich. Nebenbefund: Auflagerungsreste mumifizierter Weichteile in der Wangenpartie suggerieren thermische Einwirkung. (Wir danken Susanne Hummel, Historische Anthropologie und Humanökologie, Göttingen, für die freundliche Überlassung der Abbildung und des Befundes).

Eine forensisch nutzbare Übersetzung von individuellen Merkmalsausbildungen stellt die plastische Gesichtskonstruktion auf dem knöchernen Schädel dar (s. Kap. 7).

### 6.6.5 Geographische Herkunft

Das menschliche Skelett weist bedingt Merkmale auf, die zur Bestimmung der geographischen Herkunft herangezogen werden können. Es ist allerdings nur eine Unterscheidung in Gruppen aus geographischen Großräumen möglich. Die angelsächsisch-forensische Literatur verwendet für Herkunftsbezeichnungen von Menschen, bei denen aus Identifikationsgründen ein Hinweis auf jene geographische Großräume (*ethnic origin*) hilfreich ist, die Bezeichnungen „Caucasoid“ (entsprechend „europäischer Herkunft“), „Negroid“ [„(schwarz-) afrikanischer Herkunft“] und „Mongoloid“ („asiatischer Herkunft“). Zur Vermeidung von Missverständnissen, die auf einer möglichen rassistischen Kontextualisierung der Begriffe beruhen, verwendet die deutschsprachige Fachliteratur die ideologisch unbelasteten geographischen Äquivalenzbegriffe.

Für eine Individualdiagnose aufschlussreiche Unterscheidungsmerkmale finden sich v. a. in der Morphologie des Gesichtsschädels und in der Größe und Form der Zähne. Am postcranialen Skelett können die Morphologie des Beckens und mit Einschränkungen einige Formmerkmale der Femora für die Bestimmung herangezogen werden.

Morphologische Merkmale sind allerdings durch die große Variationsbreite nur bedingt aussagekräftig (Hoyme u. Iscan 1989). Die Morphologie des Beckens z. B. erlaubt nur eine Unterscheidung von „Caucasoid“ und „Negroid“. Das Vorhandensein von Überbiss erlaubt nur eine Unterscheidung von „Caucasoid“ und „Mongoloid“ und verliert durch den Fortschritt in der Kieferorthopädie zunehmend an Bedeutung.

Weitere diagnostische Hinweise liefern die Körperproportionen. Es gibt herkunftsspezifische Unterschiede z. B. in dem Verhältnis von Extremitä-



tenlänge zur Körperhöhe bzw. der oberen und der unteren Extremitäten zueinander.

Eine größere diagnostische Relevanz haben metrische Verfahren in Kombination mit Diskriminanzfunktionen. Entsprechende Messstrecken und Diskriminanzformeln sind z. B. bei Krogman u. Iscan (1986) kompiliert. Dabei gilt die Craniometrie als am zuverlässigsten. Typische Messstrecken beziehen sich hauptsächlich auf den Gesichtsschädel. Auch das Becken bietet metrische Merkmale, die allerdings durch geschlechtsspezifische Ausprägungen größeren Unsicherheiten unterliegen. Die höchste Aussagekraft soll allerdings die Kombination von mehreren Messstrecken an Schädel, Becken und Langknochen bieten. Für die Auswertung und den Vergleich der Daten stehen mittlerweile Datenbanken, z. B. FORDISC 2.0, zur Verfügung (Katzenberg u. Saunders 2000).

### 6.6.6

#### **Bearbeitungsspuren, Eingriffs- bzw. Verletzungsspuren**

Bei jeder Oberflächenmarke bzw. Beeinträchtigung der gestaltlichen Integrität am Knochen ist zu prüfen, ob ihrer Entstehung eine Intentionalität, eine Beiläufigkeit oder aber ein skelettwirksamer Zufall zugrunde liegt. Grundsätzlich ist ein krimineller Hintergrund zunächst in keinem Fall auszuschließen. Die Grundmuster von Gewalteinwirkung (stumpf, scharf, Schuss) hinterlassen hinreichend differenzierbare Spuren am Knochen (Lehrbücher der Rechtsmedizin). Die Prüfung auf Nage- und Bissspuren ist obligatorisch.

Schwierig ist die Differenzierung zwischen perimortalen Verletzungen des Knochens und Spuren postmortaler Ereignisse. Aus archäologischen Zusammenhängen ist bekannt, dass unter der Liegezeit Impressionsfrakturen der Orbitadächer und das Abbrechen von Frontzahnkronen bei in der Alveole verbleibendem Wurzelrest praktisch nicht vorkommen. Beide Verletzungsmuster sind jedoch häufiger Folge von Gewalteinwirkung gegen das Gesicht.

Nach längerer Liegezeit auftretende Zusammenhangstrennungen weisen in der Regel eine deutlich hellere Bruchflächenfarbe auf als perimortal gesetzte Frakturen. Dieses Unterscheidungskriterium entfällt bei einer Begutachtung, die zeitnahe zum Todeszeitpunkt erfolgt. Ob eine Gewalteinwirkung mit Todesfolge vorliegt oder das Verletzungsgeschehen Folge eines Gewaltexzesses an der Leiche war oder die Spur als späterer skelettwirksamer Zufall auftrat, bedarf der Klärung durch subtile rechtsmedizinische Untersuchung. Am isoliert vorliegenden Knochen ist diese Frage zumeist nicht eindeutig zu klären. Höhere Aussagesicherheit ist nur durch die Einbeziehung weiterer Skelettelemente zu erhalten, um aus Art und Ver-

teilungsmuster der Einwirkungen einen plausiblen Ablauf des Geschehens rekonstruieren zu können. Eine Lupeninspektion der Verletzungsflächen bzw. eine histologische Analyse kann Hinweis auf Dekompositionsphänomene und damit auf die zeitliche Entstehung geben.

Die Einwirkung höherer Temperaturen führt am Knochen zu einem hinweisgebenden Färbungsspektrum, das eine vorsichtige Abschätzung der Einwirkungstemperatur ermöglichen kann. Allerdings wird die Farbe auch von der Expositionsdauer und der Sauerstoffzufuhr beeinflusst. Begrenzte Säureeinwirkung führt zu Oberflächenveränderungen, wie sie ähnlich auch für Termitenfraß berichtet werden. Ebenso ist gegen zufällige Dekompositionsphänomene abzugrenzen, die etwa aus der stofflichen Qualität des unmittelbaren Liegemilieus resultieren. Da Böden pedologisch keine einheitliche Beschaffenheit aufweisen, können selbst kleinräumige Gradienten bedeutsam sein. Es empfiehlt sich daher die Sicherung einer Bodenprobe.

Bei kulturgeschichtlichen Artefakten aus Skeletteilen sind Säge- und Schleifspuren, Spalt- und Schnittmarken sowie Bohrlöcher und polierte Oberflächen als Folgen des Herstellungsprozesses sehr häufig. Spuren häufigen Gebrauchs durch Befassen des nativen Knochens imponieren ebenfalls als glatt-glänzende Oberflächenpolituren. Bei Importen des Antiquitätenhandels oder durch den Tourismus gelten grundsätzlich auch die Regeln des Washingtoner Artenschutzabkommens (CITES). Für Kunsthandel und Wissenschaft werden Ausnahmegenehmigungen erteilt.

## 6.7

### Leichenbrand

Brandopfer treten im Rahmen von Unfällen, bzw. Bränden, Suiziden, aber auch zur gezielten Dissimulation eines Kapitalverbrechens auf. Häufiger handelt es sich bei den Opfern um Brandleichen, die zwar stark verkohlt oder deformiert sein können, jedoch noch als Leiche anzusprechen sind und mit den meisten forensischen Methoden und anhand ihres Zahnstatus identifiziert werden können.

Wirkt große Hitze jedoch über einen langen Zeitraum auf eine Leiche ein, so entsteht Leichenbrand. Der Zustand der Opfer ist in diesem Fall mit Überresten einer Verbrennung in einem Krematorium vergleichbar, obwohl auch skelettierte Brandleichen bekannt sind. Das stark fragmentierte und geschrumpfte Knochenmaterial erfordert spezielle Bearbeitungstechniken, um eine Identifikation zu ermöglichen. Für die Bergung von Leichenbrand ist zu beachten, dass er empfindlich gegenüber mechanischen Einflüssen ist.

Bei einer vollständigen Verbrennung bleiben von einem erwachsenen Individuum zwischen einem und drei Kilogramm Leichenbrand. Die Knochen sind fragmentiert, teilweise verformt, die Oberflächen weisen meist Rissstrukturen auf. Durch die thermische Umwandlung des Knochenminerals schrumpfen die Knochen. Der Volumenverlust resultiert aus der Temperaturhöhe, der Dauer der Temperatureinwirkung, dem ursprünglichen Ausgangsvolumen sowie der Struktur und dem Mineralgehalt des Knochens. Diese Multikausalität verhindert den experimentellen Zugang zur definitiven Rekonstruktion des Schrumpfungsbetrages, z. B. durch ein „Nachverbrennen“ unter kontrollierten Bedingungen. Trotz Richtwerten von 4,7–17,6% für die Längs- und 18–40% für die Querschrumpfung (Hummel u. Schutkowski 1986) verwehrt die hohe individuelle Variabilität eine Anwendung metrischer Methoden zur Geschlechtsdiagnose oder der Körperhöhenrekonstruktion.

Der morphologischen Geschlechtsdiagnose kommt daher eine wesentliche Bedeutung zu. Auch wenn die Skelettelemente durch die Verbrennung, bzw. Schrumpfung graziler wirken, bleiben grundsätzliche Form- und Robustizitätsunterschiede bestehen. Diese können von Anthropologen, die in der Leichenbrandbearbeitung erfahren sind, für eine morphognostische Geschlechtszuweisung verwendet werden. Dabei wird, wie auch bei unverbrannten Skeletten, vor allem die Charakteristik geschlechtsdifferenter Becken- und Schädelmerkmale beurteilt. Methoden zur Leichenbrandbearbeitung finden sich z. B. bei Grosskopf (2004).

Für die Altersdiagnose können bei dem stark fragmentierten Material in der Regel nur wenige morphologische Kriterien gut beurteilt werden. Daher kommt den histologischen Methoden (Knochen- und Zahnhistologie, s. Kap. 6.6) eine erhebliche Bedeutung zu. Auch pathologische oder altersdegenerative Veränderungen können am verbrannten Material noch diagnostiziert werden und Hinweise zur Identifikation liefern. Nach einer Verbrennung in einem Krematorium lassen sich in der Regel keine Verletzungsspuren mehr nachweisen, da die verbrannten Überreste mechanisch stark zerkleinert werden. Hinweise auf eine Arteriosklerose, in Form sklerotisierter Blutgefäße, können jedoch noch beobachtet werden (Warren et al. 1999). Bei Funden fortgeschrittener Brandleichen ist eine Verletzungsfeststellung (Frakturen, Schuss) allerdings keinesfalls aussichtslos, sofern eine Begutachtung des Objektes noch *in situ* erfolgen kann.

Die unvollständig verbrannten Überreste (Abb. 6.3) sollen von dem in Kambodscha entführten deutschen Touristen M. W. stammen. Die Robustizität einzelner Skelettelemente weist auf ein männliches Individuum hin und zudem deutet ihre robuste Ausprägung auf eine Zugehörigkeit zu einem eher europäischen als zu einem grazilwüchsigen südostasiatischem



Abb. 6.3. Unvollständig überlieferter Leichenbrand

Individuum hin. Eine gesicherte Identifikation ist damit jedoch nicht möglich.

## 6.8 Tierknochen

### Vorbemerkungen

Thema der folgenden Ausführungen ist das Aussagepotential von Tierknochen im forensischen und kriminologischen Umfeld. Zum besseren Verständnis der betreffenden Abschnitte sei darauf hingewiesen, dass die Verfahren für die Untersuchung von rezenten Tierresten im Wesentlichen von der Archäozoologie übernommen werden, die sich mit der Analyse von Grabungsfunden beschäftigt (O'Connor 2000).

Grundsätzlich kommen auch für kriminalbiologische Untersuchungen Knochenreste einer großen Anzahl an Spezies aus unterschiedlichen Tierklassen in Betracht, was ein entsprechend weites Methodenspektrum erfordert, das hier aber nicht kompilatorisch darzustellen ist. Zweifellos ist hierbei den Säugetieren (Mammalia) und Vögeln (Aves), vielleicht auch noch den Fischen (Pisces), die größte Bedeutung beizumessen, nämlich aufgrund des dominierenden Stellenwertes dieser Tiergruppen für die menschliche Ernährung und im häuslichen Umfeld. Demgegenüber werden Kriechtiere (Reptilia) und Lurche (Amphibia) sowie Schnecken (Gastropoda) und Muscheln (Bivalvia), die Hartgewebe überliefern, hier nur am Rande berücksichtigt. Inzwischen gehören aber Reptilien, Schnecken und Muscheln aufgrund der Ausschlusslisten des Washingtoner Artenschutzabkommens (CITES) zu den am häufigsten von zollrechtlichen Beschlagnahmen

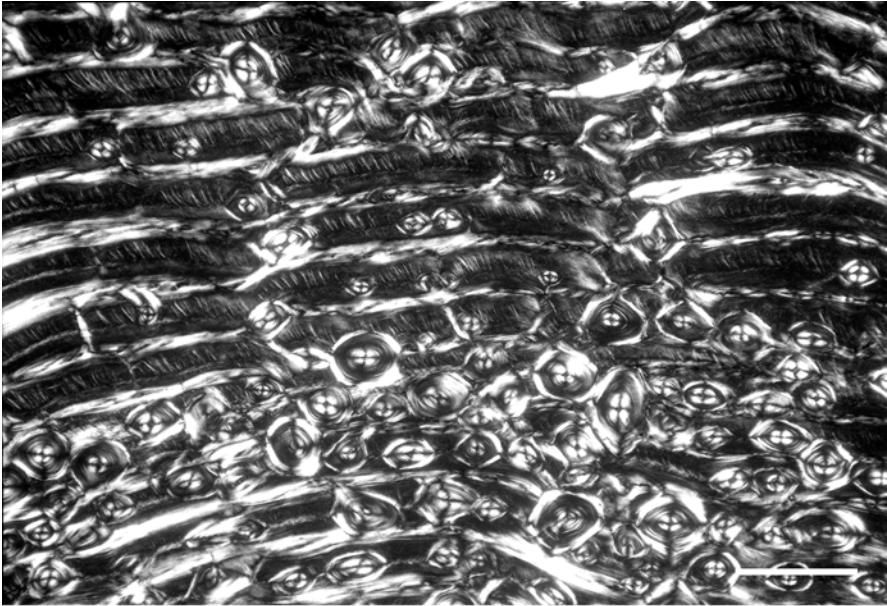
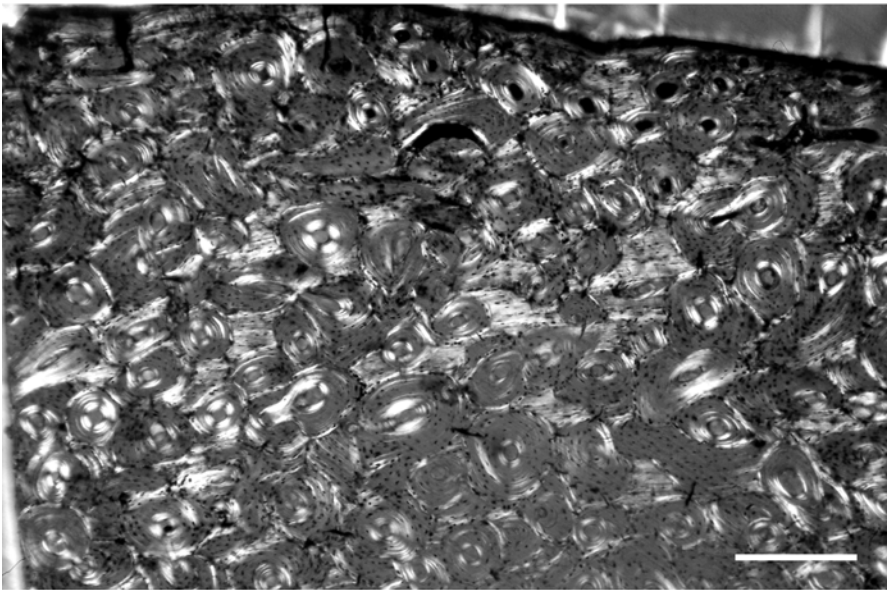
betroffenen Tiergruppen, so dass mit einem zunehmenden Bedarf an entsprechenden tieranatomischen Untersuchungen zu rechnen ist.

### **Taxonomische Bestimmung**

Ein relativ häufig anzutreffendes Problem bei der Untersuchung von Knochenobjekten aus dem kriminologischen Bereich betrifft die Unterscheidung von Menschen- und Tierknochen. Diese stützt sich in erster Linie auf eine Sichtprüfung, die aber in der Regel auch bei verhältnismäßig kleinen Fragmenten zum Erfolg führt. Abgesehen von abweichenden Formmerkmalen präsentiert sich die Knochenkompakta der von ihrer Größe her überhaupt in Frage kommenden Säugetiere stets mit einer deutlich dichteren bzw. glatteren Oberfläche; zudem ist die Spongiosa bei Röhrenknochen und Wirbeln der betreffenden Spezies im allgemeinen deutlich grobporiger als dies bei Menschenknochen der Fall ist. Erhebliche Schwierigkeiten kann indessen die Identifizierung von einzelnen, dislozierten menschlichen Fetenknochen bereiten, die bei ungünstigen Nebenumständen, z. B. starker Verwitterung oder partiellen Beschädigungen, leicht mit Geflügelresten oder Fetenresten mancher Säugetiere zu verwechseln sind.

In fraglichen Fällen lassen sich Tier- und Menschenknochen (Abb. 6.4 a, b) auch mit Hilfe histologischer Untersuchungen unterscheiden (Locke 2004). Hierbei macht man sich zu Nutze, dass der Tierknochen im Gegensatz zum menschlichen Knochen eine „plexiforme“ Binnenstruktur aufweist, die im Querschnitt durch einen ziegelsteinartigen Aufbau sichtbar wird (Abb. 6.4 a). Bei Skelettresten von Individuen höheren Alters, in dem auch bei Tierknochen eine Umwandlung der plexiformen Strukturen in Osteonenknochen stattfindet, erlaubt der geringere Durchmesser der Haversschen Kanäle eine relativ sichere Identifizierung der Skelettelemente von Tieren (Harsányi 1978).

Tierartenbestimmungen anhand von Knochenresten sind mit der für kriminologische und strafrechtliche Zwecke notwendigen Sicherheit, wie sie hier gefordert wird, definitiv weder von osteologischen Laien noch von Veterinären, Fleischern, Jägern und Angehörigen vergleichbarer Berufs- und Personengruppen zu bewältigen. Die Determinierung der tierlichen Untersuchungsobjekte wird vielmehr zweckmäßigerweise geschulten Wissenschaftlern bzw. technischem Personal mit langjähriger Bestimmungserfahrung in spezialisierten Einrichtungen übertragen, die über umfangreiche Vergleichssammlungen von Skeletten der verfügbaren Rezentfauna verfügen (Heinrich et al. 1991). In Deutschland finden sich entsprechende Arbeitsmöglichkeiten derzeit in mehreren Universitätsinstituten, in bestimmten archäologischen Forschungseinrichtungen und Landesmuseen sowie in Dienststellen der archäologischen Denkmalpflege einiger Bundesländer.

**a****b**

**Abb. 6.4.** Knocheninnenstruktur von Tier und Mensch im Vergleich (polarisiertes Licht).  
a Tibiakompakta eines adulten Rindes mit plexifomen Anteilen und Osteonenknochen.  
b Femurkompakta eines Menschen, Altersstufe matur. Der *Balken* entspricht einer Länge von 500  $\mu\text{m}$

Allgemein gilt für tieranatomische Fundanalysen, dass mit zunehmendem Fragmentationsgrad der fraglichen Untersuchungsobjekte der Schwierigkeitsgrad ansteigt, die Bestimmungssicherheit hingegen absinkt. Indessen ist die geringe Objektgröße kein Ausschlusskriterium für eine taxonomische Bestimmung. Maßgeblich ist vielmehr die Präsenz von eindeutig identifizierbaren, artspezifischen anatomischen Merkmalen an solchen Untersuchungsobjekten (z. B. Foramina oder Muskelansätze).

Dagegen lassen sich ganz erhaltene bzw. weitgehend erhaltene Einzelknochen mit wenigstens einer vorhandenen Gelenkpartie normalerweise gut determinieren. Nur in bestimmten Fällen kann die Artenbestimmung auch bei solchen Fundobjekten Probleme aufwerfen, etwa bei Skelettelementen von taxonomisch eng verwandten Spezies mit ähnlicher Körpergröße und -gestalt, z. B. Pferd und Esel, bei der Unterscheidung von Haus- und Wildtierknochen derselben Spezies, z. B. Hausschwein und Wildschwein oder bei Knochenelementen von Spezies aus unterschiedlichen Gattungen mit ähnlicher Skelettmorphologie, z. B. Schaf und Ziege. Schwierigkeiten bereitet ferner die morphologische Differenzierung der Skelettelemente innerhalb artenreicher Vogelgruppen mit einer größeren Anzahl an Mitgliedern von annähernd gleicher Größe, z. B. den Gänsevögeln.

Etwas aufwändiger gestaltet sich unter Umständen die Klärung der Tierart bei Skelettresten, die von Neozoen herkommen, d. h. modernen Einwanderern in die heimische Fauna, sowie von eingeführten Tieren, etwa Jagdtrophäen. Diese Einschränkung betrifft ggf. auch die Exoten unter den Haustieren. Entsprechendes Vergleichsmaterial, besonders von außer-europäischen Arten, ist in den hauptsächlich auf archäologische Belange ausgerichteten Vergleichssammlungen nur ausnahmsweise vertreten, so dass hier gezielte Recherchen in naturkundlichen Sammlungen oder vergleichbaren Institutionen notwendig werden können.

Histologische Untersuchungen stellen beim jetzigen Stand der Forschung wohl keine praxiserichte Methode für die Speziesbestimmung an Tierknochen aus dem kriminologischen Umfeld dar. Zwar zeigen sich zwischen den verschiedenen Vertretern der Haus- und Wildtierfauna artspezifische Unterschiede, was die Form, Größe und Anordnung der einzelnen Strukturelemente des Knochens anbelangt (Osteone usw.), doch erlaubt die große Variabilität der Binnenstrukturen in Bezug auf das Individualalter, das Skelettelement und die jeweilige Knochenpartie keine zufriedenstellende Bestimmungssicherheit (Enlow u. Brown 1958).

Bleiben alle Determinierungsversuche anhand von Formmerkmalen ohne Erfolg, kann bei erwartetem Erkenntnisgewinn für die jeweiligen kriminologischen Sachverhalte, abhängig vom Erhaltungszustand der fraglichen Objekte, ggf. auf molekulargenetische Untersuchungsverfahren zurückgegriffen werden (s. Kap. 15).

Zur Tatbestandsklärung können neben den Ergebnissen der osteologischen Untersuchungen auch Angaben zur Ökologie der betreffenden Arten beitragen. So kommt z. B. eine Reihe an Vogelspezies in unseren Breiten nur zeitweise als Gast oder Durchzügler in bestimmten Jahreszeiten vor, was ggf. zur Datierung von Taterignissen beitragen kann, die mit entsprechenden Fundobjekten assoziiert sind.

### **Erhaltungszustand**

Der Erhaltungszustand bzw. Fragmentationsgrad eines Tierknochens liefert Indizien zur Klärung der ursprünglichen Nutzung des zugehörigen Tieres, der betreffenden Körperpartie oder auch des Fundstückes selbst, wobei die Fleischgewinnung sicher den wichtigsten Gesichtspunkt darstellt.

Insbesondere die fleischtragenden Skelettelemente der Nahrungstiere werden im Zuge der Tierschlachtung und der nachfolgenden Zerlegungs- und Portionierungsvorgänge nach und nach in kleinere Bruchstücke zerteilt. In Deutschland sind sowohl die technisch-handwerkliche Vorgehensweise beim eigentlichen Schlachtvorgang als auch nachfolgende Zerlegung der Schlachtkörper im fleischverarbeitenden Gewerbe durch gesetzliche Bestimmungen mit dem Fleischhygienegesetz (FIHG) bzw. durch Handlungsordnungen weitgehend vereinheitlicht. Die in manchen Regionen übliche Praxis der Hausschlachtung dürfte im Normalfall ebenfalls nach denselben Richtlinien erfolgen. Aus diesen Gründen ist bei professioneller Nutztierverwertung mit nur verhältnismäßig geringen individuellen Abweichungen hinsichtlich der Lage der Schlacht- und Zerlegungsspuren an den verschiedenen Skelettelementen zu rechnen. Erkannte Abweichungen von diesen Schemata können demzufolge ländertypische, ethnische, kulturelle oder religiöse Eigenheiten der Tierkörperzerlegung spiegeln oder auch auf illegale Aneignung von Schlachtgut hindeuten.

Üblicherweise erfolgt die Zerlegung von Haar- und Federwild nach der Ausweidung der Tierkadaver durch jagdberechtigte Personen im Gelände in spezialisierten Wildschlachtereien. Nicht fach- bzw. waidgerechte Manipulationen am Wildkörper lassen sich somit möglicherweise auch anhand uncharakteristischer Zerlegungsspuren am Skelett identifizieren.

### **Oberflächenspuren**

Die Identifizierung und Klassifizierung der an den Untersuchungsobjekten erkennbaren Spuren nimmt bei forensischen Analysen naturgemäß einen breiten Raum ein, da hiermit sowohl eine Rekonstruktion der zeitlichen Abfolge der unterschiedlichen Manipulationen als auch der wirksamen Liegezeiteinflüsse auf den Knochen möglich wird (Küchelmann 2005; Shipman 1981).



Intentionelle Ritz-, Schnitt-, Hack- und Schlagspuren am Knochenobjekt, die auf den Gebrauch von verschiedenartigen Werkzeugen zurückgehen, weisen in jedem Fall menschliche Nutzung nach. Bei Farb- und Strukturveränderungen, die auf Hitzeeinwirkung hindeuten, ist zu klären, zu welchem Zeitpunkt die betreffenden Objekte dem Feuer ausgesetzt waren. Bei Lagerung der Objekte im Freien ist mit Oberflächenläsionen infolge Wurzelwachstums und Bodenerosion zu rechnen (Dekompositionsdefekte). Außerdem können durch Tierverschleiß (Säugetiere und Vögel) typische Biss- und Nagespuren am Tierknochen auftreten. Schlifffspuren sowie verrundete Kanten belegen absichtliche oder natürliche Verlagerungen der Untersuchungsobjekte.

### **Alters- und Geschlechterbestimmung**

Eine möglichst genaue Bestimmung des Todesalters der durch Untersuchungsobjekte repräsentierten Individuen kann bei gleichzeitiger Berücksichtigung der bei einer ganzen Reihe an Haus- und Wildtierarten saisonal gebundenen Wurftermine unter Umständen einen Ereignisablauf oder Tathergang datieren helfen.

Bei den Nutztieren sowie einer ganzen Reihe an wichtigen Vertretern der Wildsäugetierfauna wird das Alter vorrangig anhand des Gebisses bestimmt, das die besten Kriterien liefert (Zahnwechselermine, Abrasionsgrad sowie Zuwachsringe im Zahnzement); daneben gibt bei nicht erwachsenen Tieren auch der Verwachsungsstatus der verschiedenen Epi- und Apophysen im Extremitätenskelett Aufschluss über das Todesalter (Habermehl 1975, 1985; Grue u. Jensen 1979). Schließlich kann auch das ungefähre Todesalter der Feten bzw. neonaten Tiere bei wichtigen Nutztierspezies einigermaßen genau anhand der Länge verschiedener Extremitätenknochen bestimmt werden (Habermehl 1975).

Die Haus- und Wildvögel, deren Skelettelemente keine Epiphysenfuge ausbilden, werden nach der Festigkeit der Knochensubstanz im Bereich der Gelenkenden juvenilen, subadulten oder adulten Individuen zugewiesen.

Verschiedentlich erlauben Gebissmerkmale eine Geschlechtertrennung, etwa bei den Hengstzähnen der männlichen Equiden oder den Canini der Haus- und Wildschweine, die sich nach Form und Größe unterscheiden. Bei horntragenden Arten ermöglichen Form- und Größenmerkmale des Hornzapfens eine Geschlechtsbestimmung. Bei den einheimischen Cerviden (Rothirsch u. a.) ist das männliche Geschlecht am vorhandenen Geweih bzw. Rosenstock des Os frontale eindeutig identifizierbar. Bei manchen Tierfamilien gehört ein Penisknochen (Baculum) zum Skelett der männlichen Tiere, so bei den Caniden (Fuchs u. a.) und Feliden (Wildkatze u. a.).

Im Falle der Aves zeigen eine Reihe an Spezies geschlechtsbezogene Längenunterschiede an den Extremitätenknochen; bei den männlichen

Hühnervögeln bildet sich als sekundäres Geschlechtsmerkmal ein Sporn am Tarsometatarsus auf.

Das Geschlecht ist auch mit Hilfe molekulargenetischer Untersuchungen bestimmbar, wenn morphologische bzw. morphometrische Verfahren keine eindeutige Entscheidung zulassen.

### **Metrische Analysen**

Liegen vollständig erhaltene Skelettelemente von adulten Nutztieren und bestimmten Wildtieren vor, so lässt sich mit Hilfe von Multiplikationsfaktoren oder Regressionsformeln aus den betreffenden Längenmaßen die Widerristhöhe berechnen. Proportionsanalysen an den Skelettelementen geben überdies Aufschluss zur Körpergestalt. Bei den Haustieren lassen sich trotz solcher Angaben zum Exterieur in der Regel zur Rassenzugehörigkeit nur ausnahmsweise Aussagen treffen, da sich Rassenstandards aus Skelettmerkmalen nur schwer erschließen lassen, zumal wenn nur Einzelknochen vorliegen. Es bleibt abzuwarten, ob zukünftig durch molekulargenetische Analysen eine ausreichende Trennungssicherheit bei der Identifizierung von einzelnen Rassen einer Haustierspezies erreicht werden kann.

### **Besonderheiten**

Die große Vielfalt an Skelettelementen der Haus- und Wildtierfauna bietet eine gewisse Auswahl an Raritäten, die z. B. aufgrund ihrer auffälligen Formgebung oder aus anderen Gründen das Augenmerk von Menschen auf sich ziehen und insofern auch Gegenstand kriminalbiologischer Untersuchungen sein können. Zu nennen sind hier beispielsweise die im Herzgewebe der Cerviden und Boviden vorkommenden Herzknochen (*Oscordis*), die gelegentlich als Amulett verwendet werden oder verschiedene Wildtierknochen, z. B. die Eckzähne der Rothirsche (*Grandeln*), die unter anderem zu Jagdschmuck oder den im Alpenraum verbreiteten Charivari-Anhängern verarbeitet werden.

## **Literatur**

- Alt KW (1997) *Odontologische Verwandtschaftsanalyse*. Fischer, Stuttgart
- Berg S, Protsch von Zieten R (1998) Datierung von Skelettfunden. In: Leopold D (Hrsg) *Identifikation unbekannter Toter: Interdisziplinäre Methodik, forensische Osteologie. Arbeitsmethoden der medizinischen und naturwissenschaftlichen Kriminalistik*, Band 22 S. 107–162 Schmidt-Römhild, Lübeck
- Breul D (1974) *Methoden der Geschlechts-, Körperlängen- und Lebensaltersbestimmung von Skelettfunden. Arbeitsmethoden der medizinischen und naturwissenschaftlichen Kriminalistik* Band 12. Schmidt-Römhild, Lübeck
- Enlow DH, Brown SO (1958) A comparative histological study of fossil and recent bone tissues. Part III. *The Texas J of Sci* 10/2:187–214

- Grosskopf B (1990) Individualaltersbestimmung mit Hilfe von Zuwachsringen im Zement bodengelagerter menschlicher Zähne. *Z für Rechtsmedizin* 103:351–359
- Grosskopf B (2004) Leichenbrand – Quellenmaterial zur Rekonstruktion vor- und frühgeschichtlicher Populationen und ihrer Funeralpraktiken. Dissertation Universität Leipzig. Online-Publikation [http://dol.dl.uni-leipzig.de/receive/DOLDissHabil\\_disshab.00000356](http://dol.dl.uni-leipzig.de/receive/DOLDissHabil_disshab.00000356)
- Grue H, Jensen B (1979) Review of the formation of incremental lines in tooth cementum of terrestrial mammals. *Danish Review Game Biol* 11:3–48
- Habermehl K-H (1975) Die Altersbestimmung bei Haus- und Labortieren. 2. Aufl. Parey, Berlin Hamburg
- Habermehl K-H (1985) Altersbestimmung bei Wild- und Pelztieren. Möglichkeiten und Methoden. Ein praktischer Leitfaden für Jäger, Biologen und Tierärzte. 2. Aufl. Parey, Berlin Hamburg
- Haglund WD (2002) Recent mass graves, an introduction. In: Haglund WD, Sorg MH (eds) *Advances in forensic taphonomy: method, theory and archaeological perspectives*. pp 243–262. CRC Press, Boca Raton
- Harsányi L (1978) Unterscheidung von Menschen- und Tierknochen. In: Hunger H, Leopold D (Hrsg): *Identifikation*, S 100–112. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Hauser G, De Stefano GF (1989) Epigenetic variants of the human skull. Schweizerbart, Stuttgart
- Heinrich D, Reichstein H, Schietzel, K (1991) 25 Jahre Archäologisch-Zoologische Arbeitsgruppe Schleswig-Kiel. *Offa* 48:9–39
- Herrmann B, Newesely H (1982) Dekompositionsvorgänge des Knochens unter langer Liegezeit. 1. Die mineralische Phase. *Anthropol Anz* 40:19–31
- Hoyme LE, Iscan MY (1989) Determination of sex and race: Accuracy and assumptions. In: Iscan MY, Kennedy KAR (eds) *Reconstruction of life from the skeleton*, pp 53–94. Liss, New York
- Hummel S, Schutkowski H (1986) Das Verhalten von Knochengewebe unter dem Einfluß höherer Temperaturen. – Bedeutungen für die Leichenbranddiagnose. *Z für Morphol u Anthropol* 77:1–9
- Karger B (2004) Exhumierung. In: Brinkmann B, Madea B (Hrsg) *Handbuch gerichtliche Medizin* Bd. 1, S 72–78. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Katzenberg MA, Saunders SR (2000) *Biological anthropology of the human skeleton*. Wiley-Liss, New York
- Kemkes-Grottenthaler A (2002) Aging through the ages: historical perspectives on age indicator methods. In: Hoppa RD, Vaupel JW (eds) *Paleodemography. Age distributions from skeletal samples*. Cambridge Studies in Biological and Evolutionary Anthropology, pp 48–72. Cambridge Univ Press, Cambridge
- Krogman WM, Iscan MY (1986) *The human skeleton in forensic medicine*. Thomas, Springfield
- Küchelmann H Chr (2005) Aussagefähigkeit von aufgefundenem Knochenmaterial. *Kriminalistik* 59/10:586–599
- Leopold D (1998) Identifikation durch innere, körpereigene Merkmale. In: Leopold D (Hrsg) *Identifikation unbekannter Toter: Interdisziplinäre Methodik, forensische Osteologie*, S 195–283. Schmidt-Römhild, Lübeck
- Locke M (2004) Structure of long bones in mammals. *J of Morphol* 262:546–565
- O'Connor T (2000) *The archaeology of animal bones*. Sutton Publishing, Phoenix Mill Thrupp Stroud Gloucestershire
- Penning R (2001) Rekonstruktion der Körpergröße aus den Maßen der langen Röhrenknochen. In: Oehmichen G, Geserick G (Hrsg) *Osteologische Identifikation und Altersschätzung*. Bd 26, S 139–154. Schmidt-Römhild, Lübeck

- Renz H, Radlanski RJ (2006) Incremental lines in root cementum of human teeth – A reliable age marker? *HOMO – J of Comparative Human Biol* 57:29–50
- Robling AG, Stout SD (2000) Histomorphometry of human cortical bone: Applications to age estimation. In: Katzenberg MA, Saunders SR (eds) *Biological anthropology of the human skeleton*. pp 187–213. Wiley-Liss, New York
- Rösing FW (1988) Körperhöhenrekonstruktion aus Skelettmaßen. In: Knussmann R (Hrsg) *Anthropologie: Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen; Band I: Wesen und Methoden der Anthropologie; 1. Teil: Wissenschaftstheorie, Geschichte, Morphologische Methoden*, S 586–599. Fischer, Stuttgart New York
- Rösing FW, Graw M, Mareé B, Ritz-Timme S, Rothschild MA, Röttscher K, Schmelting A, Schröder I, Geserick G (2005) Empfehlungen für die forensische Geschlechts- und Altersdiagnose am Skelett. *Anthropol Anz* 63:221–232
- Schutkowski H (1993) Sex determination of infant and juvenile skeletons: I. Morphognostic features. *Am J of Physical Anthropol* 90:199–205
- Scheuer L, Black S (2000) *Developmental juvenile osteology*. Academic Press, San Diego
- Schneider V, Herrmann B (1976) Über Untersuchungen an Knochen verbrannter Neugeborener (kriminelle Leichenbeseitigung, prähistorischer Leichenbrand). *Beiträge elektronenmikroskopischer Direktabbildungen von Oberflächen* 9:463–476
- Sjøvold T (1988) Geschlechtsdiagnose am Skelett. In: Knussmann R, Schwidetzky I, Jürgens HW, Ziegelmeier G (Hrsg) *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*, S 444–455. Fischer, Stuttgart New York
- Shipman P (1981) *Life history of a fossil. An introduction to taphonomy and paleoecology*. Harvard Univ Press, Cambridge/MA London
- Skinner M, Alempijevic D, Djuric-Srejic M (2003) Guidelines for international forensic bioarchaeology monitors of mass grave exhumations. *Forensic Sci Int* 134:81–92
- Szilvássy J (1988) Altersdiagnose am Skelett. In: Knussmann R (Hrsg) *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*, 1. Teil, S 421–443. Fischer, Stuttgart New York
- Tuller H, Duric M (2006) Keeping the pieces together: Comparison of mass grave excavation methodology. *Forensic Sci Intern* 156:192–200
- Ubelaker DH (1987) Estimating age at death from immature human. *J of Forensic Sci* 32:1254–1263
- Warren MW, Falsetti AB, Hamilton WF, Levine LJ (1999) Evidence of arteriosclerosis in cremated remains. *Am J of Forensic Med and Pathol* 20:277–280
- Wittwer-Backofen U, Gampe J, Vaupel JW (2004) Tooth cementum annulation for age estimation: Results from a large known age validation study. *Am J of Physical Anthropol* 123:119–129

# 7 Rekonstruktion der Gesichtsteile auf dem Schädel

Steffi Burrath

## 7.1 Einleitung

Die Gesichtsteilrekonstruktion (GWR) ist *eine* Variante der Auswertung vorgefundener biologischer Spuren.

Sie wird angefertigt, wenn eine unbekannte tote Person mit zerstörten oder nicht vorhandenen Gesichtsteilen aufgefunden wurde und ihre Identität nicht über die üblichen Methoden, DNA, Fingerabdrücke, Recherchen in der Vermisstendatenbank der Polizei u. ä. geklärt werden kann, oder sie dient der Rekonstruktion historischer Schädelknochen (Abb. 7.1).

In den letzten Jahren hat diese Methode durch verstärktes Medieninteresse und verschiedene gerichtsmedizinische Sendungen in der Öffentlichkeit sprunghaft an Bedeutung gewonnen. Seit im Jahr 2003 das Bundeskriminalamt (BKA) die erste internationale Konferenz für Gesichtsteilrekonstruktion in Potsdam organisierte, wächst von Jahr zu Jahr die Zahl der Anwendungen, Interessenten und Firmen, die sich mit diesem Thema beschäftigen. Waren es 2003 noch rund 80 Teilnehmer aus 18 Staaten, so sind im Jahr 2005 schon über 170 internationale Teilnehmer zu verzeichnen gewesen.

Die in Deutschland arbeitenden Rekonstrukteure sind direkt in Museen angestellt oder freiberuflich tätig. Zusätzlich stehen ca. zehn Rekonstrukteure für die Anfertigung von Gesichtsteilrekonstruktionen im Rahmen von polizeilichen Identifizierungsmaßnahmen zur Verfügung. Sie decken den nationalen Bedarf ab, der sich derzeit auf etwa 1000 (Anzahl stark schwankend) unbekannte Tote beläuft, da nur bei ca. 1% aller unidentifizierten Toten ein Rekonstruktionsauftrag ausgelöst wird. Gründe dafür könnten sein, dass nicht in allen Fällen eine Straftat vorliegt und die Ermittlungsbehörden die Kosten scheuen oder dass nur Leichenteile gefunden werden und kein Schädel als Rekonstruktionsgrundlage zur Verfügung steht. Ein weiterer Aspekt ist eventuell auch die mangelnde Kenntnis über die Möglichkeiten der GWR. Um diesem entgegen zu wirken, soll im folgen-

---

Steffi Burrath: Landeskriminalamt Sachsen-Anhalt, Dezernat 23.1, Lübecker Straße 53-63, 39124 Magdeburg, E-Mail: steffi.burrath@lka.pol.lsa-net.de



Abb.7.1. Bsp. für geklärte Identität eines Mordopfers

den Beitrag das Thema Gesichtswichteilrekonstruktion näher beleuchtet werden.

## 7.2 Historische Entwicklung

Ende des 19. Jahrhunderts begannen Anthropologen und Mediziner mit ersten Versuchen zur Herstellung von Gesichtswichteilrekonstruktionen. Schon 1878 stellte Richard Oberländer in seinem Buch „Menschliche Rassen – Geschichte und Verbreitung“ fest, dass in keiner Zeit so viele Forschungen auf dem Gebiet der Anthropologie und Ethnologie angestellt wurden, wie in den letzten 50 Jahren zuvor. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts hatte das Interesse an der Erforschung des Menschen, seines Körperaufbaus und seiner Entwicklungsgeschichte, nicht zuletzt durch die Entdeckungen Darwins, sprunghaft zugenommen. Forscher begnügten sich nicht mehr damit, Menschen nur zu sezieren, sondern stellten auch Forschungsreihen zu bestimmten Themen auf, wie z. B. zu den Themen Weichteildicken und Rekonstruktionsmethoden.

Der Jenaer Anatom Schaaffhausen und der Anatom Kollmann in Zusammenarbeit mit dem Bildhauer Büchli aus der Schweiz unternahmen Ende des 19. Jh. erste Versuche eine Frau aus der Zeit der Pfahlbauten zu rekonstruieren. Im Vorfeld dazu vermaß Kollmann die Weichteildicken von 100 Frauen aus Auvergni und entwickelte ein technisches Verfahren zur Nachbildung des Kopfes auf Grundlage des Schädels. Dieses war wahrscheinlich die erste wissenschaftlich fundierte Rekonstruktion von Gesichtswichteilen. Da zu dieser Zeit viele Ausgrabungen stattfanden und die Menschen sehr interessiert am möglichen Aussehen der Urmenschen oder – im Spe-

ziellen – der Neandertaler waren, versuchten einige Anthropologen, teilweise mit Unterstützung von Bildhauern, die Gesichter der Urmenschen auf Grundlage der Knochenfunde darzustellen. Einige wichtige Vertreter waren. Solger, Martin und Eggeling aus Deutschland, der Franzose Boule (er rekonstruierte nur das Muskelgewebe des Kopfes), der belgische Anthropologe Rutot mit dem Bildhauer Masquet, der Amerikaner Gregory, der Russe Bystrow, der Pole Midljarski u. a.

Auch die Schädel historischer Persönlichkeiten wurden anhand der gewonnenen Erkenntnisse identifiziert. Z. B. bewies der Anatom Welcker die Echtheit des Schädels von Raffael und His identifizierte 1895 die Skelette von Bach, Haydn und Kant. Der deutsche Bildhauer Seffner wandte 1908 bei der Modellierung des Denkmals von Johann Sebastian Bach die von den Anthropologen entwickelte Methode der Modellierung der Dickenmaße auf einem Gipsabdruck des Originalschädels an.

1913 wies Eggeling Variationen in den Dickenmaßen der Gesichtswichteile nach. Damals war es üblich, die Weichteildicken an den verschiedenen Stellen des Gesichtes der Verstorbenen mittels Ruß geschwärzter Nadeln zu messen. Eggeling erarbeitete anhand von Messungen in vielen Gesichtern die günstigsten Messpunkte für eine Rekonstruktion. Allerdings mussten er und seine Kollegen einen Rückschlag hinnehmen, als sie zwei Gipsabdrücke eines Schädels einer kurz zuvor verstorbenen Person und die korrekten Weichteildicken an zwei Bildhauer übergaben und diese zwei völlig verschiedenen Gesichter modellierten, die wiederum mit dem Originalgesicht keine Ähnlichkeit hatten. Nach diesem Versuch zweifelte die Fachwelt lange Zeit, ob es überhaupt möglich ist, ein Individuum anhand seines Schädels zu rekonstruieren.

Heute kann man sagen, dass dieses möglich ist und der damalige Misserfolg nur auf zu viel künstlerische Freiheit der Bildhauer zurückzuführen war. Diese Erkenntnis ist zum großen Teil Michail Gerassimow (1968) zu verdanken. Er war Mitte des vorigen Jahrhunderts Professor am ethnographischen Institut der Akademie der Wissenschaften der UdSSR und arbeitete intensiv auf dem Gebiet der Gesichtswichteilrekonstruktion. Durch seine Forschungsarbeiten vervollkommnete er die Methode der Weichteilrekonstruktion. Ihm gelang es, durch seine Rekonstruktionen zur Identifizierung von unbekanntem Toten beizutragen. Seine Erkenntnisse und die seiner Nachfolgerin Galina Lebedinskaja finden sich als Grundlage in wahrscheinlich allen heute angewendeten Rekonstruktionsmethoden wieder.

Gegenwärtig gibt es in den meisten europäischen Staaten und auf anderen Kontinenten vereinzelt international bekannte Spezialisten. In Deutschland hat sich Richard Helmer (1984) durch seine ausführlichen und wissenschaftlich fundierten Weichteildickenmessungen einen Namen gemacht, in England sind Richard Neave und Caroline M. Wilkinson (2004) als Rekonstrukteure sehr bekannt; in Frankreich der Anthropologe Jean-Noel Vignal

(2005) und die Bildhauerin Elisabeth Daynès, die Plastiken von Neandertalern und anderen historischen Funden für viele Museen hergestellt hat. In den USA arbeitet das FBI mit Karen T. Taylor und Betty Pat. Gatliff zusammen. K.T. Taylor (2001) hat sehr ausführlich das bis heute angesammelte Wissen auf dem Gebiet der Gesichtsweichteilrekonstruktion dargelegt.

Alle zurzeit in Deutschland praktizierenden Rekonstrukteure sind entweder als Zeichner im Erkennungsdienst der Landeskriminalämter angesiedelt und beim FBI in einem Speziallehrgang ausgebildet wurden oder kommen als Rechtsmediziner oder Anthropologen aus medizinischen oder musealen Einrichtungen.

### 7.3 Rekonstruktionsmethoden

Es gibt verschiedene Herangehensweisen und Methoden der Gesichtsweichteilrekonstruktionen. Sie können als Handzeichnung, als dreidimensionale Plastik angefertigt werden oder im Computer zwei- oder dreidimensional entstehen (Abb 7.2).

Ein internationaler Ringversuch, der anlässlich der 2. Konferenz der Gesichtsweichteilrekonstrukteure 2005 in Remagen durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass die dreidimensionalen Computerprogramme zurzeit noch nicht für lebensgetreue Rekonstruktionen geeignet sind. Die dreidimensionalen Plastiken trugen teilweise eine sehr künstlerische Handschrift und wichen dadurch manchmal stark voneinander ab.

Die ähnlichsten Gesichter wurden m.E. durch die zweidimensionalen Zeichnungen erzeugt. Der Vorteil hierbei ist, dass während der gesamten Rekonstruktion der Schädel mit den Weichteilmarken unter der transpa-



Abb.7.2. Handzeichnung/Computergestützte Zeichnung/Plastische Rekonstruktion



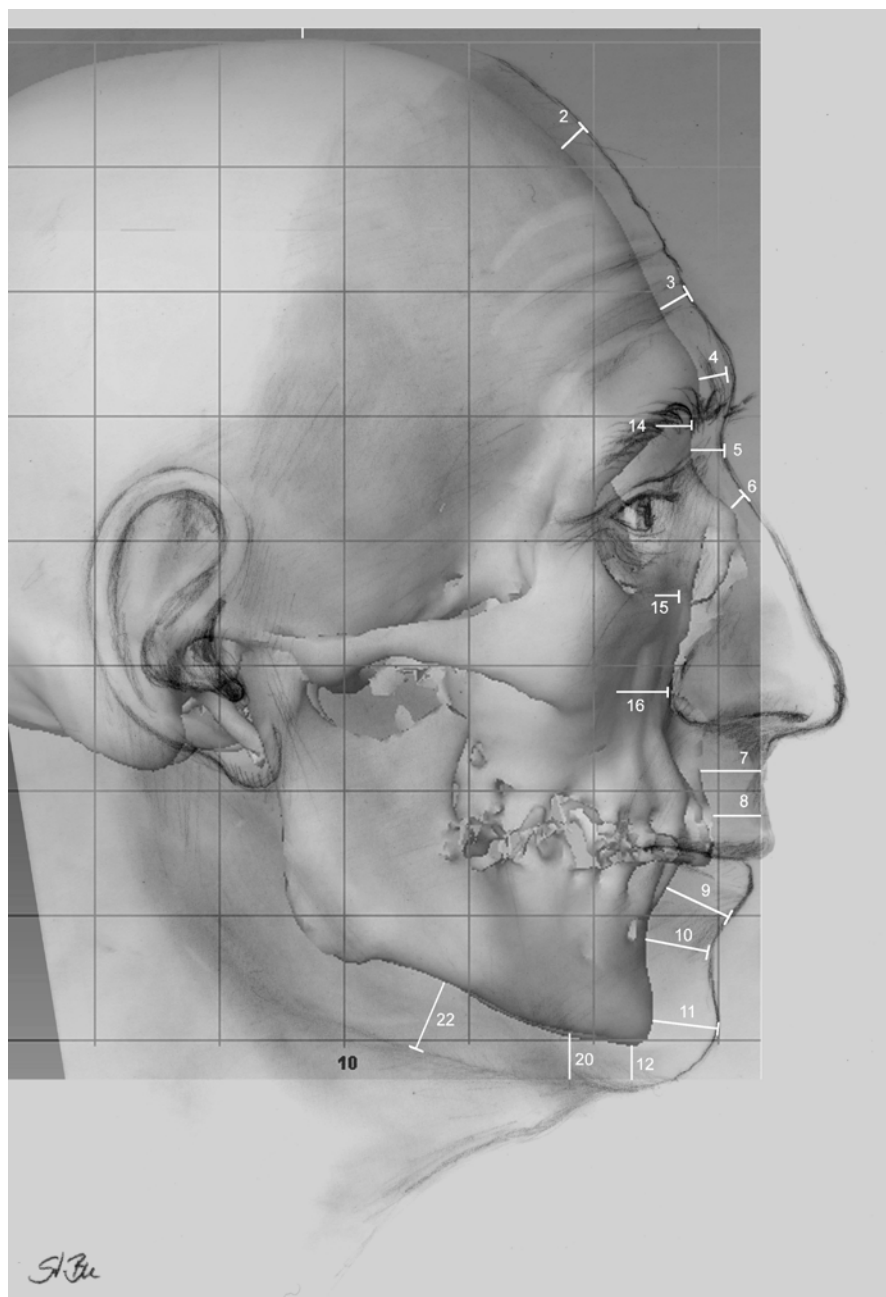


Abb. 7.3. Handzeichnung auf Schädel mit Weichteilmарken zum Ringversuch



Abb.7.4. Übungen zum Muskelaufbau des Schädels (FBI Lehrgang 2002)

renten Zeichnungsschicht sichtbar bleibt und somit ständig die Maßhaltung überprüft werden kann (Abb. 7.3).

Bei der Anfertigung der Plastiken ist hingegen ab einem bestimmten Zeitpunkt die gesamte Schädeloberfläche von dem Modelliermaterial bedeckt und man hat nur noch die vereinzelt Weichteilmarken zur Orientierung. Wenn dann noch weiter an der Gesichtsoberfläche modelliert wird und der Bezug zur Schädeloberfläche fehlt, können ungewollte Verschiebungen in den Weichteildicken entstehen, die bei dem Ringversuch die leichten Abweichungen verursachten. Außerdem gehören sehr viel Fingerfertigkeit, Erfahrung und auch eine gute Ausbildung dazu, ein realistisches Abbild eines menschlichen Gesichtes zu schaffen.

Bei den plastischen Modellierungen gehen einige Rekonstrukteure wie Gerassimow vor: Sie modellieren erst die Muskeln auf den Schädel und überziehen sie dann mit einer zweiten Schicht, die der Haut- und Fettgewebeschicht entspricht. Andere Rekonstrukteure arbeiten nach der „amerikanischen Methode“ und modellieren gleich die gesamte Weichteilstärke in einem Arbeitsgang. Aber auch bei dieser Methode müssen die Rekonstrukteure den Muskelaufbau beherrschen und mit berücksichtigen (Abb. 7.4).

## 7.4

### Arbeitsschritte einer Gesichteweichteilrekonstruktion

#### 7.4.1

##### Faktensammlung und Recherchen

Jeder Rekonstruktion gehen zuerst umfangreiche Recherchen und Faktensammlungen voraus, die in einem Protokoll mit der Festlegung des Konstitutionstypen und der Weichteildicken münden.

### **Informationen von den Ermittlungsbehörden**

Von den Ermittlungsbehörden (Polizei oder Staatsanwaltschaft) sollte der Rekonstrukteur so viele Angaben wie möglich erhalten, zur Auffindsituation, zu den bisherigen Ermittlungsergebnissen, zur Eingrenzung des möglichen Personenkreises des unbekanntes Toten, zu den Bekleidungsstücken oder Gegenständen, welche die Person mit sich führte u. ä. Sofern Fotografien von der Leiche am Auffindeort und von den Bekleidungsstücken vorhanden sind, sollten diese mit übergeben werden. Jede unbekanntes tote Person müsste generell – unverändert in der Auffindsituation – im Kopfbereich vollständig von allen Seiten fotografiert werden. Diese Aufnahmen zeigen meist noch vorhandene Reste von Weichteilen, Haaren, Augenbrauen oder Bartwuchs sowie Ohren- oder Nasenformen, die später am gesäuberten Schädel nicht mehr erkennbar sind.

Die Asservatenliste der getragenen Bekleidung oder der mitgeführten Gegenstände kann manchmal Hinweise zu den Lebensumständen der unbekanntes Person liefern. Wenn z. B. ein Unbekanntes in seinen Taschen Nähzeug, zwei Telefonkarten, eine Eintrittskarte von einem Tierpark, eine Cremedose, einen Kugelschreiber u. a. mit sich führt, und eine so genannte Holzfällerjacke, ein angerautes Hemd mit Stickerei und mehrere Schichten Unterwäsche bzw. T-Shirts übereinander trägt, deutet das darauf hin, dass diese Person sich viel im Freien, in der Natur und vielleicht auch längere Zeit von zu Hause entfernt aufhält. Dieser Person würde man bei der Rekonstruktion eine mehr „wettergegerbte“ und stärker gebräunte Haut zeichnen, als einer Person, die sich den ganzen Tag im Büro aufhält. Außerdem geben die Bekleidungsstücke Auskunft über die Konfektionsgröße der Person und lassen so Rückschlüsse auf die wahrscheinlichen Weichteildicken zu.

### **Informationen aus der Rechtsmedizin**

Auch aus dem Bereich der Rechtsmedizin sollten alle Angaben, der vollständige Obduktionsbericht sowie alle Fotografien, die dort entstanden sind, mit übergeben werden. Da die Gesichtswichteilrekonstruktion oft erst mehrere Tage oder Wochen nach dem Auffinden der Leiche und nach der Obduktion in Auftrag gegeben wird, gibt es außer auf Fotos keine Chance mehr, den Toten im Auffindezustand zu betrachten. Im Obduktionsbericht müssen Angaben zu Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, eventuell zur möglichen ethnischen Herkunft und zur Liegezeit enthalten sein. Leider fehlen oft Informationen zur ethnischen Herkunft oder die Angaben zum Alter sind nur ungenau. Es ist nicht hilfreich, wenn Angaben, die am Skelett nicht eindeutig erkennbar sind, durch unpräzise Angaben oder breite Schwankungsbereiche ersetzt werden.

In einem Fall eines weiblichen Skelettes hatte die Rechtsmedizin ein Alter von 30 +/- 10 Jahren angegeben. Die Person war letztlich 54 Jahre alt, als sie verschwand. Bei solchen Abweichungen sind dann realistische Rekonstruktionen schwer erreichbar. Inzwischen gibt es hinreichende Möglichkeiten, um die Herkunft (Isotopengutachten oder DNA) und das Alter über die TCA-Analyse (*tooth cementum annulation*) bis auf 2,5 Jahre genau zu bestimmen. Je präziser diese Informationen sind, desto realistischer kann auch das Abbild auf der fertigen Rekonstruktion werden (Abb. 7.5).

Neben den Ermittlungsergebnissen wird selbstverständlich der Schädel mit Unterkiefer benötigt. Beide liegen für die Rekonstruktionsarbeit gereinigt vor. Die Zähne müssen vollständig mit übergeben werden oder es muss ersichtlich sein, ob Zähne schon beim Auffinden fehlten oder nachträglich entnommen wurden. Sollte der Tote schon zu Lebzeiten eine markante Zahnlucke gehabt haben, kann diese bei der Rekonstruktion durch einen leicht geöffneten Mund als spezielles Merkmal sichtbar gemacht werden.

In manchen Fällen wird der Oberkiefer während der Obduktion abgesetzt, um ihn an einen Zahnarzt zur Begutachtung weiterzuleiten. Hier muss unbedingt darauf geachtet werden, dass dabei nicht der vordere Nasenstachel (*spina nasalis anterior*) zerstört wird. Dieser Knochen ist bei

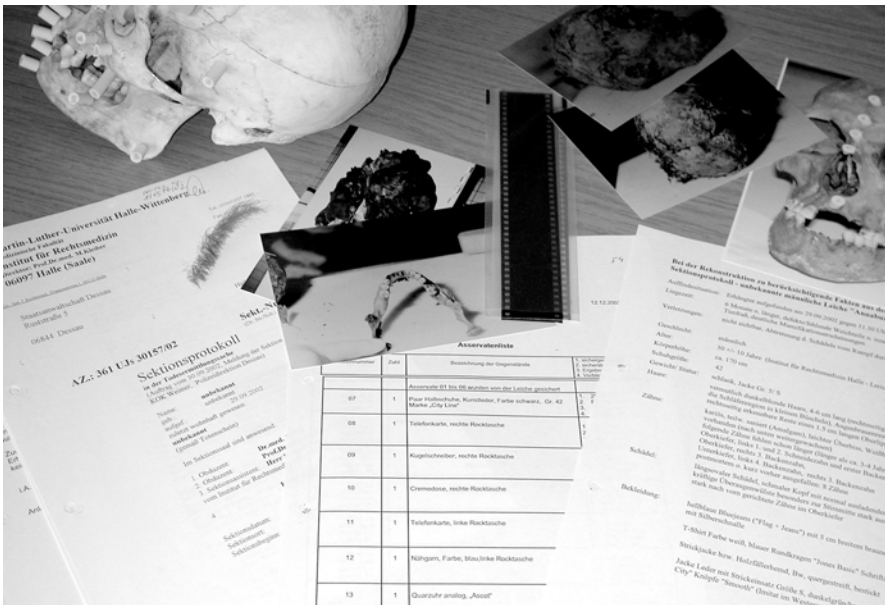


Abb.7.5. Recherchieren in allen Informationen und Unterlagen

der Gesichtsrekonstruktion von großer Bedeutung für die Nasenform. Bei seinem Fehlen können kaum noch Aussagen über die Nasenlänge bzw. Nasenform gemacht werden (Abb. 7.6).

Besser wäre es natürlich, wenn die Kiefer möglichst unzerstört blieben. Die Erfahrung lehrt, dass die Rechtsmedizin in Einzelfällen mit der korrekten Beurteilung des Zahnstatus überfordert ist und manche Zahnarbeiten in passender Zahnfärbung nur durch den Zahnmediziner erkannt werden. Haarreste sind ebenfalls für den Rekonstrukteur interessant, da er sich so ein Bild von der Struktur, der Länge und eventuell der Farbe der Haare machen kann. Zusatzinformationen, wie aufgefundene Brillen, Kopfbedeckungen, nachträgliche Rasuren oder auch Informationen zu Verfärbungen im Gesicht, ob zu Lebzeiten vorhanden oder postmortal entstanden, sind unbedingt zu übermitteln.

In einem Fall der Rekonstruktion des Gesichtes eines schwer verletzten unbekanntes Mannes, hatte der Erfolg einige Tage auf sich warten lassen, weil die ermittelnden Beamten ein Foto von einem glatt rasierten Mann beim Rekonstrukteur abliefern. Der Mann trug aber bei seiner Einlieferung einen Vollbart, der ihm im Krankenhaus wegen seiner Gesichtsverletzungen abrasiert wurde. Außerdem lag im Nachttisch desselben Verletzten seine Brille, von der die ermittelnden Beamten nichts ahnten. Werden zwei derart markante Merkmale wie Vollbart und Brille nicht gezeichnet, verändert das den Menschen gänzlich und die Wiedererkennung wird unnötig erschwert.

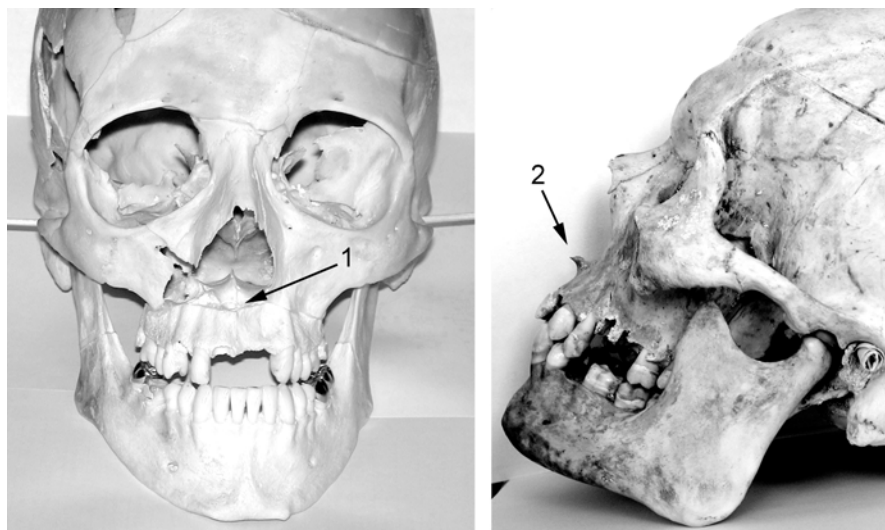


Abb. 7.6. abgesetzter Oberkiefer mit zerstörter *spina nasalis anterior* (1) und vorhandener *spina nasalis anterior* (2)

## **Recherchen**

Sehr hilfreich für einen Rekonstrukteur ist die Zugriffsmöglichkeit auf große Datenbanken mit Lichtbildern von Personen unterschiedlichen Alters, Geschlechts, Gewichts und unterschiedlicher Nationalität. In den meisten Polizeibehörden stehen interne Datenbanken mit den Profil-, Porträt- und Halbprofilabbildungen von erkennungsdienstlich erfassten Personen verschiedener Nationalitäten zur Verfügung. Diese stellen wenigstens eine gewisse Variationsbreite und eignen sich daher zur Vorbereitung einer realistischen Rekonstruktion. Hier kann man sich eine große Anzahl von Personenlichtbildern anzeigen lassen, die das gleiche Alter, Geschlecht oder auch die gleiche Nationalität wie die aufgefundene Person haben. Während der Durchsicht dieser Lichtbilder bekommt man ein Gefühl für die entsprechenden Alters- oder auch ethnischen Merkmale der gesuchten Person. Man erkennt die Besonderheiten, die diese Altersgruppe oder bzw. Nationalität auszeichnen.

Ist von einer längeren Liegezeit des Toten auszugehen, werden Recherchen zu den Haartrachten angestellt, die zu der Zeit modern waren, als die Person verschwand. Es ist wichtig, dass man das letzte Aussehen der Person zu Lebzeiten so realistisch wie möglich wiedergibt, damit Verwandte und Bekannte sich angesprochen fühlen und erinnern.

### **7.4.2**

#### **Protokoll**

In einem Protokoll werden sämtliche, für die Rekonstruktion relevanten Fakten niedergeschrieben und der passende Konstitutionstyp ausgewählt. Nach diesen Konstitutionstypen und dem voraussichtlichen Alter der Person werden anhand der Maßtabellen (Helmer 1984) die Weichteildicken für den vorliegenden Schädel festgelegt. Im Protokoll wird darauf hingewiesen, welche Fakten durch den Schädel oder Fundstücke vorgegeben wurden und welche Rekonstruktionsmerkmale am unbekanntem Toten nicht ablesbar waren. (Sofern keine Haarreste auf den Lichtbildern der Leiche sichtbar waren, sind z. B. alle Haartrachten, wie Kopfhaar, Augenbrauen und Bart frei erfunden.). Dieses Protokoll erhält die Ermittlungsbehörde später gemeinsam mit der Gesichtswichteilrekonstruktion.

### **7.4.3**

#### **Vorbereiten des Schädels**

Der Unterkiefer wird anatomisch korrekt in die Gelenkpfannen eingesetzt, kleine Knetepolster ergänzen hierbei die fehlende Knorpelmasse. Er wird

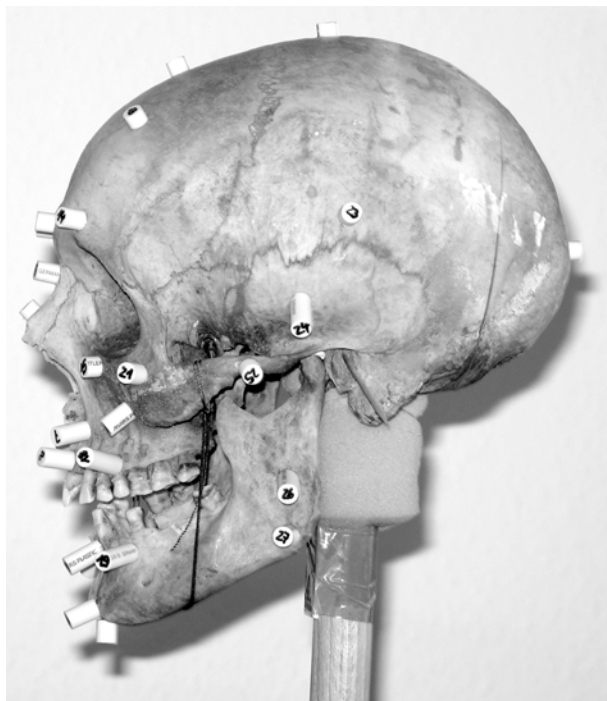
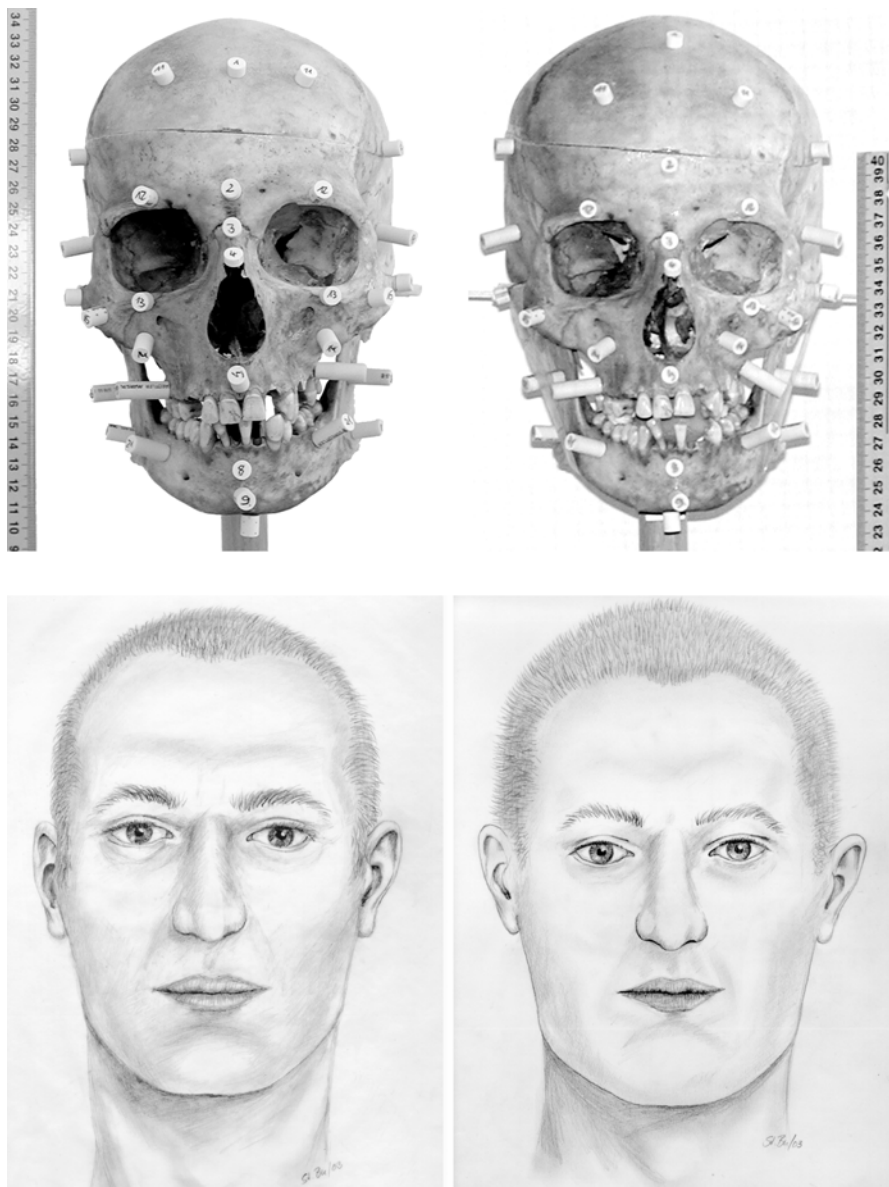


Abb.7.7. Befestigung des Unterkiefers



Abb.7.8. Schneiden der Weichteilmarken



**Abb.7.9.** Gleicher Schädel aus 1 m und 3 m Entfernung fotografiert und gezeichnet – der aus 1 m Entfernung fotografierte Schädel war bei gleicher Höhe 15 mm schmaler, als der andere



mit kleinen Federn oder Bändern am Schädel aufgehängt. Die Zähne bleiben etwa 2 mm geöffnet, um eine entspannte Mundhaltung zu simulieren.

Danach wird der Schädel auf einer Halterung befestigt (Abb. 7.7).

Die Weichteilstärken, die im Protokoll für diesen unbekanntenen Toten festgelegt wurden, werden geschnitten, mit den Nummern der Messpunkte versehen und auf die entsprechenden Stellen des Schädels geklebt (Abb. 7.8).

Zum Abschluss wird der Schädel in „Frankfurter Horizontale“ (die Unterkante der linken Augenhöhle bildet eine Ebene mit der Oberkante des äußeren Gehörgangs) aus einem Abstand von mindestens 2,5 m fotografiert. Wird diese Entfernung nicht eingehalten, treten Verzerrungen in den Gesichtsproportionen auf (Abb. 7.9).

#### 7.4.4

### Anfertigung einer Rekonstruktionszeichnung

Die Rekonstruktionszeichnung kann sowohl als Handzeichnung auf Transparentpapier, als auch im Computer mit einem Bildbearbeitungsprogramm bzw. Phantombildprogramm erarbeitet werden. Für die Handzeichnung wird der fotografierte Schädel im Maßstab 1:1 ausgedruckt und der Ausdruck mit Transparentpapier überdeckt. Darauf werden nach den Vorgaben



Abb. 7.10. Handzeichnung auf Transparentpapier

der Weichteilmarken und den anatomischen Gegebenheiten des Schädels die Konturen und Merkmale des Gesichtes gezeichnet (Abb. 7.10).

Dabei gibt der Schädel genau die Proportionen, Lage und Größe der einzelnen Gesichtselemente vor. Man beginnt meist mit dem Schädelumriss und mit den Augen. In den Augenhöhlen sind die Muskelansätze erkennbar, an denen die Muskeln der Augenlider befestigt sind. Auf diesen Punkt laufen die äußeren Augenlider zu, die inneren Augenlider sitzen über dem Tränenkanal. Die Augäpfel sind mittig in der Augenhöhle ausgerichtet und haben einen Durchmesser von ca. 25 mm. Die Iris hat eine durchschnittliche Größe von 11 mm. Die Unterkante der Iris schließt mit der Oberkante des Unterlides ab, die Oberkante der Iris wird meist durch das Oberlid verdeckt.

Die Aufzählung aller morphologischer Merkmale und deren zeichnerische Umsetzung würde hier den Rahmen sprengen. Eine detaillierte Anleitung ist bei Taylor (2001) nachlesen und an der nachfolgenden Rekonstruktionszeichnung nachvollziehbar (Abb. 7.11).

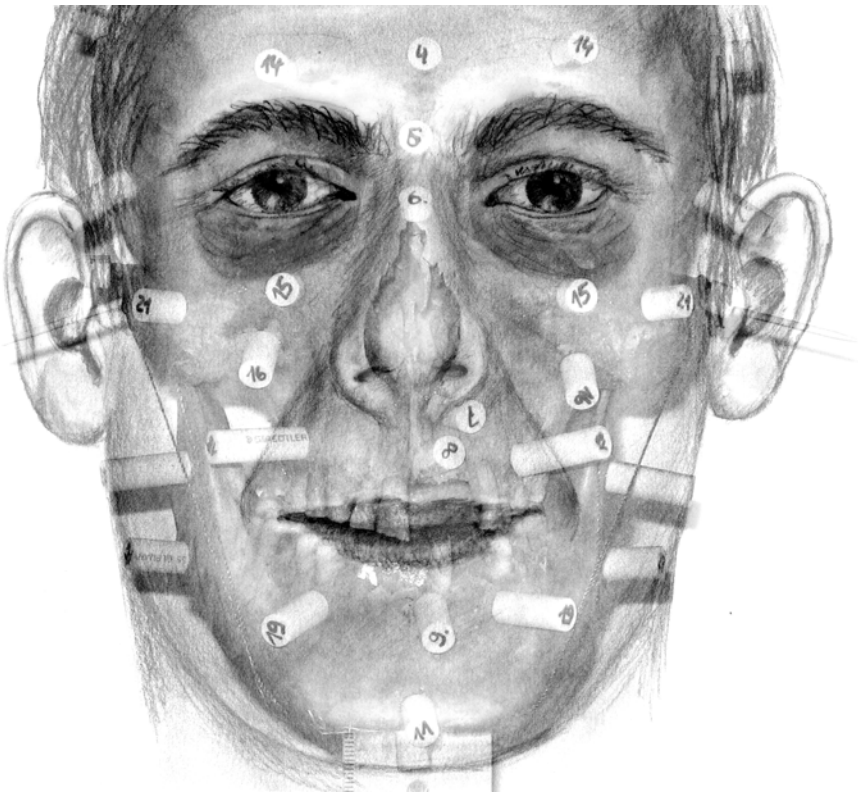


Abb. 7.11. Positionierung der Gesichtsmerkmale

Bei einigen Rekonstruktionen nutzt man die in Deutschland verbreitete Phantombildsoftware „ISIS“ oder „Facette“. Bei der Zuhilfenahme dieser Computersoftware wird der fotografierte Schädel als eine Ebene zu Grunde gelegt und mit transparenten oder vollflächigen Einzelementen eines Gesichtes, wie Augen, Nase, Mund usw. überdeckt. Die Gesichtsteile werden dann in ihrer Größe und Lage verändert, bis sie den Größenproportionen des Schädels entsprechen. Diese Methode ist m. E. etwas weniger genau, denn die einzelnen Elemente können in diesen Programmen meist nur in ihrer Größe skaliert oder im Ganzen gedreht werden. Dadurch finden die sichtbaren Muskelansätze am Schädel oft nur unzureichende Beachtung.

Nachdem alle Elemente angeordnet sind, stellt man sowohl bei der Handzeichnung als auch im Computerbild mit Hilfe von zusätzlichen Furchen und Falten das Alter und bei der Handzeichnung durch Schattierungen die Plastik (Fülle) des Gesichtes dar.

Sind keine Informationen zu den Haaren vorhanden, ist es ratsam die Rekonstruktionszeichnungen mit verschiedenen Haartrachten zu versehen. Da Europäer sehr unterschiedliche Haarfarben, -längen, -strukturen und Frisuren tragen, achtet man bei der Wiedererkennung sehr stark auf diese Details. Wenn das Fahndungsbild nicht annähernd die richtige Frisur zeigt, werden Angehörigen eines unbekanntes Toten trotz realistisch dargestellter Gesichtsmarkmalen diesen kaum identifizieren. Anders ist das bei Asiaten oder Afrikanern. Sie haben oft ähnliche Frisuren und achten deshalb mehr auf die Proportionen und Einzelmerkmale des Gesichtes. Interessante Forschungsergebnisse hierzu sind bei Köhnken u. Sporer (1990) sowie Meurer u. Sporer (1990) nachzulesen.

## 7.4.5

### **Anfertigung einer plastischen Rekonstruktion**

In manchen Fällen wird durch die Ermittlungsbehörden eine plastische Rekonstruktion angefordert. Sie bietet den Vorteil, dass sie z. B. bei Fernsehahndungen dreidimensional betrachtet werden kann. Allerdings sind hier Herstellungsaufwand und Kosten wesentlich höher. Für die Plastik werden mindestens 3 Wochen reine Arbeitszeit benötigt, zusätzlich noch Zeit zur Materialbeschaffung, da Augen und Haare auf den jeweiligen Fall abgestimmt, einzeln beschafft oder sogar angefertigt werden müssen. In Kriminalfällen wird die Rekonstruktion direkt auf dem Originalschädel angefertigt und nach der Fahndung wieder abgenommen.

Für die 3D-Rekonstruktion werden alle bisher beschriebenen Arbeitsschritte, incl. Zeichnung, ebenfalls durchlaufen, da die Recherchen und eine erste bildliche Vorstellung des Gesichtes wichtige Grundlagen für die spätere Modellierarbeit bilden. Kopien der Rekonstruktionszeichnung wer-



Abb. 7.12. Positionierung der Augen

den genutzt, um zeitgleich passende Augenbrauen, Bärte und Perücken anhand des Bildes anfertigen zu lassen. Augenprothesen können im Vorfeld beschafft werden und die wichtigsten Grundfarben immer im Lager sein. Meist ist am Toten die konkrete Augenfarbe nicht mehr ersichtlich, so dass man eher einen Typ (hell oder dunkel) darstellt und möglichst gedeckte Grundfarben mit unauffälligen Iriszeichnungen für die Augen wählen sollte.

Arbeitsanleitungen für die plastische Rekonstruktion sind von Taylor (2001) ausführlich beschrieben, so dass hier nur eine kurze Ablaufübersicht gegeben wird.

Auf dem Schädel oder einem Schädelmodell wird bis in Höhe der Oberkante der Weichteilmarnen das Modelliermaterial aufgetragen. Dabei können entweder die Muskeln separat modelliert und später mit einer weiteren Schicht aufgefüllt werden (anatomische Vorgehensweise nach Gerassimow)



Abb. 7.13. Auffüllen der Weichteile

oder die gesamte Weichteilstärke in einem Arbeitsgang aufgebracht werden (amerikanische Methode).

Man beginnt mit dem Einsetzen der Glasaugen, modelliert dann die gesamte Hautoberfläche und zum Schluss Mund, Nase und Ohren. Einige Detailaufnahmen von der Entstehung einer plastischen Rekonstruktion sind im Folgenden abgebildet (Abb. 7.12 – 16).

Bei der Wahl des Modelliermaterials muss man bedenken, dass einige Materialien beim Trocknen schrumpfen und dieses beim Auftragen der Weichteilstärke berücksichtigen. Verschiedene Rekonstrukteure haben eigene Materialmischungen entwickelt, welche die jeweils besten Bedingungen für den angestrebten Zweck erfüllen. Rekonstruktionen für Museen werden meist aus einer wachs- oder kunststoffhaltigen Mischung angefertigt; beim FBI oder den hiesigen Polizeibehörden wird normale Knete

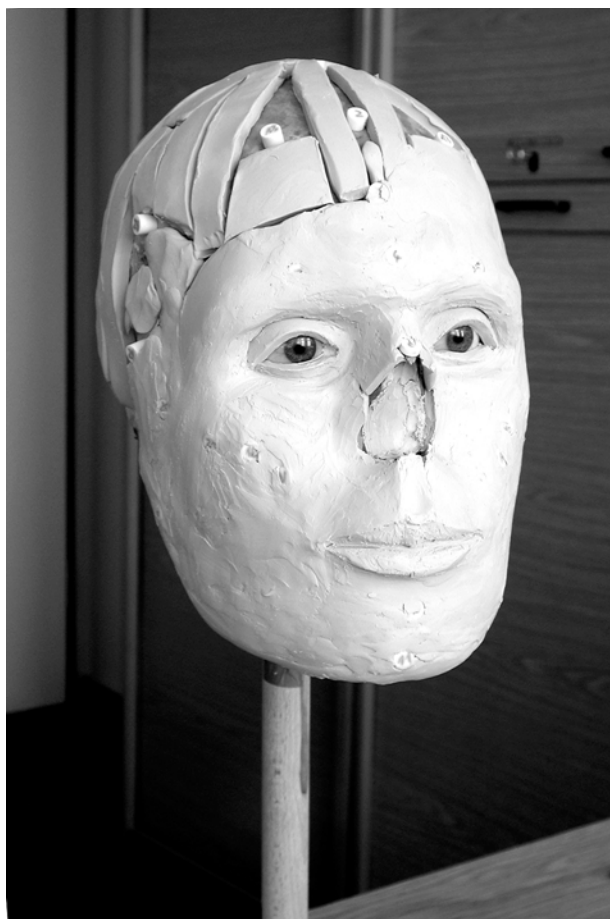


Abb. 7.14. Modellierung der Hautoberfläche

verwendet. Diese schrumpft nicht, bleibt aber ständig weich und muss dadurch beim Transport besonders geschützt werden.

Die fertig modellierten Köpfe sollten zum Abschluss mit Augenbrauen und einer passenden Perücke versehen werden, um eine möglichst realistische Darstellung zu erreichen. Einige Rekonstrukteure schminken die Köpfe während der Endbearbeitung oder geben der Oberfläche durch Aufpressen von Sandpapier oder Orangenschalen noch eine hautähnliche Struktur.

Im Studio der Bildhauerin Elisabeth Daynès werden den Rekonstruktionen der Urmenschen außer den Hautleisten auch Sommersprossen, kleine Furchen und Narben verliehen. Durch das Einpflanzen von echtem Menschenhaar als Körperbehaarung, täuschendechten Fingernägeln u. a. be-

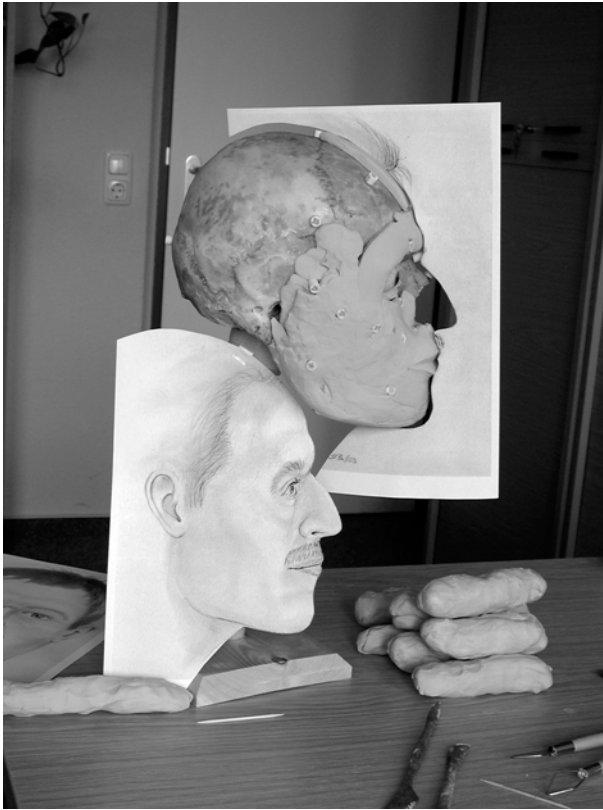


Abb.7.15. Überprüfung der Maßhaltung am 1:1 Ausdruck der Profilzeichnung



Abb.7.16. Festlegen der Position der Nasen-Mund-Furche

geistern diese Ausstellungsstücke jeden Museumsbesucher. Solche Details entspringen völlig künstlerischer Phantasie und Freiheit.

### 7.4.6

#### Dreidimensionale Rekonstruktion per Computersoftware

In den letzten Jahren wird verstärkt an der Entwicklung von Software gearbeitet, die es ermöglicht, dreidimensionale Gesichtswichteilrekonstruktionen durchzuführen. Während der GWR-Konferenz 2003 stellten z. B. das Kriminalistische Institut Prag sowie die Universität Manchester erste Ergebnisse vor. Der Rhein/Ahr Campus Remagen entwickelte gemeinsam mit der Stiftung „caesar“ in Bonn ein System zur ultraschnellen Gesichtsprüfung mittels Holografie. Die holografisch ermittelte Gesichtstopografie dient gemeinsam mit Aufnahmen aus dem MRT als Grundlage für die Vermessung von Weichteildicken europäischer Versuchspersonen. Diese fein gerasterte Datenerhebung kann den notwendigen Datenbestand für weitere Softwareentwicklungen auf dem Gebiet der 3D-Gesichtswichteilrekonstruktion liefern (Abb. 7.17). Weiterhin beschäftigt sich die Stiftung „caesar“ mit der Herstellung von dreidimensionalen Schädelkopien aus Kunststoff mittels „caesar-Rapid-Prototyping“. Diese so hergestellten Modelle nutzt man, um historische Funde in Vorbereitung einer Rekonstruktion nachzubilden und die Originalschädel unangetastet zu erhalten. Der Vorteil ist, dass bei dieser Methode fehlende Knochenelemente im Vorfeld ergänzt werden können und der Schädel komplett zur Verfügung steht. Einige Software-Hersteller haben sich intensiv mit der menschlichen Mimik beschäftigt, um realitätsnahe Computerspiele oder Trickfilme herzustellen. Auch diese Firmen versuchen teilweise ihre

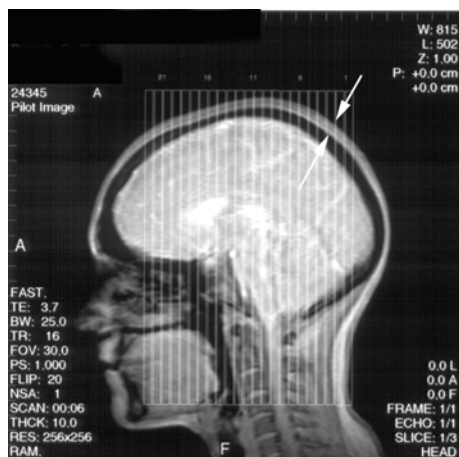


Abb. 7.17. MRT-Aufnahme als Hilfsmittel zur Ermittlung der Weichteilstärken



Technik für 3D-Rekonstruktionen abzuwandeln und zur Verfügung zu stellen.

Die entwickelten Programme verfolgen teilweise verschiedene Ziele: einerseits sollen sie der exakten Vermessung von Weichteilstärken an lebenden Personen dienen, andererseits fertige Rekonstruktionsergebnisse liefern.

Während die Programme zur Vermessung der Gesichter oder für den medizinischen Bereich schon sehr ausgereift sind, stecken die Rekonstruktionsprogramme meist noch in den Kinderschuhen. Da das menschliche Gesicht starke Reliefs aufweist und der Schädel an manchen Punkten keine greifbare Oberfläche bietet (z. B. in den Augenhöhlen), ist es sehr schwierig, die Hautoberfläche automatisch berechnen zu lassen. Außerdem sehen viele Rekonstruktionsergebnisse noch sehr steril und künstlich aus. Dies erschwert die Wiedererkennung durch Zeugen. Sicher wird auf diesem Gebiet zukünftig weiterhin intensiv geforscht, so dass in den nächsten Jahren vermutlich gute Hilfsmittel für die Rekonstrukteure zur Verfügung stehen werden.

#### **7.4.7**

### **Öffentlichkeitsfahndung**

Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass die Art und Weise der Öffentlichkeitsfahndung sehr wichtig für eine Identifizierung der unbekanntenen Toten ist. Hier spielen oft kleine Details eine große Rolle. Häufig ist der Platz in den Tageszeitungen, der für polizeiliche Fahndungen zur Verfügung steht, sehr begrenzt. Trotzdem sollten, sofern mehrere Varianten von Rekonstruktionszeichnungen vorhanden sind, alle Abbildungen veröffentlicht werden. Der Grund liegt in dem erwähnten Phänomen, dass unbekannte Tote nur wiedererkannt werden, wenn auch die Frisur vergleichsweise realistisch getroffen wird. Zusätzlich zu den Abbildungen führt auch eine detaillierte Beschreibung der Bekleidung und sämtlicher zusätzlicher Erkenntnisse leichter auf die Spur des Toten. Außerdem dürfen die Abbildungen nicht zu klein dargestellt werden, um Details und Schattierungen trotz der Rasterung der Zeitung noch deutlich abzubilden.

Es reicht aus, die Rekonstruktionszeichnungen in schwarzweiß abzu drucken oder auch im Fernsehen zu veröffentlichen. Dies hat mehrere Vorteile. Da die konkrete Augenfarbe meist nicht mehr feststeht, kann der Betrachter nicht durch eine falsch gewählte Irisfarbe in die Irre geführt werden. Dies trifft auch auf alle anderen Farbgebungen des rekonstruierten Gesichtes und der Haare zu. (Z. B. erschienen bei der Veröffentlichung einer plastischen Rekonstruktion in Presse und Fernsehsendungen die Haare in der Studioubeleuchtung und auf allen Farbaufnahmen rotstichig. Darauf-



Abb. 7.18. Über die Tagespresse identifizierte Unbekannte

hin gingen verstärkt Hinweise auf rothaarige Vermisste ein, obwohl die gesuchte Person mittelbraunes Haar hatte und dieses bei der Beschreibung auch ausdrücklich erwähnt wurde.)

Besonders wichtig ist es, im richtigen territorialen Gebiet zu fahnden. Die Suche darf nicht nur auf begrenztem Raum stattfinden, sondern sollte zumindest über das gesamte Bundesgebiet ausgedehnt sein. Viele Tote werden nach der Straftat in ein anderes Gebiet verbracht, so dass die Familienangehörigen einer vermissten Person oftmals keine Chance haben, den Fahndungsaufruf in der Tagespresse des Auffindeortes zu lesen (Abb. 7.18).

Eine Möglichkeit wäre auch die Schaffung eines zentralen Internetportals, auf der sowohl alle Fahndungsaufrufe der Polizei als auch Vermisstenanzeigen von Privatpersonen zusammenlaufen. Dort könnte man Fotos gesuchter Personen, unbekannter Toter und Rekonstruktionen veröffentlichen.

## 7.5 Schlussbetrachtung

Die regelhaften Beziehungen zwischen Weichteilbedeckung des Gesichtes und der knöchernen Unterlage erlauben es, trotz gewisser intuitiver Elemente bei der Rekonstruktionsarbeit, ein hinreichend realistisches Abbild des Toten zu schaffen. Der Rekonstrukteur erhält die Chance, mit seiner

Arbeit an der Identifizierung unbekannter Toter mitzuwirken oder auch historische Funde wieder zu beleben.

Grundbedingung ist, dass der Rekonstrukteur den Blick für Details entwickelt, künstlerische Erfahrung und anatomisches Grundwissen besitzt und sich an wissenschaftliche Vorgaben hält. Eine weitere Verbesserung der wissenschaftlichen Grundlagen der Rekonstruktionsarbeit mit dem Ziel der schnellen Erkennung durch die Angehörigen, ist durch Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen Rechtsmedizin, Anthropologie, Polizei und den Künstlern möglich.

## Literatur

- Bundeskriminalamt (DE); Landeskriminalamt Brandenburg (DE); Kriminalistisches Institut (CZ); Forensisches Institut (NL) (Hrsg) (2004) Die Gesichtswichteilrekonstruktion – Tagungsband der 1.Internat Konferenz zur Gesichtswichteilrekonstruktion 2003 in Potsdam. Bundeskriminalamt Wiesbaden
- Burrath S (2004) Gesichtswichteilrekonstruktionen im LKA Sachsen-Anhalt, Kriminalistik 58:101–103
- Buzug T et al. (2005) International Conference on Reconstruction of Soft Facial Parts. 2, 2005, RheinAhrCampus Remagen, March 17–18, 2005. Book of Abstracts. – Kreative Konzepte, Remagen
- Gerassimow M (1968) Ich suchte Gesichter: Schädel erhalten ihr Antlitz zurück. Bertelsmann, Gütersloh
- Helmer R (1984) Schädelidentifizierung durch elektronische Bildmischung – Zugleich ein Beitrag zur Konstitutionsbiometrie und Dickenmessung der Gesichtswichteile. Kriminalistik-Verlag, Heidelberg
- Hunger H, Leopold D (1978) Identifikation. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Köhnken G, Sporer S (1990) Identifizierung von Tatverdächtigen durch Augenzeugen. Verlag für Angewandte Psychologie, Stuttgart
- Meurer Dieter, Sporer S (1990) Zum Beweiswert von Personenidentifizierungen: Neuere empirische Befunde. Elwert, Marburg
- Oberländer R (1878) Der Mensch vormals und heute: Geschichte und Verbreitung der menschlichen Rassen. Reprint d. Orig. Ausg. Leipzig 1878. Reprint Verlag, Leipzig
- Taylor K T (2001) Forensic Art and Illustration. CRC Press, Boca Raton
- Wilkinson C (2004) Forensic Facial Reconstruction. Cambridge Univ Press, Cambridge New York

# 8 Zur forensischen Bedeutung pflanzlicher Makroreste

Ulrich Willerding

## 8.1 Einleitung

Das Vorhandensein von Pflanzen an einem bestimmten Ort gibt häufig Auskünfte über die dort vorhandenen Lebensbedingungen. Das betrifft den physiogenen Bereich der Umwelt ebenso wie den anthropogenen. Daher können mit Hilfe von Pflanzenresten, die bei archäologischen Ausgrabungen erschlossen werden, zahlreiche Erkenntnisse über das naturräumliche Potenzial und dessen Nutzung durch den Menschen gewonnen werden. Pflanzen und ihre bestimmbareren Teile lassen sich daher als Indikatoren früherer Lebens- und Umweltbedingungen nutzen. Die Ergebnisse einer möglichst weitgehenden Bestimmung der festgestellten Pflanzenteile und die Auswertung daraus ableitbarer Erkenntnisse führen zu Schlüssen über frühere Vegetationsverhältnisse und Lebensbedingungen der Bevölkerung. Daher liegt es nahe, Funde pflanzlicher Makroreste auch im forensischen Zusammenhang zu untersuchen.

Eine wesentliche Voraussetzung für derartige Untersuchungen und Auswertungen ist die Klärung der Zusammenhänge, die zur Entstehung, Ablagerung und Erhaltung der Belege geführt haben. Auf diese Weise sind die Ursachen für die Präsenz der fraglichen Reste und ihr Repräsentanz-Wert zu klären (Willerding 1991). Derartige, auf kritischen Analysen aufbauende Erkenntnisse ermöglichen dann – meistens gut begründete – Vorstellungen über die Lebens- und Umweltverhältnisse in der Vergangenheit.

In diesem Zusammenhang ergibt sich die Vermutung, dass auch Pflanzen bzw. Teile von ihnen, die möglicherweise im Zusammenhang mit einer Straftat stehen, dazu beitragen können, den betreffenden Sachverhalt aufzuklären. Daher sollte bei der Verfolgung von Straftaten stets auch auf das Vorhandensein von Pflanzen bzw. Pflanzenteilen geachtet werden. Sie können möglicherweise Aufschluss geben über Art, Verlauf und Ort einer strafbaren Handlung. Wegen der vielseitigen Erkenntnismöglichkeiten und

---

Ulrich Willerding: Calsowstraße 60, 37085 Göttingen

ihrem hohen Aussagewert gehören derartige forensische Untersuchungen von Pflanzen zu den regelmäßigen Arbeiten des ermittelnden Personals<sup>1</sup>. Insgesamt werden die forensischen Möglichkeiten, die sich aus den Funden pflanzlicher Makroreste ergeben, wohl noch zu wenig genutzt (Bock u. Norris 1997).

## 8.2

### Material und Methode

Bei Rechtsstreitigkeiten vor Gericht kann den Funden pflanzlicher Makroreste und den aus ihnen abgeleiteten Aussagen große forensische Bedeutung zukommen. Da eine Beurteilung bzw. Verurteilung menschlichen Fehlverhaltens angestrebt wird, ist besondere Sorgfalt bei der Erfassung und Auswertung des pflanzlichen Fundguts nötig. Daher ist eine genaue Prüfung des Materials erforderlich, aus dem das in den strafwürdigen Vorgang involvierte Objekt besteht.

Als Objekte der Untersuchungen pflanzlicher Makroreste kommen alle Teile der Pflanze in Betracht, von der Wurzel bis zur Blüte bzw. Frucht (Willerding 1971). Die Bezeichnung „Großreste“ macht deutlich, dass die zu untersuchenden und forensisch aussagekräftigen Pflanzenteile eine Mindestgröße haben müssen; sie liegt bei einem Durchmesser von ca. 1 mm. Somit werden Früchte und Samen (Diasporen) ebenso erfasst wie Blätter, Knospen und Knospenschuppen, Stängelteile oder Hölzer. Die Größenverhältnisse können allerdings manchmal variieren, was z.B. auf der Entwicklung der Pflanze an unterschiedlichen Standorten beruht. Mit der Größe der zur Analyse bereitstehenden Pflanzenteile hängen die bei ihrer Untersuchung verwendeten Gerätschaften zusammen. Das sind vor allem die Lupe (ca. 10fach) und auch das binokulare Stereomikroskop (bis ca. 120fach). Mit diesen Gerätschaften lassen sich die differenzierenden Merkmale morphologischer Art hinreichend gut erkennen. Falls bei der Bestimmung anatomische Merkmale von Bedeutung sind, müssen diese mit Hilfe entsprechender Mikroskop-Vergrößerungen untersucht werden. Im vorliegenden Beitrag werden daher die Funde von Pollenkörnern und Sporen nicht berücksichtigt. Ihre forensische Bedeutung wird in Kap. 10 behandelt, die Möglichkeiten der neuerdings entwickelten DNS-Analyse (Desoxyribonuclein-Säure) werden von anderer Seite dargestellt.

Zur Absicherung der Bestimmung pflanzlicher Makroreste sollten nach Möglichkeit zuverlässig bestimmte Belege einer Vergleichssammlung mit

<sup>1</sup> Herr Dr. Klaus Berkefeld, LKA Mainz, hat mir manche Hinweise gegeben. Dafür danke ich ihm auch an dieser Stelle herzlich.

rezentem Material herangezogen werden. Kleinere Objekte wie Diasporen (Früchte und Samen), Knospen und Knospenschuppen werden in kleinen Röhren aus Glas oder glasklarem Kunststoff aufbewahrt. Die Beschriftung erfolgt tunlichst auf Millimeterpapier, so dass das Herausnehmen des Vergleichsmaterials unterbleiben kann. Dadurch wird die Gefahr einer Vermischung der Belege verschiedener Arten minimiert. Um die Gefahr der Zerstörung forensisch wichtiger Belege zu reduzieren, empfiehlt es sich, diese mit Hilfe einer spitzen Federstahl-Pinzette oder einem Haarpinsel zu bewegen, bis sie sich in einer günstigen Lage befinden, so dass alle wesentlichen Merkmale erkannt werden können.

Bei der Bestimmung von Blättern und Stängeln erweist sich ein umfassendes Herbar als vorteilhaft, sofern keine frischen Pflanzenteile zu haben sind. Schließlich ist es von Vorteil, wenn zum Vergleich auch Holzstücke mit Rinde und Knospen zur Verfügung stehen, das gilt entsprechend für Mikropräparate mit Holzschnitten.

Das im Zusammenhang mit einer Straftat geborgene pflanzliche Belegmaterial sollte stets aufbewahrt werden. Es steht dann für Kontrolluntersuchungen zur Verfügung und kann zugleich als Vergleichsmaterial dienen. Für die Aufbewahrung der Pflanzenreste sind wiederum fest verschließbare Behälter aus Glas oder Kunststoff zu verwenden. Wurden die Belege in frischem bzw. feuchtem Zustand geborgen, sollten sie feucht aufbewahrt werden (Bhatia et al. 1973). Zur Konservierung hat sich eine Mischung von Methanol, Glycerin und destilliertem Wasser bewährt (1:1:1). Eventuell kann noch etwas Thymol hinzugegeben werden. Sehr gut ist die von Kučan (1991) beschriebene Methode, bei der die Pflanzenteile mit Polyethylenglykol getränkt werden. Sie eignen sich dann auch für Ausstellungen. Liegen nur mikroskopisch kleine Belege vor, so sind Mikropräparate anzufertigen. Das gilt entsprechend für Präparate von unverkohltem Holz, von dem im Mikropräparat möglichst Querschnitt, Längsschnitt und Radialschnitt zu erfassen sind.

Zur Orientierung über die Zugehörigkeit der Belege zu Gattungen bzw. Arten steht eine umfangreiche Bestimmungsliteratur zur Verfügung. Die Veröffentlichungen enthalten häufig Bestimmungsschlüssel und eine Fülle von Abbildungen (Fotos, Zeichnungen, Mikroaufnahmen) der jeweiligen Objekte. Gelegentlich können auch Angaben in botanischen Bestimmungsbüchern hilfreich sein, so z. B. die für Moose und Flechten. Abgesehen von dem umfassenden Werk von Wiesner (1927) handelt es sich meist um Veröffentlichungen, die von verschiedenen Spezialisten stammen, aber auch für kriminal-biologische Untersuchungen gut verwendbar sind. Da die einschlägige Literatur sehr zerstreut ist, wird hier eine Auswahl zusammengestellt. Weil es auch wegen verdorbener Nahrungsmittel zu juristischen Auseinandersetzungen kommen kann, sind dazu einige Veröffentlichungen zu diesem Thema aufgenommen.

**Früchte und Samen (Diasporen):** Beijerinck (1976), Berggreen (1969), Bertsch (1941), Brouwer u. Stählin (1975), Dombrovskaja et al. (1959), Fitschen (2002), Jacomet (1987), Katz u. Katz (1946), Katz et al. (1965), Körber-Grohne (1964 u. 1991), Nesbitt u. Grey (1986, Bibliographie), Nikitin u. Pankova (1982), Schermann (1966), Schoch et al. (1988), Wittmack (1922).

**Blüten:** Godet (1991 u. 1997).

**Blätter:** Bhatia et al. (1973), Godet (1986), Haller u. Bruder (1979), Westerkamp u. Barthlott (1993), Willerding (1969).

**Holz:** Barefoot u. Hankins (1982), Bosshard (1974), Greguss (1938 u. 1955), Grosser (1977), Herrmann (1924), Huber (1951), Kisser u. Sekyra (1938), Müller-Stoll (1936), Sachsse (1977), Schmidt (1941), Schweingruber (1978 u. 1990), Wagenführ (1989), Wagenführ u. Scheibner (1985).

**Baumrinde:** Holdheide (1951), Vaucher (1997).

**Bast und Pflanzenfasern:** Körber-Grohne (1977, 1988).

**Knospen und Knospenschuppen:** Fitschen (2002), Schulz (1999), Tomlinson (1985).

**Wurzeln:** Schröder (1952).

**Pflanzenreste aus Mooren und Torf:** Große-Brauckmann (1972 u. 1974).

**Nahrungs- und Genussmittel:** Gassner (1973), Hahn u. Michaelsen (1996), Moeller (1905).

**Tee und Drogen:** Deutschmann et al. (1979), Diener (1989), Schaffner (1992).

**Ganze Pflanzen:** Cremer et al. (1991), Godet (1991).

**Vorratsschädlinge:** Bartoš u. Verner (1990), Fritsche u. Keilbach (1994), Weidner (1993).

Um zu klären, ob es sich bei der Fundstelle der fraglichen Objekte um den Tatort oder nur um den Fundort handelt, müssen die Lagebeziehungen in Boden, Moor oder Gewässer am Fundort festgestellt werden. Dazu gehört die genaue stratigraphische Aufnahme des Fundkomplexes.

Da die Reste von Früchten und Samen der meisten Arten Mitteleuropas von einer entsprechend kundigen botanischen Fachkraft bis zur Artzugehörigkeit einwandfrei bestimmt werden können, sind Funde dieser Art von besonderem Wert. Dabei kommt es besonders auf die Gestalt der Belege an, die sich mit Hilfe hinreichender morphologischer Kenntnisse bestimmen lassen. Auch die Skulptur der Oberfläche kann einen hohen diagnostischen Wert haben. So kann die Oberfläche von Diasporen z. B. glatt, rau,

behaart, stachelig, glänzend, matt oder mit widerhakigen Borsten versehen sein.

Auch bei Blättern ist eine Fülle differenzierender Merkmale zu beachten. Von den zahlreichen Möglichkeiten der Blattform seien hier nur einige genannt: rund, oval, lanzettlich, linealisch, lappig oder gefiedert (Godet 1986). Da die im Zusammenhang mit Strafdelikten gefundenen Blätter oftmals nicht vollständig erhalten sind, können Merkmale ihrer Oberfläche, des Blattrandes sowie der Anordnung des Adernetzes bei der Bestimmung ebenfalls hilfreich sein. Die Epidermis der Blattoberseite kann ebenso wie die Unterseite kahl oder behaart sein. Die Haare zeigen Unterschiede hinsichtlich ihrer Form (einfach, gegliedert, zusammengesetzt, sternförmig oder schildförmig) sowie ihrer Orientierung (Nakamura 1969). Das wird u. a. bei der Unterscheidung und Bestimmung schmalblättriger Weiden deutlich (Willerding 1969). Die verschiedenen Typen von Spaltöffnungen können bei der Bestimmung der involvierten Pflanzenteile ebenfalls helfen (u. a. Trautmann 1953). Der Blattrand kann beispielsweise glatt, gezähnt, gesägt, drüsig oder lappig sein. Wenn anatomische Untersuchungen erforderlich sind, ist besonders auf die Struktur des Wandaufbaus von Diasporen zu achten. Auch bei der Analyse von Blättern kann es auf die Erfassung der Oberflächen-Skulpturen ankommen (Westerkamp u. Barthlott 1993). Fehlen sie oder sind sie nur vereinzelt vorhanden, so hat die Blattoberfläche ein fast glattes Aussehen; eine stärkere Behaarung ruft je nach der Beschaffenheit der Haare einen weichen oder borstigen Eindruck hervor. Über Unterschiede in der Erhaltung von Blättern, die im Feuchten bzw. Trocknen erhalten geblieben sind, informieren Bhatia et al. (1973). Blattfragmente sind vielfach auch mit Hilfe rasterelektronischer Bilder bestimmbar (Haller u. Bruder 1979).

Selbst die Beschaffenheit von Blattstielen kann bei der Ansprache von Blattresten hilfreich sein. Aus der Fülle möglicher Blattstiel-Typen seien hier nur runde, ovale, flache, rinnige und mit Drüsen versehene herausgegriffen. Vielfach lassen sich auch Funde von Dornen und Stacheln ihren Herkunftsarten zuordnen (Inhülsen 1983). Wie bei der Bestimmung von Pflanzen kommt es auch hier darauf an, durch die Erfassung typischer Merkmale und ihrer charakteristischen Kombination die Zugehörigkeit der Belege zu einzelnen Arten zu ermitteln und abzusichern. Das ist besonders dann erforderlich, wenn die vorliegenden Pflanzenreste fragmentiert sind.

Aus den beiden neuen Atlanten über die derzeitige Verbreitung der Farn- und Blütenpflanzen in Deutschland (Haeupler u. Schönfelder 1988, Benkert et al. 1996) ist zu ersehen, ob die nachgewiesenen Arten heute im betreffenden Untersuchungsgebiet vorkommen. Sonst muss mit einem Diasporen-Transport über eine längere Strecke gerechnet werden.



## 8.3 Befunde und Probleme

Aus den zahlreichen Befunden bei Straftaten werden hier einige herausgegriffen, bei denen die Arbeit eines gut ausgebildeten Biologen von Wert sein kann. Auf Probleme, die sich bei forensischen Untersuchungen ergeben können, wird ebenfalls hingewiesen.

### 8.3.1 Zum Material

Manipulationen an verschiedenartigen Materialien können den Handels- bzw. Gebrauchswert des jeweils betroffenen Objektes verändern. Bei diesen Eingriffen ist zu unterscheiden, ob es sich um Nahrungsmittel, Tee-Mischungen, Medikamente oder um technische Produkte handelt. Zudem kommt es darauf an, ob diese Veränderung des Materials durch Fehlen wichtiger Komponenten, durch Zugabe unpassender bzw. schädlicher oder giftiger Substanzen bewirkt wird. Je nach der Situation kann das betreffende manipulierte Material wirkungslos, gesundheitsschädlich oder bewusstseinsverändernd wirken. Auch eine tödliche Wirkung ist nicht auszuschließen. Für die forensische Arbeit ist es dabei zunächst unerheblich, aus welchen Gründen es zu derartigen Handlungen gekommen ist. Sie können versehentlich, zufällig oder absichtlich erfolgt sein. Das spielt bei der Ermittlung des Sachverhaltes keine Rolle.

Stricke und Seile haben seit jeher eine große Bedeutung im Leben der Menschen gehabt. Sie dienen zu vielerlei Zwecken, so z. B. im Haushalt. Beim Hausbau trugen sie häufig zur Stabilität des Gebäudes bei. Besonders wichtig waren sie aber im Transportwesen, im Bergbau wie auf der Straße. Auf jeden Fall kommt es auch heute noch auf ihre Haltbarkeit und Tragfähigkeit an. Hergestellt wurde das Bindematerial vorzugsweise aus dem Bast von Bäumen. Als besonders geeignet hat sich der Bast von Linde und Eiche erwiesen. Die Verwendung von Bast manch anderer Art kann zu Unfällen und damit verbundenen Schäden führen, weil das verwendete Material bzw. die daraus hergestellten Stricke den Anforderungen nicht genügen. Die Bestimmung von Baum-Basten ist auf mikroskopischem Wege möglich. Dazu verhelfen insbesondere die Angaben von Körber-Grohne (1977). Auch über die Untersuchung von Pflanzenfasern berichtet die Autorin (Körber-Grohne 1988).

An den Samen der Baumwollkapseln entwickelt sich eine Fülle weißer Haare, die ursprünglich der Verbreitung der Samen gedient haben. Bei der Reife der sich dann öffnenden Fruchtkapseln drängen die Baumwoll-Haare aus den Kapseln heraus. Diese Samenhaare stellen das Rohmate-

rial für Watte dar und sind wie die der meisten anderen Pflanzen hohl (Loske 1964). Synthetische Fasern sind dagegen massiv. Durch eine mikroskopische Untersuchung lässt sich klären, ob Baumwoll-Watte oder ein synthetisches Produkt vorliegt bzw. eine Mischung davon.

Ähnliche Probleme ergeben sich gelegentlich bei Holzkohle, die im Handel als Grillkohle angeboten wird. In den Kohle-Packungen soll sich – laut Beschriftung – Holzkohle der Rotbuche befinden. Sie wird zum Grillen bevorzugt. Das hängt zusammen mit dem hohen Heizwert des Buchenholzes, seiner guten Spaltbarkeit und der Sauberkeit im Verbrauch (Herrmann 1990). Dennoch ist gelegentlich Holzkohle anderer, weniger zum Grillen geeigneter Holzarten beigemischt. Das betrifft besonders die Fichte, deren Kohle wegen des hohen Harzgehaltes beim Verbrennen zu unerwünschten Ablagerungen auf dem Grillgut führen kann.

Von beanstandeten und häufig strafbaren Maßnahmen betroffen sind auch andere Materialien. Das ist besonders dann der Fall, wenn es sich um wertvolle Objekte handelt. Dazu können auch pflanzliche Produkte wie exotische Gewürze gehören (Melchior u. Kastner 1974, Moeller 1905). Die waren früher besonders teuer. Gewürzhändler brachten daher häufig pulverisierte Gewürze in den Handel, die oftmals wertlose, nicht deklarierte Beimischungen enthielten. Die Verfälschung gemahlener Pfeffer war so verbreitet, dass in manchen frühen Kochbüchern geraten wurde, Pfeffer nur in Form ganzer Pfefferkörner zu kaufen. Pfefferpulver war häufig gestreckt durch die Zugabe von wertlosem „mulmisch wydenholt“ (Willerding 1985). Da Konsistenz und Färbung beider Pulversorten sehr ähnlich waren, fiel der Betrug oft erst später auf. Entsprechendes ergab sich auch bei ähnlichen Gewürzen, so dass z. B. von Zimt ganze Rindenstück-Rollen und von Vanille ganze Früchte bevorzugt Verwendung fanden. Verfälschungen von Gewürzpulvern lassen sich hervorrufen durch Zugabe anorganischer bzw. organischer Fälschungsmittel. Als solche kommen u. a. Sand, Gips und Kalk in Betracht. Ihre Verwendung verursacht zugleich die Vortäuschung einer größeren Gewürzmenge. Von den zahlreichen organischen Fälschungsmitteln seien Getreidemehl, Sägespäne-Pulver und Olivenstein-Mehl genannt. In jüngerer Zeit können derartige Verfälschungen von Gewürzen mit Hilfe mikroskopischer Analysen entdeckt werden (vgl. u. a. Deutschmann et al. 1979, Moeller 1905).

Verfälschungen anderer Handelsware kommen ebenfalls vor, so z. B. bei Teedrogen. So können bei Teemischungen wesentliche Bestandteile fehlen, unpassende bzw. falsche Heildrogen zugefügt oder durch wirkungslose Trockenpflanzen ersetzt worden sein, so dass die Gesundheit bzw. Heilung beeinflusst wird. Derartige Abweichungen von der normalen Zusammensetzung von Teedrogen können versehentlich, aus Nachlässigkeit oder auch absichtlich erfolgt sein.

Mit besonderer Sorgfalt ist auf Gebrauch und Wirkung psychoaktiver Stoffe zu achten (Alberts u. Mullen 2000). Es handelt sich dabei meist um pflanzliche Stoffe. Sie können zu Desorientierung, Drogenabhängigkeit, akuter oder chronischer Vergiftung, Krankheit und Tod führen. Statt der den Drogenkonsumenten versprochenen und angeblich positiv zu bewertenden „Bewusstseinsweiterung“ kommt es oft zu Depression und Verwirrtheit. Begleitet wird dies häufig durch die Vergrößerung aktueller Problemsituationen und Beschaffungskriminalität. Zur Identifizierung und Beseitigung der entsprechenden Substanzen können genaue mikroskopische bzw. morphologische Analysen der Drogen führen.

Störungen des Wohlbefindens können sich auch als Folge einer falschen Dosierung von Medikamenten ergeben. Dies hängt damit zusammen, dass zahlreiche Medikamente u. a. auch giftige Inhaltsstoffe von Pflanzen enthalten oder solche, die daraus herstellbar sind. Zu den giftigen Pflanzen gehören u. a. so bekannte und verbreitete Arten wie Aronstab (*Arum maculatum*), Eisenhut (*Aconitum napellus*), Maiglöckchen (*Convallaria majalis*), Oleander (*Nerium oleander*), Roter Fingerhut (*Digitalis purpurea*), Seidelbast (*Daphne mezereum*) und Tollkirsche (*Atropa bella-donna*). Diese Pflanzen sind in allen ihren Teilen giftig, besondere Gefahr für Kinder geht jedoch von ihren Früchten aus, die z. T. leuchtend rote Farben haben.

Der Kriminal-Biologe kann wesentlich zur Aufklärung der Zusammenhänge beitragen, die zu einer Vergiftung geführt haben. Auf Grund seiner umfassenden biologischen Kenntnisse ist er in der Lage, Reste giftiger Pflanzen im Umfeld des Tatortes zu erkennen. Das gilt ebenso für die dort wachsenden Pflanzen wie für Pflanzenteile, die von Tee-Mischungen oder anderen Kräuter-Aufsammlungen stammen.

Gesundheitliche Probleme durch die Wirkung pflanzlicher Giftstoffe können sich aber auch in ganz anderen Zusammenhängen ergeben: So werden kleine Kinder oftmals zum Blumenstreuen bei Hochzeiten eingesetzt. Unter den Blüten befinden sich häufig auch solche giftiger Pflanzen. Besonders attraktiv sind dabei stark gefärbte oder duftende Blüten, wie sie z. B. der Blaue Eisenhut bzw. das Maiglöckchen besitzen. Werden solche verlockenden Blüten von den Kindern aufgenommen und verschluckt, so ergibt sich die Gefahr einer Vergiftung. In Anbetracht des geringen Körpergewichtes kleiner Kinder führen schon wenige Teile der genannten Pflanzen zu einer Vergiftung. Dass sich die Ursache in der Streublumen-Mischung befand, wird von vielen Menschen kaum erkannt werden.

Beimischungen giftiger Pflanzen in Tee-Mischungen können zu gesundheitlichen Problemen führen. Entsteht der Verdacht, dass Änderungen der normalen Befindlichkeit (Unwohlsein, Krämpfe, Halluzinationen, Bewusstlosigkeit, Sprachstörungen oder Atemnot) durch die Falschanwendung solcher Medikamente hervorgerufen sein können, muss umgehend ein Notarzt

herangezogen werden. Dem ist die vermutete Ursache der Befindensänderung mitzuteilen und – wo möglich – auch die als Auslöser der genannten Symptome verdächtige Pflanze zu zeigen. Die morphologische bzw. anatomische Analyse einer Tee-Mischung oder einer anderen Kräutermischung durch eine Spezialkraft führt zum schnelleren Einsatz spezifischer Gegenmaßnahmen. Das gilt entsprechend für giftige Pilze bzw. die Reste einer Pilzmahlzeit und natürlich auch für Medikamente.

Manche Gesundheitsschäden und Vergiftungen werden durch Achtlosigkeit versehentlich hervorgerufen. Davon betroffen sind insbesondere Kleinkinder, die dabei sind, ihre Welt zu begreifen und dabei vieles in den Mund stecken. Bei der Klärung der Ursachen solcher Probleme kann die Untersuchung von Pflanzen aus der näheren Umgebung der Kinder beitragen. Hier sind präventive Maßnahmen erforderlich, die von den Eltern und im Kindergarten getroffen werden müssen. Sie betreffen zunächst die Verhaltensweise der Kinder und die richtige Kanalisierung des natürlichen kindlichen Neugier-Verhaltens. Dazu gehört eine möglichst frühe Aufklärung über die Gefahren, die von giftigen Pflanzen und den Allergien hervorrufenden Arten ausgehen.

Auch im Umgang mit lebenden Pflanzen kann es zu allergischen Reaktionen oder zu Vergiftungen kommen (Daunerer 1995, Roth et al. 1994). Das ist nicht verwunderlich, denn in der normalen Umwelt Mitteleuropas gibt es zahlreiche Giftpflanzen. Ihr Anteil in der Flora Mitteleuropas ist sogar erstaunlich hoch. Das gilt für die Arten der natürlichen und der anthropogenen Vegetation in gleicher Weise. Eine kleine Auswahl solcher Arten zeigt, wie verbreitet die Giftpflanzen in den verschiedenen Bereichen des Alltags sind (nach Angaben verschiedener Autoren):

- **Einheimische (ursprüngliche) Flora:** Besenginster (*Sarothamnus scoparius*), Efeu (*Hedera helix*), Eibe (*Taxus baccata*), Roter Fingerhut (*Digitalis purpurea*), Weißer Germer (*Veratrum album*), Scharfer Hahnenfuß (*Ranunculus acer*), Gift-Lattich (*Lactuca virosa*), Bittersüßer Nachtschatten (*Solanum dulcamara*), Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*), Gefleckter Schierling (*Conium maculatum*), Sumpfporst (*Ledum palustre*), Tollkirsche (*Atropa bella-donna*), Gemeiner Wacholder (*Juniperus communis*).
- **Anthropogene Flora:** Hanf (*Cannabis sativa*), Klatsch-Mohn (*Papaver rhoeas*), Stechapfel (*Datura stramonium*).
- **Gartenpflanzen:** Engelstropfete (*Brugmansia* div. sp.), Kalifornischer Goldmohn (*Eschscholzia californica*), Rispige Hortensie (*Hydrangea paniculata*), Lebensbaum (*Thuja occidentalis*), Lupine (*Lupinus* div. sp.), Mittagsblume (*Mesembryanthemum* div. sp.), Violette Trichterwinde (*Ipomoea purpurea*).

- **Balkon- und Zimmerpflanzen:** Brunfelsia (*Brunfelsia* div. sp.), Buntnessel (*Coleus blumei*), Hammerstrauch (*Cestrum* div. sp.), Korallenbaum (*Erythrina* div. sp.), Lorbeerbaum (*Laurus nobilis*), Amerikanisches Wintergrün (*Gaultheria procumbens*).

Manche der oben genannten Pflanzen werden zur Herstellung von Medikamenten verwendet. Diese können je nach der betreffenden Pflanzenart beruhigend, aber auch anregend und euphorisierend wirken. Solche Medikamente dürfen allerdings nur in sehr geringer, in der vom Arzt verordneten bzw. auf dem Beipackzettel angegebenen Dosierung verwendet werden. Bereits die Anwendung einer um wenig größeren Menge kann schwerwiegende Folgen haben. Die Intensität der hervorgerufenen Symptome ist häufig unterschiedlich stark und hängt u. a. vom Allgemeinbefinden der betreffenden Person sowie von ihrem Körpergewicht ab. Daher ist kaum zuverlässig vorauszusagen, welche Symptome der Drogen-Wirkung sich bei unterschiedlichen Menschen einstellen werden. Aus diesem Grund ist es meist auch schwierig festzulegen, bis zu welchen Konzentrationen Drogen medizinisch einzusetzen sind (Hiller u. Melzig 2003). Diese Schwierigkeiten waren bereits in der Antike bekannt und werden schon von Dioscurides im 1. Jh. n. Chr. mehrfach erwähnt (Berendes 1902). Von dort wird diese Kenntnis in die frühneuzeitlichen Kräuterbücher weitergegeben. So schreibt z. B. Matthioli (1626) unter Bezugnahme auf Plinius, dass eine Zubereitung von Kraut oder Wurzeln des Eisenhutes mit Wein dem Menschen bei einem Stich von Skorpionen zwar hilft, aber „daß Kraut dem Menschen in Leib gebe, bringt es in umb. Auch tödtet es die Schweine, Wölfe und andere Thier“. In dieser Situation wurde versucht, Klarheit über das Ausmaß der Giftigkeit dieser Pflanze zu erlangen. Dazu wurden Experimente an Strafgefangenen durchgeführt, die zum Tode verurteilt waren. Wenn sie die Versuche überstanden, wurden sie begnadigt. In diesen Experimenten wurde u. a. die Wirkung verschiedener Gift-Konzentrationen sowie möglicher Gegenmittel geprüft. Dabei ergab sich wiederum, dass die Gift-Empfindlichkeit der einzelnen Probanden von der Kombination mehrerer Faktoren abhängt und somit einen individuellen Wert hat.

Bei vielen Personen kommt es nach der Aufnahme von Drogen zu rauschhaften Zuständen, Halluzinationen und vollständiger Desorientierung. Auf heftige Schmerzen und Krämpfe folgen häufig Störungen im Sprechvermögen und schließlich der Atemstillstand. In vielen mitteleuropäischen Giftpflanzen sind außerdem Inhaltsstoffe enthalten, die einen Schwangerschaftsabbruch herbeiführen. Historische Quellen lassen erkennen, dass es infolge der genannten Dosierungsprobleme nicht nur zur Abtreibung, sondern sogar zu Mord und Selbstmord gekommen ist. Kräutertees wurden auch zur Verhinderung einer Empfängnis verwendet (Kammeier-Nebel 1986). Durch Verwendung giftiger Pflanzen und falscher Dosierung der

aus ihnen gewonnen Drogen dürfte es ebenfalls zu mancherlei Gesundheitsschäden gekommen sein. Das wird z. B. wiederholt über die Wirkung von Eiben-, „Präparaten“ berichtet (Ingen et al. 1992, Sinn u. Porterfield 1991). Da die individuelle Empfindlichkeit bzw. Verträglichkeit recht unterschiedlich sein kann, muss vor Selbstversuchen mit derartigen Substanzen dringend gewarnt werden.

Besteht der Verdacht, dass ein Unwohlsein oder eine erhebliche Störung des Gesundheitszustandes auf eine Vergiftung zurückzuführen ist, müssen die kriminologischen Untersuchungen am Tatort bzw. Fundort des Opfers unverzüglich beginnen. Neben der ärztlichen Versorgung der Geschädigten besteht die Hauptaufgabe der Polizei darin, den Fundort weiträumig zu sichern, um eventuell noch vorhandene Spuren der Verursacher zu finden und zu dokumentieren. Dabei lässt sich möglicherweise auch klären, ob die Vergiftung vor Ort – gleichsam spontan – erfolgt ist oder ob das Gift erst zum Tatort herbeigeschafft werden musste. Das würde auf eine geplante und vorsätzlich durchgeführte Tat hinweisen.

Liegt ein Vergiftungsfall vor, so ist der Zusammenhang zu klären. In der näheren Umgebung des Tat- bzw. Fundortes vorhandene pflanzliche Makroreste, die von giftigen Arten stammen, können zur Klärung der Zusammenhänge beitragen. Wenn typische Giftpflanzen in der Nähe fehlen und auch keine entsprechenden Makroreste entdeckt werden, sollte man versuchen, mit Hilfe biochemischer Analysen festzustellen, von welcher Art bzw. Gattung das verwendete Gift stammt. Das gilt ähnlich für Mahlzeiten, die Giftpilze enthielten. Führen diese Analysen rechtzeitig zum Erfolg, können in manchen Fällen noch wirksame Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Hilft der Delinquent bei der Aufklärung des Vergiftungsfalles und trägt somit zur Rettung vergifteter Personen bei, kann sich das positiv auf das Strafmaß auswirken.

Probleme entstehen auch, wenn ein Mensch durch einen Schuss verletzt oder gar getötet wurde. Wichtige Hinweise über den Tathergang ergeben sich möglicherweise durch die genaue Untersuchung der Pflanzendecke und des Bodens auf Spuren, die der Schießende hervorgerufen bzw. hinterlassen hat. Die Reaktion der Vegetation auf das Betretenwerden durch den Schützen kann zur Lösung der Frage beitragen, ob der Schuss versehentlich beim Stolpern ausgelöst wurde oder ob es sich um einen absichtlichen und gezielten Schuss gehandelt hat. Auch in solchen Fällen trägt eine genaue Untersuchung der Pflanzendecke in dem Bereich, aus dem der Schuss kam, möglicherweise zur Klärung der Zusammenhänge bei. Die Reaktion der Pflanzen auf das Betretenwerden durch Gehende, Stolpernde oder Stehende dürfte unterschiedlich sein. Das trifft besonders zu, wenn die Vegetation hochwüchsig ist. Demnach sind für derartige Untersuchungen Standorte in Bereichen hoher Biomasse-Produktion besonders geeignet. Sie sind beispielsweise häufig in Bach- und Flussauen zu finden, wo den

Pflanzen genügende Mengen an Wasser und Nährsalzen zur Verfügung stehen. Das gilt entsprechend auch für andere Biotope, die sich durch eine hohe Stoffproduktion auszeichnen. Dazu gehören u. a. zahlreiche Ruderal-, Wegrand- und montane Hochstauden-Gesellschaften. Bestände mit ausgedehnten Moos- bzw. Flechten-Decken oder Böden, die nahezu vegetationsfrei sind, wie sie in vielen Nadelholz-Forsten vorkommen, eignen sich verständlicherweise weniger für solche Spurensuche.

Auch hinsichtlich des Zeitpunktes, an dem eine Straftat durchgeführt wurde oder des Zeitraumes, der seit ihrer Durchführung vergangen ist, können sich Anhaltspunkte ergeben: Dazu müssen Kenntnisse vorhanden sein über den Zeitraum, den die Pflanzen verschiedener Pflanzengesellschaften brauchen, um sich nach dem Ende des Betretenwerdens wieder aufzurichten.

Achtlosigkeit oder Unkenntnis tragen sicher dazu bei, dass es nach wie vor zu Vergiftungen durch giftige Pflanzenarten kommt. Absichtliche Vergiftungen von Menschen mit Hilfe pflanzlicher Gifte hat es aber in der Antike wiederholt gegeben. Der bekannteste Fall dürfte der Mord sein, der von einem Gericht in Athen im Jahr 399 v. Chr. an dem zum Tode verurteilten griechischen Philosophen Sokrates vollzogen wurde. Er war fälschlicherweise der Verführung junger Menschen zur Asebie (Gottlosigkeit) angeklagt. Es wird berichtet, dass sich in dem Giftbecher Saft des Schierlings (*Conium maculatum*) befunden habe.

Da in Mitteleuropa zahlreiche giftige Pflanzen vorkommen, die z. T. auch weit verbreitet sind, ist es für potenzielle Delinquenten nicht schwierig, in den Besitz giftiger Inhaltsstoffe zu gelangen und diese ihren Vorstellungen gemäß zu verwenden. Manche dieser Stoffe rufen bei etwas geringerer Dosierung „Bewusstseinsveränderungen“ hervor, bei denen es sich meist um mehr oder weniger reversible Irritationen des Wahrnehmungsvermögens und Halluzinationen handelt. Manche Menschen versprechen sich von der Anwendung solcher Substanzen besondere „Erlebnisse“, die sie auf dem Drogentrip durchleben. Ein derartiger Drogenrausch ist jedoch für den Betroffenen keineswegs ungefährlich, wobei an dieser Stelle nicht die umfangreiche Problematik von Sucht und Drogenabhängigkeit erörtert werden kann. Ein grundlegendes Problem ergibt sich daraus, dass die Sensibilität gegen Drogen keine universale und konstante Größe ist. Vielmehr hängt die individuelle Empfindlichkeit gegen Drogen vom Körpergewicht sowie von der jeweiligen Konstitution und Befindlichkeit des Probanden ab. Daher sollten auch keine Experimente zur „Selbsterfahrung“ der Drogenempfindlichkeit durchgeführt werden. Bei dem oft für harmlos gehaltenen Haschisch-Konsum kann es sogar zu Schizophrenie kommen.

Um derartige, häufig nicht überschaubare Verhältnisse und persönliche Gefahren zu vermeiden, ist es erforderlich, rechtzeitig in geeigneter Weise über die kurzzeitigen Konsequenzen des Drogenkonsums ebenso zu in-

formieren, wie über die nachweisbaren Langzeitschädigungen. Durch eine derartige intensive Drogenprävention lässt sich vermutlich eine Reihe von Drogendelikten vermeiden. Dazu gehört auch die Beachtung von Saatgut, das für die Kultur von Drogenpflanzen vorgesehen war.

Offensichtlich darf aus der Tatsache, dass giftige Pflanzen von zahlreichen Tierarten ohne Schäden verzehrt werden können, nicht auf die Ungefährlichkeit für den Menschen geschlossen werden. Das zeigen beispielsweise zahlreiche Schnecken- und Insektenarten, die von den für den Menschen besonders giftigen Pilzen fressen, ohne dass es bei ihnen zu Schäden kommt. Andererseits gibt es Beispiele dafür, dass manche Säugetiere auf die Aufnahme giftiger Pflanzen ähnlich reagieren wie der Mensch, z. B. Pferde und Rehe (s. unten).

In Anbetracht der Gefährlichkeit vieler Giftpflanzen ist nach gangbaren Lösungen dieser Problematik zu suchen. Sie umfassen zunächst Maßnahmen der Prävention durch eine rechtzeitige Aufklärung von Kindern und Eltern über die Gefahren, die von Giftpflanzen ausgehen. Kleinen Kindern muss so früh wie möglich klar gemacht werden, dass unbekannte Pflanzen und ihre Früchte nicht in den Mund gesteckt werden dürfen. Dabei ist besonders an Arten mit attraktiv erscheinenden Früchten zu denken. Dazu gehören u. a. die leuchtend roten Früchte von Aronstab (*Arum maculatum*), Maiglöckchen (*Convallaria majalis*), Seidelbast (*Daphne mezereum*), die schwarzroten der Tollkirsche (*Atropa bella-donna*) sowie der rote Arillus der Eibe (*Taxus baccata*) (u. a. Alberts u. Mullen 2000). – Ebenso gefährlich ist es, in Kräutergärten Kräuter zu probieren, um sie so am Geschmack zu unterscheiden (was manchmal empfohlen wird). Es gilt ebenso für das Reiben von Blättern, die bei empfindlichen Personen Allergien hervorrufen können.

Aber auch der Gesetzgeber kann aktiv werden, indem bundeseinheitliche Gesetze erlassen werden zur zulässigen bzw. empfehlenswerten Bepflanzung von Anlagen in der Nähe von Kindergärten bzw. auf Kinderspielflächen. Hier dürften z. B. Eiben, Seidelbast und Eisenhut nicht gepflanzt werden.

Solche Maßnahmen würden zwar die forensischen Möglichkeiten der botanischen Großrestanalyse einschränken, dafür aber auch viel Unheil vermeiden helfen. In diesen Fällen hätten Diasporen und andere Großreste von Pflanzen nicht mehr ihren forensischen Wert. Vielmehr würden die lebenden Gift- und Allergiepflanzen (Hausen u. Vieluf 1997) selbst Indikatoren dafür sein, dass an diesen Biotopen Gefahren für Leben und Gesundheit des Menschen drohen, die nur durch hinreichende Pflanzenkenntnisse und einsichtsvolles Verhalten zu bannen sind.

Genaue Pflanzenkenntnis und natürliche Vorsichtshaltung tragen also zur Vermeidung von Vergiftungen bei. Dabei ist nicht nur an die Folgen zu denken, die sich für den Menschen ergeben. So wird wiederholt über



Vergiftung und Tod von Pferden berichtet, die Eibenzweige gefressen haben. Dafür ergab sich früher häufig die Gelegenheit, da Eiben gern als Begrenzung von Grundstücken längs der Straßen gepflanzt wurden. In manchen Regionen hatte das zu Verboten von Eiben-Anpflanzungen an Straßen geführt, was sich als sinnvoll erwies, solange Pferde als Zug- und Reittiere verbreitet waren. Heute kommt es darauf an, dass in der Nähe von Reiterhöfen keine Eibenzweige für die Pferde erreichbar sind. Der Fund von Eibennadeln im Mageninhalt verendeter Rehe hat gezeigt, dass auch diese Tiere die giftigen Inhaltsstoffe der Eibe nicht vertragen. Das trifft besonders dann zu, wenn die gefressenen Eibenzweige infolge stärkerer Regenfälle sehr feucht gewesen sind. In diesen Fällen konnte durch die botanisch-forensische Analyse ermittelt werden, dass der Verdacht, die Tiere seien durch den unmittelbaren Einfluss von Wilderen zu Tode gekommen, unbegründet ist.

Beim Sammeln und Verkauf von Bärlauch-Blättern (*Allium ursinum*), einem heute in Mode gekommenen einheimischem Würzmittel, ist besondere Vorsicht geboten, da diese bei Unkenntnis mit den giftigen Blättern des Maiglöckchens (*Convallaria majalis*) verwechselt werden können.

Im Vollkornbrot sind außer ganzen Getreidekörnern gelegentlich auch Früchte bzw. Samen anderer Pflanzen enthalten. Es handelt sich dabei um Diasporen von Unkräutern, die gemeinsam mit dem Getreide auf den Feldern gewachsen waren. Ihre Größe und ihr entsprechendes Gewicht sorgten dafür, dass sie bei der Reinigung des Getreides in die Körnerfraktion gelangt sind. Sie stammen überwiegend von *Bilderdykia convolvulus* (Windknöterich), *Galium aparine* (Klebkraut), *Polygonum aviculare* (Vogelknöterich), *P. lapathifolium* (Ampfer-K.) und *P. persicaria* (Floh-K.). Beimischungen von Diasporen dieser Arten, die z. T. noch in der Eisenzeit als Nahrung genutzt wurden (Helbæk 1954 u. 1959), sind unproblematisch.

Das ist anders, wenn es sich bei den Beimischungen um die Sklerotien des Mutterkorn-Pilzes (*Claviceps purpurea*) handelt, der besonders auf Roggen vorkommt, sofern das Saatgut nicht mit Fungiziden behandelt wurde. Das ist gelegentlich zu beobachten auf Flächen, auf denen sich aus einigen im Vorjahr ausgefallenen Körnern Roggenpflanzen entwickelt haben. Die sind natürlich nicht vor dem Mutterkorn-Pilz geschützt und bieten somit einen geeigneten Lebensraum für diesen gefährlichen Schadpilz. Obwohl die schwarz-violett gefärbten, 1–6 cm langen, keulenförmig gebogenen Sklerotien sehr auffällig sind, ist nicht auszuschließen, dass sie gelegentlich in der Körnerfraktion verbleiben. Ist im Mehl eine größere Menge von *Claviceps*-Alkaloiden vorhanden, kann das böse Folgen haben und zum Ergotismus (Antonius-Feuer) führen. Nach anfänglichen Halluzinationen und Kribbeln in den Extremitäten kann es bis zum Verlust der Gliedmaßen kommen. Menschen, die dieses Krankheitsbild zeigen, hat

1568 der holländische Maler Bruegel d.Ä. in seinem Bild „Die Krüppel“ dargestellt (Marijnissen 2003).

Die Karyopsen des Taumel-Lolchs (*Lolium temulentum*) können von dem Pilz *Endoconidium temulentum* befallen werden. Wenn der Anteil solcher Körner im Erntegut zu groß wird, wird das Mehl vergiftet und der Konsument geschädigt. Der Gehalt an verschiedenen Alkaloiden macht Mutterkorn und Taumel-Lolch zu gefährlichen Bestandteilen der Nahrung, die über ihre Rauschwirkungen hinaus bis zum Tod durch Atemlähmung führen können. Derartige Folgen lassen sich heute durch genaue Kontrolle des Erntegutes vermeiden und kommen daher in Mitteleuropa kaum noch vor. Sofern es dennoch zur Schädigung von Menschen kommt, ist das als Folge eines leichtfertigen Umgangs mit den giftigen Alkaloiden dieser Arten zu werten. Sie werden allerdings in geringen Konzentrationen in der Volksheilkunde verwendet.

### 8.3.2

#### Zum Tatort

Pflanzliche Makroreste können auch hinsichtlich des Tatorts eines Verbrechens forensische Bedeutung haben. Eine Voraussetzung dafür ist, dass Pflanzenteile am Opfer bzw. Diebesgut hängen geblieben sind. Das kann bereits am Tatort oder erst beim Abtransport von diesem erfolgt sein. Es ist aber gelegentlich nicht auszuschließen, dass die Pflanzenteile bereits am Weg zum Tatort, also vor der Straftat, am späteren Opfer oder auch am Täter hängen geblieben waren. In solchen Fällen würden die festgestellten Pflanzenteile nicht die gesuchten Aussagen über Tatort und Tathergang vermitteln.

Besondere Chancen, Pflanzenreste beim Opfer bzw. Diebesgut zu finden, bieten z. B. Hosen-Umschläge, Gürtel-Schließen, Kapuzen und auch die Kopf- und Barthaare. Sofern eine Brille getragen wurde, können sich auch dort Pflanzenteile verfangen haben. In der restlichen Kleidung gibt es Stellen, die für das Festhaften von Pflanzenteilen günstiger sind als andere. So bieten Strickwaren wie Pullover mehr mögliche Aufnahmeflächen als Kleidungsstücke mit glatter Oberfläche.

Wurden Opfer oder Diebesgut im Auto transportiert, so gelten die obigen Aussagen entsprechend für die verschiedenen Bereiche des Kraftfahrzeugs. Besonders betrifft dies den Kofferraum und die Polsterung der Sitze. Auch kurze Zweigstücke, Knospen und Knospenschuppen sowie Blätter oder Blattstücke (s. Kap. 8.2) können in das Innere des Fahrzeuges gelangt oder beim Schließen von Türen am Gepäck oder im Kofferraum hängen geblieben sein. Auf diese Weise lassen sich Erkenntnisse über den Tatort gewinnen.

Allerdings ist wiederum große Sorgfalt bei der Analyse erforderlich: Es gibt eine Reihe von Diasporen, die Haken bzw. Widerhaken besitzen, z. B. die Früchte von Hexenkraut (*Circaea* div. sp.), Klebkraut (*Galium aparine*), Nelkenwurz (*Geum* div. sp.), Odermennig (*Agrimonia* div. sp.) und Zweizahn (*Bidens* div. sp.) sowie die Fruchststände der Kletten (*Arctium* div. sp.). Solche Diasporen sind möglicherweise erst beim Abtransport eines Opfers bzw. von Diebesgut hängen geblieben. Sie können an dafür geeigneten Stellen der Kleidung zu finden sein. Diasporen und klebrige Knospenschuppen können an mehr oder weniger allen Bereichen der Kleidung haften. Sind sie aber nur im bodennahen Bereich, z. B. an Strümpfen, Hosen, Mänteln oder an Schnürsenkeln vorhanden, so deutet das darauf hin, dass sie beim Gehen an die Kleidung bzw. die Schuhe gelangten. Auf diesen kann gegebenenfalls der Weg durch verschiedene Pflanzengesellschaften bzw. Biotop-Typen (Ellenberg 1996, Pott 1996) rekonstruiert werden. Eine Voraussetzung dafür ist allerdings ein guter vegetationskundlicher Sachverstand. Als bei solchen Arbeiten besonders hilfreich erwiesen haben sich die von Ellenberg (zuletzt 1996) vorgelegten ökologischen und pflanzensoziologischen Zeigerwerte der Flora Mitteleuropas.

Samen und Früchte anderer Pflanzen sind mit Flügeln, Propellern oder Fallschirmen ausgestattet, wodurch die Ausbreitung der Diasporen möglichst effektiv stattfinden kann. Dazu gehören Bäume wie Ahorn (*Acer* div. sp.), Birke (*Betula* div. sp.), Esche (*Fraxinus excelsior*) und Ulme (*Ulmus* div. sp.) sowie Kräuter wie Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) und Wiesen-Bocksbart (*Tragopogon pratensis*). Besonders die kleinen und leichten Flugfrüchte der Birken können, ebenso wie deren Fruchtschuppen, selbst durch enge Spalten vordringen. Welche Arten durch diese Anemochorie begünstigt sind, lässt sich u. a. auch an dem Sortiment von Pflanzen erkennen, das sich auf isoliert stehenden Mauern ausbreitet. Auf solchen Standorten kommen allerdings auch andere Holzarten vor, z. B. die Eibe (*Taxus baccata*). Es handelt sich dabei um zoochore Arten, die wegen ihrer fleischigen Samenhülle (Arillus) bzw. Früchte von Vögeln als Nahrung genutzt und dabei von ihnen vertragen werden. Die großen und schweren Früchte von Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Eiche (*Quercus* div. sp.) dienen ebenfalls als Nahrung, besonders für Eichhörnchen und Elstern.

An „Pflanzenwanderungen“ können auch Ameisen beteiligt sein, sofern die Samen ein Elaiosom besitzen. Das ist ein an Protein reiches Anhängsel, das von diesen Insekten als Nahrung genutzt wird. Beim Transport gehen einige Samen verloren, aus denen sich längs der Ameisenstraßen die entsprechenden Pflanzen entwickeln. Mit der Zeit können auch auf diese Weise durchaus längere Strecken überwunden werden. Zu den Pflanzen mit Elaiosomen gehören u. a.: März-Veilchen (*Viola odorata*), Lärchensporn (*Corydalis* div. sp.) und Schöllkraut (*Chelidonium majus*). Wenn die Verbreitung solcher Arten im kriminologischen Zusammenhang genutzt

werden soll, kann das gewisse Irritationen hervorrufen. Eine Hilfe ergibt sich aber aus dem Vorhandensein der Ameisenstraßen, die sich an bestimmten Landmarken orientieren. Dazu gehören u. a. Mauern und Zäune. Das ist die Ursache dafür, dass die Ausbreitung solcher Arten zunächst vorzugsweise entlang derartiger linearer Strukturen erfolgt, die sich oft bis zur Herkunftsquelle verfolgen lassen. Die Besiedlung der Fläche erfolgt dann erst später.

Ein Nachweis von Wasserpflanzen zeigt, dass das Opfer bzw. das Diebesgut im Wasser gelegen hat. Zu denken ist hier besonders an die Wasserlinse (*Lemna minor*), fädige Grün-Algen und das flutende Wassermoos (*Fontinalis antipyretica*). Auch Kieselalgen weisen auf einen Aufenthalt der genannten Objekte im Wasser hin. Befindet sich in der Lunge Wasser, das auch noch ein- bzw. wenig-zellige Grünalgen enthält, so ist das eine Folge des Wasserschluckens beim Ertrinken. Fehlt Wasser in der Lunge einer im Wasser gefundenen Leiche, so wurde diese erst sekundär ins Wasser verbracht.

Im Magen-Darm-Trakt von Moor-Leichen werden häufig Nahrungsreste gefunden (Helbæk 1950, 1959, Spann 1978). Dabei handelt es sich nahezu ausschließlich um Überreste vegetabilischer Nahrung. Dieser Befund könnte so interpretiert werden, dass „das letzte Mahl“ nur aus Pflanzenteilen bestanden habe. Dabei wird aber nicht berücksichtigt, dass Eiweiß beim Verdauungsvorgang wesentlich schneller abgebaut wird als die Bestandteile pflanzlicher Nahrung. Dieser Befund vermittelt demnach nur ein unvollständiges Bild von der letzten Nahrung. Solche Ergebnisse der Paläo-Ethnobotanik sind bei Leichenfunden zu berücksichtigen.

### 8.3.3

#### Zur Tatzeit

Mit Hilfe pflanzlicher Großreste lassen sich oftmals auch Erkenntnisse gewinnen, die den Zeitpunkt bzw. den Zeitraum betreffen, in dem eine Straftat verübt worden ist. Bei dem Versuch, für derartige Vergehen eine Klassifizierung zu entwickeln, bietet es sich an, Dauer und Nachhaltigkeit der Eingriffe als Leitkriterien zu nutzen. So wird hier unterschieden zwischen Eingriffen, die längere Zeiträume umfassen, die kürzere Zeitabschnitte wahren und denen, die nur kurze Zeit dauern. Vielfach bestehen Beziehungen zwischen diesen Zeitdauer-Faktoren und der Beschaffenheit der pflanzlichen Großreste. Zu den erwähnten kontinuierlichen Eingriffen gehören z. B. Maßnahmen, wie sie bei einer schleichenden Vergiftung oder andauernder Gesundheitsschädigung infolge kontinuierlicher Falsch-Medikation zustande kommen.

Eine weitere Möglichkeit der Gruppierung von Straftaten ergibt sich aus deren zeitlichem Ansatz. Es kann sich um eine aktuelle Handlung mit nahezu synchroner Wirkung handeln, um eine bereits vergangene mit anhaltender Nachwirkung oder um eine bereits in der Vergangenheit abgeschlossene Fehlhandlung, deren Folgen ebenfalls abgeschlossen, aber noch erkennbar sind.

Im Verlauf des Jahres bilden Pflanzen recht unterschiedliche Organe aus, deren Funde als Makroreste Zeugnis vom jahreszeitlich bedingten Zustand der Pflanze geben. Sofern solche Makroreste im Zusammenhang mit einer Straftat stehen, ergeben sich Kenntnisse über den Termin, an dem der Übergriff erfolgt ist. Dabei sind markante Daten des Entwicklungsgeschehens hilfreich, so z. B. die Entfaltung von Knospen und Blüten bestimmter Pflanzenarten. Auch Fruchtreife und Laubfall können einen gut erfassbaren und wichtigen Zeitpunkt im Jahresverlauf liefern. Die Daten des jährlichen Entwicklungsgeschehens weit verbreiteter Pflanzen sind in phänologischen Karten flächenhaft dargestellt. Der Vergleich des aktuellen Entwicklungsstandes, in dem sich der betreffende Großrest befindet, mit den Aussagen der phänologischen Karte ermöglicht so eine jahreszeitliche Zuordnung der zu ahndenden Tat.

Der Zeitpunkt eines Verbrechens kann auch dadurch ermittelt werden, dass es dort, wo das Opfer oder das Diebesgut abgelegt wurde, zum Niederliegen der Pflanzen oder der Bleichung der grünen Blattmasse kommt. Verantwortlich für diesen Vorgang ist der Lichtmangel auf der Fläche, die direkt auf dem Boden liegt. Ausmaß und Intensität der Bleichfläche sind z. T. artspezifisch. Das gilt entsprechend auch für das Wiederergrünen von Pflanzen, das sich nach der Entfernung der Objekte einstellt, die das Ausbleichen der Pflanzen infolge von Lichtentzug verursacht haben. Durch die Beachtung derartiger Zusammenhänge können wichtige Beiträge zur Klärung von Straftaten geliefert werden. Allerdings gibt es derzeit wohl noch keine umfassende Darstellung dieser Methode.

Die Deponie eines Kriminalitätsofers oder eines gestohlenen Gegenstandes hat häufig auch das Abknicken oder Umbiegen der an der betreffenden Stelle wachsenden Pflanzen zur Folge. Sofern es nur zum Umbiegen der Pflanzen-Stängel gekommen ist, richten sie sich dank bestimmter Wachstumszonen nach einiger Zeit wieder auf. Besonders auffällig ist die Wiederaufrichtungsfähigkeit bei den Getreidehalmen ausgebildet. So kann es zu einer gewissen Aufrichtung von Halmen kommen, die bei Unwettern umgelegt wurden. Fehlten aber solche Unwetter und es gibt dennoch lagerndes Getreide, so ist entweder auf eine mutwillige Zerstörung zu schließen, oder es handelt sich um die Folge einer Überdüngung mit Stickstoff. Diese kann auch zur Instabilität der hochgewachsenen Getreidehalme führen.

Ähnliche Beobachtungen lassen sich gelegentlich an Baumstämmen machen, die auf dem Waldboden liegen. Bei recht frischem Holz kann es zum

Austrieb von Knospen kommen, die sich zu Zweigen entwickeln. Entsprechend den Naturgesetzen des Tropismus wachsen diese Zweige senkrecht nach oben. Falls dies wegen darüber liegender Stämme nicht möglich ist, wachsen die Zweige zunächst so, dass sie die sie behindernden Stämme umwachsen, gehen dann aber sobald als möglich in das senkrechte Wachstum über. Mit Hilfe solcher Beobachtungen lässt sich demnach klären, ob eine Manipulation stattgefunden hat, die möglicherweise mit einem Holzdiebstahl verbunden war.

### 8.3.4 Zum Diebstahl

Auch im Zusammenhang mit einem Diebstahl können sich forensische Probleme ergeben. Obgleich es sich bei den gestohlenen Objekten häufig nicht um pflanzliche Großreste – im eigentlichen Sinne – handelt, wird dieses Problem hier kurz behandelt. Neben Pflanzen und ihren verschiedenen Teilen kommen auch andere Objekte in Betracht. Deren Abmessungen können recht unterschiedlich sein, liegen aber in der Regel vorzugsweise im großen Bereich. Das trifft z. B. beim Diebstahl von Pflanzen aus Gärten und Parkanlagen ebenso zu wie bei Holz, das im Wald zum Abtransport lagerte. Waren die Stämme bereits markiert, ist der Diebstahl dadurch zu erkennen, dass das entwendete Holz die betreffende Signatur besitzt. Die genannten Probleme können allerdings auch durch auf eine versehentliche Verwechslung des betreffenden Materials hervorgerufen sein. In solchen Fällen kann es leicht zu Schwierigkeiten bei der Klärung der Situation kommen.

Ausgraben und Entnahme von Pflanzen, die unter Naturschutz stehen, sind strafbar und können daher ebenfalls hier erwähnt werden. Allerdings ist der Nachweis eines derartigen Diebstahls oftmals schwierig, da viele dieser Arten auch im Angebot spezialisierter Gärtnereien zu finden sind. Ein Tatnachweis ist daher häufig nur dann möglich, wenn der Dieb auf frischer Tat ertappt wird. Eventuell kann die Beimischung charakteristischer Arten bzw. das Vorhandensein eines spezifischen Bodens dazu beitragen, dass der Diebstahl nachgewiesen wird. Ein Diebstahl von Holz lässt sich gegebenenfalls auch dadurch nachweisen, dass Verlauf, Breite und Anzahl der Jahresringe des vermutlich gestohlenen Holzes mit den entsprechenden Werten des verbliebenen Stammholzes verglichen werden. Das gilt ebenso für die Maserung des Holzes, wie sie auf der Schnittfläche von Brettern vorhanden ist. Eine Unterbrechung bzw. Lücke in den Maserungslinien weist darauf hin, dass hier ein Stück des Holzes fehlt und möglicherweise entwendet wurde.

Natürlich können auch Teile des Diebesguts beim Transport verloren gegangen sein und nun auf oder neben dem Transportweg liegen. Derartige

Befunde tragen ebenfalls zur Klärung eines Diebstahls bei. Dabei ist es nicht von Belang, ob es sich um Stammholz, Getreide oder andere pflanzliche Objekte handelt.

## 8.4 Folgerungen und Ausblick

Bei der großen Anzahl und weiten Verbreitung giftiger Pflanzen hat die Untersuchung pflanzlicher Makroreste eine große forensische Bedeutung. Daher ist zur Aufklärung von Straftaten die Hinzuziehung eines gut ausgebildeten Biologen von großem Wert. Seine Arbeiten betreffen insbesondere Medikamente, Drogen und Giftstoffe, aber auch Werkstoffe. Über das Material der Objekte sowie dessen Manipulationsmöglichkeiten hinaus werden Aussagen möglich über Tatort und Tatzeit.

An den verschiedenen Beispielen wird deutlich, dass Erkenntnisse, die auf der Anwendung einer einzigen Methode beruhen, oftmals nicht genügend abgesicherte Ergebnisse liefern, so dass sie für die Rechtsprechung unbrauchbar sind. Vielmehr ist es erforderlich, neben den Detailkenntnissen auch Einblicke in die verschiedenen Verbindungsstrukturen zu berücksichtigen. Es muss daher auf der Grundlage von Pflanzenrest-Funden und anderen Quellen die Rekonstruktion von strafbaren Handlungen gut belegt sein.

## Literatur

- Alberts A, Mullen P (2000) *Psychoaktive Pflanzen, Pilze und Tiere*. Kosmos, Stuttgart
- Barefoot AC, Hankins FW (1982) *Identification of modern and tertiary woods*. Clarendon, Oxford
- Bartoš J, Verner PH (1990) *Vorratsschädlinge*. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- Beijerinck W (1947) *Zadenatlas der nederlandsche Flora ten behoeve van de Botanica, Palaeontologie, Bodemcultuur en Warenkennis*. Amsterdam (Repr. 1976)
- Benkert D, Fukarek F, Korsch H (Hrsg) (1996) *Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Ostdeutschlands*. Gustav Fischer, Jena
- Berendes J (1902) *Des Pedanios Dioskurides aus Anazarbos Arzneimittellehre*. Enke, Stuttgart (Reprint Wiesbaden 1970)
- Berggreen G (1969) *Atlas of seeds and small fruits of Northwest-European plant species with morphological descriptions*. Mehrere Bde. 2. *Cyperaceae*. Stockholm
- Bertsch K (1941) *Früchte und Samen. Ein Bestimmungsbuch zur Pflanzenkunde der vorgeschichtlichen Zeit*. Enke, Stuttgart
- Bhatia RY et al (1973) *Forensic examination of leaf fragments in fresh and dried conditions*. *Forensic Sci Soc* 13:183–190
- Bock JH, Norris DO (1997) *Forensic Botany, an Under-utilised resource*. *J of Forensic Sci* 42(3):364–367
- Bosshard HH (1974) *Holzkunde*. Bd. 1: *Mikroskopie und Makroskopie des Holzes*. Birkhäuser, Stuttgart

- Brouwer W, Stählin A (1975) Handbuch der Samenkunde für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwirtschaft. DLG-Verlag, Frankfurt
- Cremer J, Goltz H, Partzsch M, Schwär H, Zimmermann G (1991) Acker- und Gartenwildkräuter, ein Bestimmungsbuch. Dt Landwirtschaftsverlag, Berlin
- Dauderer M (1995) Lexikon der Pflanzen- und Tiergifte. Diagnostik und Therapie. Ecomed, Hamburg
- Deutschmann F, Hohmann B, Sprecher E, Stahl E (1979) Pharmazeutische Biologie 3, Drogenanalyse 1: Morphologie und Anatomie. Gustav Fischer, Stuttgart
- Diener H (1989) Arzneipflanzen und Drogen. VEB Fachbuchverlag, Leipzig
- Dombrovskaja AV, Koreneva MM, Tjurenov SN (1959) Atlas rastitelnych ostatkov, vstrechaemych b torfje. Moskva
- Ellenberg H (1996) Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Ulmer, Stuttgart
- Fitschen J (2002) Gehölzflora. Ein Buch zum Bestimmen der in Mitteleuropa wildwachsenden und angepflanzten Bäume und Sträucher. Mit Knospen- und Früchteschlüssel. Quelle & Meyer, Wiebelsheim
- Fritzsche R, Keilbach R (1994) Die Pflanzen-, Vorrats- und Materialschädlinge Mitteleuropas. Fischer, Jena
- Gassner G (1973) Mikroskopische Untersuchung pflanzlicher Lebensmittel. Fischer, Stuttgart
- Godet J-D (1986) Gehölzfürer: Bäume und Sträucher – Sehen, Bestimmen, Schützen. Arboris, Bern
- Godet J-D (1991) Pflanzen Europas: Kräuter und Stauden. Arboris, Bern
- Godet J-D (1997) Blüten einheimischer und wichtiger fremdländischer Baum- und Straucharten. Naturbuch, Augsburg
- Greguss P (1938) Bestimmungsschlüssel der einheimischen Laubhölzer nach anatomischen Merkmalen. Botan. Közlem. 35:37–50 (ungar. u. deutsch)
- Greguss P (1955) Xylotomische Bestimmung der heute lebenden Gymnospermen. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Große-Brauckmann G (1972) Über pflanzliche Makrofossilien mitteleuropäischer Torfe. I. Gewebereste krautiger Pflanzen und ihre Merkmale. Telma 2:19–55
- Große-Brauckmann G (1974) Über pflanzliche Makrofossilien mitteleuropäischer Torfe. II. Weitere Reste (Früchte und Samen, Moose u.a.) und ihre Bestimmungsmöglichkeiten. Telma 4:51–117
- Grosser D (1977) Die Hölzer Mitteleuropas. Ein mikrophotographischer Lehratlas. Springer, Berlin
- Haeupler H-H, Schönfelder P (1988) Atlas der Farn- und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland. Ulmer, Stuttgart
- Hahn H, Michaelsen I (1996) Mikroskopische Diagnostik pflanzlicher Nahrungs-, Genuß- und Futtermittel, einschließlich Gewürze. Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Haller B, Bruder W (1979) Vergleichende rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Blattfragmenten im Dienst der Kriminaltechnik. Arch f Kriminol: 163–165
- Hausen BM, Vieluf IK (1997) Allergiepflanzen. Handbuch und Atlas. Ecomed, Hamburg
- Helbæk H (1950) Tollund mandens sidste maaltid. Et botanisk til belysning af oldtidens kost. Aarbøger Nord. Oldkynd Hist. (1950):311–341
- Helbæk H (1959) Grauballemandens sidste måltid. Kuml (1958):83–116
- Herrmann B (1990) Hinweise auf die zur Leichenverbrennung benutzten Holzarten. In: Andraschko FM, Teegen W-R (Hrsg) Gedenkschrift für Jürgen Driehaus, S 91–96. Von Zabern, Mainz



- Herrmann E (1924) Tabellen zum Bestimmen der wichtigsten Holzgewächse des deutschen Waldes und einiger ausländischen angebauten Gehölze nach Blättern und Knospen, Holz und Sämereien. Neumann, Neudamm
- Hiller K, Melzig MF (2003) Lexikon der Arzneipflanzen und Drogen. Akademischer Verlag, Heidelberg
- Holdheide W (1951) Anatomie mitteleuropäischer Gehölzrinden (mit mikrographischem Atlas). Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Band 5.1:193–368
- Huber B (1951) Mikroskopische Untersuchung von Hölzern. Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Band 5.1:79–192
- Ingen GV et al (1992) Sudden unexpected death due to *Taxus* poisoning. A report of five cases, a review of the literature. *Forensic Sci Int* 56:81–87
- Inhülsen D (1981) Morphologische Differenzierung von pflanzlichen Stachelteilen. *Archiv f Kriminol* 168/5 und 6:176
- Jacomet S (1987) Prähistorische Getreidefunde. Eine Anleitung zur Bestimmung prähistorischer Gersten- und Weizenfunde. IPAS, Basel
- Kammeier-Nebel A (1986) Wenn eine Frau Kräutertränke zu sich genommen hat, um nicht zu empfangen. Geburtenbeschränkung im frühen Mittelalter. In: Herrmann B (Hrsg) Mensch und Umwelt im Mittelalter. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart
- Katz NJ, Katz SV (1946) Atlas plodov i semian v torfach i ilach. Leningrad
- Katz NJ, Katz SV, Kipiani MG (1965) Atlas and keys of fruits and seeds occurring in the quaternary deposits of the USSR. Nauka, Moscow
- Kisser J, Sekyra LW (1938) Die mikroskopische Diagnose heimischer Holzarten im zerkleinerten und pulverisierten Zustand. *Archiv f Kriminol* 103:19–32
- Körber-Grohne, U (1964) Bestimmungsschlüssel für subfossile *Juncus*-Samen und Gramineen-Früchte. Lax, Hildesheim
- Körber-Grohne U (1977) Botanische Untersuchungen des Tauwerks der frühmittelalterlichen Siedlung Haithabu und Hinweise zur Unterscheidung einheimischer Gehölzbaste. *Ber Ausgrabungen in Haithabu* 11:64–111
- Körber-Grohne U (1988) Microscopic methods for identification of plant fibres and animal hairs from the prince's tomb of Hochdorf, Southwest Germany. *J of Archaeological Sci* 15:73–82
- Körber-Grohne U (1991) Bestimmungsschlüssel für subfossile Gramineen-Früchte. *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet* 18:169–234
- Kučan D (1991) Eine neue Methode zur Fixierung fossiler unverkohelter Pflanzenreste, dargestellt an Beispielen laufender Untersuchungen aus Samos und Oberaden. In: Renfrew JM (ed) *New light on early farming*. Edinburgh Univ Press, Edinburgh: 15–38
- Loske T (1964) Methoden der Textilmikroskopie. Franck, Stuttgart
- Marijnissen RH (2003) Bruegel. Das vollständige Werk. Mercatorfonds, Antwerpen
- Matthiolus DPA (1626) Kreutterbuch des hochgelehrten und weitberühmbten D. Petri Andreae Matthioli. [Reprint Grünwald] Frankfurt
- Melchior H, Kastner H (1974) Gewürze. Botanische und chemische Untersuchung. Parey, Berlin, Hamburg
- Moeller J (1905) Mikroskopie der Nahrungs- und Genußmittel aus dem Pflanzenreich. Springer, Berlin
- Müller-Stoll WR (1936) Untersuchungen urgeschichtlicher Holzreste nebst Anleitung zu ihrer Bestimmung. *Prähistor Z* 27:3–57
- Nakamura GR (1969) Forensic aspects of cystolithic hairs of *Cannabis* and other plants. *J Assoc Off Anal Chem*. 52:5–16
- Nesbitt M, Greig J (1990) A bibliography for the archaeobotanical identification of seeds from Europe and the Near East. *Circaea*:11–30

- Nikitin AA, Pankova IA (1982) Anatomiceskij Atlas Poleznych i Nekotorych Jadovitych Rastenij. – Anatomical atlas of useful and poisonous plants. Nauka, Leningrad
- Pott R (1996) Biototypen. Ulmer, Stuttgart
- Roth L, Daunderer M, Kormann K (1994) Giftpflanzen, Pflanzengifte. Ecomed, Landsberg
- Sachsse HH (1977) Einheimische Nutzhölzer. Institut für Forstbenutzung, Göttingen
- Schaffner W (1992) Heilpflanzen und ihre Drogen. Mosaik, München
- Schermann S (1966) Magismeret II. Akad. Kiadó, Budapest
- Schmidt E (1941) Mikrophotographischer Atlas der mitteleuropäischen Hölzer. Neumann, Neudamm
- Schoch WH, Pawlik B, Schweingruber F-H (1988) Botanische Makroreste. Ein Atlas zur Bestimmung häufig gefundener und ökologisch wichtiger Pflanzensamen. Haupt, Bern
- Schröder D (1952) Unterscheidungsmerkmale der Wurzeln einiger Moor- und Grünlandpflanzen nebst einem Schlüssel zu ihrer Bestimmung und einem Anhang für die Bestimmung einiger Rhizome. Bremen
- Schulz B (1999) Gehölzbestimmung im Winter. Ulmer, Stuttgart
- Schweingruber F-H (1978) Mikroskopische Holzanatomie. Zürcher, Zug
- Schweingruber F-H (1990) Anatomie europäischer Hölzer. Ein Atlas zur Bestimmung europäischer Baum-, Strauch- und Zwergstrauchhölzer. Haupt, Bern
- Sinn LE, Porterfield JF (1991) Fatal taxine poisoning from yew leaf ingestion. J Forensic Sci 36:599–601
- Spann KW (1978) Zur Untersuchung pflanzlicher Bestandteile des Mageninhalts. Zf Rechtsmed 82:129–135
- Tomlinson P (1985) An aid to the identification of fossil buds, bud-scales and catkinscales of British trees and shrubs. *Circaea* (The Bulletin of the Association for Environmental Archaeology) 3,2:45–130
- Trautmann W (1953) Zur Unterscheidung fossiler Spaltöffnungen der mitteleuropäischen Coniferen. *Flora* 140:523–533
- Vaucher H (1997) Baumrinden – Aussehen, Struktur, Funktion, Eigenschaften. Naturbuch, Augsburg
- Wagenführ R (1985) Anatomie des Holzes unter besonderer Berücksichtigung der Holztechnik. Fachbuchverl, Leipzig
- Wagenführ R, Scheiber C (1985) Holzatlas. Fachbuchverl, Leipzig
- Weidner H (1993) Bestimmungstabellen der Vorratsschädlinge und des Hausungeziefers Mitteleuropas. Fischer, Stuttgart
- Westerkamp C, Barthlott W (1993) Die mikromorphologischen Merkmale der Blattoberflächen heimischer und häufig kultivierter Laubgehölze. J Forensic Sci 32:1264–1270
- Wiesner J von (1927) Die Rohstoffe des Pflanzenreichs. 2 Bde. Engelmann, Leipzig
- Willerding U (1969) Zur Bestimmung der in Süd-Niedersachsen vorkommenden Weiden (*Salices*) anhand ihrer Blätter (überarbeitet). Göttinger Flor Rundbriefe 1 (Neudruck 1969):15–31
- Willerding U (1971) Methodische Probleme bei der Untersuchung und Auswertung von Pflanzenfunden in vor- und frühgeschichtlichen Siedlungen. *Nachr Niedersachsens Urgesch* 40:180–198
- Willerding U (1985) Gewürze des Mittelalters und der frühen Neuzeit. In: Meckseper C (Hrsg) *Stadt im Wandel, Ausstellungskatalog*, Bd 1, S 330–332. Ed Cantz, Stuttgart-Bad Cannstatt
- Willerding U (1991) Präsenz, Erhaltung und Repräsentanz von Pflanzenresten in archäologischem Fundgut. – In: Zeist W van, Wasylkova K., Behre K-E (Hrsg): *Progress in Old World Palaeoethnobotany*, pp 25–51. Balkema, Rotterdam
- Wittmack L (1922) *Landwirtschaftliche Samenkunde*. Parey, Berlin

# 9 Kieselalgen als mikroskopisch kleine biologische Spuren

Joachim Hürlimann, Thomas Kilchör, Richard Dirnhofer,  
Daniel Wyler

## 9.1 Einleitung

Die Kieselalgen stellen eine sehr artenreiche und weltweit überall in fast allen natürlichen und künstlich angelegten Gewässertypen und Lebensräumen vorkommende Algengruppe dar. Sie sind aber eine in der Bevölkerung wenig bekannte Organismengruppe. Diese Tatsache dürfte in Zusammenhang mit der äußerst geringen Individuengröße (ca. 5–500  $\mu\text{m}$ ) stehen. Deshalb sind sie von Auge nicht als Individuen erkennbar, sondern nur als braun gefärbter Algenüberzug. In der Algologie (Systematik, Physiologie, Biodiversität), der angewandten Gewässerkunde (Gewässerbeurteilung, Bioindikation), im Bereich der Paläolimnologie (Rekonstruktion historischer Gewässerzustände, Klimaveränderungen), der Rechtsmedizin (Ertrinkungsdiagnostik) und der Kriminalistik (Tatort- und Alibiabklärungen) werden die Kieselalgen als Organismen und Bioindikatoren benutzt (Hürlimann 1993).

In Europa ist die Verwendung der Kieselalgen als Bioindikatoren zur Beurteilung des Belastungsgrades von Gewässern seit rund 10, zum Teil schon seit 20 Jahren üblich. Im Laufe der letzten rund 20 Jahre hat sich daher viel ökologisches, aber auch methodisches Wissen angesammelt, welches bei kriminaltechnischen und forensischen Untersuchungen sehr hilfreich sein kann.

In den folgenden Kapiteln werden die Kieselalgen als pflanzliche Organismen und deren Artenvielfalt vorgestellt. Im Weiteren folgen ein historischer Rückblick über die Verwendung der Kieselalgen in Rechtsmedizin und Kriminalistik sowie Fallbeispiele. Abschließend wird zusammenfassend aufgeführt, unter welchen Voraussetzungen Kieselalgen als biologische Spuren in der Kriminalistik und in der Rechtsmedizin verwendet werden können.

---

Joachim Hürlimann: AquaPlus, Bundesstrasse 6, CH-6300 Zug  
E-Mail: joachim.huerlimann@aquaplus.ch

---

Biologische Spurenkunde  
Band 1 Kriminalbiologie  
Bernd Herrmann • Klaus-Steffen Saternus (Hrsg.)  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

---

## 9.2 Kieselalgen als Organismen

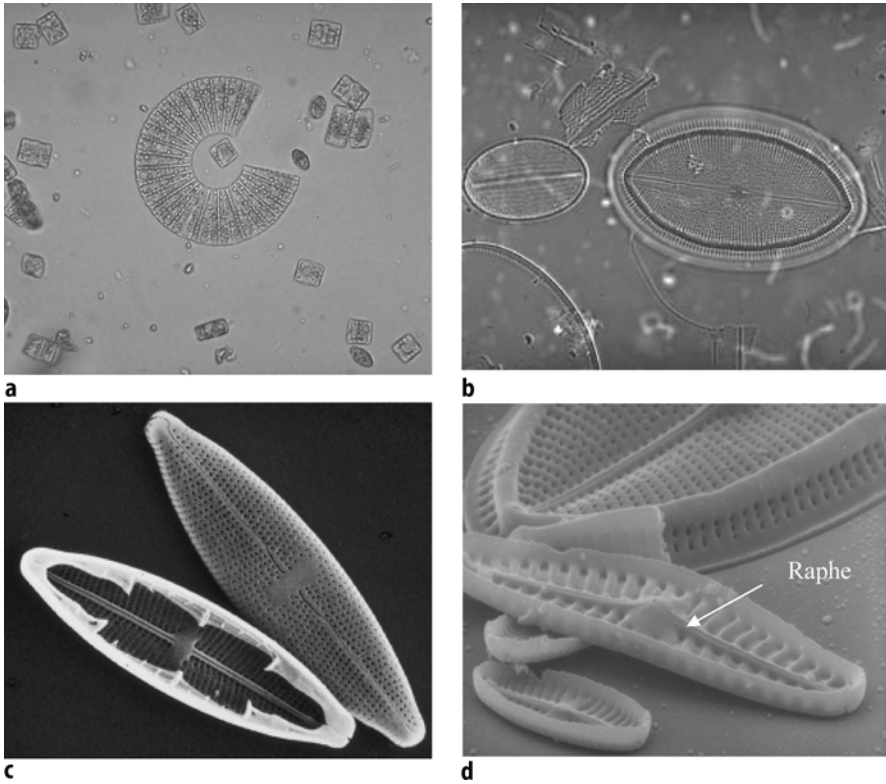
Die Klasse der Kieselalgen, auch Bacillariophyceae oder Diatomeen genannt, wird nach Van den Hoek (1993) zur Abteilung der Heterokontophyta gezählt. Eine Kieselalgenzelle ist aufgebaut wie eine Schachtel mit Boden (Hypotheka) und Deckel (Epiteka). Eines der wichtigsten Erkennungsmerkmale der Kieselalgen ist die kieselsäurehaltige Zellwand (Siliziumdioxid). Abbildung 9.1 zeigt Bilder von Kieselalgen, aufgenommen im Licht- und im Rasterelektronenmikroskop.

Kieselalgen sind einzellige, unbegeißelte Algen, deren Arten entweder frei leben, Kolonien bilden oder durch Gallerte mit einem Substrat verbunden sind. Die Chloroplasten weisen eine braune Färbung auf, welche durch das Xanthophyll Fucoxanthin verursacht wird. Als Reservestoffe dienen das Polysaccharid Chrysolaminarin und in Tröpfchenform gespeicherte Fette. Die Fortpflanzung erfolgt vorwiegend asexuell durch mitotische Zellteilung und nur gelegentlich, zum Beispiel beim Erreichen einer artspezifischen Minimalgröße, sexuell. Viele Arten der Ordnung *Pennales* besitzen eine schlitzförmige Durchbrechung der Schalenwand, die Raphe (Abb. 9.1), mit welcher sie sich gleitend fortbewegen können.

Kieselalgen leben sowohl im Süß- als auch im Salzwasser, im oberen Bereich des Bodens und an feuchten Standorten (ständig benetzte Felsen, schattige Mauern). Sie besiedeln stehende und fließende Gewässer sowie Feuchtgebiete und Moore und können auch an künstlichen Standorten wie z. B. in offenen Wasserkanälen, Kläranlagen oder Trögen von Trinkwasser-Laufbrunnen arten- und individuenreich gefunden werden. In fließenden und stehenden Gewässern sind auf Steinoberflächen Zelldichten von  $10^3$  bis  $10^6$  Individuen/cm<sup>2</sup> üblich.

Die Klasse der Kieselalgen ist sehr artenreich (Abb. 9.2). Genaue Artenzahlen sind aber nicht bekannt. So beträgt die Artenzahl weltweit über 10 000 Arten (Norton et al. 1996). Vermutlich sind allerdings die Artenzahlen um den Faktor 10 und mehr höher. Für Deutschland wurden bisher gemäß Angaben in Schmedtje et al. (1998) 1437 Taxa ermittelt; es werden jedoch über 3000 Taxa vermutet. In der Schweiz dürften die Verhältnisse in etwa jenen in Deutschland entsprechen. So wurden allein in Schweizer Fließgewässern bei den Untersuchungen der vergangenen 20 Jahre rund 700 Taxa beobachtet. Ihre Zusammensetzung verändert sich im Jahresverlauf und wird im Wesentlichen durch folgende Faktoren geprägt:

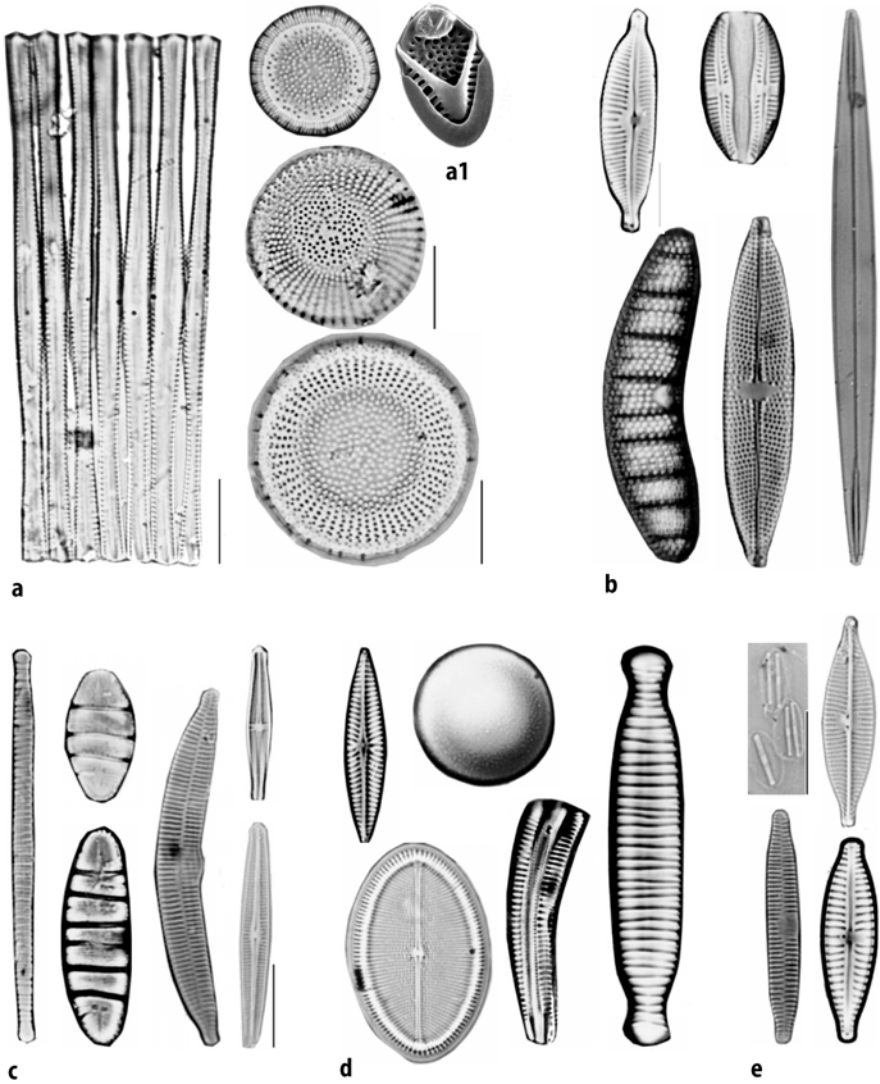
- der Gewässertyp,
- lokale Ausprägung des Lebensraumes,



**Abb. 9.1.** Kieselalgen im Licht- (LM) und Rasterelektronenmikroskop (REM). **a** Lebende Zellen, LM. **b** Präparierte Schalen, in Naphrax eingebettet, LM. **c** Zwei präparierte Schalenhälften, Innen- und Außenansicht, REM. **d** Präparierte Schalen, Seitenansicht, REM

- Wasserqualität,
- Licht- und Temperaturverhältnisse,
- Untergrundbeschaffenheit,
- hydrologisches Regime,
- biologische Gegebenheiten wie Fraß oder Konkurrenz.

Neben den rezenten Kieselalgen kommt auch den subfossilen und fossilen Kieselalgen eine große Bedeutung zu. Subfossile Kieselalgen sind die in See- und Meeressedimenten übrig gebliebenen Schalen und Schalenreste abgestorbener Zellen. Fossile Vorkommen von Kieselalgen werden als Kieselgur oder Diatomit in vielen Lagerstätten auf der ganzen Welt abgebaut. Die ältesten Kieselalgen traten vor rund 200 Mio. Jahren auf. Da die Schalen von Kieselalgen über lange Zeit mechanisch und



**Abb.9.2.** Kieselalgen verschiedener Lebensräume und Belastungszustände. **a** Freiwasser eines Sees (**a1** = Schuppe einer Goldalge, Chrysophyta), **b** Seeufer, **c** saubere Bergbäche, **d** mäßig belastete Bäche, **e** stark belastete Bäche. *Senkrechter Strich* = 10  $\mu$ m

chemisch beständig sind, können abgestorbene, subfossile und fossile Kieselalgen auch heute noch erkannt und auf Artniveau bestimmt werden.

### 9.3

## Historischer Rückblick über die Verwendung von Kieselalgen in Rechtsmedizin und Kriminalistik

Das Wissen, dass Kieselalgen oder ähnliche wassergebundene Partikeln während des Ertrinkens zusammen mit dem Wasser in den Körper des Ertrinkenden gelangen, ist seit mehr als 100 Jahren bekannt (Fagerlund 1890, Reinsberg 1901, Revenstorf 1904 und Wachholz 1907). In den anschließenden Jahren und Jahrzehnten wurden dann auch Tierversuche durchgeführt, mit dem Ziel, den Stellenwert des Kieselalgenachweises in Wasserleichen zu klären. Incze (1942) wies aufgrund solcher Experimente schon früh nach, dass Kieselalgen auch postmortal in die Lunge eindringen können. Er erwähnte aber auch, dass der Nachweis von Kieselalgen in der Blutbahn als eine verlässliche vitale Reaktion angesprochen werden kann. Der Nachweis von Kieselalgen in einer Wasserleiche ist demnach seit langer Zeit ein wichtiger Hinweis für den rechtsmedizinisch nicht einfach zu diagnostizierenden Ertrinkungstod. Dieses Verfahren ist in der Literatur auch als Diatomeennachweis bekannt (Synonyme: Diatomeenbefund, Diatomeenanalyse). Wir verstehen damit den Miteinbezug der Diatomeen bei der Diagnostik des Ertrinkungstodes. In den 1960er Jahren und später wurde dann die Diskussion um die Beweiskraft des Diatomeenbefundes sehr kontrovers diskutiert (Otto 1961, Tamaska 1961, Spitz 1963, Petersohn 1963, Schneider 1965, Reh 1968, Staak 1968, Schellmann u. Sperl 1979). Aufgrund dieser heftig geführten Grundsatzdiskussion wurde dann der Diatomeenbefund vermutlich über Jahre kaum benutzt. Aufgrund der anschließend veröffentlichten Reviews und der neu erarbeiteten Methoden, nahm die Bedeutung und Akzeptanz des Diatomeennachweises wieder zu (s. z. B. Peabody 1980, Kater 1987, Ludes u. Coste 1996a, Pollanen 1997a, 1997b, 1998). Aus unserer Sicht kann der Diatomeenbefund erfolgreich durchgeführt und für forensische Zwecke genutzt werden, wenn das angewandte Verfahren kontaminationsfrei ist und sich die Aussagen auf Angaben der Diatomeendichte (Anzahl Diatomeenschalen pro Gramm Organ), der Artenzusammensetzung (Bestimmung und Zählung der Arten und Variationen) und auf morphologische Gegebenheiten (z. B. Verteilung der maximalen Schalenlänge) abstützen (Hürlimann et al. 2000). Der Diatomeennachweis muss sich demnach zwingend auf die **quantitative und qualitative Erhebung der Kieselalgen** abstützen.

Erste uns bekannte Arbeiten, in welchen Algen in Zusammenhang mit kriminalistischen Fragen verwendet wurden, gehen in die Mitte des 20. Jahrhunderts zurück (z. B. Jaag 1955). Die Verwendung der Kieselalgen für kriminalistische Zwecke (z. B. Tatort- oder Täterverifizierungen) werden auch in Rumrich et al. 1990, Ludes u. Coste (1996a), Ludes et al. (1996b, 1996c) sowie Pollanen (1998) erwähnt. Die Zahl der publizierten Fallbeispiele aus dem Bereich der Kriminalistik dürfte aber deutlich geringer sein als die Zahl der Publikationen in Zusammenhang mit dem Ertrinken.

## 9.4 Fallbeispiele zum Ertrinken und zu Tatort- und Täterverifizierungen

Im Folgenden werden einige wenige Fallbeispiele erläutert, welche die Möglichkeiten neben der Ertrinkungsdiagnostik aufzeigen, nämlich die Verifizierung des Ereignisortes sowie die Verifizierung des mutmaßlichen Täters. Die angewandten Methoden haben Hürlimann et al. (2000) ausführlich beschrieben. Sie kamen auch in Aghayev et al. (2005) zur Anwendung.

### Fallbeispiel 1

In einem Maisfeld wurde ein vorerst unbekannter Leichnam eines Knaben gefunden; aufgrund der Gesamtumstände musste vom Vorliegen eines Verbrechens ausgegangen werden. In einem zum Spermiennachweis abgenommenen Abstrich der Mundhöhle fanden sich sehr viele Kieselalgen. Somit bestand ein dringender Verdacht, dass der Knabe ertränkt wurde und es sich beim Maisfeld nicht um den Ereignisort handelte. Die Obduktion bestätigte den Verdacht, dass der Knabe ertränkt worden ist. Die kriminalistischen Abklärungen fokussierten das Interesse auf eine Stelle an einem Bach nahe des Wohnortes des Knaben. Für algologische Analysen standen kieselalgenhaltige Proben der Lungen und der Schuhe des Opfers zur Verfügung. Zusätzlich wurden in einem weiten Bereich zwischen Fundort der Leiche und mutmaßlichem Tatort die vorhandenen stehenden und fließenden Gewässer beprobt, so dass damals bei der Fallbearbeitung ein Datensatz von insgesamt 2 Opferproben und 14 Kieselalgenproben vorlag. Die Analyse der Kieselalgenproben hatte folgende Ziele:

- Identifizierung der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften in den beiden Opferproben und basierend auf den vorgefundenen Arten eine Charakterisierung des für diese Kieselalgen typischen Lebensraumes.

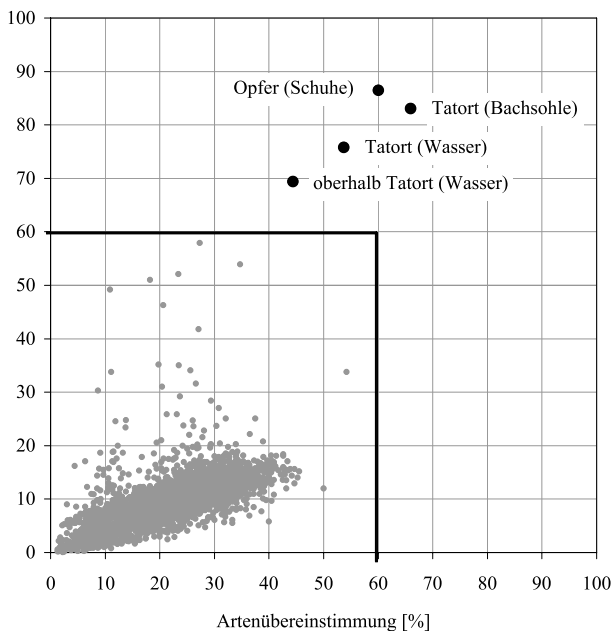


- Mittels Vergleich sämtlicher zur Verfügung stehenden Kieselalgen-Lebensgemeinschaften soll diejenige Gewässerstelle identifiziert werden, welche die größte Ähnlichkeit mit den beiden Kieselalgen-Lebensgemeinschaften der Opferproben hat.
- Wissensvorsprung bei Einvernahmen, Alibi- und/oder Geständnisüberprüfungen.

Die im Jahre 1993 durchgeführten Kieselalgenanalysen konnten alle drei Ziele vollumfänglich erfüllen. In Abb. 9.3 befindet sich das mit dem heute zur Verfügung stehenden Datensatz erstellte Ähnlichkeitsdiagramm. Es enthält den Vergleich der Lungenprobe des Opfers mit den Proben des Schuhs, des Tatortes und des heute<sup>1</sup> verfügbaren Kieselalgen-Datensatzes der Schweiz (4540 Proben). Als Ähnlichkeitsmaße dienten der Index nach Jaccard (1901; Artenübereinstimmung) und derjenige von Renkonen (1938, Individuenübereinstimmung oder auch Dominanz-Identität genannt; s. Engelberg 1987). Aufgrund unserer Erhebungen und Beobachtungen in natürlichen Systemen sowie der experimentellen Erfahrung kann abgeleitet werden, dass zwei Kieselalgen-Lebensgemeinschaften nicht mehr unterscheidbar sind, wenn sie hinsichtlich der zwei oben erwähnten Indizes mehr als 60% Ähnlichkeit aufweisen. Gemäß Abb. 9.3 wiesen im vorliegenden Fall selbst aus heutiger Sicht im Vergleich zur Lungenprobe des Opfers nur gerade vier Proben (Schuhe des Opfers, Tatort Bachsohle, Tatort Wasser und Wasser unmittelbar oberhalb des Tatortes) Kieselalgen-Lebensgemeinschaften mit Ähnlichkeiten von mehr als 60% auf. Nachdem ein Tatverdächtiger ermittelt werden konnte, wurden auch Proben aus dem Personenfahzeug sichergestellt und algologisch aufgearbeitet. Auch die Kieselalgenpopulationen dieser Proben hatten mit denjenigen aus dem Opfer und der Wasserprobe vom mutmaßlichen Tatort eine große Ähnlichkeit. Die untersuchten Schuhe des Tatverdächtigen wiesen wohl einige wenige Kieselalgen auf. Die vorgefundenen Arten waren aber stark abweichend von denjenigen des Tatortes und waren typisch für feuchten Boden oder Pfützen. Die damaligen Resultate der Ähnlichkeitsberechnungen können auch nach heutiger Überprüfung mit einem 280-fach größeren Datensatz immer noch aufrechterhalten werden. Dies stützt die Vorstellung, dass in unseren Gewässern deutlich unterscheidbare Kieselalgen-Lebensgemeinschaften vorhanden sind.

Nicht zuletzt dank der Erkenntnisse der algologischen Untersuchungen konnten die Ermittlungen sowie die Einvernahmen des Tatverdächtigen so vorangetrieben werden, dass dieser überprüfbar gestand, den Knaben an der angenommenen Stelle ertränkt und dann mit seinem Fahrzeug ins Maisfeld transportiert zu haben.

<sup>1</sup> AquaPlus, Bundesstrasse 6, CH-6300 Zug, Schweiz, <http://www.aquaplus.ch>



**Abb. 9.3.** Ähnlichkeitsdiagramm. Die Kieselalgenprobe des Opfers (Lunge) im Vergleich mit 4540 anderen Kieselalgenproben der Schweiz. Lesehilfe: Die größten Ähnlichkeiten bestehen mit der Schuhprobe des Opfers und dem Tatort (*schwarze Punkte*). Alle anderen Proben des Datensatzes wiesen eine deutlich geringere bis sehr geringe Ähnlichkeit auf (*graue Punkte*). Zwei Kieselalgenproben mit Ähnlichkeiten von mehr als 60% sind hinsichtlich ihrer strukturellen Zusammensetzung nicht mehr unterscheidbar

### Fallbeispiel 2

Auf dem Grund eines Sees wurde eine fäulnisveränderte Leiche gefunden, die mit Steinplatten beschwert war. Es musste vom Vorliegen eines Tötungsdelikts ausgegangen werden. Es wurden uns in einer späten Phase der Ermittlungen folgende Fragen gestellt:

- Handelt es sich um einen Tod durch Ertrinken?
- Sind Fund- und Sterbeort identisch?

In Zusammenhang mit den beiden Fragen lagen Asservate des Leichnams vor (Blut, Lunge) sowie diverse Proben des Sees A, in welchem die Leiche gefunden wurde. Die Seeproben stammten einerseits vom Fundort (Wasser, Sedimentoberfläche) und andererseits von verschiedenen Institutionen, welche aus Routinezwecken zur Überwachung der Seen A und B oder in Zusammenhang mit Forschungsprojekten die beiden Seen untersuchten. Der See B wurde in die fallspezifischen Abklärungen miteinbezogen, weil er ebenfalls als mutmaßlicher Tatort in Frage kam.

Das Ertrinken konnte aus algologischer Sicht ohne Zweifel bestätigt werden, da in der Lunge mit 75 000 bis 140 000 Kieselalgenschalen pro 5 Gramm Organ und im Blut 800 bis 900 Kieselalgenschalen pro 5 Gramm Organ sehr viele Kieselalgen vorgefunden wurden (vgl. Kater 1987, Ludes u. Coste 1996a, Beutler 2002). Zudem konnte ein postmortales Eindringen von Kieselalgen in die Lunge oder das Blut oder eine Kontamination oder Verschleppung von Kieselalgen während der Aufbereitung der Kieselalgen weitgehend ausgeschlossen werden. Als weitere Hinweise für ein Ertrinken sprachen die Verteilung der maximalen Schalenlängen sowie die Artenzusammensetzung im Blut im Vergleich zur Lunge. Von den 34 im Blut vorgefundenen Taxa (Lunge 63 Taxa) konnten 20 Taxa auch in der Lunge nachgewiesen werden. Damit waren 58% aller im Blut vorgefundenen Taxa auch in der Lunge vorhanden. Das vorgefundene Artenspektrum und der daraus berechnete Nährstoffgrad entsprachen dem des Sees A (d.h. des Fundortes) sehr gut. Als besten Hinweis für die Bestätigung, dass der See A, in welchem die Leiche gefunden wurde, auch der Ertrinkungsort war, ergab sich aus dem Zufall, dass genau zum Zeitpunkt des Ertrinkens (ca. Ende Mai) im See A eine Massenentwicklung einer planktisch lebenden Goldalge auftrat. Es handelte sich um die Art *Mallomonas crassisquama*. Diese Art hinterlässt artspezifische mikroskopisch kleine Schuppen (siehe Figur a1 in Abb. 9.2) und Nadeln, welche aus Silizium bestehen und daher in archivierten Kieselalgenproben auch gut haltbar sind. Diese Schuppen konnten im Blut und in der Lunge des Opfers ebenfalls zahlreich gefunden werden. Dank der archivierten Proben, welche von den Routineuntersuchungen (Trinkwasserversorgung, Forschungsinstitute, Umweltbehörden) für die Fallbearbeitung zur Verfügung standen, sowie der langjährigen seespezifischen Erfahrungen, konnte das Aufkommen dieser Goldalge im ebenfalls als mutmaßlichen Ertrinkungsort in Erwägung gezogenen See B mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden.

### Fallbeispiel 3

Im See N wurde im Januar 2002 in 32 m Tiefe unmittelbar vor einer größeren Flussmündung des Flusses A eine Leiche gefunden. Der Tod musste aufgrund der festgestellten Leichenveränderungen (Fettwachsbildung) einige Zeit vor dem Auffinden der Leiche eingetreten sein. Es stellten sich folgende Fragen:

- Liegt ein Ertrinken vor?
- Fand das Ertrinken im See N oder im Fluss A, welcher in den See N mündet, statt?
- Zu welchem Zeitpunkt (allenfalls Jahreszeit) fand das Ereignis statt?

Zur Abklärung dieser Fragen wurden vom Leichnam Knochenmark sowie Leber-, Lungen- und Nierengewebe entnommen und für die Kieselalgenuntersuchung aufbereitet. An Gewässerproben standen drei Proben des Sees N (Fundort in 32 m Tiefe, Oberflächenwasser und Sedimentprobe in Ufernähe) und zwei Proben des Flusses A (Oberflächenwasser und Sedimentprobe) zur Verfügung. Die Untersuchung der Kieselalgen in den Organproben sowie im Knochenmark ergaben in der Lunge (145 000 Schalen pro 5 Gramm) und im Knochenmark (230 Schalen pro 5 Gramm) sehr hohe Zelldichten. In der Leber wurde mit 18 Schalen pro 5 Gramm eine eher geringe Kieselalgendichte vorgefunden und in der Niere gar keine. Die Zelldichte der Lunge entsprach zu dem recht genau derjenigen des Seeufers (aufgewirbeltes Sediment: 143 000 Schalen pro 5 mL). Derart hohe Zelldichten in Lunge und Knochenmark sowie die Verteilung der maximalen Schalenlängen und der sehr ähnlichen Artenzusammensetzung von Knochenmark und Lunge werden bei Nicht-Wasserleichen nicht beobachtet. Deshalb spricht diese Befundkonstellation – unter Miteinbezug der Obduktionsbefunde – für das Vorliegen eines Ertrinkens.

Als mutmaßlicher Ertrinkungsort kam grundsätzlich das Ufer des Sees N sowie der mündungsnahen Bereich des Flusses A in Frage. Als Begründung dienten neben dem geringen Anteil an Planktonarten in der Lunge, die für Seeufer und Flussmündungen typische Artenzusammensetzung sowie die hohe Zelldichte der Lunge. Dank einer durch Straub (2002) beobachteten Massenentwicklung der planktisch lebenden Kieselalge *Achnanthes catenata* im See N im September und Oktober 2001, konnte aber der Ertrinkungsort auf den See beschränkt werden. Das Vorkommen dieser Art ist für die Schweiz neu. Sie gilt als Neophyt und trat im See N vermutlich erstmals in diesen Massen auf. Diese örtliche Einengung auf den See N war möglich, weil diese Art in der Lunge mit einem Anteil von 4,3% vorhanden war und demnach beim Ertrinken Wasser des Sees N in die Lunge gelangen musste. Dank dieser Beobachtung war der Schluss möglich, dass das Ereignis nicht vor September 2001 stattfinden konnte.

## 9.5 Schlussfolgerungen

Die Verwendung von Kieselalgen in Zusammenhang mit forensischen und kriminalistischen Fragestellungen kann ermittlungstechnisch wertvolle Informationen liefern. Dazu müssen aber wichtige Voraussetzungen gegeben sein:

- Enge Zusammenarbeit zwischen Untersuchungsbehörden, Rechtsmedizinern, Diatomologen, Kriminalbeamten und der Polizei,

- kontaminationsfreies Asservieren und Aufbereiten der Kieselalgenproben,
- quantitatives Aufbereiten der Kieselalgenproben,
- qualitative Charakterisierung der Kieselalgenproben:
  - Bestimmung und Zählung der Kieselalgen auf Artniveau oder tiefer (Variation),
  - Auswertungen und Interpretation der Daten unter Einbezug von gewässerökologischen Kenntnissen und gewässerspezifischen Informationen,
- Kontaktierung von Behörden (Umweltämter, Trinkwasserversorgungen, Forschungsinstituten usw.) in Zusammenhang mit betroffenen Gewässern (vorhandene Proben, Wissen und Erfahrungen, Dynamik des Gewässers, zeitliche Veränderungen usw.).
- Die Diatomeenanalyse hat zweifellos einen hohen Stellenwert in der Ertrinkungsdiagnostik. Die Diagnose ‚Tod durch Ertrinken‘ sollte vor allem in kritischen Fällen interdisziplinär gestellt werden.

## Literatur

- Aghayev E, Thali MJ, Sonnenschein M, Hürlimann J, Jackowski Ch, Kilchör Th, Dirnhofer R (2005) Fatal steamer accident; blunt force injuries and drowning in postmortem MSCT and MRI. *For Sci Int* 152:65–71
- Beutler CM (2002) Untersuchung zum Beweiswert des quantitativen Diatomeennachweises im Linksherzblut beim Ertrinkungstod. Diss Univ Bern, Inst f Rechtsmedizin
- Engelberg K (1987) Die Diatomeen-Zönose in einem Mittelgebirgsbach und die Abgrenzung jahreszeitlicher Aspekte mit Hilfe der Dominanz-Identität. *Arch Hydrobiol* 110 (2):217–236
- Fagerlund LW (1890) Über das Eindringen von Ertränkungsflüssigkeit in die Gedärme. *Vierteljahrsschr f ger Med* 52:1–42
- Hürlimann J (1993) Kieselalgen als Bioindikatoren aquatischer Ökosysteme zur Beurteilung von Umweltbelastungen und Umweltveränderungen. Diss Univ Zürich
- Hürlimann J, Feer P, Elber F, Niederberger K, Dirnhofer R, Wyler D (2000) Diatom detection in the diagnosis of death by drowning. *Int J Legal Med* 114:6–14
- Incze G (1942) Fremdkörper im Blutkreislauf Ertrunkener. *Zentralbl Allg Pathol Anat* 79:176
- Jaag O (1955) La microbiologie au service de la criminalistique. *Revue internationale de Criminologie et de Police technique* 9 (4):295–302
- Jaccard P (1901) Etude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et du Jura. *Bull Soc Vaud Sc Nat* 37:547–579
- Kater W (1987) Vergleichende Diatomeenanalysen zur Differenzierung der Todesumstände bei im Wasser gefundenen Leichen. Diss Univ Frankfurt/M
- Ludes B, Coste M (1996a) Diatomées et médecine légale. Tec & Doc-Lavoisier Paris
- Ludes B, Coste M, Tracqui A, Mangin P (1996b) Continuous river monitoring of the diatoms in the diagnosis of drowning. *J For Sci* 41(3):231–234

- Ludes B, Coste M, North N, Mangin P (1996c) Intérêt de l'étude de la flore des diatomées du lieu de submersion dans le diagnostic de noyade. *Bull Fr Pêche Piscic* 341/342:133–137
- Norton T, Melkonian M, Andersen R (1996) Algal biodiversity. *Phycologia* 35:308–326
- Otto H (1961) Über den Nachweis von Diatomeen in menschlichen Lungenstauben. *Frankfurter Z Path* 71:176
- Peabody AJ (1980) Diatoms and Drowning – a Review. *Med Sci Law* 20 (4):254–261
- Petersohn F (1963) Diatomeenbefunde bei Wasserleichen. *Dtsch Z ges ger Med* 54:370–378
- Pollanen M, Cheung C, Chiasson D (1997a) The diagnostic value of the diatom test for drowning, I. Utility: A retrospective analysis of 771 cases of drowning in Ontario, Canada. *For Sci* 42(2):281–285
- Pollanen M, Cheung C, Chiasson D (1997b) The diagnostic value of the diatom test for drowning, II. Validity: Analysis of diatoms in bone marrow and drowning medium. *For Sci* 42(2):286–290
- Pollanen M (1998) *Forensic diatomology and drowning*. Elsevier, Amsterdam
- Reh H (1968) Zur Diatomeenfrage. *Deutsche Zeitschrift für gerichtliche Medizin* 63:131–133
- Reinsberg (1901) Beitrag zur Lehre vom Ertrinkungstod. *Zeitschr D böhm Aerzte* 23:56–100
- Renkonen O (1938) Statistisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. *Ann Zool Soc Bot Fenn Vanamo* 6
- Revenstorf V (1904) Der Nachweis der aspirierten Ertrinkungsflüssigkeit als Kriterium des Todes durch Ertrinken. *Vierteljahresschr ger Med* 27 (3):274–299
- Rumrich U, Lange-Bertalot H, Rumrich M (1990) Tod durch Ertrinken. Eine Methode zur kritischen Differenzierung mit Hilfe von Diatomeen. *Kriminalistik* 6:325–330
- Schellmann B, Sperl W (1979) Diatomeen-Nachweis im Knochenmark (Femur) Nichtertrunkener. *Z Rechtsmed* 83:319–324
- Schmedtje U, Bauer A, Gutowski A, Hofmann G, Leukart P, Melzer A, Mollenhauer D, Schneider S, Tremp H (1998) Trophiekartierung von aufwuchs- und makrophytendominierten Fließgewässern. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München. *Informationsber Heft* 4/99
- Schneider V (1965) Versuche zum Beweiswert des Diatomeennachweises beim Ertrinkungstod. *Dtsch Z ges gerichtl Med* 59:188–195
- Spitz W (1963) Diagnose des Ertrinkungstodes durch den Diatomeen-Nachweis in Organen. *Dtsch Z ges gerichtl Med* 54:42–45
- Staak M (1968) Kritische Bemerkungen zur Spezifität des Diatomeen-Nachweises. *Dtsch Z ges gerichtl Med* 63:122–126
- Straub F (2002) Note Algologique II. Apparition envahissante de la diatomée *Achnanthes catenata* Bily & Marvan (Heterokontophyta, Bacillariophyceae) dans le lac de neuchatel (Suisse). *Bulletin de la Société neuchatoise des sciences naturelles* 125:59–65
- Tamaska L (1961) Über den Diatomeennachweis im Knochenmark der Wasserleichen. *Zacchia* 24:263–273
- Van den Hoek C, Jahns HM, Mann DG (1993) *Algen*. 3. Aufl. Thieme, Stuttgart
- Wachholz L (1907) Die Diagnose des Ertrinkungstodes. *Vierteljahresschr ger Med* 33:2–20

# 10 Forensische Palynologie – Möglichkeiten und Grenzen der Pollen- analyse beim Einsatz in der Kriminalistik

Eberhard Grüger

Pollenkörner, insbesondere solche windblütiger Arten, können jede der Luft ausgesetzte Oberfläche erreichen. Pollenspektren von lange exponierten Oberflächen spiegeln deshalb die Zusammensetzung der Vegetation der Umgebung wider. Nichtwindblütige Pflanzenarten sind im Pollenniederschlag stark untervertreten, denn ihre Pollenkörner werden nur ausnahmsweise weit verbreitet. Solchem Pollen kann deshalb ein hoher diagnostischer Wert zukommen. Dies gilt auch für Pollenkörner von Pflanzenarten, die im jeweiligen Untersuchungsgebiet nicht heimisch sind („Exoten“). Blütenstaub an einem *corpus delicti* kann also auf eine Örtlichkeit weisen oder anzeigen, wann das *corpus delicti* der Luft ausgesetzt war. Blütenstaub ist nur zur Blühzeit in nennenswerter Menge in der Luft nachweisbar.

Weil Pollenkörner zu klein sind, um mit bloßem Auge gesehen werden zu können, muss beim Umgang mit Proben für eine pollenanalytische Untersuchung, beginnend mit der Probennahme, aber auch bei der Lagerung und Aufbereitung der Proben im Labor, dafür gesorgt werden, dass Verunreinigungen, d. h. Einträge von Pollenkörnern aus anderem als dem Fundzusammenhang, nicht möglich sind.

Bei quantitativen Analysen muss eine möglichst große Zählsumme angestrebt werden, damit eine ausreichende statistische Sicherheit erzielt wird.

## 10.1 Einleitung

Die forensische Palynologie bedient sich der Pollenanalyse vornehmlich, um Hinweise auf einen Tatort oder die Tatzeit zu gewinnen. Dafür müssen die in der zu untersuchenden Probe enthaltenen mikroskopisch kleinen pflanzlichen Reste (meistens Pollenkörner und Farnsporen) angereichert und bestimmt werden. Wenn vorhanden, werden auch Moos- und Pilzsporen, Algenreste, tierische Reste und andere Palynomorphe in die Untersuchung einbezogen.

---

Eberhard Grüger: Albrecht von Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften, Abteilung für Palynologie und Klimadynamik, Wilhelm-Weber-Straße 2a, 37073 Göttingen, E-Mail: [egruege@gwdg.de](mailto:egruege@gwdg.de)

## 10.2 Grundlagen

### 10.2.1 Entstehung und Funktion des Pollens

Pollen (Blütenstaub) setzt sich aus Pollenkörnern zusammen. Die Pollenkörner entstehen in den Staubblättern und haben nur einen Chromosomensatz, sind also haploid. In ihnen werden durch weitere Teilungen die Zellkerne gebildet, die für die Befruchtung der Eizellen benötigt werden. Die Eizellen entstehen in den Samenanlagen, die bei den Bedecktsamern (Angiospermen) von Fruchtblättern bzw. vom Fruchtknoten, umschlossen sind, bei den Nacktsamern (Gymnospermen) aber frei auf oftmals schuppenartigen Blättern liegen. Damit eine Befruchtung möglich wird, muss Pollen in die Nähe der Samenanlagen gebracht werden. Dieser Transportvorgang wird als Bestäubung bezeichnet.

### 10.2.2 Die Verbreitung von Pollenkörnern

Die Kenntnis der Verbreitungsmöglichkeiten von Pollenkörnern ist für die Deutung von Pollenspektren unerlässlich.

Je nach der Art der Übertragung des Pollens werden windblütige (anemogame), tierblütige (zoogame), wasserblütige (hydrogame) und selbstbestäubende (autogame) Pflanzenarten unterschieden.

Bei den anemogamen Arten besorgt der Wind den Pollentransport. Weil Windtransport nicht zielgerichtet ist, müssen anemogame Arten sehr viele Pollenkörner produzieren, um eine ausreichende Zahl von Befruchtungen zu erzielen. Die meisten mitteleuropäischen Baumarten sind anemogam, auch die Gräser und andere krautige Arten. Nebenbei sei angemerkt, dass Heuschnupfen von eingeatmetem Pollen ausgelöst wird.

Der in der Luft enthaltene Blütenstaub stammt in der Regel überwiegend aus der näheren Umgebung des Untersuchungsortes. Ein geringer Anteil wird aus weiter entfernten Gegenden vom Wind hertransportiert. So kann in der Luft von Spitzbergen Pollen von Pflanzenarten gefunden werden, deren nächster Wuchsort in Südfinnland liegt. Auch Pollen aus der Sahara kann nach Mitteleuropa gelangen. Der Transportweg ist in beiden Fällen mehr als 2000 km lang. Der Anteil ferntransportierten Pollens ist in Landschaften mit einer geschlossenen Pflanzendecke im Vergleich zur hier produzierten Pollenmenge sehr gering. In vegetationslosen Gegenden oder in Gebieten mit einer lückigen Vegetation, die



selbst nur wenig Pollen erzeugt (Tundra oder Hochgebirge), ist der Ferneintrag dagegen (trotz geringer Stückzahlen) relativ groß. Dieser Zusammenhang muss bei der Interpretation von Pollen-Prozentwerten beachtet werden.

Zoogame Pflanzen werden von Tieren bestäubt. Bienen und andere Insekten, Vögel, auch Fledermäuse und kleine Beuteltiere, die in Blüten nach Nahrung (Pollen, Nektar) suchen, berühren dabei die Staubblätter und „beladen“ sich mit Blütenstaub, den sie beim Besuch anderer Blüten an deren Narben abstreifen.

Anders als die windblütigen müssen die zoogamen Pflanzenarten (vor allem die Nektar produzierenden) keine großen Pollenmengen produzieren, um eine ausreichende Zahl von Befruchtungen möglich zu machen, denn die Bestäubung erfolgt oftmals zielgerichtet. Manche Insekten fliegen bei einem Sammelflug nur Blüten einer Pflanzenart an. Solche Arten können es sich „leisten“, die Zahl der Staubblätter zu verringern. Manche erzeugen in jedem Staubblatt nur noch wenige Pollenkörner. Taubnesseln und Salbei sind Beispiele für eine derartig optimierte Bestäubung. Doldenblütler, Löwenzahn oder Gänseblümchen stellen eher den Normalfall der Tierbestäubung dar.

Die Oberfläche der Pollenkörner zoogamer Arten ist mit klebrigen Substanzen (Pollenkitt) überzogen. Klebrige Pollenkörner haften leicht an den Tieren und aneinander. Den windblütigen Arten fehlt Pollenkitt weitgehend.

Wasserpflanzen öffnen ihre Blüten über, auf oder unter der Wasseroberfläche. Sofern sie hydrogam sind, wird ihr Blütenstaub vom Wasser zur Narbe einer artgleichen anderen Blüte gebracht. Beispiele für Hydrogamie sind in der europäischen Flora selten.

Die Übertragung von Pollen einer Blüte auf die Narbe derselben Blüte (Selbstbestäubung, Autogamie) ist bei Zwitterblüten weit verbreitet. Selbstbefruchtung wird jedoch meistens unterbunden. Einige Pflanzenarten, z. B. das Hundsveilchen, *Viola canina*, sind obligat autogam. Die Blüten solcher Arten öffnen sich nicht; die Bestäubung erfolgt in geschlossenen Blüten.

Diese Klassifizierung von Pflanzen nach dem Bestäubungsmodus bedeutet nicht, dass der Pollen einer Pflanzenart ausschließlich vom Wind, von Tieren oder vom Wasser übertragen oder nie freigesetzt wird. Tiere, die zufällig reife Staubblätter einer windblütigen Art berühren, transportieren diesen Pollen weiter, und Pollenkörner zoogamer Arten können gelegentlich in die Luft gelangen. Bestäubungsökologisch sind solche Fälle freilich ohne Belang. Bei der Deutung von Pollennachweisen darf jedoch die Möglichkeit eines irregulären Pollentransports nicht übersehen werden.

### 10.2.3

## Die Nachweisbarkeit von Blütenstaub im Jahresgang

Der Pollengehalt der Luft variiert im Verlaufe eines Jahres sowohl hinsichtlich seiner Menge als auch hinsichtlich der Arten, von denen die Pollenkörner stammen. Nur während der Blühzeit einer Art ist deren Pollen in größerer Menge in der Luft zu erwarten. Dementsprechend ist der Pollengehalt der Luft in Gebieten mit einem Jahreszeitenklima wie Europa, im Frühjahr und Frühsommer groß, nimmt im weiteren Verlauf des Jahres stark ab und ist während des Winters nahezu gleich Null. Wenn es regnet, nimmt der Pollengehalt der Luft vorübergehend stark ab.

Pollenkalender geben Auskunft darüber, wann und wie häufig die wichtigsten Pollentypen einer Gegend in der Luft nachweisbar sind (Stix 1997; Winkler et al. 2001; weitere Beispiele im Internet). Auch „Floren“ geben Auskunft über die Blühzeiten der einzelnen Pflanzenarten. Diese sind aber in den verschiedenen Teilen eines Landes kleinräumig keinesfalls einheitlich (vergl. dazu Staiger 2003).

In Deutschland setzt der Pollenflug in der Regel mit dem Aufblühen der Hasel und/oder der Erle ein, manchmal bereits im Dezember. Im Frühjahr steigt die Pollenkonzentration der Luft rasch an. Vom Spätsommer an, wenn fast nur noch zoogame Arten (z.B. Astern) blühen, ist der Pollengehalt der Luft sehr gering. Die wenigen im Winter registrierten Pollenkörner wurden wahrscheinlich vom Wind von geschützten Oberflächen, auf denen sie seit der Blühzeit gelegen haben, aufgenommen und weiter getragen.

Die Pollenmengen, die zur Hauptblühzeit in die Luft gelangen, sind beträchtlich. Über einer blühenden Wiese können in  $1 \text{ m}^3$  Luft bis zu 30.000 Pollenkörner von Gräsern enthalten sein (Stix 1997). In Göttingen erreichten die stündliche Pollenkonzentration im April 1987 mit 7616 Pollenkörnern und die Konzentration von Pollenkörnern und Sporen im Juni mit nahezu 10.000 Stück je  $\text{m}^3$  Luft ihre Jahresmaxima (Müller 1991). Die Zahl der Pollenkörner, die im walddreichen Deutschland jährlich auf  $1 \text{ cm}^2$  Fläche fallen, ist dementsprechend groß. Die Jahresmittelwerte des Pollenniederschlags liegen hier „zwischen 2200 und 3600 (– 4000) Pollenkörnern“ (Grosse-Brauckmann 1978). In einzelnen Jahren können deutlich höhere Werte erreicht werden. Immer handelt es sich dabei überwiegend um Pollenkörner windblütiger Arten.

Der Pollengehalt der Luft variiert im Verlauf eines Tages stark. Er ist nachts am geringsten und gegen Mittag am größten; denn, weil die Öffnung der Staubbeutel hygroskopisch bewirkt wird, fördern geringe Luftfeuchtigkeit und hohe Temperaturen die Pollenfreisetzung.

### 10.2.4

## Bestimmung und Bestimmbarkeit von Pollenkörnern

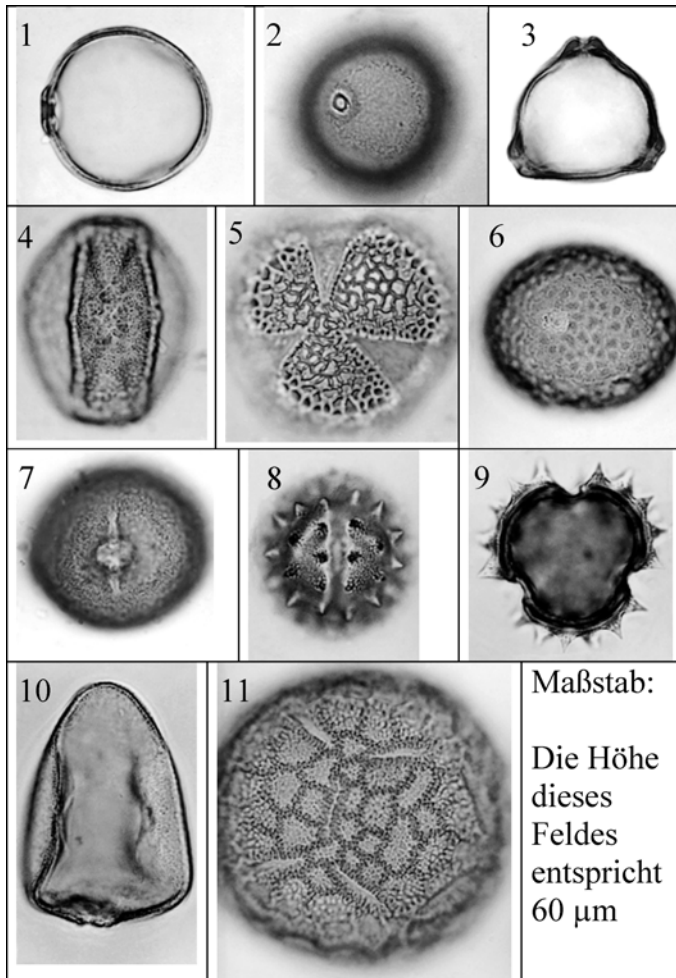
Es gibt mehr Pflanzenarten als unterscheidbare Pollenformen, mit anderen Worten: nur wenige Pflanzenarten sind anhand ihres Pollens eindeutig bestimmbar. Die Zuordnung eines Pollenkorns zu einer Pflanzengattung ist dagegen oft möglich. So ist beispielsweise Eichenpollen (*Quercus*) bestimmbar, die Pollenkörner der heimischen Eichenarten sind aber nicht unterscheidbar. Häufig haben mehrere Arten, Gattungen oder Familien einen Pollentyp gemeinsam. Beispiel: Zum *Potentilla*-Typ (Beug 2004) zählen die Pollenkörner aller Arten der Gattungen *Potentilla* (Fingerkraut) und *Fragaria* (Erdbeere), insgesamt mehr als 35 Arten. Gräser (Gramineen, Poaceae), Korbblütler (Compositae, Asteraceae und Cichoriaceae), Kreuzblütler (Cruciferen, Brassicaceae) und Doldenblütler (Umbelliferen, Apiaceae) sind Beispiele für den ungünstigsten Fall, für artenreiche Familien, die nur wenige Pollentypen ausgebildet haben.

Selbst die Pollenkörner der Tanne (*Abies alba*), die größten der mitteleuropäischen Pollenflora, sind mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen. Tannepollen kann 158,3  $\mu\text{m}$  lang sein (Mittelwert 134,9  $\mu\text{m}$ ; Beug 2004). Die meisten Pollentypen sind viel kleiner. Sehr kleine sind weniger als 10  $\mu\text{m}$  lang (z. B. Vergissmeinnicht, *Myosotis*).

Pollenkörner unterscheiden sich von anderen Pflanzenzellen (außer durch die Haploidie) durch den Besitz einer Exine. Diese ist eine selten mehr als 2,5  $\mu\text{m}$  dicke Schicht aus kaum abbaubaren Substanzen (Sporopollenine), die auf die in diesem Zusammenhang Intine genannte Zellwand aufgelagert ist. Die Exine besitzt Dünnstellen (Aperturen), durch die der Pollenschlauch austreten kann. Die Aperturen sind meistens als Poren, Furchen (Colpen) oder Furchen mit Poren ausgebildet und häufig in Dreizahl vorhanden (Abb. 10.1).

Der Feinbau der Exine, Skulpturelemente sowie Größe und Gestalt der Pollenkörner liefern weitere Merkmale für die Bestimmung. Erstere sind am besten an subfossilem oder azetolysiertem Pollen, d. h. an Pollenkörnern ohne Zellinhalt und Intine zu beobachten. Bestimmungsbücher bilden vorwiegend solche „Pollenkörner“ ab. Als Bestimmungsbuch für mitteleuropäische Pollentypen ist der reich bebilderte „Leitfaden“ zu empfehlen (Beug 2004). Ein Verzeichnis aller weltweit verfügbaren Bestimmungsbücher haben Hooghiemstra und van Geel (1998) veröffentlicht.

Pollen mit Zellinhalt (rezyklischer Pollen) ist schwieriger zu bestimmen, denn die Bestimmung kann sich nur auf Aufsichtsbilder stützen, anhaftender Pollenkitt verdeckt wichtige Merkmale und der Feinbau der Exine ist nicht zu beurteilen. Als Hilfe für und zur Kontrolle von Bestimmungen stehen nur Publikationen zur Verfügung, die für die Zwecke der Pollenwarndienste konzipiert sind (Winkler et al. 2001, Hyde and Adams 1958).



**Abb. 10.1.** Beispiele für Gestalt, Aperturen und Oberflächen von Pollenkörnern (aus Beug 2004): (1, 2) Schilfrohr (*Phragmites australis*, monoporat, psilat); (3) Hänge-Birke (*Betula pendula*, triporat, psilat); (4) Stiel-Eiche (*Quercus robur*, tricolpat, scabrat); (5) Grüne Nieswurz (*Helleborus viridis*, tricolpat, reticulat); (6) Strandling (*Litorella uniflora*, periporat, verrucata); (7) Rotbuche (*Fagus sylvatica*, tricolporat, scabrat); (8, 9) Moor-Greiskraut (*Senecio paluster*, tricolporat, echinat); (10) Waldsegge (*Carex sylvatica*, periporat, scabrat/verrucata); (11) Wasser-Knöterich (*Persicaria amphibia*, pericolpat, reticulat)

Sie bilden zwar Pollenkörner mit Zellinhalt ab, doch nur solche, die für Pollenallergiker von Interesse sind.

Deshalb wird man, sofern die Probenmenge ausreicht, Proben mit rezentem Pollen immer der Azetolyse unterwerfen, um den Zellinhalt aufzulösen.

### 10.3

## Entnahme, Lagerung und Aufbereitung von Pollenproben

So vielfältig die in der Kriminalistik zu lösenden Probleme sind, so mannigfaltig sind die bei der Gewinnung von Pollenproben einzusetzenden Methoden (Wiltshire, o.J.).

Pollen, der an Gewebe haftet oder sich in Fell und Haaren oder im Atemtrakt gesammelt hat, wird abgesaugt, abgeschabt oder ausgespült. Vom Turiner Grabtuch wurde Pollen durch Aufdrücken von Klebstreifen auf das Gewebe gewonnen.

Pollen aus Lebensmitteln (Honig!), Drogen und Erdproben von Schuhen oder Kleidungsstücken gewinnt man am besten durch Auflösen der Proben.

Bei der Probennahme, beim weiteren Hantieren und beim Lagern der Proben für die Pollenanalyse muss jede Möglichkeit einer Kontamination mit Fremdpollen ausgeschlossen werden, denn windtransportierter Pollen kann überall unbemerkt auf eine Probe fallen. Deshalb dürfen Oberflächen, deren Pollenbelag untersucht werden soll, nicht unnötig lange der freien Luft ausgesetzt werden. Selbstverständlich dürfen die Arbeitsmittel nicht mit Pollen kontaminiert sein. Bei der Probennahme sollte außer den üblichen Angaben (Datum, Ortsnamen usw.) notiert werden, welche Pflanzen in der Umgebung des Fundortes vorkamen und blühten.

Wenn die Zusammensetzung des Pollenniederschlags am Fundort mit der am vermuteten Herkunftsort der Probe verglichen werden soll, müssen hier wie dort Oberflächenproben genommen werden. Als Oberflächenproben dienen in der Regel Proben aus der obersten Bodenschicht. Weil deren Pollengehalt meistens von den unmittelbar benachbart wachsenden Pflanzen geprägt ist, sollten – über eine größere Fläche (ca. 100 m<sup>2</sup>) verteilt – mehrere Oberflächenproben genommen und gemischt werden. Die Gesamtprobe sollte aus mindestens 10 ml Boden bestehen oder 15 bis 30 g schwer sein. Das resultierende Mischpollenspektrum gibt die Zusammensetzung des für die Gegend typischen Pollenniederschlags besser wieder als Einzelproben (Adams u. Mehringer 1975).

Das für die Aufbereitung von Pollenproben vorgesehene Labor sollte mit einem flusssäuretauglichen Abzug und einer Zentrifuge (mit ausschwenkenden Zentrifugenbechern) ausgestattet sein, die pro Minute 3000 Umdrehungen erreichen kann.

Die Probenaufbereitung zielt darauf ab, den Pollen der Probe durch Beseitigung anderer Substanzen anzureichern. Dies kann in der folgenden Weise geschehen:

Karbonate (1) und Silikate (2) aus Erd- oder Staubproben werden mittels Salzsäure bzw. Flusssäure, Huminsäure (3) in humosen Proben mit heißer 10%iger Lauge (z. B. Kalilauge) gelöst. Dann werden die Proben in zwei direkt aufeinander folgenden Schritten mit 100%iger Essigsäure (4a) entwässert und danach azetolysiert, d. h. in einem Gemisch aus Essigsäureanhydrid und Schwefelsäure (9:1) mehrere Minuten lang in einem Wasserbad bis zum Sieden erhitzt. Bei der Azetolyse (4b) werden langkettige Moleküle in kurzkettige und damit lösliche Verbindungen gespalten, d. h. restliches organisches Material beseitigt. Nach jedem Aufbereitungsschritt (außer der Entwässerung 4a!) werden die Proben mit Wasser versetzt („gewaschen“), um gelöste Stoffe abzuführen, und zentrifugiert. Bei diesem Aufbereitungsgang befinden sich die Pollenkörner immer im Bodensatz (pellet). Die Reihenfolge der Schritte ist beliebig. Aus Sicherheitsgründen muss jeder Behandlung mit Flusssäure eine solche mit Salzsäure vorausgehen.

Zuletzt wird der Bodensatz mit wenigen Tropfen Glycerin in ein verschließbares Glas- oder Kunststoffröhrchen überführt. Darin können die Pollenproben mehrere Jahre lang gelagert werden. Für die mikroskopische Untersuchung werden Teilproben entnommen. Mancherorts werden die Teilproben nicht in Glycerin belassen, sondern in Glyzeringelatine eingebettet. Solche Pollenkörner sind nicht mehr bewegbar. Dies kann die Bestimmung erschweren.

Pollenarme minerogene Proben sollten anders aufbereitet werden, denn beim Abgießen des Reagenzes oder des Waschwassers geht immer ein (kleiner) Teil der Probe verloren. Man kann in solchen Fällen auf die Schritte (3) und (4) und – sofern die Probe karbonatfrei ist – auch auf (1) verzichten. So behandelte Pollenkörner sind allerdings blass und eventuell leicht zu übersehen.

Feuchte Proben ohne minerogenen Anteil (z. B. Pollenkörner aus Haaren oder Fellen) müssen vor der Azetolyse (4b) nur entwässert werden (4a), lufttrockenes Material (z. B. Blüten) kann ohne weitere Vorbehandlung azetolysiert werden (4a).

Der Blütenstaub pollenarmer minerogener Proben kann mittels Schwere-trennung (Flotation) angereichert werden. Dafür müssen die Proben optimal zerteilt sein. Dies kann mit den Schritten (1), (2) und/oder (3) bewirkt werden. Dann wird eine „schwere“ Trennflüssigkeit (Dichte 1,9 g/ml) zugesetzt, die Probe gründlich geschüttelt und schließlich mehrere Minuten lang zentrifugiert (Frenzel 1994). Die Dichteunterschiede bewirken die Trennung der minerogenen von den organischen Partikeln. Das leichte organische Material schwimmt nach der Flotation auf der Trennflüssigkeit,

befindet sich also **nicht** im Bodensatz. Dieser kann verworfen werden. Der Überstand (mit den Pollenkörnern) wird danach mit Wasser bis zu einer Dichte nahe 1 verdünnt. Bei der folgenden Zentrifugation sedimentieren die organischen Partikel wieder.

Als Trennflüssigkeit hat sich Natriumwolframat-Lösung ( $\text{Na}_6\text{O}_{39}\text{W}_{12}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) bewährt. Diese teure Lösung kann nach der Analyse filtriert und durch Eindampfen zum Teil zurückgewonnen werden.

## 10.4

### Wie viel Pollen wird benötigt?

Damit Zählergebnisse beweiskräftig sind, müssen die Zählungen den Regeln der Statistik genügen. Es muss hoch ausgezählt werden. Zählsummen über 500 sind anzustreben, insbesondere wenn ein Vegetationstyp charakterisiert werden soll. Außerdem muss die Bezugssumme (Grundsumme), die der Prozentberechnung zugrunde liegt, genannt werden, damit die Aussagekraft der Prozentwerte beurteilt werden kann. Fünf Pollenkörner stellen nämlich ebenso 50% der Zählsumme 10 dar wie 500 Pollenkörner von 1000. Handelte es sich um Pollen eines windblütigen Taxons, dessen Pollen in großer Menge erzeugt und vom Wind weit verbreitet wird, dann darf nur die zweite Zählung gedeutet werden. Beträfe das Beispiel eine tierblütige oder exotische Art, könnte auch den fünf Pollenkörnern eine größere Bedeutung zukommen. Es handelt sich dann aber eher um eine qualitative Analyse, bei der lediglich festzustellen ist, welche Pollentypen nachweisbar sind.

## 10.5

### Beispiele

Quantitative und qualitative Pollenanalysen können Hinweise auf den Tatort oder die Tatzeit liefern.

#### 10.5.1

##### Beispiele für Ortsbestimmungen

1. Der wohl früheste Kriminalfall im deutschsprachigen Raum, bei dessen Aufklärung die Pollenanalyse eine maßgebliche Rolle spielte, wurde von Breitenacker (1968) mitgeteilt (vergl. Straka 1975, Bryant et al. 1990, 1998).

Im Donautal bei Wien wurde ein Urlauber vermisst, aber keine Leiche gefunden. Jemand wurde verdächtigt, den Mann ermordet zu haben, wies

aber die Beschuldigung zurück. Er habe sich zur angenommenen Tatzeit auf dem Bisamberg aufgehalten. Blattreste von Disteln, die es am Bisamberg nicht gibt, ließen vermuten, dass seine Behauptung nicht zutraf. Daraufhin wurden „Schmutzproben von den Schuhen und aus den Hosenstulpen“ des Verdächtigen pollenanalytisch untersucht. Es fand sich Pollen aus drei verschiedenen Herkünften:

- a Subfossile Pollenkörner von *Carya* (Hickory–Nuss) und Palynomorphen, die bei Verwitterung von miozänem Gestein freigesetzt werden,
- b rezenter Pollen von Arten der Flussaue: Erle (*Alnus*), Weide (*Salix*), Mädesüß (*Filipendula*), auch Pollen von Cruciferen (möglicherweise Sumpfkresse) sowie Farnsporen,
- c Pollen von Kiefer (*Pinus*) und Fichte (*Picea*), die aus einem Nadelwald stammen mussten.

Aus geologischen Gründen war das gemeinsame Auftreten von a und b nur in einem eng begrenzten Gebiet nahe der Donauaue bei Wien zu erwarten. Aufgrund dieses Befundes legte der Verdächtige ein Geständnis ab. Als die Leiche gefunden war, bemerkte man unweit des Fundortes einen Nadelwald, so dass auch der Nachweis von Koniferenpollen eine Erklärung fand.

2. Im Mittleren Westen der USA wurde ein Farmer überfallen, ausgeraubt und ermordet (Bryant et al. 1998). Der Mörder floh mit dem Wagen des Opfers, blieb aber nahe einer großen Straße im Schlamm stecken und musste zu Fuß weiterfliehen. Ein am folgenden Tag festgenommener Einbrecher äußerte einem Mitgefangenen gegenüber, er säße ja nur im Gefängnis, weil sein Wagen im Schlamm stecken geblieben sei. Dieser verriet dies, auf Strafminderung hoffend, dem Sheriff. Trotz eines weiteren Lokaltermins kam es zu keinem Geständnis; aber einem der Ermittler fiel auf, dass zwischen der verschlammten und der großen Straße ein Maisfeld lag, das in Blüte stand. Daraufhin wurden Hemd und Hose des Verdächtigen pollenanalytisch untersucht. Man fand daran sehr viel Maispollen, vor allem im Bereich von Hals und Schulter. In dieser Höhe befinden sich die männlichen Blüten des Mais (*Zea mays*). Offensichtlich war der Verdächtige durch ein Maisfeld gegangen. Da er zudem auf der vorbeiführenden Straße gesehen worden war, war klar, dass er der Täter war.

Dieser Fall ist bemerkenswert, weil alle Gräser den gleichen Pollentyp besitzen. Maispollen ist aber dank seiner Größe (53,1–138,0  $\mu\text{m}$ , Mittelwert um 90  $\mu\text{m}$ , Beug 2004) bestimmbar. Sein großes Gewicht schließt Windtransport weitestgehend aus. Findet sich auf engem Raum viel Maispollen, dann muss Kontakt mit Maisblüten angenommen werden.

3. Einem neuseeländischen Farmer wurden 300 Schafe gestohlen (Bryant et al. 1998, Milne et al. 2005). Wenig später wurden einem Viehhändler 350



Schafe angeboten. Der Händler wusste, dass die Weideflächen des Anbieters allenfalls für 200 Schafe ausreichten, und schöpfte Verdacht. Weil der Bestohlene seine Schafe nicht zweifelsfrei identifizieren konnte, wurde die Wolle mehrerer Schafe pollenanalytisch untersucht. Für etliche Wollproben ergab sich ein Artenspektrum, welches dem der Weiden des Bestohlenen, nicht aber des Anbieters entsprach. Fast alle angebotenen Schafe waren gestohlen. In diesem Falle reichte also eine qualitative Pollenanalyse aus, um den Kriminalfall lösen zu helfen.

4. Nach einem Mord in Glasgow stellte die Polizei ein Taschentuch und ein blutbeflecktes Stück Einpackpapier sicher (Bryant et al. 1998). Fingerabdrücke fand man nicht. Am Taschentuch klebte jedoch Pollen von *Abutilon*, einem in Schottland nicht heimischen, dort aber in Gewächshäusern gezogenen Malvengewächs. Von den wenigen Floristen, die diese Pflanzenart zum Kauf anboten, hatte einer regelmäßig Blumengebinde mit *Abutilon* in Papier der gefundenen Art an einen Pub geliefert. Dort ergaben sich Hinweise auf einen Beschäftigten, der den Mord begangen haben konnte.

Exotische Pollenkörner können Fahnder auf die richtige Spur bringen.

5. Beim Löschen einer Ladung Schottischen Whiskys in Übersee stellte es sich heraus, dass die Flaschen gegen Kalksteine ausgetauscht worden waren (Bryant et al. 1998). Wo war dies geschehen? Kalkstein gab es sowohl im Herstellerland als auch am Bestimmungsort, doch war bekannt, dass sein Gehalt an Palynomorphen in den beiden Ländern verschieden war. Pollenanalysen ergaben, dass die Ladung bereits vor dem Auslaufen des Schiffes ausgetauscht worden war.

6. Mit Hilfe der Pollenanalyse kann die Herkunft pflanzlicher Produkte geklärt werden. Es ist leicht zu prüfen, ob ein teurer Trachthonig mit billigem Importhonig „gestreckt“ und Safran (Griffel von *Crocus sativus*) durch Zusatz von Zungenblüten der Ringelblume (*Calendula*) verfälscht wurde oder ob ein Kräutertee nicht ausgewiesene Beimischungen enthält. Auch in der Drogenfahndung kann die Pollenanalyse eingesetzt werden, denn weil Drogen wie Marihuana oder Kokain häufig im Freien aufbereitet werden, kann Blütenstaub aus der umgebenden Vegetation in die Aufbereitungen gelangen.

## 10.5.2

### Beispiele für die Bestimmung eines Zeitpunktes

Staub auf Gegenständen, in Ritzen und Fugen oder auf anderen der Luft ausgesetzten Flächen enthält meistens Blütenstaub, dessen Zusammensetzung verrät, wann die betreffende Oberfläche exponiert war.

7. Ein Verdächtiger gab vor, die Mordwaffe habe seit dem Winter unbezogen auf einem Schrank gelegen. An der Waffe wurde aber nur Pollen der

Tanne, die Anfang Mai/Ende Juni blüht, gefunden. Obwohl zu erwarten, fehlte Pollen windblütiger Frühjahrsblüher. Die Aussage des Verdächtigsten konnte demnach nicht zutreffen (Straka 1975).

8. Ein Jäger wurde beschuldigt, im Sommer, nach dem Ende der herbstlichen Jagdzeit gejagt zu haben. Da er seine Jagdtrophäen an der Wand aufzuhängen pflegte, wurde der auf ihnen liegende Staub pollenanalytisch untersucht. Nur auf einer Trophäe fand sich kein Pollen von Frühjahrsblühern. Diese konnte demnach nicht seit dem vorausgegangenen Herbst dort gehangen haben (Straka 1975).

9. Ein wichtiges Schreiben war angeblich im April unterzeichnet worden. Eine genaue Untersuchung des Schriftstücks ergab, dass in die noch nasse Tinte ein Pollenkorn von *Cedrus* eingesunken und dann angetrocknet war. Zedern sind in Europa nicht heimisch, gedeihen hier aber gut. Sie sind windblütig und blühen im Oktober. Allenfalls zu dieser Zeit ist in der Luft mit Zedernpollen zu rechnen. Die Unterschrift war demnach im Oktober geleistet worden (Straka 1975).

10. Der Darminhalt der als „Ötzi“ bekannt gewordenen neolithischen Mumie enthält Blütenstaub von mindestens 30 verschiedenen Pflanzenarten (Oeggl 2000). Dieser Pollen muss mit der Nahrung, beim Trinken (Nachweise von Kieselalgen!) oder beim Atmen in den Körper gelangt sein. Weitaus am häufigsten wurden Pollenkörner der windblütigen Hopfenbuche (*Ostrya carpinifolia*) gefunden. Die Höhe ihres Anteils am Pollenspektrum ist so groß, dass davon ausgegangen werden muss, der Eismann habe sich vor dem Aufbruch zu seiner letzten Wanderung im Verbreitungsgebiet der Hopfenbuche, also südlich des Alpenhauptkammes, aufgehalten, und zwar als die Hopfenbuchen blühten, d.h. im Frühjahr. Ein späterer Zeitpunkt ist höchst unwahrscheinlich, weil zahlreiche Pollenkörner von *Ostrya* und auch solche von *Betula* noch Mikrogametophyten enthielten, die erfahrungsgemäß nicht lange erhalten bleiben. Eine rezente Verunreinigung der Darmprobe mit *Ostrya*-Pollen konnte Oeggl (2000) ausschließen. Auch haben weder Früchte und Samen noch die Blätter der Hopfenbuche in Europa je als Nahrungsmittel gedient.

### 10.5.3 Sonderfälle

11. Das Turiner Grabtuch, ein 110 × 436 cm großes, ab 1357 in Frankreich nachgewiesenes und seit 1578 in Turin befindliches Leinentuch, gilt als das Grabtuch Christi. Um die Herkunft des Tuches zu klären, wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt (Bulst und Pfeiffer 1987, Miranda 2000), darunter auch Pollenanalysen.

Frei (1982) durfte in den Jahren 1973 und 1978 insgesamt 48 Klebstreifen von 10 bis 20 cm<sup>2</sup> Fläche auf das Tuch drücken und konnte so Pollen von der Oberfläche des Tuches abnehmen. Er bestimmte mehrere hundert Pollenkörner und unterschied 58 Taxa, darunter einige Arten, die nur bei Jerusalem vorkommen und dort um Ostern herum blühen. Frei hielt deshalb die Herkunft des Tuches aus der Umgebung von Jerusalem für bewiesen. Bottema (1992) wies die meisten Artbestimmungen als unmöglich zurück. Von den mediterranen Arten bestätigte er nur die Bestimmung von *Ricinus communis*. Ricinus ist aber keineswegs auf das Gebiet um Jerusalem beschränkt. Die spätere Nachuntersuchung einiger der Frei'schen Proben (Danin and Baruch 2001) führte zwar zu neuen Zuordnungen, zerstreute aber die von Bottema geäußerten Bedenken nicht. Dessen kritische Einschätzung der Bestimmungsmöglichkeiten entspricht immer noch dem aktuellen pollenmorphologischen Kenntnisstand.

In der Diskussion um die Herkunft des Tuches spielt der besonders häufig nachgewiesene Korbblütlerpollen (91 Körner!) eine wichtige Rolle. Obwohl diese Pollenkörner (mit Zellinhalt und teilweise in den Klebstoff eingesunken) nur in Aufsicht und nur mit einem Lichtmikroskop untersucht werden konnten, wurden sie einer Pflanzenart (*Gundelia tournefortii*) zugeschrieben, eine Zuordnung, die angesichts der Größe der Familie und der geringen Zahl der darin eindeutig zu bestimmenden Gattungen ohne eine detaillierte Untersuchung der Feinbaus der Exine nicht akzeptabel ist (vergl. dazu auch Bryant 1999).

Ist überhaupt zu erwarten, dass die Herkunft des Turiner Grabtuches aus Jerusalem mit Hilfe der Pollenanalyse geklärt werden kann? Das Grabtuch war, sollte es aus Palästina stammen, auf seinem Weg nach Italien und dort während nahezu 2000(?) Jahren immer wieder der Luft ausgesetzt. In unterschiedlichen Gegenden und zu verschiedenen Jahreszeiten konnte Blütenstaub auf das Tuch fallen. Das heute auf dem Tuch festzustellende Pollenspektrum kann nicht mehr dem von Jerusalem entsprechen. Die Herkunft von dort wäre nur dann wahrscheinlich, wenn Pollenkörner von Pflanzenarten gefunden würden, die es vor 2000 Jahren ausschließlich in der Umgebung von Jerusalem gab. Solches zu beweisen, ist selbst in vegetationsgeschichtlich gut untersuchten Gegenden unmöglich.

12. Schubert (1998) konnte belegen, dass die im Verlaufe des Jahres zu beobachtenden Änderungen der Zusammensetzung der Pollenspektren aus benutzten, täglich gewechselten Papiertaschentüchern denen des örtlichen Pollenkalenders entsprechen. Diese (zu erwartende) Beziehung ermöglichte es dem Autor, mit Hilfe von Pollenspektren, die er durch Spülung des Nasen-Rachen-Raums eines Verstorbenen und aus dessen zuletzt benutztem Taschentuch gewann, den Zeitpunkt des Todes mit einer Genauigkeit von wenigen Wochen zu bestimmen.

Szibor et al. (1998) wandten diese Erkenntnis auf Schädel aus einem Massengrab in Magdeburg an. Es war zu klären, ob es sich bei den 21 Toten um sowjetische Soldaten handelte, die im Zusammenhang mit den Ereignissen am 17. Juni 1953 wegen Befehlsverweigerung von ihren Vorgesetzten getötet worden waren oder um junge Männer, die kurz vor Ende des zweiten Weltkrieges im Frühjahr 1945 von der Gestapo ermordet wurden. Analysen des Pollengehaltes der Spülflüssigkeit aus den Nasenhöhlen von 7 Schädeln ergaben „that some of the victims had inhaled large amounts of summer pollen shortly before their death“. Demnach waren die Männer nicht im Frühjahr, sondern im Sommer ermordet worden. Weiterreichende Aussagen sind pollenanalytisch nicht zu begründen.

Inzwischen wurde der Annahme, im Juni 1953 seien in Magdeburg russische Soldaten getötet worden, mit überzeugenden Argumenten widersprochen und eingeräumt, „die Gebeine könnten ... auch aus der Zeit der Besetzung Magdeburgs durch die napoleonischen Truppen stammen“ (Wiegrefe 2003). Zur Bestimmung von Todesjahr und Nationalität vermag die Pollenanalyse aber nichts beizutragen.

### Dank

Herrn Dr. Friedrich Pfeil bin ich für die Bereitstellung der digitalen Druckvorlagen von Pollenfotos aus dem in seinem Verlag erschienenen „Leitfaden der Pollenbestimmung“ (Beug 2004) zu großem Dank verpflichtet. Herrn Professor Beug danke ich sehr für die vorausgehende Zusage, seine Pollenfotos verwenden zu dürfen.

### Literatur

- Adams DP, Mehringer PJ (1975) Modern pollen surface samples – an analysis of subsamples. *J. Research US Geol Survey* 3:733–73
- Beug HJ (2004) Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. Pfeil, München.
- Bottema S (1992) Lijkwade van Turijn: Het palynologisch Onderzoek. *Paleo-Aktueel* 3:101–104
- Breitenecker L (1968) Auffindung des Tatorts durch Spurenanalyse an den Kleidern mittels Infrarot-Bildwandler für Mineralogie. *Arch Kriminol* 141:121–125
- Bryant jr VM (1999) Does pollen prove the shroud authentic? *Biblical Archaeology Rev* 46:36–45
- Bryant jr VM, Jones JG, Mildenhall DC (1996) Forensic studies in palynology. In: Jansonius J, McGregor DC (eds) *Palynology: principles and applications*. vol. 3, pp 957–959. AASP, Dallas
- Bryant jr VM, Mildenhall D.C (1990) Forensic palynology in the United States of America. *Palynology* 14:193–208
- Bryant jr V.M, Mildenhall DC (1998) Forensic palynology: a new way to catch crooks. In: Bryant jr VM, Wrenn JW (eds) *New developments in palynomorph sampling, extraction, and analysis*. AASP Contribution Ser. 33:145–155

- Bulst W, Pfeiffer H (1987) Das Turiner Grabtuch und das Christusbild. Bd 1: Das Grabtuch – Forschungsberichte und Untersuchungen. Knecht, Frankfurt Main
- Danin A, Baruch U (2001) Floristic indicators for the origin of the Shroud of Turin. In: Adler AD, Piczek I, Minor M (eds.) The shroud of Turin – ravelling the mystery. Proc.1998 Dallas Symposium:202–214. Alexander Books, Alexander
- Frei M (1982) Nine years of palynological studies on the Shroud. Shroud Spectrum International 1:1–7
- Frenzel B (1994) Über Probleme der holozänen Vegetationsgeschichte Osttibets. Göttinger Geogr. Abh. 94:165–166
- Grosse-Brauckmann G (1978) Absolute jährliche Pollenniederschlagsmengen an verschiedenen Beobachtungsorten in der Bundesrepublik Deutschland. Flora 167:209–247
- Hooghiemstra H, van Geel B (1998) World list of Quaternary pollen and spore atlases. Rev. Palaeobot. Palynology 104:157–182
- Hyde HA, Adams KF (1958) An atlas of airborne pollen grains. Macmillan, London
- Milne LA, Bryant VM, Mildenhall DC (2005) Forensic Palynology. In: Coyle HM (ed.) Introduction to forensic botany. CRC Press, Boca Raton, pp 217–252
- Miranda AM (2000) Das Turiner Grabtuch – Echtheitsdiskussion und Forschungsergebnisse im historischen Überblick. Diplomarbeit, Universität Salzburg, <http://www.huinfo.at/grabtuch/grabtuch.htm>
- Müller K (1991) Der Pollen- und Sporengehalt der Luft in Göttingen während der Monate April bis Juli des Jahres 1987. Staatsexamensarbeit, Biol. Fakultät, Universität Göttingen
- Schubert C (1998) Ermittlung von Leichenliegezeiten durch forensische Palynologie: Anwendung einer traditionellen Methode in der gerichtlichen Medizin. Dissertation, Med. Fakultät, Universität. Magdeburg
- Oeggel, K. (2000) The diet of the iceman. In: Bortenschlager S, Oeggel K (eds) The iceman and his natural environment –Palaeobotanical results. Springer Wien New York, pp 89–115
- Staiger H (2003) Clusteranalyse des Pollenflugs an Messstellen der Stiftung „Deutscher Polleninformationsdienst (PID)“, [http://www.pollenstiftung.de/downloads/cluster\\_ein.pdf](http://www.pollenstiftung.de/downloads/cluster_ein.pdf)
- Stix E (1997) Pollenkalender. Regionale und jahreszeitliche Verbreitung von Pollen. 2. Aufl., Wiss. Verlagsgesellschaft, Stuttgart
- Straka H (1975) Pollen- und Sporenkunde. Eine Einführung in die Palynologie. G. Fischer, Stuttgart
- Szibor R, Schubert C, Schöning R, Krause D, Wendt U (1998) Pollen analysis reveals murder season. Nature 395 (October 1998):449–450
- Wiegrefe K (2003) Helden im Zwielficht. Der Spiegel 20:64
- Wiltshire PEJ (o.J.) Environmental profiling and forensic palynology. Background and potential value to the criminal investigator. [www.bahid.org/docs/NCF.Env%20Prof.html](http://www.bahid.org/docs/NCF.Env%20Prof.html)
- Winkler H, Ostrowski R, Wilhelm M, Bergmann KC (2001) Pollenbestimmungsbuch der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst. Takt, Paderborn

# 11

## Forensische Entomologie

Jens Amendt

Die forensische Entomologie nutzt die Besiedlung menschlicher Leichen durch Insekten bei der Klärung kriminalistisch relevanter Fragestellungen. Die bereits vor über hundert Jahren ins Leben gerufene, aber erst in den letzten 20 Jahren etablierte Forschungsdisziplin findet ihre Hauptanwendung vor allem bei der Eingrenzung des Todeszeitpunktes. Hier kann sie in den ersten Wochen auf den Tag genaue Angaben machen und so die Rechtsmedizin entscheidend unterstützen, deren klassisches Instrumentarium ein bis zwei Tage nach Todeseintritt nicht mehr greift. Die Altersbestimmung der an der Leiche vorgefundenen Insekten erlaubt die Angabe einer „minimalen Leichenliegezeit“, die in der Regel nicht unterschritten wird. Der Tod kann aber durchaus früher eingetreten sein und die sich anschließende Insektenbesiedlung durch die unterschiedlichsten Parameter verzögert werden. Dies muss bei der Interpretation der entomologischen Befunde berücksichtigt werden.

Neben der Eingrenzung der Todeszeit sind auch toxikologische und molekularbiologische Untersuchungen der asservierten Maden möglich, die z. B. bei der Aufklärung der Todesursache oder Identität des Verstorbenen helfen können. Auch die Vernachlässigung lebender, pflegebedürftiger Menschen kann anhand des Insektenbefalls von z. B. Wunden nachgewiesen und zeitlich eingegrenzt werden.

Für eine gutachterliche Bewertung ist eine sorgfältige und qualitätssichernde Asservierung und Weiterbehandlung der insektenkundlichen Spuren notwendig.

### 11.1 Einleitung

Nicht nur der Mensch und seine von ihm am Tat- oder Fundort zurückgelassenen Spuren sind interessant für die Ermittler, auch zoologische und botanische Indizien (s. weitere Beiträge in diesem Band) geraten immer mehr in den Fokus der Untersuchungen. Deren Bewertung kann wich-

---

Jens Amendt: Zentrum der Rechtsmedizin, Forensische Biologie, Kennedyallee 104, 60596 Frankfurt am Main, E-Mail: amendt@em.uni-frankfurt.de

tige Informationen zu Tatzeit und -hergang liefern. Aufgrund der in den letzten Jahren erfolgten Berichterstattung über dieses Thema in den Medien wird es nicht mehr überraschen, dass auch Insekten für die biologische Spurenkunde ein bedeutendes Mosaiksteinchen in den polizeilichen Ermittlungen liefern. Die forensische Entomologie nutzt die Besiedlung menschlicher Leichen durch Insekten bei der Klärung kriminalistisch relevanter Fragestellungen. Ihr Hauptanwendungsgebiet ist die Eingrenzung der Todeszeit, darüber hinaus sind toxikologische und molekularbiologische Untersuchungen möglich, die z. B. bei der Aufklärung der Todesursache oder Identität des Verstorbenen helfen können. Hervorzuheben ist in Zeiten steigender Zahlen von Pflegefällen auch die Möglichkeit, Vernachlässigungen hilfsbedürftiger Menschen anhand des Insektenbefalls von z. B. Wunden nachzuweisen und zeitlich einzugrenzen.

## 11.2 Kriminalistische Insektkunde

### 11.2.1 Geschichtliche Entwicklung

Der systematischen Verwendung bzw. Berücksichtigung von Insekten bei kriminalistischen Ermittlungen stand lange Zeit das fehlende Verständnis für den Zusammenhang von Tod und Insektenbesiedlung im Wege. Im Mittelalter herrschte der Glaube vor, dass Leben spontan aus Materie entsteht (Amendt et al. 2004a). Ausgerechnet Maden in verfaulendem Fleisch waren das diese Theorie belegende Parade-Beispiel. Von wo wenn nicht aus dem Fleisch selbst sollten die Tiere stammen? Der wissenschaftliche Nachweis über den Zusammenhang zwischen dem Madenbefall von verwesendem Fleisch und einer zuvor stattgefundenen Eiablage durch Fliegen wurde erst im 17. Jahrhundert durch Francesco Redi erbracht. Bis zur Entwicklung einer forensischen Insektkunde verging jedoch noch geraume Zeit, denn die Kenntnis der Metamorphose eines Insektes, also z. B. der Umwandlung von der Made zur erwachsenen Fliege, war rudimentär. Dennoch publizierte der deutsche Rechtsmediziner Reinhard 1882 mit seinen „Beiträgen zur Gräberfauna“ eine der ersten wissenschaftlichen Untersuchungen auf dem Gebiet der Forensischen Entomologie, der Franzose Mégnin gab schließlich 1894 mit seinem Werk „La faune des cadavres“ den endgültigen Startschuss zur systematischen Erfassung und Analyse des Befalls von menschlichen Leichen durch Insekten. Dabei stand vor allem eine Frage im Mittelpunkt: Können Insekten auf Leichen Hinweise auf den Todeszeitpunkt geben? Es lagen nun bereits detailliertere Kenntnisse zur Entwicklungsbiologie der Fliegen vor und so verwundert es nicht,

dass v. Hofmann einen Fall beschreibt, bei dem eine Eingrenzung der Leichenliegezeit anhand der vorgefundenen nekrophagen Insekten vorgenommen wurde (Klotzbach et al. 2004). Wenn auch zu diesem Zeitpunkt die Temperaturabhängigkeit des Wachstums sowie die Unterschiede zwischen verschiedenen Fliegenarten offenbar nicht in die Berechnungsgrundlagen miteinbezogen wurden, zeigen die zitierten historischen Quellen dennoch, dass bereits vor über 100 Jahren Leichenliegezeitberechnungen mit Hilfe der Forensischen Entomologie durchgeführt wurden. Eine Weiterentwicklung bzw. Manifestation scheiterte an der mangelnden Interdisziplinarität der Ansätze, eine Kooperation zwischen Biologie bzw. Entomologie und Rechtsmedizin war lange Zeit nicht denkbar. Erst entomologische Arbeiten wie die von Zumpt (1965) u. Schumann (1971), die detaillierte Bestimmungsschlüssel lieferten und Angaben zur Biologie und Ökologie der Arten machten, sowie erste forensisch-entomologische Arbeiten im europäischen (Nuorteva 1977, Leclerq 1983) und angloamerikanischen Raum (z. B. Erzinglioglu 1983, Smith 1986, Catts u. Haskell 1990, Greenberg 1991, Goff u. Flynn 1992), die konkrete forensische Fragestellungen und Untersuchungen aufgriffen, beendeten diese Phase. Seit etwa 20 Jahren befindet sich die Forensische Entomologie weltweit im Aufwind.

### 11.2.2

#### **Aktuelle Situation**

Zahlreiche Original- und Übersichtsarbeiten widmen sich Themen wie der Sukzession, Entwicklungsbiologie oder Taxonomie nekrophager Insekten (z. B. Anderson 2000, Grassberger u. Frank 2003, Amendt et al. 2004a, Zehner et al. 2004b, Arnaldos et al. 2005, Donovan et al. 2006), aber auch der Qualitätssicherung in der Routine (Amendt et al. 2007). Verschiedene Organisationen wie die North American Forensic Entomology Association (<http://www.nafea.net/>) oder die European Association for Forensic Entomology (<http://www.eafe.org>) stellen die seriöse Weiterentwicklung dieser Forschungsdisziplin sicher und bieten aktuelle Informationen.

## 11.3

### **Todeszeitbestimmung**

#### 11.3.1

##### **Frühe Leichenerscheinungen**

Dem Rechtsmediziner stehen in den ersten 24–48 Stunden nach Todeseintritt aussagekräftige Parameter zur Eingrenzung des Todeszeitpunktes zur



Verfügung (Henßge et al. 1995, Clark 1997, Madea u. Brinkmann 2003). Wichtigster Faktor neben dem zeitlichen Verlauf der Ausbildung von Totenstarre und Leichenflecken ist die abfallende Körperkerntemperatur. Sie bietet im Rahmen eines statistisch abgesicherten Vertrauensintervalls von wenigen Stunden und unter Berücksichtigung diverser Korrekturfaktoren, wie z. B. dem Körpergewicht und der Bekleidung, die Möglichkeit, den Zeitpunkt des Todes mathematisch einzugrenzen.

### 11.3.2

#### **Autolyse, Fäulnis und Verwesung**

Aufgrund des sich nach Todeseintritt einstellenden ATP-Mangels werden die aktiven Membrantransportmechanismen beeinträchtigt, hydrolytische Enzyme leiten die Selbstauflösung der Zellstrukturen ein. Diese autolytischen Prozesse, die ohne Beteiligung von Mikroorganismen stattfinden, führen zur Gewebeerweichung und Strukturauflösung (Clark 1997). Bei der sich anschließenden Fäulnis dominiert dann anaerobe Gewebszersetzung durch Enzyme von Fäulnisbakterien und die typische Geruchsentwicklung setzt ein (Madea u. Brinkmann 2003). Im weiteren Verlauf werden die inneren Organe zersetzt. Von Verwesung wird dann gesprochen, wenn die aerobe, bakterielle Leichenzersetzung beginnt, die meist mit einem stechend-muffigem Geruch einhergeht. Sie beginnt zunächst an den luftzugänglichen Hautpartien, an denen sich die aeroben Mikroorganismen vermehren können. Wird die Haut rissig oder aus anderen Gründen eröffnet, entsteht ein fortschreitendes aerobes Milieu, das die anaerobe Fäulnisflora verdrängt.

Während in den ersten ein bis zwei Tagen nach Todeseintritt eine auf wenige Stunden genaue Eingrenzung des Todeszeitpunktes mittels rechtsmedizinischer Methoden möglich ist, kommt es auf glückliche Begleitumstände bei den Ermittlungen an, um die späteren Fäulnis- und Verwesungsprozesse zeitlich eingrenzen zu können. Mumifizierung (Konservierung durch Wasserverlust), Fettwachsbildung (Umwandlung des Körperfettes in eine den Körper bedeckende, weißlich-schmierige bis kalkharte Masse) und Skelettierung (Freilegung der Knochen vom Weichgewebe) sind mögliche hilfreiche Parameter, doch über ihren zeitlichen Verlauf und die sie beeinflussenden Faktoren wie etwa Luftfeuchtigkeit und Bodenbeschaffenheit ist nur wenig bekannt.

So ist es nicht verwunderlich, dass sich das Interesse auf die nekrophagen Insekten richtet, die oftmals innerhalb weniger Minuten einen toten Körper besiedeln und so maßgeblich den zeitlichen Zerfallsprozess einer Leiche beeinflussen (Haskell et al. 1997).

### 11.3.3

## Leichenliegezeitbestimmung mit Insekten

### Ökologie

An einer Leiche werden sich je nach Zugänglichkeit und Zustand im Laufe des Zersetzungsprozesses zahlreiche Insektenarten und Vertreter anderer Gliedertiere einfinden (Bornemissza 1957, Smith 1986, Anderson 2001). Diese lassen sich in vier ökologische Kategorien einteilen:

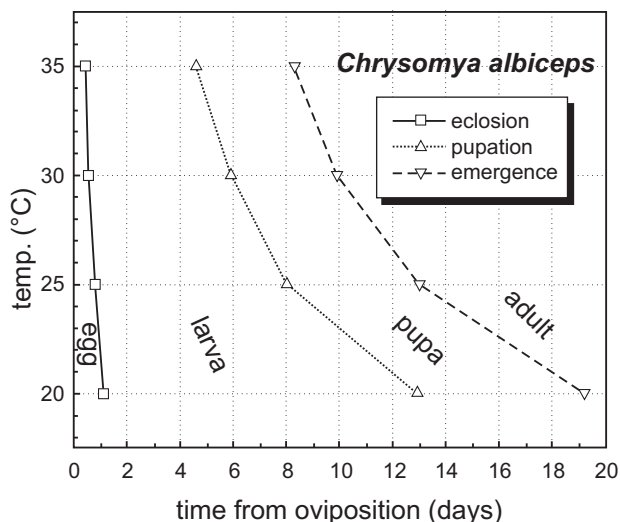
- Nekrophage Arten, die sich vom Leichengewebe ernähren.
- Räuber und Parasiten der nekrophagen Insekten und anderer mit Leichen assoziierten Gliedertiere. Hier finden wir auch Arten, die sich zunächst vom Leichengewebe ernähren und erst später zur räuberischen oder parasitischen Lebensweise übergehen.
- Omnivore Arten wie Wespen, Ameisen und verschiedene Käfer, die sich sowohl von Gewebe als auch anderen auf der Leiche befindlichen Insekten ernähren können.
- „Besucher“ wie diverse Spinnen, Springschwänze usw., die den Leichnam als eine Ausweitung ihres eigentlichen Lebensraumes (in dem die Leiche abgelegt wurde) nutzen.

Bei der Liegezeiteingrenzung finden vor allem die beiden ersten Gruppen Verwendung, da ihr Vorhandensein und vor allem die Entwicklung der nicht-adulten Stadien unmittelbar an das Leichengewebe bzw. die sich von ihm ernährenden Gliedertiere gebunden ist.

### Lebenszyklus nekrophager Insekten

Fliegen und hier vor allem Schmeißfliegen stellen die wichtigsten nekrophagen Vertreter, deshalb soll an ihnen das Prinzip des Entwicklungszyklus eines Insektes veranschaulicht werden. Das Fliegenweibchen platziert pro Eiablage meist 20–30 Eier (in Verlauf seines kompletten Lebens von 3–4 Wochen wird es weit über 1000 Eier produzieren). Die weitere Entwicklung folgt einem einheitlichen Schema. Aus den Eiern schlüpfen die 1–2 mm großen Fliegenmaden. Diese häuten sich während des Wachstums zweimal und verlassen nach Abschluss der Nahrungsaufnahme meist die Leiche, um sich zu verpuppen. Aus dem Puparium schlüpfen die erwachsenen Fliegen. Diese sind nach wenigen Tagen geschlechtsreif, der Kreislauf beginnt von neuem. Die Geschwindigkeit dieses Entwicklungszyklus wird im Wesentlichen von zwei Parametern beeinflusst, der Umgebungstemperatur und der Artzugehörigkeit der Fliege.

Insekten sind wechselwarme Tiere, was zur Folge hat, dass alle biochemischen und physiologischen Prozesse eines Organismus, wie z. B. die



**Abb. 11.1.** Zeit, welche die Schmeißfliege *Chrysomya albiceps* bei einer definierten Temperatur für das Erreichen des jeweiligen Entwicklungsstadiums benötigt; eclosion: Schlüpfen der Made aus dem Ei; pupation: Verpuppung; emergence: Schlüpfen der erwachsenen Fliege; oviposition: Eiablage, egg: Ei; pupa: Puppe; adult: erwachsene Fliege. Aus: Grassberger M, Friedrich E, Reiter C (2003) The blowfly *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) as a new forensic indicator in Central Europe. *Int J Legal Med* 117:75–81

Enzymaktivität, in hohem Maße temperaturabhängig sind. Entsprechend nimmt die Entwicklungsdauer mit steigender Temperatur ab und bei sinkenden Werten zu (Abb. 11.1). Dabei existieren allerdings für die einzelnen Arten untere und obere Schwellenwerte, welche die Temperatur nicht unter- bzw. überschreiten darf, da sonst die Entwicklung gestoppt wird oder das Tier stirbt (Marchenko 2001). Für das erfolgreiche Durchlaufen jedes Entwicklungsstadiums, also des Eies, der einzelnen Larvalstadien und schließlich der Puppe, ist die Akkumulierung einer bestimmten Temperaturmenge im Insekt notwendig. Diese Temperaturmenge wird in Tages- oder Stundengraden angegeben (Greenberg u. Kunich 2002). Unter konstanten Bedingungen stellt sie das Produkt aus Temperatur (Differenz zwischen real gemessener Temperatur und dem unteren Schwellenwert) und Zeit (gemessen in Stunden bzw. Tagen) dar.

Wie die erwähnten Schwellenwerte sind auch die Entwicklungszeiten vom Ei bis zum Schlüpfen des erwachsenen Insekts artspezifisch. Art A entwickelt sich also z. B. bei 25 °C schneller als Art B. Diese Artspezifität der Wachstumsrate macht eine korrekte Identifizierung des jeweiligen Insekts unbedingt erforderlich. Nach erfolgter Art-Bestimmung ist es dann möglich, die Zeit zu ermitteln, welche die asservierten Insekten unter den Temperaturbedingungen des Fundortes bis zum Erreichen des vorgefun-

denen Entwicklungsstadiums benötigt haben. Letztendlich wird also eine Altersbestimmung an den Tieren durchgeführt. Dabei ist immer das älteste Tier von der größten Bedeutung, da es sich am längsten auf der Leiche bzw. an deren Liegeort befunden hat und sein Alter der tatsächlichen Todeszeit am nächsten kommt.

### **Minimale Leichenliegezeit**

Der in einem entomologischen Gutachten genannte Zeitraum liefert nicht zwangsläufig den konkreten Todeszeitpunkt. Vielmehr wird angegeben, wann der Leichnam erstmals durch Insekten besiedelt wurde. Dieser Zeitraum entspricht der minimalen Leichenliegezeit. Anders formuliert, die insektenkundlichen Angaben grenzen ein, seit wann der Leichnam **mindestens** am Fundort liegt. Das bedeutet gleichzeitig, dass das Opfer durchaus schon länger tot sein kann, denn es gibt zahlreiche Faktoren, welche die Besiedlung des Körpers durch Insekten verzögern können. Eine entsprechende Verpackung der Leiche oder ein metertiefes Vergraben kann die Zugänglichkeit für Insekten erschweren oder unmöglich machen, niedrige Temperaturen oder starker Regen die Insektenaktivität auf ein Minimum reduzieren und so die Besiedlung des Leichnams verzögern bzw. verhindern. Auch legen viele Insektenarten nur selten bei Dunkelheit ihre Eier ab. Es ist also durchaus möglich, dass der Tod früher eingetreten ist, als es die entomologisch ermittelte Leichenliegezeit zunächst annehmen lässt. Darüber hinaus muss der entomologische Gutachter sich an der zunächst vorliegenden Fallgeschichte orientieren, d. h. er geht von der Annahme aus, dass die asservierten Insekten sich unter den Bedingungen des Fundortes entwickelt haben. Sollte der Leichnam zuvor bereits an einem anderen, unbekanntem Ort gelegen und besiedelt worden sein, könnte das eine mögliche Fehlerquelle für die Berechnung darstellen, da die spezifischen Bedingungen (wie z. B. Temperatur) dieses ersten Lagerortes nicht in dem Gutachten berücksichtigt werden konnten.

Die temperaturabhängigen Entwicklungszeiten der einzelnen Insektenarten und ihrer jeweiligen Stadien werden in der Regel experimentell im Labor, seltener im Freiland ermittelt. Für zahlreiche forensisch relevante Fliegentaxa existieren entsprechende Daten (Tabellen 11.1; 11.2), so dass bei optimalem Sachstand (geklärtem Artstatus, rekonstruierbare Temperaturbedingungen) in den ersten 4–6 Wochen nach Todeseintritt eine bis auf den Tag genaue Eingrenzung möglich ist. Innerhalb dieses Zeitraums wird in unseren Breiten normalerweise ein kompletter Entwicklungszyklus durchlaufen. So benötigt die Schmeißfliege *Calliphora vicina* nach Marchenko (2001) bei 12 °C ca. 39 Tage vom abgelegten Ei bis zum Schlüpfen der erwachsenen Fliege, bei 25 °C reduziert sich dieser Zeitraum auf ca. 17 Tage.

**Tabelle 11.1.** Entwicklungszeiten\* in Stunden und Tagen (d) für *Calliphora vicina*, ermittelt von verschiedenen Autoren für verschiedene konstante Temperaturen (°C); aus: Amendt J, Campobasso C, Gaudry E, Reiter C, LeBlanc H, Hall MJR (2007) Best practice in forensic entomology – standards and guidelines. Int J Legal Med 121:90–104

T (°C)	Kamal (1958) von Eiablage bis z. adulten Fliege	Reiter (1984) von geschlüpfter Made bis Puppe	Greenberg (1991) von Eiablage bis zur adulten Fliege	Anderson (2000) von der Eiablage bis zur Puppe	adulten Fliege	Marchenko (2001) <sup>a</sup> von der Eiablage bis zur Puppe	adulten Fliege
10			1647 (68.6)				
10-12						(19.1)	(38.8)
12			1069 (44.5)				
12.5							
14-16							
15.8				294.0-440.3 (12.2-18.3)	719.7-874.6 (30-36.4)	(13.6)	(27.7)
16							
18-19		(10)					
19			583 (24.3) (22.8) <sup>b</sup>			(11.2)	(22.8)
20.6			(19.4) <sup>b</sup>	213.0-233.0 (8.9-9.7)	514.8-572.0 (21.5-23.8)	(9.6)	(19.4)
22		(8)					
22-23							
23.3			460 (19.2)			(8.3)	(16.9)
25				202.8-279.0 (8.4-11.6)	454.0-499.5 (18.9-20.8)		
26.7	508 (21.2)						
27						(7.6)	(15.5)
30		(6.5)					

\* für mögliche Standardabweichungen sei auf die Originalarbeiten verwiesen

<sup>a</sup> Marchenko (2001) gibt eine zu erreichende Temperatursumme von 388 Tagesgraden (in °C) für die Entwicklung vom Ei bis zum Schlupf der adulten Fliege und einen minimalen Schwellenwert von 2 °C an

<sup>b</sup> Daten ergänzt aus Greenberg u. Kunich (2002)

**Tabelle 11.2.** Entwicklungszeiten\* in Stunden und Tagen (d) für *Lucilia sericata*, ermittelt von verschiedenen Autoren für verschiedene konstante Temperaturen (°C); aus: Amendt J, Campobasso C, Gaudry E, Reiter C, LeBlanc H, Hall MJR (2007) Best practice in forensic entomology – standards and guidelines. Int J Legal Med 121:90–104

T (°C)	Kamal (1958) von Eiablage bis adulte Fliege	Greenberg (1991) von Eiablage bis zur adulten Fliege	Grassberger & Reiter (2001) von Eiablage bis zur Verpuppung adulten Fliege	Anderson (2000) von Eiablage bis zur Verpuppung adulten Fliege	Marchenko (2001) <sup>a</sup> von Eiablage bis zur adulten Fliege
15.8				382.3 (15.9) 775.0-917.2 (32.3-38.2)	
16					(29.6)
17			400 (16.7)		(25.9)
19	(16.3)		271 (11.3)		(20.7)
20			242 (10.1)		(18.8)
20.7				245.7-356.9 (10.2-14.9)	
21			221 (9.2)		(17.3)
22		345 (14.4)	202 (8.4)		(15.9)
23.3				264 (11)	
25			172 (7.2)		(12.9)
26.7					
27	348 (14.5)				
28			155 (6.5)		(11.5)
29		296 (12.3)			(10.9)
30			149 (6.2)		(10.4)
34			139 (5.8)		(9.9)

\* für mögliche Standardabweichungen sei auf die Originalarbeiten verwiesen

<sup>a</sup> Marchenko (2001) gibt eine zu erreichende Temperatursumme von 207 Tagesgraden (in °C) für die komplette Entwicklung und einen minimalen Schwellenwert von 9 °C an

Grundsätzlich muss die Möglichkeit einer geographischen Variabilität der Entwicklungsgeschwindigkeit in Betracht gezogen werden. Entwickelt sich z. B. *Lucilia sericata* aus einer Population in Südeuropa bei 25 °C genauso schnell wie *Lucilia sericata* aus England? Es liegen erste Erkenntnisse vor, die dies verneinen und somit konsequenter Weise die Verwendung von z. B. in Südeuropa erhobenen Entwicklungsdaten für eine Leichenliegezeitberechnung in England in einem kritischen Licht beleuchten. Zukünftige Untersuchungen werden zeigen, inwieweit die forensische Entomologie hier tatsächlich mit einem ernsthaften Problem konfrontiert sein könnte, denn bislang existieren keine laborspezifischen Untersuchungen an verschiedenen geographischen Populationen einer Art. Prinzipiell ist es jedoch immer wünschenswert, die an der Leiche gesammelten Tiere unter mit dem Fundort vergleichbaren Temperaturbedingungen weiterzuzüchten und eigene populationsspezifische Daten im Labor zu erheben, die für die spätere Altersbestimmung herangezogen werden können.

Sobald sich Vertreter der ersten Besiedlungswelle fertig entwickelt haben, finden sich am Leichenfundort deren leere Puparien. Diese sind zwar, auch wenn ungleich schwerer als z. B. die erwachsenen Tiere selbst, auf Art-Niveau zu bestimmen, doch hat man zum gegenwärtigen Stand der Forschung noch keine Möglichkeit, den Zeitpunkt des Schlupfes an dem verlassenen Puparium zu ermitteln. Finden sich also die ersten leeren Puparien, beginnt die entomologische Arbeit hinsichtlich der möglichen Genauigkeit ihrer Aussagen an ihre Grenzen zu stoßen (Amendt et al. 2004b).

### **Insektensukzession an Leichen**

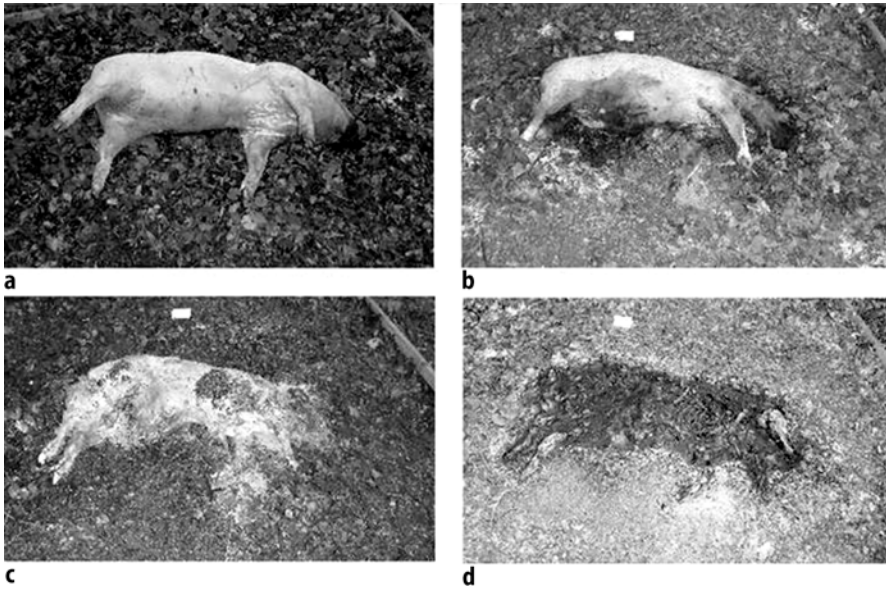
Für die Eingrenzung der Leichenliegezeit bedeutend ist, dass die einzelnen Insektenarten je nach ökologischer und biologischer Präferenz einen bestimmten Verwesungszustand des Leichnams bevorzugen, welcher demzufolge je nach Zerfallsstadium von einer typischen Leichenfauna besiedelt ist (Schoenly u. Reid 1987, Goff u. Flynn 1991, Anderson 2001, Amendt et al. 2004a). Diese chronologische Abfolge des Auftretens von Arten bzw. Artengemeinschaften in einem sich verändernden Lebensraum bezeichnet man in der Ökologie als Sukzession (Smith 1986).

Fliegenmaden dominieren den Leichnam in den ersten Wochen. Vor allem Schmeißfliegen (Calliphoridae) platzieren als Erstbesiedler ihre Ei-gelege in der Regel bereits nach wenigen Stunden oder sogar Minuten in den natürlichen Körperöffnungen und eventuell vorhandenen Wunden. Auch Vertreter anderer Fliegenfamilien wie z. B. Buckelfliegen (Phoridae) können sich schon sehr früh am Leichnam einfinden, werden jedoch keine Eiablage durchführen. Die ersten Tage bis Wochen wird die Leichenfauna somit von Schmeißfliegenmaden dominiert, die von diversen Fleischfliegen

(Sarcophagidae) sowie verschiedenen so genannten Echten Fliegen (Muscidae) begleitet werden können. Arten der beiden letztgenannten Gruppen sind in der Lage, sich sowohl von Aas als auch räuberisch von anderen Leichenbesiedlern zu ernähren. Die zahlreichen Fliegenlarven bieten auch räuberischen Käfern der Familien Silphidae (Aaskäfer), Histeridae (Stutzkäfer) und Staphylinidae (Kurzflügelkäfer) sowie parasitischen Hymenopteren ausreichend Beute bzw. Anreiz zur Eiablage. Mit fortschreitender Verwesung besiedeln andere Fliegenfamilien den Leichnam, es finden sich jetzt z. B. auch Käsefliegen (Piophilidae). Schließlich zeigen sich auch erste Larven von Frucht- und den oben erwähnten Buckelfliegen (Drosophilidae und Phoridae) an den sterblichen Überresten. Mit der Austrocknung (Mumifizierung) des Leichnams treten schließlich vor allem Speckkäfer (Dermestidae), aber auch auf den ersten Blick ungewöhnliche Besucher wie die Raupen von Teppichmotten (Tineidae) auf. Diese besitzen das zum Abbau von Haaren und Haut notwendige Enzym Keratinase.

Es ist naheliegend zu versuchen, diese zeitliche Abfolge der einzelnen Tiergruppen an einem Leichnam zur Eingrenzung der Leichenliegezeit heranzuziehen. Nichts anderes hat Mégnin in seinem bereits oben erwähnten Buch vor über 100 Jahren versucht. Doch je länger der Leichnam liegt, desto schwieriger ist diese Analyse, zumal die einzelnen Sukzessionsstadien keinesfalls ein Kontinuum darstellen (Schoenly u. Reid 1987). Ein Kadaver in einem Wald wird von einer anderen Fauna besiedelt als ein Leichnam in einer innerstädtischen Wohnung, die Sukzession in einer norddeutschen Region kann durch andere Arten dominiert werden, als im süddeutschen Raum. Die Liste der Variablen, welche die Verwesungsgeschwindigkeit und damit den zeitlichen Verlauf der Besiedlung aber auch die Artenzusammensetzung an einem Leichnam verändern, kann beliebig fortgesetzt werden. War der Leichnam verscharrt oder eingewickelt? Ist der Körper in einem Zeitraum ohne Insektenaktivität, also bei z. B. Regen oder niedrigen Temperaturen ausgebracht worden? Die Geschwindigkeit der Zersetzungsprozesse wird von den unterschiedlichsten internen und externen Faktoren beeinflusst und somit nie auf einer exakt definierten Zeitachse einzuordnen sein. Es kann sich deshalb meist nur um eine grobe Annäherung wie z. B. eine jahreszeitliche Eingrenzung oder die Angabe eines Monats der Ausbringung des Leichnams handeln. Um wissenschaftlich begründbare Zeiträume zu definieren, benötigen wir nicht nur gute Kenntnisse über die Biologie der nekrophagen Insekten, sondern auch eine enorme Menge experimenteller Daten verschiedenster Fundortsituationen und Jahreszeiten. Notwendig sind im optimalen Fall Untersuchungen, die von Anfang bis Ende den Verfall von Kadavern unter protokollierten Bedingungen dokumentieren. Der weitaus größte Anteil der Arbeiten, die sich mit der Insektensukzession an Leichen befasst, konzentriert sich auf Tierkadaver. Dabei sollte man jedoch darauf bedacht sein, sich für ein





**Abb. 11.2.** Verwesung eines Schweinekadavers in einem Waldareal; Zeitraum: 42 Tage (Mitte Juni bis Ende Juli); mittlere Temperatur 19,5 °C (Min 10,3 °C und Max 32,9 °C); a Liegezeit 2 Tage, b Liegezeit 14 Tage, c Liegezeit 32 Tage, d Liegezeit 42 Tage. Aus: Amendt J, Krettek R, Zehner R (2004a) *Forensic entomology. Naturwissenschaften* 91:51–65

mit forensischen Szenarien kompatibles Versuchstier zu entscheiden. Das Hausschwein ist sehr gut geeignet, es kann mit einem adäquaten Körpergewicht ausgewählt werden, ist hinsichtlich der Art und Anordnung der inneren Organe, der Körperbehaarung, etc. dem Menschen vergleichbar und kann zudem für spezielle Fragestellungen z. B. bekleidet werden (Abb. 11.2).

## 11.4

### DNA-analytische Untersuchungen an Insekten

#### 11.4.1

##### Identifikation nekrophager Insekten

Für jede weiterführende entomologische Untersuchung ist eine korrekte Artbestimmung der vorgefundenen Insekten unabdingbar. Es existieren hierfür zwei wesentliche Möglichkeiten. Grundsätzlich können aufgrund der arttypischen Ausbildung diverser morphologischer Strukturen die verschiedenen Entwicklungsstadien konkreten Insektenarten zugeordnet

werden (Greenberg u. Kunich 2002). Eine gewisse Erfahrung bei der Bewertung der einzelnen Merkmale ist jedoch für die Durchführung dieser Arbeit notwendig. Oftmals können nur wenige Spezialisten der jeweiligen Insektengruppe die Bestimmung durchführen, besonders die mehr oder weniger gleichförmigen Larven stellen eine große Herausforderung dar. So existiert z. B. für die larvalen Stadien der Fleischfliegen (Sarcophagidae) kein Bestimmungsschlüssel. Die gleiche Problematik gilt für die Puppen der forensisch relevanten Fliegenarten, welche wie die Maden nur wenig hilfreiche Merkmale zur Artzuordnung besitzen. Eine Lösung kann hier eventuell die Weiterzucht der asservierten Larven und Puppen zum erwachsenen und damit einfacher zu identifizierenden Tier darstellen (Smith 1986). Diese ist jedoch zeitaufwändig und keineswegs immer unproblematisch. Nicht mit allen Arten kann man gleich gut im Labor umgehen. Zudem dürfen natürlich zuvor nicht alle Larven bzw. Puparien bei der Asservierung abgetötet werden, sondern es muss auch lebendes Material vorliegen. In Fällen, in denen eine morphologische Bestimmung nicht möglich sein sollte, kann die Molekularbiologie helfen. Der Vergleich von Sequenzen ausgewählter Genbereiche ermöglicht die Zuordnung einer z. B. unbekanntes Fliegenmade zu einer konkreten Art (Sperling et al. 1994). Die Referenzsequenzen für den Abgleich erhält man durch die Untersuchung von zuvor eindeutig identifizierten Individuen. Häufig wird als Zielbereich ein Abschnitt des Gens für die Untereinheit I der mitochondrialen Cytochrom-Oxidase ausgewählt (Wallman u. Donnellan 2001, Harvey et al. 2003, Zehner et al. 2004b). Eine Übereinstimmung der mehreren 100 Basen langen Sequenzen weist auf identische Arten hin. Der Umkehrschluss ist problematischer, d. h. Abweichungen müssen keinen Ausschluss bedeuten. Für diese Entscheidung müssen genauere Informationen zur intraspezifischen Variabilität der Referenzarten vorliegen, d. h. es müssen zahlreiche Individuen einer Art untersucht werden, um sich über die Variabilität eines Genbereichs im Klaren zu sein.

Es existieren für die molekularbiologische Artbestimmung prinzipiell auch andere Möglichkeiten als die Sequenzanalyse. Letztere ist heute aufgrund ihrer Aussagekraft im Vergleich zu anderen Techniken jedoch die Methode der Wahl (Zehner et al. 2004b). Die Anwendung z. B. der PCR-RFLP bietet lediglich begrenzte Informationen für einen kleinen Sequenzbereich. Bei alleiniger Anwendung dieser Methode ist sogar die Gefahr eines falschen Ausschlusses gegeben, wenn ein wichtiger Sequenzbereich intraspezifischer Variabilität unterworfen ist.

Der fachgemäßen Lagerung des Materials kommt eine besondere Bedeutung zu, da das Gewebe bzw. die DNA der Tiere sonst der Gefahr der Degradation ausgesetzt ist. Es empfiehlt sich deshalb 70%igen oder höher konzentrierten Ethanol zu verwenden (s. Kap. 11.8.2).

## 11.4.2

### Nachweis und Typisierung menschlicher DNA

Bei Fragen nach der Identität eines Opfers ist in der Regel die Leiche selbst Quelle für DNA-analytische Untersuchungen. Es sind jedoch Szenarien denkbar, in denen eine Analyse und Typisierung von aus Maden extrahierter menschlicher DNA sinnvoll sein kann. So können Maden im Kofferraum eines Wagens oder am ehemaligen Liegeort einer Leiche dahingehend untersucht werden, ob sich diese Tiere von einem menschlichen Leichnam ernährt haben. Der individualspezifische Nachweis menschlicher DNA im Verdauungstrakt dieser Maden mit üblichen molekularbiologischen Methoden kann im optimalen Fall die Identifizierung der DNA einer konkreten Person erbringen (Zehner et al. 2004a, Campobasso et al. 2005). Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung dieser Methode ist allerdings die Anwesenheit fressaktiver Maden. Fliegenpuppen sind bislang ebenso wenig zu verwenden wie bereits aktiv von der Leiche abgewanderte bzw. seit 1–2 Tagen „hungernde“ Maden. Hier hat sich der Verdauungstrakt bereits geleert und es ist keine DNA-Analyse der Nahrung möglich.

## 11.5

### Entomotoxikologie

Die sich von einem Leichnam ernährenden Insektenlarven sind Teil einer Nahrungskette und können durch ihre Fraßtätigkeit Drogen oder Medikamente aufnehmen, die von dem Verstorbenen zu Lebzeiten konsumiert wurden. Der Nachweis solcher Substanzen in nekrophagen Insekten und die Analyse der Auswirkungen dieser Stoffe auf die Entwicklung der Tiere ist Aufgabe der Entomotoxikologie (Amendt et al. 2004a).

### 11.5.1

#### Nachweis von Giften und Medikamenten

Leichen im Zustand fortgeschrittener Verwesung können für toxikologische Analysen ein Problem darstellen, wenn sie ungenügende Mengen an brauchbarem Gewebe oder Körperflüssigkeiten wie Blut und Urin aufweisen (Beyer et al. 1980). Hier könnten die sich auf der Leiche entwickelnden Insekten eine brauchbare Alternative darstellen. Nach Mazeration der Larven und ihrer fachgerechter Aufbereitung kann die so gewonnene Lösung klassischen toxikologischen Untersuchungen wie z. B. einer Dünnschicht- oder Gas-Chromatographie unterzogen werden (Gagliano-Candela u. Aventaggiato 2001). Auch eine Analyse der sich aus den Larven

entwickelten adulten Tiere oder diverser Larvenreste bzw. leerer Puparien ist durchführbar und Erfolg versprechend (Bourel et al. 2001). Besonders die letztgenannten Fragmente sind relevant, da sie am Fundort noch viele Jahre erhalten bleiben können. Ein negativer Befund bei der toxikologischen Analyse der Insekten ist jedoch nicht zwangsläufig mit dem Fehlen einer Substanz im Leichnam gleichzusetzen (Campobasso et al. 2004). Zu variabel scheint die Anreicherung und der Abbau im Insektenkörper zu sein, auch ist nicht von einer völlig homogenen Verteilung einer chemischen Substanz in allen Abschnitten des Leichengewebes auszugehen, so dass die Tiere nicht kontinuierlich die gleiche Konzentration der Noxe aufnehmen. Dies erklärt die Tatsache, dass Insekten in der Entomotoxikologie bislang nicht zur quantitativen Analyse herangezogen werden können, sondern nur der qualitative Nachweis eines Stoffes möglich ist.

### 11.5.2

#### **Einfluss von Drogen auf die Entwicklung nekrophager Insekten**

Laborexperimente dokumentieren den möglichen Einfluss verschiedener Substanzklassen auf die Entwicklung dieser Tiere, und es ist nahe liegend, hierin potenzielle Fehlerquellen für eine korrekte Bestimmung der Leichenliegezeit zu vermuten. So verändern z. B. Kokain und Heroin, aber auch auf den ersten Blick harmlose Substanzen wie Paracetamol nachweislich die Entwicklungsgeschwindigkeit von Maden verschiedener Fliegenarten, wobei die Art des Einflusses, also eine Beschleunigung oder Verlangsamung der Entwicklung, von Spezies zu Spezies variiert (Goff et al. 1991, Bourel et al. 1999, O'Brien u. Turner 2004).

### 11.6

#### **Postmortale Spurenmanipulation**

Leicheninsekten dienen nicht nur der Eingrenzung des Todeszeitpunktes, sondern können darüber hinaus zahlreiche für die Ermittlungen wichtige Indizien liefern. So waren in einem Fall Schmeißfliegenmaden an vergrabenen Körpern ein klares Indiz für eine zeitweise oberirdische Lagerung der Leiche, da diese Fliegen keine vergrabenen Körper besiedeln können. In einem anderen Tötungsdelikt dokumentieren Greenberg u. Kunich (2002) einen Fall, in dem das Fehlen von Insekten an einem blutigen Mordopfer auf eine Manipulation des Täters kurz vor Auffinden des Leichnams hinwies: Dieser hatte, kurz bevor er selbst die Polizei verständigte, einen gewaltsamen Einbruch mit anschließender Tötung vorgetäuscht, welche 24 Stunden zuvor stattgefunden haben sollte. Bei den vorherrschenden hochsommerlichen Temperaturen und der aufgrund der zerstörten Fenster frei

zugänglichen Leiche hätte der blutige Körper jedoch in diesem Fall bereits mit zahlreichen Insekten besiedelt sein müssen.

## 11.7 Nachweis einer Vernachlässigung

Nekrophage Insekten ernähren sich zwar von totem, abgestorbenem Gewebe, das Vorhandensein dieses Gewebes ist aber nicht an einen verstorbenen Menschen gebunden. Auch lebende Menschen weisen ein geeignetes Eiablagesubstrat auf, wie etwa z. B. aufgrund von Durchblutungsstörungen abgestorbene Extremitätsbereiche. Darüber hinaus können Wunden, die über einen längeren Zeitraum nicht adäquat versorgt wurden, und auch Fäkalien entsprechende Insekten anlocken und eine Eiablage bewirken (Benecke et al. 2004). Es handelt sich vorwiegend um Larven der grün und blau schillernden Schmeißfliegen (Calliphoridae). Sie ernähren sich vom durch die Entzündung zersetzten, abgestorbenen Gewebe, was in der „Maden-Therapie“ zur Reinigung von Wunden genutzt wird (Fleischmann et al. 2004). Da mit zunehmender Überalterung der Gesellschaft neuerdings auch Pflege-Vernachlässigungen – mit oder ohne Todes-Eintritt – mehr Beachtung geschenkt wird, kann im Falle einer Insektenbesiedlung von Wunden das Alter dieser Tiere zur Bestimmung der Dauer der Vernachlässigung des Betroffenen dienen. Handelt es sich nicht um Wunden, sondern um Verschmutzungen eines Körpers (beispielsweise in nicht gewechselten Windeln) so sind nicht Schmeißfliegen, sondern vor allem Stallfliegen (Muscidae) und andere von Kot und Urin angezogene Gliedertiere von Bedeutung. Sie besiedeln im Grunde nicht den Körper, sondern die Verschmutzung. Es ist daher wichtig, auch die Kleidungs-Stücke nach Insekten zu durchsuchen. Auch diese Tiere erlauben nach kritischer Einzelfallbetrachtung eine Abschätzung des Ausmaßes und der Dauer der Vernachlässigung.

## 11.8 Asservierung

Eine professionelle Sicherung und adäquate Weiterbehandlung der Insekten ist Grundvoraussetzung für die seriöse gutachterliche Bewertung entomologischer Spuren. Deswegen sollen im Folgenden einige wesentliche Hinweise geliefert werden, die sich an den Empfehlungen der Europäischen Vereinigung Forensischer Entomologen (Amendt et al. 2007) orientieren.

### 11.8.1

#### Auffinden entomologischer Spuren

Als Grundvoraussetzung gilt: Es muss immer an der Leiche selbst **und** dem Leichenfundort gesucht werden, da sich die Larven zahlreicher Arten zum Verpuppen von der Leiche entfernen. Die Probenentnahme sollte immer in Zusammenarbeit bzw. nach Rücksprache mit dem zuständigen Kriminaltechniker und dem verantwortlichen Rechtsmediziner durchgeführt werden, um eine Kontamination bzw. das Zerstören wichtiger Beweise zu vermeiden.

An der mit Maden befallenen Leiche werden immer verschiedene Körperregionen besammelt und die Tiere anschließend getrennt nach Region aufbewahrt. Die natürlichen Körperöffnungen wie Auge oder Nase sowie mögliche Wunden sind besonders wichtig, da hier vermutlich die erste Besiedlung stattgefunden hat. Kleidungsstücke sollten besonders dann intensiv untersucht werden, wenn sich allgemein wenig bis kein Material finden lässt. Ebenso müssen eventuell für ein Einwickeln der Leiche verwendete Teppiche, Schlafsäcke etc. kontrolliert werden. Auch ein Absuchen des für den Transport verwendeten Leichensacks kann lohnend sein.

Es muss auch die unmittelbare Umgebung des Leichnams auf Insektenspuren hin kontrolliert werden. Hinsichtlich der weiteren Umgebung sollte man je nach Befallsintensität in Erwägung ziehen, in bis zu 10 Meter Entfernung von der Leiche nach Insekten zu suchen. Hier müssen Steine, Totholz bzw. Teppiche, Fußbodenleisten usw. angehoben und kontrolliert werden, um möglicherweise bereits abgewanderte Insekten zu sichern. Im Freiland müssen, wenn möglich, in einer Tiefe von ca. 10 cm diverse Bodenproben in einer Entfernung von bis zu 2 Meter von der Leiche genommen werden. Wo vorhanden, sollte auch immer Laubstreu und Bodendetritus asserviert werden. Ist der Fundort eine Wohnung, muss nicht nur der Raum untersucht werden, in dem sich die Leiche befindet. Es kann nicht oft genug auf die erstaunlichen Distanzen hingewiesen werden, die besonders Fliegenmaden zurücklegen, um sich an einem meist dunklen Ort zu verpuppen.

### 11.8.2

#### Sicherung entomologischer Spuren

Grundsätzlich gilt die Maxime: Es ist immer angestrebt, das älteste Entwicklungsstadium bzw. die seine vollzogene Entwicklung dokumentierenden Reste zu finden. Deshalb muss bei der Probennahme großzügig vorgegangen werden. Es müssen Vertreter aller Erscheinungsformen und jeder Größe, also auch Eier und adulte Tiere (hier: auch tote Fliegen oder Käfer),

gesichert werden. Dabei werden jeweils gleich erscheinende Formen in einem eigenen Gefäß aufbewahrt, um mögliche Interaktionen zu vermeiden. Die Probengröße richtet sich nach dem Befall des jeweiligen Leichnams. Bei weniger als 100 vorgefundenen Individuen sollten alle Tiere gesammelt werden, ansonsten sind etwa 1–10% des Gesamtbestandes anzustreben.

Lebende Tiere werden in Abhängigkeit vom jeweiligen Entwicklungsstadium aufbewahrt.

Eigelege werden auf feuchtem Fließpapier platziert, das in einem verschlossenen, aber belüfteten Gefäß gelagert ist. Die Lüftungslöcher dürfen jedoch keinesfalls das Entweichen der eventuell schlüpfenden Maden zulassen. Die sehr empfindlichen Stadien sollten schnellstmöglich, spätestens aber innerhalb der nächsten 24 Stunden zur Weiterzucht gelangen.

Larven werden unter bekannten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen, am besten bei kühlen Temperaturen von 2–6 °C, zwischengelagert. Wie schon bei den Eigelegen müssen die Gefäße zwar eine Luftzufuhr gewährleisten, jedoch gleichzeitig ein Entweichen der Tiere verhindern. Um eine Kontamination mit Exkretionsprodukten und das damit verbundene Absterben der Maden zu verhindern, werden die Gefäße maximal zur Hälfte gefüllt und zudem mit Sägespänen oder vergleichbarem, saugfähigem Material versetzt. Wie die Eigelege sollten auch die lebenden Maden spätestens nach 24 Stunden zur Weiterzucht gegeben werden.

Genauso schnell muss auch mit möglichen Fliegenpuppen bzw. -puparien verfahren werden. Ist dies nicht möglich, sollten die Puppen in belüftete Gefäße gegeben und unter bekannten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen, am besten bei kühlen Temperaturen von 2–6 °C, zwischengelagert werden.

Die nicht in Zucht zu nehmenden Individuen werden in sehr heißes, aber nicht kochendes Wasser (>80 °C) ca. 30 Sekunden lang eingetaucht und abgetötet. Dies ermöglicht die optimale Konservierung der Tiere, die nach Entfernen aus dem Wasser und einmaligem Waschen mit Ethanol in 70–95%igem Ethanol gelagert werden. Dies erfolgt so zeitnah wie möglich zur Asservierung der Tiere, wenn nicht am Fundort selbst, dann spätestens im Labor. Alternativ zum Abtöten in heißem Wasser können die Tiere im Tiefkühlfach für eine Stunde bei –20 °C aufbewahrt und so getötet werden. Das direkte Überführen der noch lebenden Larven in das Konservierungsmedium sollte vermieden werden, da diese Tiere sich verfärben und (früher oder später) verwesen. Zudem wird durch damit verbundene Größenveränderungen das Ermitteln der tatsächlichen Larvengröße erschwert und wichtige morphologische Merkmale verändert.

Falls es unklar ist, ob die Tiere im Labor weitergezüchtet werden sollen, ist das Abtöten sämtlicher Individuen zu empfehlen. Die Lagerung toter bzw. abgetöteter Tiere erfolgt standardmäßig in Ethanol (70–95%). Dies garantiert deren bestmöglichen Zustand für spätere morphologi-

sche oder molekularbiologische Untersuchungen. Der Einsatz von Formalin/Formaldehyd muss auf jeden Fall vermieden werden, da die Tiere in dieser Flüssigkeit nicht konserviert werden sondern im Gegenteil meist verwesен.

Eventuell asservierte adulte Tiere wie z. B. Käfer werden ca. 1 Stunde bei  $-20^{\circ}\text{C}$  abgetötet und in Ethanol (70–95%) überführt. Alternativ können die Tiere auch nach insektenkundlichen Prinzipien präpariert werden.

Mögliche Insektenreste wie etwa leere Fliegenpuparien oder Larvenhäute diverser Käfer, die vergangene Insektenaktivität dokumentieren, werden je nach Zustand entweder trocken oder in Ethanol (70–95%) gelagert.

### 11.8.3

#### **Begleitende Datenaufnahme**

Unverzichtbar bei der Erstellung entomologischer Gutachten ist die Kenntnis der Auffindesituation und der klimatischen Bedingungen am Fundort. Eine Beschreibung der Liegeposition des Leichnams, der Beschattung, des Bekleidungsstatus usw. ist deshalb genauso wichtig wie die exakte Schilderung des Habitats, in dem der Körper gefunden wurde. Eine Kombination aus schriftlichem Protokoll und Fotografien/Filmaufnahmen ist hier sinnvoll. Die Aufzeichnung der Umgebungstemperatur sowie wenn möglich weiterer Temperaturwerte wie die des Leichnams, des Bodens und eventuell vorhandener Madenballen (geklumpte Anhäufung einer großen Madenmenge) ist notwendig. Die Kenntnis der Temperaturwerte ist unerlässlich für die später durchzuführende Altersbestimmung der vorgefundenen Insekten. Das bedeutet jedoch gleichzeitig, dass nicht nur die aktuelle Temperatur, sondern auch die in der Vergangenheit liegenden Daten (bei Kenntnis der Identität des Opfers z. B. vom Zeitpunkt der Vermisstenmeldung an) für den Fundort rekonstruiert werden müssen. Dies kann nur mit Hilfe der Daten der dem Fundort nächstgelegenen Wetterstation gelingen. Um die Vergleichbarkeit der Daten der Wetterstation mit den Daten des Fundortes zu verifizieren, müssen am Leichenliegeort die Temperaturen vom Zeitpunkt des Auffindens des Leichnams bzw. der Spurenasservierung bis ca. 5–10 Tage nach Auffinden aufgezeichnet werden. Im optimalen Fall werden mit Hilfe eines Data-Loggers stündliche Aufzeichnungen durchgeführt. Diese Daten werden dann mit den Temperaturmessungen der nächstgelegenen Wetterstation verglichen. Ist eine Übereinstimmung der Daten gegeben, können die Temperaturwerte der Wetterstation unmittelbar für die Berechnungen herangezogen werden. Im Falle einer Abweichung muss versucht werden, mittels mathematischer Methoden, z. B. einer linearen Regression, die Temperaturbedingungen am Leichenfundort zu rekonstruieren. Neben den Tempera-



turdaten sind auch allgemeine Angaben zur Wettersituation wie Niederschlagsrate, Windgeschwindigkeit usw. von Interesse. Es kann nicht oft genug betont werden: Ohne seriöse Temperatur- und Wetterdaten des Leichenfundortes ist eine auf die Entwicklungsgeschwindigkeit der nekrophagen Insekten basierende Leichenliegezeitberechnung nicht durchführbar.

#### **11.8.4 Labor**

Eine detaillierte Anleitung zur Weiterbehandlung der asservierten Tiere bzw. Proben würde den Rahmen der vorliegenden Abhandlung sprengen. Hier sei exemplarisch auf die Arbeit von Byrd (2001) verwiesen. Es ist wichtig, dass jedes Tier, das nicht abgetötet wird, so schnell wie möglich in Zucht genommen wird. Dabei muss sichergestellt sein, dass alle Entwicklungsstadien unter kontrollierten und protokollierten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen gehalten werden. Im Idealfall bedeutet das den Einsatz eines zertifizierten und kalibrierten Zuchtschranks, der eine konstante Umgebungstemperatur garantiert. Falls dies nicht möglich ist, sollte zumindest eine konstante Dokumentation des Temperaturregimes mit Hilfe eines zertifizierten Dataloggers, der im Brutschrank liegt, sichergestellt sein. Wenn kein Brutschrank für eine Weiterzucht zur Verfügung steht, sollte diese unter protokollierter Raum- bzw. Umgebungstemperatur erfolgen. Auch hier werden z. B. mit Hilfe eines zertifizierten Dataloggers oder Thermometers die Entwicklungsbedingungen protokolliert.

Das Erreichen des jeweils nächsten Entwicklungsstadiums und das Schlüpfen der adulten Stadien muss dokumentiert werden.

Auch asservierte Boden- und Laubstreuproben benötigen eine weiterführende Behandlung. Falls das Untersuchen der Proben nicht zeitnah erfolgen kann, ist eine Lagerung bei kühlen Temperaturen ( $\sim 4^{\circ}\text{C}$ ) angebracht, um die Weiterentwicklung möglicherweise vorhandener Tiere sowie das Entstehen von Schimmelpilzen zu vermeiden. Bei der eigentlichen Untersuchung wird zunächst die auf dem Labortisch ausgebreitete Probe (Achtung: Aufgrund der Fluchtgefahr sollte ein Rahmen oder etwas ähnliches das Entkommen wichtiger Tiere verhindern) visuell überprüft. Ein Sieben der Proben kann hilfreich sein, die anschließende Überführung in eine so genannte Berlese-Apparatur ist sinnvoll: Hier werden möglicherweise übersehene Tiere durch Wärmebestrahlung veranlasst, die Erde zu verlassen und fallen bei dieser Fluchtbewegung in ein vorbereitetes Gefäß mit Fixier- bzw. Tötungsflüssigkeit. Eine Weiterzucht ist somit also nicht möglich.

## 11.8.5

### Präparation und Identifizierung der Insekten

Auch hier muss auf weiterführende Literatur verwiesen werden. Prinzipiell gilt, dass die Lagerung der Tiere in 70%igem oder höher konzentriertem Ethanol zu empfehlen ist, da so alle weiterführenden Präparationen und eventuelle molekularbiologische Untersuchungen in der Regel auch noch Jahre später möglich sind. Für Präparationen und sich anschließende Bestimmungen ist die Kenntnis der Terminologie und Morphologie von Insekten notwendig. Hilfreiche Einführungen existieren (z. B. Schumann 1971, Smith 1986, Abraham 1991, Castner 2001), zudem liegen für verschiedene geographische Regionen eigene Bestimmungsschlüssel vor, die oft eine eigene Einführung in den Gebrauch der Schlüssel mitliefern.

## 11.9

### Fazit

Die kriminalistische Insektenkunde ist eine prosperierende Forschungsdisziplin. Es ist davon auszugehen, dass sie in wenigen Jahren zum festen Inventar spurenkundlicher Arbeit zählen wird, um die fachgerechten Untersuchungen der nach eigenen Schätzungen zufolge mehreren hundert Leichen pro Jahr mit Madenbefall in Deutschland sicherzustellen. Wie jede Disziplin, die mit lebenden, biologischen Systemen arbeitet, ist die forensische Entomologie mit dem Problem der natürlichen Variabilität konfrontiert. Die Validierung vorhandener und Entwicklung neuer Methoden sowie eine hohen Ansprüchen genügende Qualitätssicherung bei der Probennahme und -auswertung trägt diesem Problem jedoch Rechnung.

### Literatur

- Abraham R (1991) Fang und Präparation wirbelloser Tiere. Fischer, Stuttgart New York
- Amendt J, Krettek R, Zehner R (2004a) Forensic entomology. *Naturwissenschaften* 91:51–65.
- Amendt J, Krettek R, Zehner R, Bratzke H (2004b): Praxis der forensischen Insektenkunde – zur Verwertbarkeit von Insektenfragmenten bei der Eingrenzung der Todeszeit. *Arch f Kriminol* 214:11–18
- Amendt J, Campobasso C, Gaudry E, Reiter C, LeBlanc H, Hall MJR (2006) Best practice in forensic entomology – standards and guidelines. *Int J Legal Med* (2007) 121:90–104
- Anderson GS (2000) Minimum and maximum development rates of some forensically important Calliphoridae (Diptera). *J Forensic Sci* 45:824–32
- Anderson GS (2001) Succession on carrion and its relationship to determining time of death. In: Byrd JH, Castner JL (eds) *Forensic Entomology – the utility of arthropods in legal investigations*, pp 143–175. CRC Press, Boca Raton London

- Arnaldos MI, García MD, Romera E, Presa JJ, Luna A (2005) Estimation of postmortem interval in real cases based on experimentally obtained entomological evidence. *Forensic Sci Int* 149:57–65
- Benecke M, Josephi E, Zweihoff Ralf (2004) Neglect of the elderly: forensic entomology cases and considerations *Forensic Sci Int* 146:195–199
- Beyer JC, Enos WF, Stajic M (1980) Drug identification through analysis of maggots. *J Forensic Sci* 25:411–412
- Bornemissza GF (1957) An analysis of arthropod succession in carrion and the effect of its decomposition on the soil fauna. *Aust J Zool* 5:1–12
- Bourel B, Hédouin V, Martin-Bouyer L, Becart A, Tournel G, Deveaux M, Gosset D (1999) Effects of morphine in decomposing bodies on the development of *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). *J Forensic Sci* 44:354–358
- Bourel B, Tournel G, Hédouin V, Deveaux M, Goff ML, Gosset D (2001) Morphine extraction in necrophagous insects remains for determining ante-mortem opiate intoxication. *Forensic Sci Int* 120:127–131
- Byrd JH (2001) Laboratory rearing of forensic insects. In: Byrd JH, Castner JL (eds) *Forensic Entomology – the utility of arthropods in legal investigations*, pp 121–142. CRC Press, Boca Raton London
- Campobasso CP, Linville JG, Wells JD, Introna F (2005) Forensic genetic analysis of insect gut contents (2005) *Am J Forensic Med Pathol* 26:161–165
- Campobasso CP, Gherardi M, Caligara M, Sironi L, Introna F (2004) Drug analysis in blowfly larvae and in human tissues: a comparative study. *Int J Legal Med* 118:210–214
- Castner JL (2001) General entomology and arthropod biology. In: Byrd JH, Castner JL (eds) *Forensic Entomology – the utility of arthropods in legal investigations*, pp 17–41. CRC Press, Boca Raton London
- Catts EP, Haskell NH (1990) *Entomology and death – a procedural guide*. Joyce's Print shop, Clemson/SC
- Clark MA, Worrell MB, Pless JE (1997) Postmortem changes in soft tissues. In: Haglund WD, Sorg MH (eds) *Forensic Taphonomy: The postmortem fate of human remains*, pp 151–170. CRC Press, Boca Raton
- Donovan SE, Hall MJR, Turner BD, Moncrieff CB (2006) Larval growth rates of the blowfly, *Calliphora vicina*, over a range of temperatures. *Med Vet Entomol* 20:106–114
- Erzinclioglu YZ (1983) The application of entomology to forensic medicine. *Med Sci Law* 23:57–63
- Fleischmann W, Grassberger M, Sherman R (2004) *Maggot Therapy: A Handbook of Maggot-Assisted Wound Healing*. Thieme, Stuttgart
- Gagliano-Candela R, Aventaggiato L (2001) The detection of toxic substances in entomological specimens. *Int J Legal Med* 114:197–203
- Goff ML, Flynn MM (1991) Determination of postmortem interval by arthropod succession: a case study from the Hawaiian Island. *J Forensic Sci* 36:607–614
- Goff ML, Brown WA, Hewadikaram KA, Omori AI (1991) Effects of heroin in decomposing tissues on the development rate of *Boettcherisca peregrina* (Diptera: Sarcophagidae) and implications of this effect on estimation of postmortem intervals using arthropod development patterns. *J Forensic Sci* 36:537–542
- Grassberger M, Frank C (2003) Initial study of arthropod succession on pig carrion in a central European urban habitat. *J Med Entomol* 41:511–523
- Grassberger M, Friedrich E, Reiter C (2003) The blowfly *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) as a new forensic indicator in Central Europe. *Int J Legal Med* 117:75–81.
- Greenberg B (1991) Flies as Forensic Indicators. *J Med Entomol* 28:565–577

- Greenberg B, Kunich JC (2002) *Entomology and the law – Flies as forensic indicators*. Cambridge Univ Press, Cambridge
- Harvey M, Dadour I, Gaudieri S (2003) Mitochondrial DNA cytochrome oxidase I gene: potential for distinction between immature stages of some forensically important fly species (Diptera) in western Australia. *Forensic Sci Int* 131:134–139
- Haskell NH, Hall RD, Cervenka VJ, Clark MA (1997) On the body: insect's life stage presence, their postmortem artifacts. In: Haglund WD, Sorg MH (eds) *Forensic Taphonomy: The postmortem fate of human remains*, pp 415–448. CRC Press, Boca Raton
- Henßge C, Madea B, Knight B, Nokes L, Krompecher T (1995) The estimation of the time since death in the early postmortem interval. Arnold, London Boston
- Kamal AS (1958) Comparative study of thirteen species of sarcosaprophagous Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera) I. *Bionomics. Ann Ent Soc Am* 51:261–271
- Klotzbach H, Krettek R, Bratzke H, Puschel K, Zehner R, Amendt J (2004) The history of forensic entomology in German-speaking countries *Forensic Sci Int* 144:259–263
- Leclercq M (1983) *Entomologie et médecine légale: datation de la mort, observation indite*. *Rev Med Liege* 38:735–738
- Madea B, Brinkmann B (2003) *Handbuch gerichtliche Medizin, Band 1*. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Marchenko MJ (2001) Medicolegal relevance of cadaver entomofauna for the determination of time since death. *Forensic Sci Int* 120:89–109
- Mégnin, P (1894) *La faune des cadavres. Application de l' entomologie a la médecine légal*, *Encyclopedie scientifique des Aides-Mémoire*. Masson, Paris
- Nuorteva P (1977) Sarcosaprophagous insects as forensic indicators. In: Tedeschi GC, Eckert WG, Tedeschi LG (eds) *Forensic medicine: A study in trauma and environmental hazards*, Vol 2, pp 1072–1095. Saunders, Philadelphia,
- O'Brien C, und Turner B (2004) Impact of paracetamol on the development of *Calliphora vicina* larval development. *Int J Legal Med* 118:188–189
- Reinhard H (1882) Beiträge zur Gräberfauna. *Verh k und k. Zool-Bot Ges Wien* 31:207–210
- Schoenly K, Reid W (1987) Dynamics of heterotrophic succession in carrion arthropod assemblages: discrete series or a continuum of change? *Oecologia* 73:192–202
- Schumann H (1971) Die Gattung *Lucilia* (Goldfliegen). *Merkbl Angew Parasitenkunde Schädlingsbekämpfung* 18:1–20
- Smith KGV (1986) *A manual of forensic entomology*. The Trustees, British Museum London
- Sperling FA, Anderson GS, Hickey DA (1994) A DNA-based approach to the identification of insect species used for postmortem interval estimation. *J Forensic Sci* 39:418–427
- Wallman JF, Donnellan SC (2001) The utility of mitochondrial DNA sequences for the identification of forensically important blowflies (Diptera: Calliphoridae) in southeastern Australia. *Forensic Sci Int* 120:60–67
- Zehner R, Amendt J, Krettek R (2004a) STR typing of human DNA from fly larvae fed on decomposing bodies. *J Forensic Sci* 49:337–340
- Zehner R, Amendt J, Schütt S, Sauer S, Krettek R, Povolný D (2004b) Genetic Identification of Forensically Important Flesh Flies (Diptera : Sarcophagidae). *Int J legal med* 118:245–247
- Zumt F (1965) *Myiasis in man and animals in the old world*. Butterworths, London

# 12 Forensische Mikrobiologie

Wolfgang Liebl, Dirk Porstendörfer, Michael Hoppert

Mikroorganismen, meist mikroskopisch kleine, oft einzellige Lebewesen, sind ubiquitär verbreitet und von großer Bedeutung für Umwelt, Industrie und die Gesundheit von Mensch und Tier. Der immensen phylogenetischen und physiologischen Diversität von Mikroorganismen steht eine nur relativ geringe morphologische Vielfalt gegenüber. Deshalb sind spezielle Vorgehensweisen bei der Isolierung, Identifizierung und Quantifizierung dieser Organismen erforderlich. Moderne Differenzierungs- und Identifizierungstechniken beruhen dabei immer mehr auf der Analyse molekularbiologischer Merkmale. In den folgenden Textabschnitten wird nach einführenden Bemerkungen über Biodiversität, Bedeutung, Isolierung und Identifizierung von Mikroorganismen beispielhaft auf zwei Bereiche eingegangen, bei denen Mikrobiologie in der Spurenkunde wichtige Erkenntnisse liefern kann, nämlich die Bereiche Lebensmittelherstellung/-überwachung und Biowaffen.

## 12.1

### Allgemeine Aspekte zu Mikroorganismen und Spurenkunde

Mikroorganismen sind, wie der Name bereits vorgibt, kleine Organismen. Bakterien und Archaeen (prokaryotische Mikroorganismen) sind meist einzellige Lebewesen mit relativ einfachem Zellaufbau ohne echten (d.h. membranumhüllten) Zellkern und Organelle, deren Zellgröße im Bereich von wenigen  $\mu\text{m}$  liegt. Zelldifferenzierung und multizelluläre Organisation können vorkommen, stellen aber die Ausnahme dar. Eukaryotische Mikroorganismen haben dagegen meist größere Zellen mit membranumhüllten Kompartimenten und echtem Zellkern, welche entweder als Einzeller (z. B. Hefen, Protozoen) vorliegen oder multizellulär organisiert sind.

In den vergangenen Jahren ist es durch die Entwicklung und Anwendung neuer molekularsystematischer Analysemethoden, welche die Untersuchung natürlich vorkommender Mikroorganismen-Gemeinschaften

---

Wolfgang Liebl: Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Mikrobiologie und Genetik, Grisebachstraße 8, 37077 Göttingen, E-Mail: wliebl@gwdg.de

unabhängig von der Kultivierung der darin enthaltenen Organismen erlauben, immer deutlicher geworden, dass die Diversität von Mikroorganismen immens ist. Einhergehend mit der riesigen organismischen Diversität der Prokaryoten und einfachen Eukaryoten ist die zweifellos ebenso große Diversität ihrer Enzyme und Stoffwechselfähigkeiten. Außerdem musste man feststellen, dass in vielen komplexen Habitaten wie z. B. manchen Böden nur ein kleiner Bruchteil (z. T. nur 0,1–1%) der mikrobiellen Flora mit den zur Verfügung stehenden mikrobiologischen Methoden kultivierbar ist. Es ist davon auszugehen, dass auch in den nächsten Jahren die große Lücke, die zwischen kultivierbarer und nicht-kultivierbarer Biodiversität der Mikroorganismen klafft, nicht substantiell wird geschlossen werden können. Glücklicherweise sind die wichtigsten klinisch bedeutsamen und für Lebensmittelqualität relevanten Mikroorganismen kultivierbar und mit heutigen Methoden relativ gut nachweisbar.

Die prokaryotischen Mikroorganismen sind extrem wichtig in den elementaren Stoffkreisläufen der Natur, wo sie beispielsweise in großem Umfang die Fixierung und Freisetzung von gasförmigen, anorganischen Verbindungen wie molekularem Stickstoff, Kohlendioxid oder Schwefelwasserstoff katalysieren. Sie sind entscheidend an der Mineralisation organischer Stoffe beteiligt. Durch ihre vielfältigen Stoffwechselfähigkeiten, wie etwa der Nutzung diverser anorganischer Substanzen als Elektronendonatoren oder -akzeptoren für Redoxreaktionen und Photosynthese im Zuge ihres Energiestoffwechsels, sind sie aber auch in gesteinsbildende Prozesse involviert. Die dabei ablaufenden Vorgänge der Mineralbildung unter biologischer Kontrolle bezeichnet man als Biomineralisation (z. B. Kalzifizierungsvorgänge, Stromatolithen-Bildung unter Beteiligung von Cyanobakterien). Auf diese Art haben Mikroorganismen erdgeschichtlich weit zurückreichend vielfache Spuren hinterlassen. Manche Überreste organischer Verbindungen (Nukleinsäuren, Kohlenhydrate, Proteinreste, insbesondere aber Lipide) können über erdgeschichtlich signifikante Zeiträume hinweg persistieren (molekulare Fossilien) und werden von Biogeologen als Biomarker und Biosignaturen benutzt, um Hinweise auf bestimmte Organismengruppen und deren Stoffwechselaktivität in alten und moderneren Gesteinen zu erhalten. Voraussetzung für derartige Untersuchungen sind sensitive und technisch aufwändige Methoden der Spurenanalytik wie massenspektroskopische Analysetechniken oder *Deep UV-Raman Spectroscopy* (DUVRS), sowie geeignete Datenbanken mit Analyseergebnissen von Referenzorganismen bzw. -konsortien.

Von unmittelbarer Bedeutung für Ernährung und Gesundheit des Menschen sind Mikroorganismen im Bereich der Lebens- und Futtermittel, wo sie auf der einen Seite für deren Herstellung und Haltbarmachung eingesetzt werden, auf der anderen Seite aber auch für deren Verderb und gegebenenfalls auch für mögliche krankmachende Eigenschaften verant-

wortlich sein können. Für diesen Bereich sind zahlreiche Szenarien denkbar, bei denen biologische Spurenkunde hilfreich und wichtig sein kann. Bei der Lebensmittelherstellung kommt der regelmäßigen mikrobiologischen Qualitätskontrolle eine entscheidende Rolle zu. Ein beträchtliches Aufkommen an mikrobiologischen Routineuntersuchungen gibt es auch bei der behördlichen Lebensmittel- und Gaststättenüberwachung.

Ebenso wichtig wie hygienische Verfahrensweisen und deren Überwachung mit mikrobiologischen Methoden bei der Lebensmittelherstellung und -kontrolle sind diese im Bereich der medizinischen Hygiene und Epidemiologie. Durch die Anwendung mikrobiologischer Spurenkunde in Form der Isolierung und Identifizierung von Mikroorganismen zur Untersuchung der Verbreitung (räumlich wie zeitlich) von potentiell pathogenen Mikroorganismen (oder von Indikatorkeimen, d. h. Mikroorganismen, die auf das Vorkommen pathogener Keime hindeuten) können die Ausbreitung von Krankheiten verhindert oder eingedämmt und Hygienemaßnahmen verbessert werden. Schließlich sind auch zahlreiche Kriminalistik-relevante Szenarien bis hin zu terroristischen Anschlägen denkbar, bei denen mikrobiologische Untersuchungsmethoden zur Spurensuche eingesetzt werden und zur Klärung beitragen können.

## 12.2

### **Isolierung, Differenzierung und Identifizierung von Mikroorganismen**

Generell zielen die eingesetzten mikrobiologischen Methoden darauf ab, bestimmte Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukte nachzuweisen. Zum Beispiel geht es bei klinisch relevanten Mikroorganismen um den Nachweis von potentiell pathogenen Keimen, im Lebensmittelbereich geht es in der Regel um die für die Lebensmittelherstellung und -hygiene wesentlichen Keime, d. h. Starterkulturen, Reifungsorganismen, Verderbsorganismen und wiederum potentiell pathogene Keime. Für die Probenahme, die unter Beachtung der in der Mikrobiologie üblichen sterilen Arbeitstechniken zu erfolgen hat, gibt es verschiedene Vorgehensweisen, die von dem Ausgangsmaterial abhängen (z. B. Abfüllen von flüssigen oder festen Proben in geeignete Transportbehälter, Abstriche von Oberflächen, Filtrationsverfahren für niedrige Keimzahlen in Luft- oder Flüssigkeitsproben usw.). Für routinemäßig durchgeführte Isolierungs- und Identifizierungsaufgaben wie beispielsweise bei der Lebensmittelüberwachung gibt es anerkannte Referenzmethoden, welche die Art der Probenahme, Probenanzahl, Anzuchtbedingungen usw. vorgeben.

Der erste Schritt der Identifizierung von Mikroorganismen ist in der Regel die Gewinnung von Kulturen einzelner Stämme (Reinkulturen) ohne

Kontamination mit anderen Stämmen, denn nur selten sind bereits Reinkulturen vorzufinden. Für die Anzucht ist es wichtig, den Wachstumsbedürfnissen (Medienzusammensetzung, pH-Wert, Temperatur, Sauerstoffkonzentration usw.) der nachzuweisenden Mikroorganismen Rechnung zu tragen. Unter geeigneten Wachstumsbedingungen vermehren sich die einzelnen Zellen nachzuweisender Mikroorganismen zu klonalen Populationen aus vielen Individuen (z. B. eine Kolonie auf der Oberfläche einer Nährmedium-Agarplatte), die einfacher weiter untersucht werden können als einzelne Zellen. Um aus dem üblicherweise vorkommenden mehr oder weniger komplexen Gemisch von Mikroorganismen in einer Probe bestimmte Organismen, die man dort vermutet, herauszufiltern, bedient man sich oft spezieller Anreicherungsverfahren, die einerseits das Wachstum bzw. Überleben der gesuchten Keime begünstigen und andererseits die Vermehrung der unerwünschten Begleitflora hemmen. Derartige Anreicherungstechniken zielen z. B. auf charakteristische Stoffwechselfähigkeiten, spezielle Nährstoffansprüche oder Wachstumsbedingungen (pH-Wert, Temperatur, Sauerstoffgehalt) oder Resistenz gegenüber Antibiotika oder anderen Hemmstoffen ab.

Bei allen Anreicherungs-, Isolierungs- und Identifizierungsmethoden muss größte Sorgfalt unter Nutzung entsprechender technischer Laborausstattung (Sterilwerkbänke mit Hepa-Filtern, geeignete Sterilisierungstechniken mit Autoklaven und Wärmeschränken für Trockensterilisation) und Beachtung mikrobiologischer Arbeitsregeln geübt werden. Es gilt auf allen Stufen der Probenbehandlung, der Isolierung und der weitergehenden Charakterisierung von Mikroorganismen unbedingt Kontaminationen zu vermeiden, welche zu falschen Endergebnissen führen können.

An die Stammsolierung schließen sich oft klassische mikrobiologische Methoden der Differenzierung an: Bestimmung morphologischer Merkmale wie Zellform, Zellanordnung und Größe durch mikroskopische Analyse mit dem Lichtmikroskop, differenzierende Färbemethoden, vor allem die Unterscheidung Gram-positiver und Gram-negativer Bakterien durch die Färbung nach Gram, Analyse der Ansprüche an Lebens- und Wachstumsbedingungen, biochemische Tests zur Einteilung in Stoffwechselgruppen und Untersuchung differenzierender metabolischer Eigenheiten, manchmal auch immunologische Analysen. Letztere haben in der klinischen Diagnostik eine besondere Bedeutung, da die bekannten Organismen relativ schnell sicher durch die Markierung mit spezifisch bindenden Antikörpern detektiert werden können. Moderne Methoden der Identifizierung und Klassifizierung umfassen die vergleichende Sequenzanalyse konservierter phylogenetischer Markergene (meist 16S rRNA- oder 23S rRNA-Gene, aber auch abgeleitete Aminosäuresequenzen evolutionär konservierter Proteine sind prinzipiell geeignet), chemische Zellwandana-



lyse (Aminosäuren im bakteriellen Peptidoglykan der Zellwand), Analyse von Lipiden (Bestimmung von Fettsäuremustern ganzer Zellen, Chinonen, Mycolsäuren, polarer Lipide mit GLC, HPLC und TLC) oder Fouriertransform Infrarot-(FTIR-) Spektroskopie. Die Gleichartigkeit in einigen oder allen Merkmalen ermöglicht die Zuordnung eines zunächst unbekanntem Organismus in eine taxonomische Gruppe, wobei die Klassifizierung in aufsteigender Reihenfolge von der Familie, über die Gattung und Art bis ggf. zum Stamm erfolgt. Die Grenzen der Merkmale, innerhalb derer die verschiedenen Organismen zu einzelnen taxonomischen Gruppen zusammengefasst werden, sind nicht immer objektiv bestimmbar. Für die dabei bestehende Problematik der Abgrenzung der einzelnen Ränge und der Nomenklatur sei auf die entsprechende Fachliteratur hingewiesen.

Bei forensisch-mikrobiologischen Untersuchungen, insbesondere um ursächliche Zusammenhänge zwischen beschuldigten Personen und Kriminalfällen zu beweisen, z. B. Besitz von pathogenen Keimen und Auftreten solcher Keime in Beweismitteln eines begangenen oder versuchten Verbrechens, ist es meist nicht ausreichend, Gattung und Art eines Mikroorganismus zu bestimmen. Vielmehr kommt es auf die genaue und vergleichende Identifizierung einzelner Stämme einer Mikroorganismen-Spezies an. Obwohl hierzu klassische Methoden der mikrobiologischen Differenzierung wie die umfangreiche numerische Analyse der physiologischen Eigenschaften von Stämmen hilfreich sein können, werden molekulare und Hochdurchsatz-Methoden immer mehr an Bedeutung gewinnen. Beispiele solcher Methoden sind die *Single Nucleotide Polymorphism-* (SNP-) Analyse, die *Restriction Fragment Length Polymorphism-* (RFLP-) Analyse, die Sequenzanalyse von Spacerregionen der rRNA-Operons, die *Denaturing Gradient Gel Electrophoresis-* (DGGE-) Analyse von PCR-(*Polymerase Chain Reaction-*) amplifizierten DNA-Fragmenten, oder die *Random Amplified Polymorphism DNA-* (RAPD-) Analyse. Auch DNA-Microarray-basierte Methoden erhalten zunehmend Einzug in die mikrobiologische Diagnostik.

Die heute schon standardmäßig angewandten molekulargenetischen Testsysteme beruhen zumeist auf Hybridisierungs- und PCR-Techniken. Sie sind sensitiv, zuverlässig und ermöglichen einen Nachweis innerhalb weniger Stunden. Nachteil der auf Hybridisierung beruhenden Testverfahren ist, dass für robuste, zuverlässige Aussagen relativ große Mengen des zu untersuchenden Organismus benötigt werden. Sensitivere, d. h. mit weniger Probenmaterial auskommende Tests, beruhen auf PCR. Durch sie ist es möglich, geringste Mengen vorliegender Organismen an verschiedenen Arten von Spurenrägern (z. B. Gegenstände, Nahrungsmittel, Flüssigkeiten, Gewebe, Sekrete) nachzuweisen. Die dabei für die PCR eingesetzten Primer sind sequenzspezifisch für die selektive Vervielfältigung (Amplifi-

kation) eines DNA-Markers. Durch Multiplex-PCR ist es möglich, innerhalb eines Reaktionsansatzes die zu testende Probe auf verschiedene genetische Marker zeitgleich zu überprüfen.

Mit der rapide fortschreitenden Automatisierung und Kostenreduktion bei den „Omics-Technologien“ kann erwartet werden, dass künftig auch partielle oder komplette Proteom- und Genomanalysen entscheidende Beiträge zur Stammidentifizierung leisten werden. Zum Beispiel bei der DNA-Sequenzierung gibt es mit der „454-Technologie“ heute bereits ein kommerziell erhältliches Gerät, mit dem in einem einzigen Lauf von etwa 5 h bis zu 20 Mb ( $2 \times 10^7$  Basen) Sequenzrohdaten generiert werden können. Im Gegensatz zu anderen Sequenzierungsmethoden, bei denen die Klonierung der zu sequenzierenden DNA-Fragmente in den Wirtorganismus *Escherichia coli* der eigentlichen Sequenzierung mit chemischen (Maxam-Gilbert-Methode) oder enzymatischen Methoden (Sanger-Methode) vorangeht, findet dabei keine Diskriminierung schwer klonierbarer Genomregionen statt. Obwohl die Einzelsequenzen nur bis etwa 100 bp lang sind, eignet sich diese neue Hochdurchsatztechnologie offenbar sehr gut für die vergleichende Genomsequenzanalyse von Stämmen einer Art.

Für Viren, die streng genommen keine Organismen darstellen (keine von einer Cytoplasmamembran umgebenen Zellen mit eigenem Stoffwechsel, sind zur Reproduktion auf den Metabolismus lebender Wirtszellen angewiesen), gelten dieselben grundlegenden Verfahrensweisen wie für den Nachweis von Mikroorganismen-Stämmen, d. h. wo möglich kann man die Isolierung von Viren versuchen, gefolgt von deren Differenzierung und Identifizierung. Da Viren sich nicht vermehren wie Bakterien oder eukaryotische Mikroorganismen, sondern auf geeignete Wirtszellen angewiesen sind, erfolgt deren Nachweis in Proben allerdings in der Regel direkt und ohne vorherige Vermehrung oder Reinigung. Für die wichtigsten pathogenen Viren gibt es auf immunologischen und PCR-Methoden basierende Nachweistechiken, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen wird. Retroviren (Viren mit einem Genom aus RNA) lassen sich über die Reverse Transkriptase-PCR (RT-PCR) nachweisen, wobei die RNA zuerst in DNA umgeschrieben wird. Für die schnelle Differenzierung von Viren können auch elektronenmikroskopische Analysen herangezogen werden.

Oftmals kommt es nicht nur auf den qualitativen Nachweis eines bestimmten Stammes eines Mikroorganismus an, sondern auch auf dessen Quantifizierung, d. h. die Bestimmung der Keimzahlen des betreffenden Mikroorganismus (Anzahl Keime pro mL oder g Probenmaterial). Hierfür steht ein breites Spektrum an klassisch mikrobiologischen Methoden (mikroskopisches oder automatisches Auszählen, kultivierungsabhängige Methoden wie z. B. Plattierungs-, Plattenguss-, MPN- (*most probable number*))

oder Titerverfahren) zu Verfügung, die in Abhängigkeit von zu untersuchender Probe bzw. Organismus eingesetzt werden können. Alternativ werden zunehmend molekularbiologisch basierte, kultivierungsunabhängige Methoden zur Quantifizierung bestimmter Mikroorganismen entwickelt, zum Beispiel die quantitative Real-Time-PCR. Für diese Methode wird eine relativ aufwändige Geräteausstattung benötigt, sie hat jedoch den Vorteil, dass auf zeitraubende Kultivierungsschritte verzichtet werden kann. Die Amplifikation des DNA-Markers im Gerät kann zeitgleich beobachtet und bewertet werden, was eine deutliche Beschleunigung des Nachweisverfahrens bedeutet (s. auch Kap. 12.5).

## 12.3

### Lebensmittelrelevante Mikroorganismen

Bei der Untersuchung von lebensmittelrelevanten Mikroorganismen geht es in der Regel um die für die Lebensmittelherstellung oder -reifung eingesetzten Bakterien, Hefen und Pilze, oder – mit Blick auf das mögliche Vorkommen von Krankheitserregern in nicht einwandfreien Lebensmitteln – um Indikatorkeime (z. B. coliforme Keime und *Escherichia coli*, andere Enterobacteriaceae, Enterokokken) und potentiell pathogene Keime (z. B. *Salmonella* Spezies, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*). Die Methoden, welche für die Isolierung und den Nachweis lebensmittelrelevanter Mikroorganismen einsetzbar sind, unterscheiden sich nicht prinzipiell von den oben genannten Möglichkeiten, für die wichtigsten potentiell pathogenen Keime und Indikatorkeime sind jedoch bestimmte analytische Referenzmethoden (nach ISO oder EN/ISO) etabliert.

Da Lebensmittel naturgemäß für Ernährung, Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen unmittelbar von größter Wichtigkeit sind, kommt der Überwachung der Herstellung, Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln in Staat und Gesellschaft eine große Rolle zu. Dies gilt in verstärktem Maße in Zeiten neuer Technologien (Stichwort „gentechnisch veränderte Lebensmittel“) und Produkte (Stichwort „*Novel Food*“) und vor dem Hintergrund von sporadisch, aber doch immer wieder auftretenden Lebensmittelskandalen. Das Lebensmittelrecht macht in Gesetzen und Verordnungen Vorgaben zur Herstellung, dem Inverkehrbringen und der Behandlung von Lebensmitteln zur Lebensmittelüberwachung sowie zur Ahndung von Verstößen mit Strafen und Geldbußen. Die Lebensmittelüberwachung geschieht dabei auf zwei Ebenen, nämlich einerseits durch Inspektionen der Betriebe, Verkaufsstellen usw. mit gleichzeitiger Probenahme, andererseits durch Überprüfung der gezogenen Proben in dafür eingerichteten Untersuchungsämtern oder -instituten.

Seit Anfang 2006 gibt es eine neue europäische Gesetzgebung im Lebensmittelrecht. Die entsprechende Verordnung [Verordnung (EG) Nr. 2073/2005 der Kommission vom 15.11.2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel], die für alle EU-Mitgliedsstaaten gilt, gibt mikrobiologische Kriterien vor, die als Maßgaben für die Herstellungsverfahren und Kontrolle von Lebensmitteln dienen und letztlich zur Sicherheit von Lebensmitteln beitragen sollen. Für die von den Unternehmern und Kontrollbehörden durchzuführende Überprüfung der mikrobiologischen Kriterien von Mikroorganismen bzw. deren Produkte (z. B. Toxine) listet die Verordnung Methoden zur Lebensmitteluntersuchung, einschließlich möglicher Referenzmethoden für die geforderten Kriterien auf. Die Mehrzahl der Referenzmethoden sind klassisch-mikrobiologische, auf Kultivierung der Mikroorganismen basierende Techniken wie z. B. Keimzähl-, Plattierungs-, Plattenguss-, MPN- oder Flüssigkulturverfahren. Durch die neue EU-Verordnung kommt den Lebensmittelproduzenten eine größere Verantwortung als bisher bei der Überwachung der Lebensmittelherstellung zu.

## 12.4

### **Bakterien und Viren als „Biowaffen“**

Der Einsatz von Mikroorganismen und Toxinen als „Biowaffen“ im Zuge militärischer Aktionen sowie als Mittel terroristischer Taten (Bioterrorismus, Bioattacke) ist schon seit mehreren Jahren bekannt und gefürchtet. Bereits 1975 trat die Biowaffen-Konvention (*Biological and Toxin Weapons Convention* – BTWC) in Kraft, die weit reichend und eindeutig in ihrem generellen Verbot aller biologischer Waffen ist und die von mehr als 140 Staaten unterzeichnet wurde. Leider konnten bis heute keine Überprüfungsmechanismen dazu vereinbart werden. Neben militärischem und terroristischem Biowaffeneinsatz, die in der Regel auf die gleichzeitige Infektion von zahlreichen Personen abzielen, soll in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben, dass auch strafrechtlich relevante Einzelfälle von gezielt herbeigeführter Ansteckung mit infektiösen Agenzien aktenkundig geworden sind, z. B. die absichtliche Ansteckung von Individuen durch HIV-positive Personen.

Wenngleich Anschläge mit Biowaffen im Vergleich zu anderen Straftaten sehr selten sind, so steckt in ihnen das Potential, unvorhersehbare Auswirkungen auf die Gesundheit einer Bevölkerung und auf die wirtschaftliche Stabilität eines Landes haben zu können. Ziele derartiger Anschläge können einzelne Personen, Personengruppen, Nahrungsmittelindustrie, Landwirtschaft oder Infrastrukturen wie die Trinkwasserversorgung sein. Nach den Anschlägen mittels der mit Sporen des Milzbranderreger *Ba-*

*cillus anthracis* kontaminierter Briefe im Jahr 2001 wurden in den USA erstmals Überlegungen angestellt, in wieweit es möglich ist, durch eine Charakterisierung des als Waffe eingesetzten Organismus Rückschlüsse auf den Verursacher ziehen zu können. In Anlehnung an den „genetischen Fingerabdruck“ zur Identifizierung von Menschen, stellte sich die Frage nach einem „Mikrobiologischen Fingerabdruck“ zur genauen Identifizierung („Individualisierung“) eines Mikroorganismus. Wenngleich sich allein durch diese Erkenntnis ein einzelner Täter sehr schwer überführen lässt, so ergeben sich daraus mögliche Hinweise auf eine Gruppe von Personen bzw. auf den geographischen Raum, wo der Täter zu suchen ist.

Die im Fall eines biologischen Anschlags in Frage kommenden Organismen sind durch einige charakteristische Gemeinsamkeiten gekennzeichnet. Sie lassen sich einfach verbreiten, werden effizient von Mensch zu Mensch übertragen, ergeben eine hohe Morbidität oder Mortalität und sind häufig schwer zu diagnostizieren. Ihre Verbreitung kann über Aerosole, Nahrung, Wasser und andere Vektoren (z. B. Briefe) erfolgen. Als die Erreger mit dem schlimmsten Potential sind die Bakterien *Bacillus anthracis* (→ Erreger von Milzbrand, Anthrax), *Yersinia pestis* (→ Erreger der Pest), *Coxiella burnetii* (→ Erreger von Q-Fieber), *Francisella tularensis* (→ Erreger der Tularämie), *Burkholderia mallei* (Syn. *Pseudomonas mallei*, → Erreger des Rotz, v. a. bei Equiden, als Aerosol effizient verbreitbar) und *Brucella sp.* (→ Erreger der Brucellose), die viralen Erreger von hämorrhagischen Fiebern (Ebolavirus, Marburgvirus, Lassavirus), Pockenerreger (Variola), das Hantavirus sowie bakterielle Toxine von *Clostridium perfringens* und *Clostridium botulinum* zu nennen. Grundsätzlich kommen weitere human-, tier- und pflanzenpathogene Erreger sowie herkömmlich commensale Organismen, die durch genetische Manipulation pathogene Eigenschaften erlangten, als mögliche Waffen in Frage. Die Virulenz verursachenden Eigenschaften seien hier nur für den Fall des in den letzten Jahren besonders in die Schlagzeilen gerückten Milzbrandersregers *B. anthracis* erwähnt. Dessen Virulenz beruht auf Plasmid- (d. h. extrachromosomal) codierten Pathogenitätsfaktoren.

Virulente Stämme von *B. anthracis* tragen zwei Plasmide. Eines davon trägt auf einer „Pathogenitätsinsel“, flankiert von zwei mobilen genetischen Elementen (IS-Elemente), die Gene für verschiedene Pathogenitätsfaktoren: *edema factor* (eine Calmodulin-abhängige Adenylatcyclase, die einen starken Anstieg der Konzentration von cAMP in den Wirtszellen bewirkt), *lethal factor* (eine Zink-abhängige Proteinase, welche die Mitogen-aktivierte Proteinkinase-kinase aminoterminal prozessiert) und *protective antigen*. Das zweite Plasmid trägt die nötige Information für die Biosynthese und den Abbau einer schützenden Kapsel der *B. anthracis*-Zellen. Der Umgang mit den oben aufgeführten virulenten Keimen am

Tatort und bei weiterführenden forensischen Untersuchungen unterliegt in Deutschland den Regelungen des Bundes-Seuchengesetzes bzw. Tierseuchengesetzes und den Verordnungen der zuständigen Gesundheits- und Veterinärämter.

Das primäre Problem eines biologischen Anschlages liegt darin, ihn als solchen zu erkennen. Nicht jeder Anschlag muss so offensichtlich sein wie die Milzbrand-Attacke in den USA. Atypisches zeitliches Auftreten, atypischer Organismenstamm und Krankheitsverlauf, atypische Ausbreitung und Übertragungsform können dabei erste Anzeichen einer gezielten Freisetzung sein. Zu erkennen, ob es sich um das natürliche Auftreten einer Epidemie oder aber um einen Anschlag handelt, ist eine in den letzten Jahren zunehmend zu berücksichtigende Fragestellung. Bei Hinweisen auf eine schwere Infektionskrankheit werden klinische und diagnostische Maßnahmen eingeleitet, die für die Therapie der betroffenen Personen und präventiv gegen eine mögliche weitere Ausbreitung notwendig sind. Darunter fällt unabhängig vom Verdacht eines ursächlich biologischen Anschlags die mikrobiologische Diagnostik. Bei Verdacht eines Anschlags sind aus kriminalistischer, strafrechtlicher Sicht weiterführende Fragestellungen und Maßnahmen, wie z. B. die zeitlich nahe fachgerechte Sicherung von Beweismaterial, notwendig. Eingeleitete forensische Untersuchungen dienen dabei dem Auffinden von Spuren, die zum Ursprung des infektiösen Agens bzw. zum Verursacher des Anschlags führen. Ein Aufgabenbereich kann dabei vor allem in der genauen Identifizierung und Charakterisierung des verursachenden Organismus zur möglichen Klärung folgender Fragestellungen liegen: Ist der eingesetzte Stamm bekannt? Wo und in welchem Bereich ist er schon einmal aufgetreten? Handelt es sich um einen genetisch veränderten Organismus und welche Veränderungen wurden wie vorgenommen?

Die Charakterisierung und daraus resultierende Identifizierung eines Organismus kann über verschiedene Methoden (s. Kap. 12.2) und auf verschiedenen Ebenen stattfinden. Zur Einleitung weiterführender klinischer Maßnahmen ist die diagnostische Bestimmung der Art meist ausreichend. Für die forensische Zielsetzung der „Individualisierung“ eines Organismus ist eine auf rein phänotypische Merkmale beruhende Bestimmung jedoch ungenügend. Innerhalb einer aufgrund morphologischer Merkmale abgegrenzten taxonomischen Gruppe lässt sich ein einzelner Stamm oder sogar ein Klon am tiefgreifendsten nur auf Ebene der DNA weiter differenzieren. Grundlage dafür ist die in den letzten Jahren weit vorangeschrittene Sequenzierung viraler und bakterieller Genome sowie von Plasmiden. Der zunehmende Gewinn von Sequenzinformation sowie deren Abgleichsmöglichkeit in weltweit zugänglichen Datenbanken ermöglicht das Auffinden von spezifischen DNA-Sequenzabschnitten bzw. Genen, die zum einen als Marker für diagnostische Zwecke, zum ande-

ren als Marker für forensische Identifizierungen herangezogen werden. Dabei lassen sich die DNA-Sequenzbereiche in zwei Kategorien einteilen:

- Kodierende Sequenzen, aus denen ein RNA-Transkript hervorgeht,
- Sequenzen aus inaktiven, nicht kodierenden Bereichen der DNA.

Letztere unterliegen einer höheren Mutation und zeigen entsprechend höhere Variabilität. Kodierende Bereiche hingegen weisen je nach Verwandtschaftsgrad zwischen den verschiedenen Organismen hohe Sequenzhomologien auf. Unabhängig davon lassen sich aus kodierenden Bereichen erste Rückschlüsse auf die Gattung, Art oder sogar den Stamm ziehen. Als Marker können z. B. DNA-Sequenzen Plasmid- oder Genom-codierter Toxine (Botulin, Milzbrand), von viralen Hüllproteinen sowie von ribosomaler RNA herangezogen werden. Ebenso können Proben auf DNA-Sequenzen überprüft werden, die üblicherweise im Zuge gezielter genetischer Veränderungen in die entsprechenden Organismen kloniert werden. Hier handelt es sich häufig um Resistenzgene. Der Nachweis solcher lässt ggf. erste Rückschlüsse auf das Vorhandensein eines genetisch veränderten Organismus zu. Real-Time PCR-Nachweisverfahren (s. Kap. 12.2) sind heute bereits für eine Vielzahl in Frage kommender Erreger etabliert und in Anwendung.

Die für forensische Zwecke tiefgreifendste Form der Individualisierung ist letztendlich nur durch den direkten DNA-Sequenzvergleich mit entsprechenden Referenz-Stämmen möglich. Der Nachweis spezifischer DNA-Marker ermöglicht die Identifizierung eines Erregers bis auf die Ebene der Art oder sogar des Stammes. Ist der Erreger-Stamm sehr selten bzw. bisher nur in bestimmten geographischen Bereichen oder bei bestimmten Personengruppen aufgetreten, so kann der erzielte Identifizierungsgrad für weiterführende kriminalistische Ermittlungen schon ausreichend sein. Im Fall der Milzbrand-Anschläge in den USA führten die mittels PCR durchgeführten Untersuchungen zur Identifizierung eines *Bacillus anthracis*-Stammes, der weltweit in mehreren Forschungslaboren vorliegt. Erst durch die gezielte Sequenzbestimmung ausgewählter DNA-Bereiche und deren Abgleich ließ sich die mögliche Herkunft des Erregers auf wenige Labore in den USA eingrenzen. Die durch die Sequenzanalyse erfassten Unterschiede beruhen dabei im Wesentlichen auf einzelnen veränderten Basen, die im Zuge der natürlich auftretenden Mutationen innerhalb einzelner Zellen eines Stammes aufgetreten sind. Je vollständiger die DNA-Sequenz des Genoms eines Erreger-Stammes bestimmt wird, desto größer ist der Grad der erreichten „Individualisierung“ und desto größer die Aussagekraft eines DNA-Abgleichs mit Referenzstämmen bezüglich der Frage: „Gleicher Ursprung – oder nicht?“

## 12.5

### Technologien und Geräte zur Detektion von Biowaffen

Nach der Entdeckung der mit *Bacillus anthracis*-Sporen präparierten Postsendungen wurde die Notwendigkeit erkannt, spezifische Tests für potentielle Biowaffen zu entwickeln, die sich schnell und auch außerhalb eines Laboratoriums einsetzen lassen. Sie sollen dabei gleichzeitig robust sein und auch von Laien, wie Sicherheitspersonal an Flughäfen usw., sicher bedient werden können. In den für diesen Markt entwickelten Geräten werden die oben beschriebenen Techniken vollständig automatisiert durchgeführt. Nach Ablauf der biochemischen Reaktion detektiert ein Sensor das Reaktionsprodukt und zeigt das Ergebnis an. Die Geräte dienen v. a. dazu, bestimmte Organismen wie *Bacillus anthracis* oder *Francisella tularensis* sicher nachzuweisen. Sie können also nicht zwischen vielen verschiedenen Arten differenzieren und eignen sich auch nicht für weitergehende molekulargenetische Typisierungen der Organismen. Sie sollen lediglich einen bestimmten Organismus möglichst verlässlich in niedrigen Konzentrationen in einer Probe detektieren, natürlich auch wenn störende Beimischungen in der Probe vorhanden sind. Die Technologien sind allerdings noch nicht soweit ausgereift, dass sie in jeder gewünschten Situation auch sichere Ergebnisse liefern. Anhand einiger Geräte werden im folgenden die Detektionsprinzipien dargestellt.

Quantitative Real-Time PCR kombiniert die Amplifikation von DNA mit der gleichzeitigen Detektion der amplifizierten Produkte durch Einsatz von Fluoreszenzfarbstoffen. Die Zunahme der DNA korreliert daher mit der Zunahme der Fluoreszenz von Zyklus zu Zyklus. Das Q-PCR-System GeneXpert<sup>TM</sup> von Cepheid (Sunnyvale/CA) ist speziell für die Detektion von *Bacillus anthracis* und einigen anderen pathogenen Keimen aus Umweltproben entwickelt worden. Vor der PCR wird daher die Probe in dem Gerät aufbereitet, d. h. gewaschen, konzentriert und mit Ultraschall aufgeschlossen, bevor die Reaktion gestartet wird. Die Technik erlaubt, je nach eingesetztem Stamm, 150–ca. 1000 Sporen pro mL zu detektieren. Das Herzstück des Instruments, die Reaktionskammer, in der die PCR durchgeführt wird und die alle notwendigen Reagenzien enthält, muss allerdings nach jeder Reaktion komplett ausgetauscht werden.

In der klinischen Diagnostik werden Keime schnell und sicher durch immunologische Verfahren detektiert. Hierbei binden Antikörper an charakteristische Oberflächenmerkmale der Organismen oder auch an Toxine. Antikörper oder ihre Zielmoleküle sind dabei immer an eine feste Phase gekoppelt, um nicht bindende, störende Komponenten leicht aus der flüssigen Phase eines Ansatzes zu entfernen. Zusätzlich zu diesen „capture“-Antikörpern werden dem Ansatz Marker-gekoppelte „reporter“-Antikörper zugegeben. Die Marker, Fluoreszenzfarbstoffe oder Enzyme,



die die Umsetzung eines Farbstoffes katalysieren, können dann nachgewiesen werden. In der klinischen Diagnostik findet der auf diesem Prinzip beruhende ELISA (enzyme linked immunosorbent assay) vielfältige Anwendung. Die Technologie ist ausgereift und weniger empfindlich gegenüber Störungen als PCR-Reaktionen, allerdings weniger empfindlich (ca.  $10^3$ – $10^5$  Organismen/mL). Entgegen PCR-basierter Techniken können aber auch biologische Toxine (wie z. B. das Neurotoxin aus *Clostridium botulinum*) detektiert werden. Sehr einfache Tests, die nach diesem Prinzip für die forensische Mikrobiologie entwickelt wurden, basieren auf Teststreifen mit immobilisierten Antikörpern (ähnlich den bekannten Schwangerschaftstests), auf die eine Probe aufgetropft wird. Auf dem Streifen sind spezifische Antikörper aufgebracht, welche die Zielmoleküle festhalten. Werden an diese wiederum fluoreszenzmarkierte Antikörper gebunden, können die Signale in einem einfachen Lesegerät detektiert werden. Die Nachweispmpfindlichkeit des Systems liegt bei ca.  $10^5$  Organismen/mL. Die Systeme sind zwar einfach zu bedienen, aber nicht sehr verlässlich.

In komplexeren Automaten laufen die Reaktion der Probe mit dem Antikörper und die Detektion der Bindung ohne Eingriff von außen ab. Ein kompaktes, von der Firma Nomadics/Texas Instruments (Dallas/TX) entwickeltes Gerät (SPREETA<sup>TM</sup>) besitzt ein Modul, in dem die Bindung eines Zielorganismus an immobilisierte Antikörper über Oberflächen-Plasmonresonanz gemessen wird. Dieses Verfahren registriert die minimale Veränderung eines von einer Oberfläche reflektierten Lichtstrahls, die letztendlich von der Bindung der Organismen an die Antikörper verursacht wird. In einem prinzipiell ähnlichen Testsystem (Raptor<sup>TM</sup> von Reseach International, Monroe/WA) werden nur gebundene Antikörper über einen reflektierten Lichtstrahl zur Fluoreszenz angeregt.

Die beschriebenen Geräte geben ein Testsystem für einen spezifischen Mikroorganismus durch Wahl eines spezifischen Markers (Antikörper, Oligonucleotid usw.) vor. Es kann also immer nur ein Mikroorganismus pro Test nachgewiesen werden. Sollen viele oder alle relevanten unterschiedlichen Organismen in einer einzigen Probe detektiert werden, müsste dies mit den vielen in Frage kommenden Sonden geschehen, die auf einen Chip aufgebracht sind. In der Regel werden als Sonden spezifische Oligonucleotide verwendet, allerdings sind auch Antikörper als Sonden einsetzbar. Oligonucleotid-Chips (oder -Microarrays) werden in der biomedizinischen Forschung für immer mehr Anwendungen eingesetzt. Auf der Oberfläche eines Trägers sind hier in regelmäßiger Anordnung bis zu 100.000 Oligonucleotide auf einer zentimetergroßen Fläche aufgebracht. Für Microarrays zur Identifikation von Organismen aus der Umwelt („Phylochips“) werden die Spezies-spezifischen Gensequenzen der ribosomalen RNA eingesetzt. Die Microarrays können weiterhin Sonden enthalten, die für Gene bestimmter Toxine spezifisch sind. Ein solches Microarray wurde z. B. im

Auftrag der Lebensmittel-Überwachungsbehörde der Vereinigten Staaten (FDA) für die Detektion von *S. aureus* Enterotoxin, *Listeria* spp., *Campylobacter* spp. und *Clostridium perfringens*-Toxin entwickelt.

## Literatur

- Brandis H, Pulverer G (1988) Lehrbuch der Medizinischen Mikrobiologie. Fischer, Stuttgart New York
- Breeze R, Budowle B, Schutzer S (2005) Microbial Forensics. Academic Press, Boca Raton
- Budowle B, Wilson MR (2003) Addressing bioterrorism and biocrimes through microbial forensics. Forensic Sci Int136/Suppl1. Proceedings of the 3rd European Academy of Forensic Science Meeting/Istanbul, p 392
- Burkhard F (1992) Mikrobiologische Diagnostik. Thieme, Stuttgart New York
- Han CS, Xie G, Challacombe JF, Altherr MR, Bhotika SS, et al. (2006) Pathogenomic sequence analysis of *Bacillus cereus* and *Bacillus thuringiensis* isolates closely related to *Bacillus anthracis*. J Bacteriol 188:3382–3390
- Jackson PJ, Walthers EA, Kalif AS, Richmond KL, Adair DM, Hill KK, Kuske CR, Andersen GL, Wilson KH, Hugh-Jones M, Keim P (1998) PCR analysis of tissue samples from the 1979 Sverdlovsk anthrax victims: The presence of multiple *Bacillus anthracis* strains in different victims. PNAS 95:1224–1229
- Lim DV, Simpson JM, Kearns EA, Kramer MF (2005) Current and developing technologies for monitoring agents of bioterrorism and biowarfare. Clin Microbiol Rev 18:583–607
- Morse SA (2004) The Role of nucleic acid-based assays in the public health response to bioterrorism and emerging infectious diseases. In: Tagungsband des 15th International Symposium on Human Identification. Promega, Mannheim
- Popvic T, Glass M (2003) Laboratory aspects of bioterrorism-related anthrax – from identification to molecular subtyping to microbial forensics. Croat Med J 44:336–341
- Sachse K, Frey J (2003) PCR Detection of microbial pathogens. Humana Press, Totowa/NJ

# 13 Forensische Untersuchung von Blut- und Sekretspuren, Epithelzellspuren, Urin, Kotspuren, Haaren, Knochen, Zähnen sowie Vergleichsmaterial

Cadja Lassen, Lothar Kaup

In diesem Beitrag wird die Systematik von DNA-Spuren sowie deren Erscheinungsbild vorgestellt. Ausführlich wird dabei auf die Sicherung von Spuren sowie deren Asservierung eingegangen. Einen Schwerpunkt bilden weiterhin die in einigen Landeskriminalämtern sowie rechtsmedizinischen Instituten angewandten Voruntersuchungen, die an den forensischen Spuren durchgeführt werden, sowie die Aussagemöglichkeiten, die sich aus der molekulargenetischen Untersuchung von Spuren ergeben.

## 13.1 Einleitung

Die molekulargenetische Untersuchung von Spuren ist ein fester Bestandteil beinahe jeder kriminalistischen Beweisführung geworden (z. B. Killias et al. 2003). Dabei ist eine Untersuchung und Merkmalsbestimmung auch an jahrelang ungekühlt gelagerten Spuren, sofern diese vollständig getrocknet wurden, möglich. Je nach Bundesland erfolgen an den eingesandten Spuren verschiedene Voruntersuchungen, die über den weiteren Fortgang der Untersuchung entscheiden. Die DNA-Typisierung erfolgt grundsätzlich mit Hilfe der PCR-Technik. Während bislang für jede molekulargenetische Untersuchung an Spuren und Vergleichsproben eine richterliche Anordnung nach § 81f StPO bei der einsendenden Dienststelle vorliegen musste (Volk 2002), kann für Spurenmaterial seit dem 01.11.2005 auf diesen richterlichen Beschluss verzichtet werden (Senge 2005); ebenso gilt dies für freiwillig abgegebene Vergleichsproben. Somit kann dieses Material direkt der molekulargenetischen Untersuchung zugeführt werden, während bei einer Verweigerung der Abgabe von Vergleichsmaterial weiterhin ein Richter hinzugezogen werden muss. Die Auswahl der eingesetzten Merkmalsysteme ist durch die acht Kernsysteme der deutschen DNA-Datenbank (kurz: DAD) für die Fallbearbeitung vorgegeben (Volk 2002, Killias et al. 2003). Die Kürzel der Systeme lauten: SE33, FIBRA, VWA, D21S11, TH01, D3S1358, D8S1179 und D18S51. Weiterhin wird das geschlechtsbestim-

Cadja Lassen: LKA Niedersachsen, Schützenstraße 25, 30161 Hannover  
E-Mail: cadja.lassen@polizei.niedersachsen.de

mende System Amelogenin in die Untersuchung einbezogen. In der Regel werden bei vollständigen DNA-Mustern Häufigkeitswerte von 1:x Milliarden/Billionen Männern bzw. Frauen, d.h. Beweiswerte von Zuordnungsqualität, erreicht.

## 13.2

### Systematik von DNA-Spuren

Bezogen auf die vorliegenden Spuren werden folgende Spurenarten unterschieden:

#### Blutspuren

Blutspuren zeichnen sich in der Regel makroskopisch durch ein rötlich/bräunliches Erscheinungsbild aus. Je nach Alter der Blutspur sowie nach Beschaffenheit des Untergrundes, auf dem die Blutspur angetragen wurde, können Blutspuren allerdings ebenfalls Farbabweichungen von rosafarben bis dunkelschillernd (z. B. auf sehr dunklem Stoff) aufweisen (Brüning 1957).

#### Sekretspuren

Unter dem Oberbegriff der Sekretspuren sind Spermaspuren, Sperma-mischspuren, Scheidensekrete sowie Speichelspuren zusammengefasst:

Bei Spuren in Strafverfahren gegen die sexuelle Selbstbestimmung handelt es sich in erster Linie um Spermaspuren bzw. Mischungen aus Sperma mit anderen Sekreten. Die Spur liegt in den seltensten Fällen als Reinsperma vor, d. h. Sperma, welches abgegeben wurde und gegebenenfalls an Spurenlägern wie z. B. Kleidung angetragen wurde. Häufiger sind die sogenannten Mischspuren, bei denen Sperma und Scheidensekret/Mundsekret/Anhaftungen aus dem Analbereich in unterschiedlichen Anteilen vorliegen können. Ein farblich einheitliches Erscheinungsbild kann makroskopisch bei diesen Spuren nicht festgestellt werden, da sie als weißliche Antragungen, als gelbliche Verfärbungen oder auch bräunliche Antragungen auftreten können. Dabei spielt der Untergrund, auf dem die Spur angetragen wurde, sowie der Hilfsspurenläger, mit dem die Spur abgenommen wurde, eine entscheidende Rolle.

Bei Speichelspuren handelt es sich um Sekrete, die aus dem Mundraum abgesondert wurden und gegebenenfalls an Spurenlägern wie z. B. Zigarettenreste, Gläser, Tassen, Getränkeflaschen, Getränkedosen, gekaute Kaugummis, Briefmarken und Mundklappen von Briefumschlägen angetragen wurden. Speichelspuren können in der Regel bei makroskopischer Betrachtung nicht eindeutig erkannt werden.

### **Epithelzellspuren (Hautabriebe)**

Unter Epithelzellspuren versteht man Körperzellen der äußersten Epidermis, die bei Kontakt mit Gegenständen, Kleidungsstücken oder anderen Personen dort angetragen werden (Hautabriebspuren). Die Menge des übertragenen Zellmaterials hängt von Häufigkeit, Intensität und Dauer des Kontaktes sowie von der Körperregion, der individuellen Veranlagung zur Abgabe von Zellen und von der Oberflächenstruktur des Spurenträgers ab.

Eine Unterscheidung von Spuren kann nach dem Sachverhalt und somit nach der Art und Weise ihrer Herkunft erfolgen (Schöneberg et al. 2003):

- Kontaktsuren werden durch einen einmaligen Kontakt an den Spurenträger angetragen. Dabei handelt es sich im Allgemeinen um am Tatort vorgefundene und nur einmal benutzte bzw. angefasste Gegenstände.
- Gebrauchsspuren werden durch mehrmaligen, häufigen Kontakt auf den Spurenträger angetragen und sind in der Lage, Besitzverhältnisse anzuzeigen. Als Beispiele wären hier Bekleidungsstücke, Maskierungen, Drosselungswerkzeuge, Waffen und Werkzeuge zu nennen.

In der Regel können Epithelzellspuren anhand der Färbung des Spurenträgers oder des Hilfsspurenträgers, mit dem die Spur abpräpariert wurde, bei makroskopischer Betrachtung nicht eindeutig erkannt werden. Eine Ausnahme bilden weißliche Antragungen bzw. Partikel („Schüppchen“), die sich z. B. in Bekleidungsstücken oder Maskierungen sammeln und abpräpariert werden können.

### **Urin/Kotspuren**

Bei der klassischen Urinspur handelt es sich um eine gelbliche Flüssigkeit, die an einem Tatort hinterlassen wurde. Urinspuren, die an Spurentägern wie z. B. Kleidung angetragen wurden, offenbaren sich durch ihren charakteristischen Geruch. Bei Durchtränkungen weisen diese Spurentäger eine leicht gelbliche Verfärbung auf.

Kotspuren zeichnen sich in erster Linie durch eine bräunliche Masse an Fäkalien aus. Werden die Kotspuren an Spurentägern wie z. B. Toilettenpapier angetragen, so weisen diese Spurentäger makroskopisch bräunliche Antragungen sowie einen spezifischen Geruch auf.

### **Haare**

Menschliche Haare nehmen zurzeit in forensischen Untersuchungen einen relativ kleinen Raum ein. Die Erfolgsaussichten einer molekulargenetischen Untersuchung hängen von der Menge an Zellmaterial ab, das dem Wurzelbereich noch anhaftet. Frisch ausgerissene (anagene) Haare mit Wurzelabschnitt (Abb. 13.1 a) weisen erfahrungsgemäß genug Zellmaterial

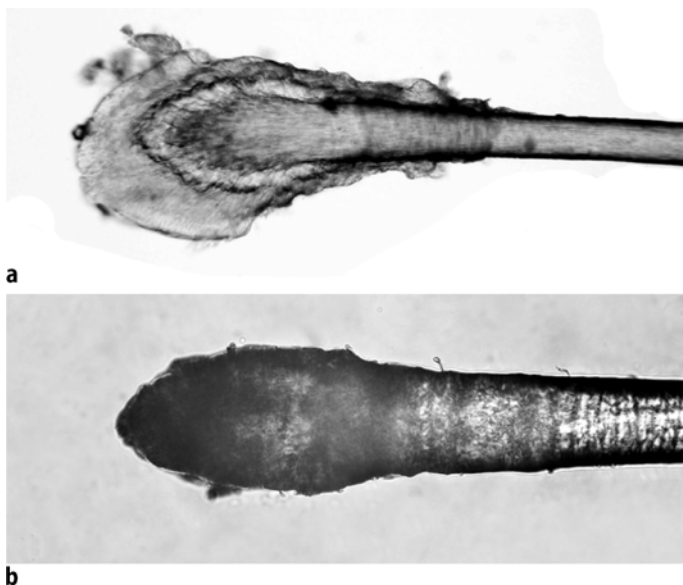


Abb. 13.1. a anagenes Haar, b telogenes Haar

für eine erfolgversprechende molekulargenetische Untersuchung auf. Ausgefallene (telogene) Haare (Abb. 13.1 b) dagegen eignen sich hierfür i. Allg. nicht.

Neben Haaren von Tatorten werden bei Straftaten gegen die sexuelle Selbstbestimmung Schamhaarbereiche der geschädigten Personen ausgekämmt. Das routinemäßige Auskämmen des Schamhaarbereichs von Vergewaltigungsoffern ist jedoch wenig geeignet. Werden beim Opfer aber ein oder mehrere auffällig anders aussehende Schamhaare vorgefunden, handelt es sich höchstwahrscheinlich um Täterhaar, das separat zu sichern ist. Gleiches gilt, wenn bei der geschädigten Person (noch) keine Schambehaarung vorhanden ist.

### **Knochen/Zähne**

Diese Art von Spurenmaterial ist selten und spielt in Vermisstenfällen sowie Todesermittlungsverfahren eine eher untergeordnete Rolle. Es handelt sich hierbei um menschliche Überreste wie Knochen ohne Gewebe, die über einen längeren Zeitraum der Verwesung ausgesetzt waren.

### **Vergleichsmaterial**

Es handelt sich in der Regel um Mundschleimhautabstriche von tatverdächtigen Personen, geschädigten Personen oder Zeugen, die durch einen

Mitarbeiter der sachbearbeitenden Dienststelle entnommen werden. Blutproben sind nicht mehr erforderlich, können aber nach wie vor untersucht werden. Allerdings müssen solche Blutproben durch einen Arzt entnommen werden. Auch die Wurzelbereiche anagener Haare können in Einzelfällen als Vergleichsprobe vorgelegt werden.

In Vermisstenfällen oder bei bereits verstorbenen Personen können Gegenstände des täglichen Lebens wie z. B. gerauchte Zigarettenreste, Briefmarken von Briefen oder Postkarten, benutzte Zahnbürsten, getragene Kleidung oder medizinisches Material wie mikroskopische Gewebepräparate, angetrocknetes Blut auf Blutgruppenkarten und Gewebeproben (Obduktion) als Vergleichsmaterial verwendet werden. Bei diesen Vergleichsmaterialien muss allerdings sichergestellt sein, dass sie lediglich von der betreffenden Person benutzt wurden bzw. stammen.

In Einzelfällen kann die Untersuchung von freiwillig gegebenen Vergleichsproben der Personen notwendig sein, die sich ohne Schutzbekleidung an einem Tatort aufgehalten haben (Notarzt, Einsatzkräfte im ersten Angriff, Zeugen usw.). Derartige Proben dienen ausschließlich dem direkten Vergleich im konkreten Spurenfall. Die DNA-Muster werden weder in die DNA-Analysedatei eingestellt, noch anderweitig gespeichert.

## 13.3

### Sicherung und Asservierung der Spuren

#### Grundprinzipien

Die Empfindlichkeit der Untersuchungsmethoden stieg in den vergangenen Jahren stetig an. Daher ist das Tragen von Schutzkleidung für alle an einem Tatort Anwesenden sowie mit der Spurensicherung und Spurenbearbeitung befassten Personen obligatorisch (vgl. Schöneberg et al. 2003).

Eine Sekundärübertragung von biologischem Spurenmaterial von einem Spureenträger auf einen (oder mehrere) andere Spureenträger durch das Spurensicherungspersonal und die Spurenbearbeiter muss unbedingt vermieden werden. Mit derartigen unerwünschten Übertragungen ist u. U. zu rechnen, wenn Einmalhandschuhe beim Anfassen eines Spurenträgers mit Spurenmaterial (z. B. Epithelzellen, Speichel) verunreinigt werden.

Insgesamt sind folgende Vorkehrungen zur Vermeidung von Kontaminationen zu berücksichtigen:

- Tragen von Schutzkleidung (umfasst grundsätzlich Einweg-Vollanzug bzw. Kittel und Einweg-Handschuhe sowie Einweg-Mundschutz und Einweg-Kopfhaube) für alle spurensichernden Personen, Begleitpersonen (soweit sie den unmittelbaren Tatort-Kernbereich betreten) und Spurenbearbeiter.

- Einschränkung der Anzahl von Spurensichernden bzw. von Anwesenden am Tatort sowie von Personen in den Laborräumen auf das notwendige Minimum.
- Schaffung eines Überblickes über den Tatort zu Beginn der Spurensicherung durch die spurensichernden Personen. Anschließend Festlegung, welche Spurenträger sicherzustellen sind, ohne dass diese berührt werden.
- Sicherstellen sowie Verpacken der Spurenträger mit möglichst wenig Berührungen.
- Regelmäßiger Wechsel der Handschuhe in sinnvollen Abständen (u. U. vor jedem weiteren Spurenträger). Das neue Handschuhpaar nicht mit bloßen Händen im Bereich der Finger außen berühren, sondern lediglich im Bereich der Öffnung. Beim Ausziehen gebrauchter Handschuhe darauf achten, dass keine Schweißtröpfchen abgeschleudert werden. Wechseln daher abseits vom Tatort-Kernbereich sowie Spurenbearbeitungsbereich. Gebrauchte Handschuhe (z. B. vom Rettungspersonal) nicht am Tatort zurücklassen, da es sich um starke DNA-Spurenträger handelt.
- Einzelne Verpackung und Beschriftung jedes Spurenträgers (auch bei Asservaten, die am gleichen Ort gesichert wurden).
- Destilliertes Wasser zum Anfeuchten von Wattetupfern nur in kleinen Portionen abfüllen und bei Verdacht der Kontamination unbedingt verwenden.

Feucht verpackte Spuren können schon nach wenigen Tagen soweit verdorben sein (Schimmelbildung), dass Merkmalsbestimmungen nicht mehr möglich sind. Aus diesem Grund müssen sämtliche Spuren und Spurenträger vor dem Verpacken trocken sein. Dies wird in der Regel durch einen Trocknungsprozess von wenigstens einem Tag (Raumtemperatur) bei Hilfspurenträgern, wie Wattetupfern, erreicht. Bei feuchten Kleidungsstücken oder Schuhen ist der Trocknungsprozess dem Feuchtigkeitsgrad entsprechend anzupassen. Der Ort der Trocknung muss den Grundprinzipien der Asservierung genügen, so dass Sekundärübertragungen/Kontaminationen ausgeschlossen werden können.

Sofern Namen in der Beschriftung auftauchen, sind diese zu anonymisieren (§ 81f StPO).

Im Allgemeinen lassen sich bei den Spuren transportable und nicht transportable Spurenträger unterscheiden. Als Verpackung transportabler Spurenträger eignen sich Kunststofftüten mit Klemmleiste, Briefumschläge, Müllsäcke sowie Papiertüten bei Asservaten mit Restfeuchtigkeit, wie beispielsweise Schuhen. Bei nicht transportablen Spurenträgern wird



die Spur vor Ort abpräpariert und anschließend in einem dicht schließenden Behälter asserviert (z. B. Eppendorf-Gefäß, Pergamin-Tütchen usw.).

### **Blutspuren**

Transportable Spurenträger oder Teile davon werden im Original an das bearbeitende Labor eingesandt. Der Vorteil dieser Sicherungsmethode besteht darin, dass kein Spurenmaterial verloren geht und die ursprüngliche Form der Spuren erhalten bleibt. In Einzelfällen können unabhömmliche Spurenträger direkt ins bearbeitende Labor gebracht werden, wo eine gezielte Spurenabnahme erfolgt, nach welcher der Spurenträger für z. B. andere Untersuchungen oder Identifizierungen zur Verfügung steht.

Nicht transportable Spurenträger wie krustige Blutspuren an Fensterscheiben können durch das Abheben mit einem Messer oder Skalpell asserviert werden. In der Regel werden solche Spuren allerdings mit Hilfe eines angefeuchteten Wattetupfers gesichert. Dabei wird auf die Spitze des Wattetupfers ein Tropfen destilliertes Wasser gegeben, die Spur durch Reiben mit der Spitze des Tupfers angelöst und übernommen. Anschließend erfolgt die Trocknung des Wattetupfers bei Raumtemperatur. Hilfsmittel wie Papier, Haushaltspapier, Papiertaschentücher, Heftpflaster u.ä. sowie eine Sicherung mit Klebefolien sind in der Handhabung ungünstig und sollten unterbleiben. Flüssigblut z. B. aus einer Lache dagegen kann durch das Eintauchen eines trockenen Wattetupfers (und somit des Anlegens einer künstlichen Blutspur) asserviert werden.

### **Sekretspuren**

Transportable Spurenträger oder Teile davon werden im Original an das bearbeitende Labor eingesandt. Es handelt sich bei Sexualstraftaten um Spurenträger, an denen Spermaspuren bzw. Scheidensekret angetragen wurden, wie zur Tatzeit getragene Unterwäsche, Binden, Slipeinlagen, Tampons, Oberbekleidung der beteiligten Personen sowie Gegenstände vom Tatort (z. B. Bettwäsche, Autositzbezüge, Decken, Polsterstoffe, benutzte Kondome und Utensilien, die laut Aussage der geschädigten Person eingeführt wurden). Weiterhin zählen hierzu Speichelspuren wie Briefumschläge von Erpresser- und Drohschreiben sowie Zigarettenreste, Mützen, Masken, Sturmhauben und Vermummungen, bei denen im mutmaßlichen Mundbereich Speichelspuren angetragen worden sein können. Der Vorteil der Asservierung von Spuren im Original besteht in diesen Fällen darin, dass eine angestrebte Untersuchungsreihenfolge bei Mehrfachspurentägern (Spurentäger, die unter verschiedenen Gesichtspunkten wie beispielsweise Fingerspuren, Passstückvergleiche, Faserspuren, DNA-Analyse usw. bearbeitet werden) durch die beteiligten Labore festgelegt werden kann und somit kein Spurenmaterial verloren geht.

In Strafverfahren gegen die sexuelle Selbstbestimmung liegen in der Regel auf Hilfsspurenträger übertragene Abstriche der geschädigten Personen (Scheidenabstriche, Analabstriche und Mundhöhlenabstriche sowie in seltenen Fällen Penisabstriche) vor. Diese werden bei der, möglichst umgehenden, körperlichen Untersuchung von Geschädigten genommen. Während sich Watte- oder Mulltupfer, die ebenfalls nach der Entnahme feucht sind und über mehrere Stunden an der Luft getrocknet werden müssen, für eine weitergehende Untersuchung eignen, sind Abstrichbestecke mit Agar untauglich. Auch tatverdächtige männliche Personen sind sofort nach der Tat einer körperlichen Untersuchung zuzuführen. Hierbei sollten Penisabstriche ebenfalls mit feuchten Wattetupfern genommen werden. Sekretspuren auf dem Körper einer geschädigten Person oder Speichelspuren am Körper von Vergewaltigungsopfern z. B. im Bereich von Biss-, Kuss- und Leckspuren werden mit Hilfe eines angefeuchteten Wattetupfers gesichert.

Ausgespuckter Speichel oder flüssiges Sperma am Tatort können als nicht transportable Spuren durch das Eintauchen eines trockenen Wattetupfers und somit des Anlegens einer künstlichen Spur asserviert werden.

Einige Gegenstände, an denen Speichel angetragen wurde, wie z. B. Flaschenhalse, lassen sich nicht eindeutig in die Kategorien transportable bzw. nicht transportable Spurenträger einordnen. Diese Gegenstände können sowohl mit Hilfe eines feuchten Wattetupfers durch den Sachbearbeiter abpräpariert werden, als auch für eine Abnahme der Speichelspur ins bearbeitende Labor eingesandt werden.

### **Epithelzellspuren (Hautabriebe)**

Im Bereich der Epithelzellspuren liegen mehrheitlich transportable Spurenträger vor. Es handelt sich hierbei z. B. um Kleidungsstücke, Werkzeuge und jede Art von Gegenständen, die im Rahmen einer Straftat genutzt oder getragen wurden und bei denen Zellanhaftungen zu vermuten sind. Eine Einsendung erfolgt bei diesen Asservaten im Original, da Epithelzellanhaftungen oftmals nicht mit dem Auge erkennbar sind und eine ausgedehnte Spurensuche mit dem Mikroskop lediglich in den dafür ausgestatteten Laboren erfolgen kann. Bei Kratzspuren oder Hautdefekten am Körper des Opfers bzw. des Tatverdächtigen sind die jeweiligen Fingernagelabschnitte durch Abschneiden und getrenntes Verpacken sicherzustellen.

Nicht transportable Spurenträger sind eher die Ausnahme. Sie finden sich z. B. im Bereich von Würgemalen, Hämatomen und Hautrötungen einer geschädigten Person. Dort ist mit (Fremd-) Zellantragungen zu rechnen. Solche Spuren werden mittels Wattetupfers unter nur leichtem Druck gesichert. Weiterhin werden von einigen Spurensicherungsbeamten transportable Spurenträger bereits vor Ort in den Kontakt-Bereichen, wie bei-

spielsweise Werkzeuggriffe, ebenfalls mit Hilfe eines feuchten Wattetupfers abpräpariert.

### **Urin/Kotspuren**

Bei Flüssigurin am Tatort bietet sich die Sicherung in einem dichten Gefäß an. Weiterhin kann der Urin mit Hilfe einer Einwegspritze aufgezogen werden. Diese Asservierungsmethoden stellen sicher, dass eine ausreichende Menge an Urin und damit auch an Zellen für die molekulargenetische Untersuchung vorhanden ist. Aus diesem Grund eignet sich die Sicherung mittels Wattetupfers bei Urinspuren nicht, weil zu wenig Zellmaterial aufgenommen wird.

Kotspuren, die sich an transportablen Spureträgern wie Toilettenpapier befinden, werden ebenfalls im Original eingesandt. Auch hier eignet sich die Sicherung mit Hilfe eines feuchten Wattetupfers nicht, da wiederum zu wenig Material für eine anschließende Untersuchung an den Wattetupfer übernommen wird (s. Kap. 14).

### **Haare**

Bezüglich der Sicherung von Haaren liegen zwei verschiedene Vorgehensweisen vor:

Zum einen werden Haare durch die Spurensichernden direkt asserviert. Dies bietet sich vor allen Dingen an, wenn Haare an einem Tatort gesichert werden bzw. die Haare sich an nicht transportablen Gegenständen oder sogar Personen befinden.

Weiterhin werden Haare durch die bearbeitenden Labore während der Untersuchung beispielsweise von Kleidungsstücken und Maskierungen direkt von den vorliegenden Untersuchungsgegenständen abpräpariert.

### **Knochen/Zähne**

Knochen und Zähne oder Teile davon werden immer im Original gesichert und weitergesandt. Wenn sich hieran Körpergewebsreste befinden, sie feucht sind oder ihnen feuchte Bodenreste anhaften, werden sie tiefgefroren, damit keine weitere Verwesung erfolgen kann. Ohne anhaftende Feuchtigkeit oder Gewebereste werden Knochen und Zähne dagegen dicht in Papier verpackt eingesandt.

Da diese Spuren in der Regel nur sehr wenig DNA enthalten, sind sie für Kontaminationen mit Fremd-DNA besonders anfällig. Die Grundprinzipien der Spurensicherung und Asservierung spielen somit eine entscheidende Rolle für den Erfolg der anschließenden molekulargenetischen Untersuchung, die der Identifizierung unbekannter Personen dient. Bei Knochen und Zähnen von Wasserleichen sind die Erfolgsaussichten erfahrungsgemäß gering.

### **Vergleichsmaterial**

Beim Vergleichsmaterial hängt die Sicherung und Asservierung von der Art des Materials ab:

- Mundschleimhautabstriche werden mit Hilfe eines trockenen Wattetupfers entnommen und anschließend getrocknet.
- Blutproben werden durch einen Arzt entnommen und umgehend (gekühlt) an das untersuchende Labor gesandt.
- Haare werden für eine eventuelle mikromorphologische Untersuchung sowohl geschnitten als auch gezupft und in Kunststofftüten mit Klemmleiste oder Pergamin-Tütchen asserviert.
- Alle weiteren Vergleichsproben in Vermisstenfällen oder bei bereits verstorbenen Personen werden in gleicher Weise gesichert und asserviert wie bereits beschrieben.

Die Entnahme der Proben muss im Rahmen der erkennungsdienstlichen Behandlung von Polizeibeamten oder Ärzten durchgeführt werden. Sie ist nicht den tatbeteiligten Personen selbst zu überlassen. Die Personalien von beteiligten Personen dürfen nur in anonymisierter Form angegeben werden.

## **13.4 Differentialdiagnose**

Das Auffinden von mutmaßlichen Spuren erfolgt in der Regel durch das Betrachten der eingesandten Beweismittel mit dem bloßen Auge oder mit Hilfe einer Leuchtlupe.

Nach dem Auffinden der Spuren werden diese beschrieben. Eine besondere Bedeutung kommt bei der Spurenbearbeitung den Blutformspuren zu (Kaup 1995). Die Form einer Blutspur (vgl. auch Kap. 4) ist abhängig von mehreren Variablen, wie Spurenmenge, Fallgeschwindigkeit und -höhe sowie der Beschaffenheit des Spurenträgers (Brinkmann et al. 1985, Brinkmann et al. 1986). Man unterscheidet im Wesentlichen Spritz-, Tropf-, Wisch-, Abklatsch- und Schleuderspuren (Abb. 13.2). Blutspritzspuren entstehen dadurch, dass Blut durch Druck bewegt wird. Sie zeigen häufig, vor allem im sogenannten Spritzzentrum, eine große Formenmannigfaltigkeit. Neben runden und ovalen Spurenbildern sind auch ausrufezeichenartige Formen zu erkennen. Es handelt sich hierbei um die informativste Blutspurform (Piotrowski 1895, Walcher 1939). So können Spritzspuren am Schuhwerk einer tatverdächtigen Person als starker Hinweis für das Treten einer bereits blutenden Person gedeutet werden. Spritzspuren an der

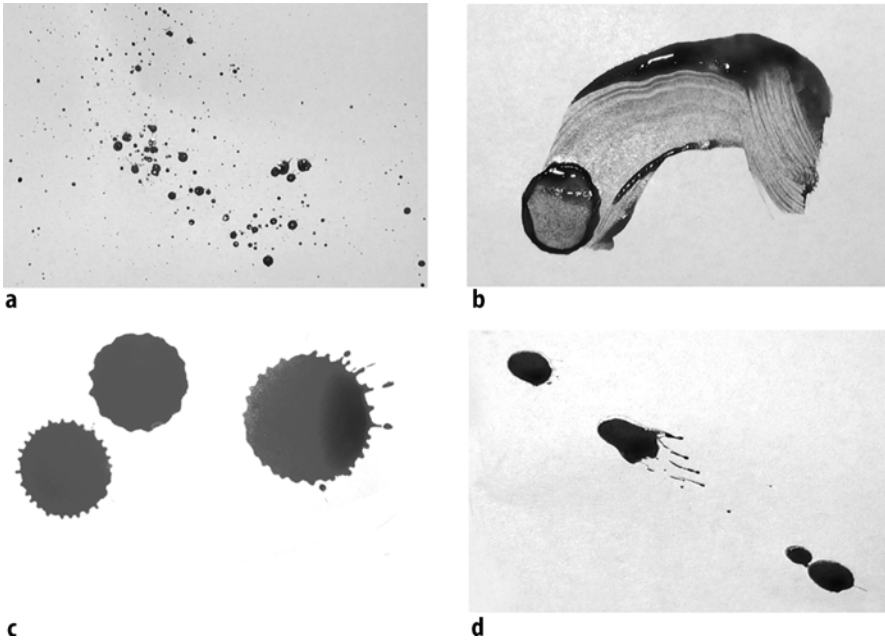


Abb. 13.2. a Spritzspur, b Wischspur, c Tropfspur, d Schleuderspur

Kleidung einer tatverdächtigen Person dienen als Hinweis für das Schlagen (evtl. mit Werkzeug) bzw. das mehrfache Einstechen auf eine blutende Person. Weiterhin weisen Spritzspuren als eindeutig unfallbedingte Primärspuren im Fahrerbereich eines PKW-Innenraums auf den Fahrer zur Zeit des Unfalles hin. Die Form von Tropfspuren ist je nach Neigung der Auftrefffläche annähernd rund bis oval und wird entsprechend der Abtropfhöhe von Sekundärtröpfchen begleitet (Lochte 1933, Rand et al. 1985). Wisch-, und Abklatschspuren werden hervorgerufen, wenn Blut zwischen zwei Flächen gerät. Während bei Abklatschspuren das flüssige Blut von einem Gegenstand an einen anderen getragen wird, so dass oftmals noch das ursprüngliche Muster erkennbar ist, auf dem sich die Blutlache befand, kommt bei Wischspuren eine Bewegung hinzu. Schleuderspuren treten dann auf, wenn flüssiges Blut eine Beschleunigung in eine Richtung erhält und beispielsweise von einem bebluteten Schlaggegenstand abgeschleudert wird (Piotrowski 1895, Walcher 1939). Die Spurenform kann somit im Einzelfall wichtige Hinweise auf Details der Tatbegehung bzw. des Tatablaus liefern (Brinkmann et al. 1985, 1986).

Das Einsetzen einer künstlichen, forensischen Lichtquelle, wie beispielsweise der Crime-Scope, bei der verschiedene Wellenlängen des Lichtes eingestellt werden können, ermöglicht das Erkennen „verborgener“ Spuren

wie z. B. Sekretspuren an Kleidungsstücken. Werden die mutmaßlich anhaftenden Körpersekrete dieser Spurenträger mit Licht einer bestimmten Wellenlänge angeregt, zeigen sie eine Fluoreszenz und werden damit sichtbar. Da diese Fluoreszenz nicht spezifisch ist, erfolgt nach dem Ableuchten i. Allg. eine Verifizierung durch mikroskopische Präparate.

Nach der forensischen Spurexpertise bleibt es angeraten, eine Materialbestimmung der zu untersuchenden Spur durchzuführen. Hierzu bieten sich folgende Methoden an:

### **Blut**

Für einen allgemeinen Blutnachweis wird überwiegend die Porphyrin-Probe angewandt. Sie ist empfindlich und spezifisch, was eine Grundvoraussetzung für die forensische Arbeit ist. Material wird auf einen Objektträger übertragen und mit konzentrierter Schwefelsäure versetzt. Das Hämoglobin wandelt sich in Hämatoporphyrin um und leuchtet im UV-Licht hellrot auf. Weiterhin werden in manchen Laboren Teststreifen (z. B. Combur- oder Sangur-Test) benutzt, die ursprünglich für den Nachweis von Blut im Urin entwickelt wurden. Im LKA Niedersachsen wird dagegen eine weitere, inzwischen seltene Methode angewandt. Es handelt sich um den mikrospektroskopischen Blutnachweis, der auf den spezifischen Absorptionseigenschaften des Blutes beruht. Ein Teil der Spur wird auf einen Objektträger übertragen. Nach Zugabe von Zinn-II-Chloridhydrat wird Hämoglobin tierischer oder menschlicher Herkunft zu Hämochrom umgewandelt. Diese Oxidationsstufe zeigt in einem speziellen Mikroskopaufsatz (Mikrospektrometer) charakteristische Absorptionsbanden im grünen Bereich (558 nm und schwächer bei 528 nm). Das Material, welches für diesen Blutnachweis eingesetzt wurde, steht für eine molekulargenetische Typisierung nicht mehr zur Verfügung.

Für latente Blutspuren werden in einigen Bundesländern sowie im Ausland unter anderem die Reagenzien Luminol und Leukomalachitgrün verwendet (Kubelka u. Wolf 1963, Weber 1966, Müller 1971, Dikti 1999). Der Einsatz dieser Reagenzien kann als letztes Mittel sinnvoll sein, wenn an einem Tatort oder Spurenträger mögliche Blutspuren mit visuellen Mitteln nicht gefunden wurden, weil entweder die vermutete Tat schon sehr lange zurückliegt (Spurenalterung, Witterungseinflüsse u.ä.) oder aber der Tatort sehr gut gereinigt wurde. Die Reagenzien werden üblicherweise nur nach Absprache und in Zusammenarbeit mit den Sachverständigen, welche die Ergebnisse vor Gericht vertreten müssen, angewandt. Da nach einer Behandlung von Gegenständen oder Räumlichkeiten mit Luminol in positiven Fällen lediglich eine kurzfristige Fluoreszenz auftritt, ist die fotografische Dokumentation unerlässlich. Ein Vorteil beider Methoden ist, dass nach der Anwendung die molekulargenetische Typisierung noch

erfolgsversprechend ist. Allerdings handelt es sich bei Luminol um einen Hemmstoff der PCR-Reaktion, so dass mit deutlich schwächeren Befunden gerechnet werden muss.

Der OBTI-Test wird als humanspezifischer Test zur Unterscheidung von menschlichem/nichtmenschlichem Blut und somit zur Blutartbestimmung herangezogen (vgl. Anleitung des Hexagon-OBTI-Testes, Rolf Greiner BioChemica). Bei dieser immunologischen Reaktion wird ein Teil der Spur in ein Gefäß mit Transportmedium eingebracht und eluiert. Diese Mischung wird auf den Teststreifen getropft. Humanes Hämoglobin reagiert mit einem Reagenz aus monoklonalen anti-hHB-Antikörpern und blauen Partikeln. Der gebildete Immunkomplex wandert in die Testzone und reagiert dort mit einem weiteren immobilisierten anti-hHB-Antikörper zu einer blauen Testlinie, sofern ein positives Resultat vorliegt. Eine Kontrolllinie zeigt die richtige Funktion und Durchführung des Testes an. Das Material, welches für den Bluttest eingesetzt wurde, steht für eine molekulargenetische Typisierung weiterhin eingeschränkt zur Verfügung.

### **Speichel**

Der Nachweis des Enzyms  $\alpha$ -Amylase dient als Vortest für Speichelanhafungen. Die  $\alpha$ -Amylase ist eine Endoamylase und baut Stärke über Dextrine zu Maltose ab. Sie befindet sich im Speichel und Pankreas und stellt ein wichtiges Verdauungsenzym dar. Bei diesem Test wird ein Teil der Spur in ein Gefäß überführt und mit sterilem Aqua dest sowie den entsprechenden Reagenzien versetzt. Verläuft der Test positiv, findet in der wässrigen Lösung ein Farbumschlag von farblos nach blau statt. Das Material, welches für den Speichelnachweis eingesetzt wurde, steht für eine molekulargenetische Typisierung nicht mehr zur Verfügung.

### **Sperma**

Der Nachweis des in der Prostata gebildeten Enzyms saure Phosphatase gehört zu den gängigen Vorproben bei Strafverfahren gegen die sexuelle Selbstbestimmung. Diese Methode begründet sich auf der Freisetzung des  $\alpha$ -Naphthols aus dem Phosphatester  $\alpha$ -Naphthylphosphat durch die saure Phosphatase der Samenflüssigkeit. Das  $\alpha$ -Naphthol reagiert im Rahmen einer Azoreaktion mit Tetrazoniumsalz rötlich-violett (Rijesfeld 1946, Kaye 1950, Lundquist 1950, Hauck u. Leithoff 1959, Albrecht et al. 2004). In der Anwendung wird von den Spurenrägern bzw. Hilfsspurenrägern Material in eine Titrierplatte überführt und mit dem sauren Phosphatase-Reagenz vermischt. Der Farbumschlag erfolgt in der Regel innerhalb der ersten 3 Minuten. Eine spätere Farbreaktion, die in Einzelfällen auftreten kann, kann nicht als positives Ergebnis gewertet werden. Ein Vorteil dieses Testes

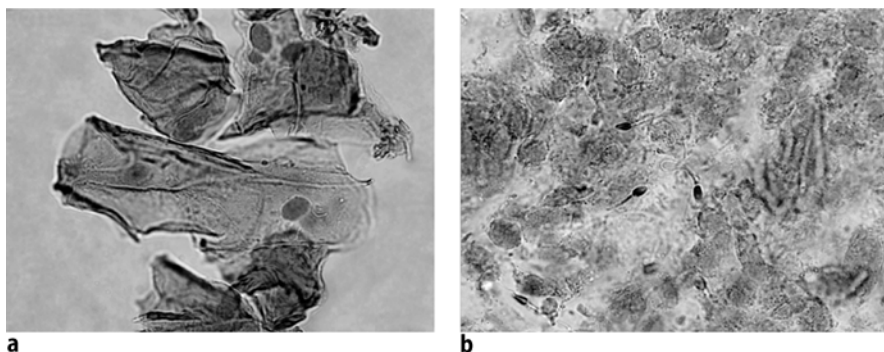


Abb. 13.3. a Epithelzellen, b Sekret

ist, dass er ebenfalls zu einer positiven Reaktion bei Männern mit bestehender Vasektomie führt, bei denen Spermatozoenköpfe mikroskopisch nicht nachweisbar sind (Albrecht et al. 2004). Nachteilig ist jedoch, dass das Material nicht weiter für molekulargenetische Untersuchungen verwendet werden kann.

Einen Nachweis von Spermaspuren ermöglicht die Anfärbung eines mikroskopischen Präparates mit Erythrosin. Hierbei wird von den Spurentägern bzw. Hilfsspurenträgern Material auf einen Objektträger verbracht und mit einer Erythrosinlösung versetzt. Nach einer kurzen Inkubation von ca. 2 Minuten werden die Präparate im Mikroskop betrachtet und anschließend bewertet. Spermatozoenköpfe leuchten nach Anfärbung dunkelrot auf (Abb. 13.3) (Hansen 1954, Dietz 1967, Albrecht et al. 2004). Der Nachteil dieses mikroskopischen Verfahrens besteht darin, dass das Material anschließend nicht mehr uneingeschränkt für eine weitergehende molekulargenetische Untersuchung zur Verfügung steht.

### Epithelzellspuren

Neben Spermaspuren ermöglicht die Anfärbung eines mikroskopischen Präparates mit Erythrosin auch bei Epithelzellspuren das Erkennen DNA-haltigen Zellmaterials. Die Herstellung des Präparates erfolgt wie zuvor bei den Spermaspuren beschrieben. Im Fall von Epithelzellspuren können mit dieser Technik kernhaltige Epithelzellen von nicht kernhaltigen unterschieden werden, da sich der Kern von Zellen dunkler als das umgebene Plasma abzeichnet (Abb. 13.3).

### Vaginalsekret

Die Anfärbung eines mikroskopischen Präparates mit Lugol'scher Lösung ermöglicht das Erkennen glykogenhaltiger Plattenepithelien (Hausmann



u. Schellmann 1994, Hausmann et al. 1994). Aus diesem Grund werden mikroskopische Präparate für den Nachweis von Scheidenzellen angefertigt (Wiegmann 1910, Merkel 1924, Bauer 1937, Thomas u. v. Hecke 1963). Material wird von den Spurenrägern bzw. Hilfsspurenrägern auf einen Objektträger verbracht und mit einer Lugol'schen Lösung versetzt. Nach einer kurzen Inkubation von ca. 2 Minuten werden die Präparate im Mikroskop betrachtet und bewertet. Liegen glykogenhaltige Zellen vor, färbt sich der Kern braun, während die Umgebung sich gelblich absetzt. Auch bei diesem Vortest steht das Material anschließend nicht mehr für eine weitergehende molekulargenetische Untersuchung zur Verfügung. Neuere Untersuchungen lassen Zweifel an der Spezifität dieses Vortestes aufkommen, da glykogenhaltige Zellen ebenfalls in der Mundschleimhaut und an Penisabklatschpräparaten viele Tage nach dem letzten Geschlechtsverkehr nachgewiesen werden konnten (Holzer 1940, Berg 1954, Tröger u. Eisenmenger 1977, Rothwell u. Harvey 1978, Hausmann u. Schnellmann 1994, Hausmann et al. 1994).

### **Morphologische Begutachtung von Haaren**

Der visuelle Vergleich von Haaren mit dem Mikroskop muss inzwischen eher als Vorauswahl angesehen werden, worauf andere weitergehende Bearbeitungen folgen können (z. B. DNA-Analysen). Die Morphologie von Haaren und somit die mikroskopischen Befunde sind grundsätzlich nicht einzigartig und können selbst bei einer Person variieren. Nur morphologische Besonderheiten, wie z. B. gegabelte Haare oder bestimmte kosmetische Beeinflussungen sind individueller.

Eine mikroskopische Vergleichsuntersuchung ist in jedem Fall subjektiv, was jedoch unschädlich ist, da der gleiche Betrachter sowohl die Spuren als auch die Vergleichshaare mikroskopiert.

Wir unterscheiden zunächst grob die Kopfhare von der restlichen Körperbehaarung. Sie lassen sich auch morphologisch gut voneinander trennen. In der Forensik sind es überwiegend die Kopfhare, die zur Untersuchung gelangen. Sinnvoll sind hier nur fixierte Haare oder Haarbruchstücke, z. B. an Schlagwerkzeugen oder eingeklemmt in Autofrontscheiben. Das bedeutet, es besteht ein direkter Bezug zur Tat. Alle Haarmaterialien, die auf einem Spurenräger aufliegen, könnten auch ungezielt darauf gelangt sein. Seltener kommen Schamhare ins Labor, die schon in der Haarfarbe einheitlicher und nicht mit den Kopfharen zu vergleichen sind. Wie oben schon angeführt, macht auch hier nur eine gezielte Sicherung anlässlich einer gynäkologischen Inspektion Sinn.

Bei der Untersuchung werden die nachfolgend aufgeführten Merkmale in einem Protokoll festgehalten (Lochte 1938, Orfanos 1979). Nur beim Vorliegen der gesamten Variationsbreite, sowohl in den Spurenharen als

auch im Vergleichshaar, sind Hinweise auf einen Ausschluss oder eine entsprechende Ähnlichkeit zulässig. Daraus ergibt sich auch, dass die Untersuchung von Einzelhaaren im Allgemeinen keinen Aussagewert hat. Nach dem Vermessen der Haare und dem Beschreiben eventuell vorliegender makroskopischer Auffälligkeiten, wie Wellung, Kräuselung oder kosmetischer Überfärbung, werden die Haare für die Mikroskopie vorbereitet. Besonders verschmutzte oder beblutete Haare sind vorsichtig zu reinigen und an der Luft zu trocknen. Das Untersuchungsmaterial wird auf einen großen Objektträger gelegt, Einschlussmittel (Kanadabalsam, Entellan o.ä.) daraufgetropft und mit einem Deckglas abgeschlossen. Vorhandene Luftblasen sind am besten gleich an den Rand nach außen zu drücken. Mit dieser Einbettung ist die Rinden- und Markstruktur am besten zu erkennen. An der Basis beginnend beschreibt man, ob das Haar dort abgetrennt (gequetscht, gerissen, geschnitten) ist, oder ob eine anagene oder telogene Wurzel vorliegt (Abb. 13.1). Besondere Aufmerksamkeit gilt der Haarfarbe im basalen Bereich. Ist übergangslos eine deutliche Veränderung zu erkennen, so kann eine kosmetische Behandlung vorliegen. Tritt dies an weiteren Haaren auf, sollten die Abschnitte von der Wurzel bis zum Ansatz vermessen werden. Das gibt einen annähernden Hinweis, wann die Haare überfärbt worden sind und ist damit schon ein individuelleres Merkmal. Im Weiteren ist die Pigmentierung in Farbe und Anordnung zu beschreiben. Hier wird man in der Kopfhhaarprobe einer Person häufig mehrere Pigmentierungsvarianten finden, welche insgesamt die makroskopische Haarfarbe ausmachen. Je einheitlicher die Haare sind (z. B. bei grauen, also pigmentlosen, Haaren oder bei den unter Asiaten häufig vorkommenden tiefschwarzen Haaren), desto geringer ist die Aussagekraft. Im Protokoll folgt dann die Beschreibung des Marks (strangförmig, Markinseln oder marklos). Die unterschiedlichen Formen der Spitzen geben Auskunft über die Abnutzung des Haares. Nur die Gesamtheit der mikroskopischen Befunde bringt in der Beurteilung weiter.

Ein besonderes Untersuchungsziel ist das der Hitzebeeinflussung (Lochte 1938) z. B. bei Verdacht auf Brandlegung. Durch Benetzung von Brandbeschleunigern kommt es häufig zu einer Verpuffung, d. h. die unbedeckten Körperteile werden mit einer kurzen Hitzewelle sehr hoher Temperatur (über 200 °C) überzogen. Die körperliche Untersuchung zeigt dann häufig schon makroskopisch sichtbare Haarveränderungen an der dem Feuer zugewandten Seite. Haare zeigen helle Spitzen, teilweise sieht man auch kölbchenförmige Enden. Im mikroskopischen Präparat (hier genügt die Einbettung in Wasser) fallen sofort bläschenförmige Einschlüsse und eine kelch- oder kolbenförmige Spitze auf, deren Inneres aus einer Ansammlung von teilweise großen Blasen besteht. Auch hier bedarf es des Nachweises mehrerer Haare mit entsprechenden Veränderungen.

## 13.5

### Bewertung von DNA-Spuren

Nach der Extraktion und der molekulargenetischen Untersuchung werden die Spurenbeschreibungen, die Ergebnisse der Voruntersuchungen und die Ergebnisse der PCR-Typisierungen der Spuren fallspezifisch zusammengeführt und durch einen Gutachter bewertet. Er interpretiert die Befunde und ordnet die Spuren möglichen Urhebern zu. Dabei ist der Gutachter mit seiner wissenschaftlichen Erfahrung lediglich seinem Gewissen verantwortlich. Er unterstützt das Gericht in der Wahrheitsfindung und ist – im Gegensatz zur Rechtssprechung beispielsweise in den Vereinigten Staaten von Amerika – weder der Staatsanwaltschaft noch der Verteidigung zugeordnet bzw. verpflichtet. Da dem Sachbeweis im Gegensatz zu Zeugenaussagen immer mehr Bedeutung zukommt, ist er ein wesentlicher Bestandteil des deutschen Rechtssystems geworden. Somit haben die DNA-Analysen die Beweiskraft der Spuren erheblich gesteigert (Killias et al. 2003).

Bei der Interpretation von Spuren spielen diverse Sachverhalte eine entscheidende Rolle:

- Die Antragung von Spurenmaterial bzw. das Vorliegen von Spurenmaterial steht nicht zwangsläufig mit der Straftat in Zusammenhang. Die Tatrelevanz einer Spur muss bei der Interpretation berücksichtigt werden. Die Übereinstimmung einer Merkmalskombination einer Person mit der Merkmalskombination einer sichergestellten Spur stellt somit für sich allein keinen Beweis einer Täterschaft dar (Balding u. Donnelly 1996)
- Das Alter vieler Spuren kann nicht bestimmt werden. Somit kann beispielsweise die Art und Weise einer Antragung nur in allgemeiner Form beurteilt werden (z. B. wischspurenartige Blutantragung).
- Gerade bei Epithelzellspuren ist die Erfolgchance einer molekulargenetischen Untersuchung bei einmaligem Kontakt als sehr gering einzustufen. Der Ausschluss einer Person durch das Fehlen ihrer Merkmale bedeutet nicht, dass diese Person die Tat nicht begangen hat. Es besteht die Möglichkeit, dass lediglich kein DNA-haltiges Material von der Person am Tatort hinterlassen wurde. Ähnliches gilt für das Vorliegen von Blutspuren. Ein stark bebluteter Tatort ist keine Grundvoraussetzung dafür, dass die Bekleidung des Täters mit Blutspuren übersät ist.
- Mit Ergebnissen, die sich zur Einstellung in die DNA-Analysedatei eignen, ist weiterhin bei Epithelzellspuren in aller Regel nicht zu rechnen. Gegebenenfalls können lediglich Teilmuster in der Datei recherchiert werden bzw. ausschließlich der Direktvergleich mit Vergleichsproben

tatbeteiligter Personen vorgenommen werden. Ist mit dem Auftreten von Mischbefunden zu rechnen, eignen sich diese ebenfalls nur zum Direktvergleich.

Bei den molekulargenetisch erzielten Befunden werden unterschieden:

- In einer Reinspur liegen die Allele einer Person vor. Somit handelt es sich bei Reinspuren um Spuren, die sich relativ einfach interpretieren lassen. Die Merkmale einer Spur werden mit den Merkmalen möglicher tatbeteiligter Personen (z. B. tatverdächtige Personen, geschädigte Personen, berechnete Personen) verglichen. Im Idealfall erfolgt eine Zuordnung der Spur zu einer Person. Mit Hilfe einer statistischen Häufigkeitsberechnung lässt sich die Häufigkeit der Merkmalskombination in der Bevölkerung errechnen. Kann eine Zuordnung der Spur zu einer tatbeteiligten Person nicht erfolgen, können die Merkmale der Spur in der DNA-Datenbank recherchiert und auch eingestellt werden. Häufig ergibt sich dann eine Übereinstimmung der Merkmale mit bereits gespeicherten Datensätzen und somit eine Zuordnung der Spur zu einer Person oder einem anderen Tatort (zur DNA-Datenbank vgl. Killias et al. 2003).
- Bei Spuren, die sich aus einer Mischung von DNA-haltigem Material zweier Personen zusammensetzen, wie beispielsweise Scheidensekret/Sperma-Gemisch, ist eine Zuordnung der bestimmten Merkmale zu bestimmten Personen nicht immer eindeutig möglich. In den Spurenfällen, in denen mit Mischspuren einer tatverdächtigen und einer geschädigten Person zu rechnen ist, wird ausnahmslos eine Vergleichsprobe auch der geschädigten Person benötigt. Liegen Vergleichsproben von der tatverdächtigen und der geschädigten Person vor, kann überprüft werden, ob sich die Spur aus den Merkmalen der beiden Personen zusammensetzt. Auf diese Art erfolgt eine Zuordnung der Spur zu den beiden Personen. Eine Häufigkeitsberechnung ist unter diesen Umständen ebenfalls möglich, indem die Merkmale der geschädigten Person als „sicher vorhanden“ gesetzt werden. Als Ergebnis wird ein Wert erhalten, der angibt, wie viele Personen theoretisch untersucht werden müssen, um eine Person zu finden, die mit den Merkmalen der geschädigten Person zu einem solchen Mischbefund führt. Liegt lediglich die Vergleichsprobe der geschädigten Person vor, können nach Abzug der Merkmale dieser Person die verbliebenen Merkmale ebenfalls in der DNA-Datenbank recherchiert und gegebenenfalls gespeichert werden.
- Mischungen zweier Personen, bei denen unterschiedliche Anteile von DNA-haltigem Material vorliegen, wie beispielsweise geringe DNA-Anteile einer weiblichen und starke DNA-Anteile einer männlichen Person, können in der Regel durch die unterschiedlichen Intensitäten der

Allele differenziert werden. Sofern die beteiligten Personen nicht bekannt sind, liegen in diesen Fällen Vergleichsproben nicht vor (und sind nicht unbedingt erforderlich). Die stark ausgeprägten sowie die schwach ausgeprägten Merkmale werden separat aufgeführt und in der DNA-Datenbank recherchiert sowie gespeichert.

- Mischungen von mehr als zwei Personen, wie sie oft bei Epithelzellspuren erhalten werden, sind in ihrer Interpretation schwerer zu bewerten. Da bei den einzelnen Merkmalen nicht sichergestellt werden kann, welches Merkmal von welcher Person stammt, kann eine eindeutige Zuordnung der Allele zu bestimmten Personen nicht erfolgen. Der Ausschluss einer Person dagegen gestaltet sich einfacher, da schon das Fehlen eines Allels (besser sind allerdings zwei Allele) einer Person in einer Mischspur zu einem Ausschluss der Person führen kann. Durch das Verwenden von mehreren Verdünnungsstufen (im Fall von Epithelzellspuren werden jeweils 3  $\mu\text{l}$ , 5  $\mu\text{l}$  und 7  $\mu\text{l}$  DNA-Extrakt in drei PCR-Reaktionen eingesetzt) können PCR-Artefakte wie das sogenannte allelic-dropout (Ausfall eines Allels) minimiert werden.

## Literatur

- Albrecht K, Schultheiss D, Rothämel T, Breitmeier D, Tröger HD (2004) Der Nachweis von Spermaspuren in der forensischen Medizin. *Kriminaltechnik* 8-9:552–558
- Anleitung des Hexagon OBTI-Testes, Rolf Greiner BioChemica
- Balding D, Donnelly P (1996) Evaluating DNA profiles evidence when the suspect is identified through a database search. *J Forensic Sci* 41:603–607
- Bauer H (1937) Das Glykogen in den Plattenepithelien der Harn- und Geschlechtswege und seine forensische Bedeutung, untersucht an menschlichem und tierischem Material. MED-Diss, Würzburg
- Berg SP (1954) Methoden zum Nachweis von Genitalsekretspuren. *Dtsch Z Gerichtl Med* 42:605–613
- Brinkmann B, Madea B, Rand S (1985) Charakterisierung von Mikroblutspuren. *Z Rechtsmed* 94:237
- Brinkmann B, Madea B, Rand S (1986) Zu den Einflussfaktoren auf die Morphologie der Blutspur. *Beitr Gerichtl Med* 44:67
- Brüning A (1957) Nachweis von Blut in Blutflecken. In: Ponsold's Lehrbuch der Gerichtlichen Medizin. Thieme, Stuttgart
- Dietz G (1967) Spermaspuren. In: Dietz G (Hrsg) *Gerichtliche Medizin für Juristen, Kriminalisten, Studierende der Rechtswissenschaften und Medizin*. Barth, Leipzig, S 220
- Dikti A (1999) Blutspuren. *Kriminalistik* 4:266–268
- Hansen G (1954) Untersuchung von Spermaflecken. In: Hansen G (Hrsg) *Gerichtliche Medizin*. Thieme, Leipzig, S 210
- Hauk G, Leithoff H (1959) Phosphatase als gerichtsmedizinischer Spermanachweis. *Dtsch Z ges Gerichtl Med* 49:5
- Hausmann R, Pregler C, Schellmann B (1994) The value of the Lugol's iodine staining technique for the identification of vaginal epithelial cells. *Int J Leg Med* 106:298–301

- Hausmann R, Schellmann B (1994) Forensic value of the Lugol's staining method: further studies on glycogenated epithelium in the male urinary tract. *Int J Leg Med* 107:147–151
- Holzer F (1940) Scheidensekret. In: Neureiter F v, Pietrusky F, Schütt E (Hrsg) Handwörterbuch der Gerichtlichen Medizin und Naturwissenschaftlichen Kriminalistik. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 633
- Kaup L (1995) Form. In: Schleyer, Oepen, Henke (Hrsg) Humanbiologische Spuren. Kriminalistik-Verlag, Heidelberg, S 2
- Kaye S (1950) The acid phosphatase test for seminal stains. *J Crim Law* 41:834–835
- Killias M, Haas H, Taroni F, Margot P (2003) Welche Verurteilten müssen in einer DNA-Profil-Datenbank erfasst werden? *Crimescope* 21:1–7
- Kubelka A, Wolf H (1963) Der Nachweis von Blut im Stuhl usw. mit Luminol. *Med Welt*, S 1374
- Lochte TH (1933) Über die Kronenbildung des auffallenden Bluttröpfens und ihre Beziehungen zu sekundären Blutspritzern. *Z gerichtl Med* 22:387
- Lochte TH (1938) Atlas der menschlichen und tierischen Haare. Schöps, Leipzig
- Lundquist F (1950) Medicolegal identification of seminal stains using the acid phosphatase test. *Arch Path* 50:395–399
- Merkel H (1924). Über den Glykogengehalt des Scheidenepithels, seine diagnostische Bedeutung und deren kritische Bewertung. *Z Ges Gerichtl Med* 4:1–8
- Müller W (1971) Versuche über Empfindlichkeit und Spezifität der Luminolreaktion zum Blutnachweis. Diss. Marburg
- Orfanos CE (1979) Haar und Haarkrankheiten. Fischer, Stuttgart New York
- Piotrowski E (1895) Über Entstehung, Form, Richtung und Ausbreitung der Blutspuren. *Virchows Jahresber* I, Wien
- Rand S, Madea B, Brinkmann B (1985) Zur Morphologie von Blutspuren. *Beitr Gerichtl Med* 43:259
- Rijesfeld O (1946) Acid phosphatase employed as a new method of demonstrating seminal spots in forensic medicine. *Acta Path Microbiol Scand* 58:1–89
- Rothwell TJ, Harvey KJ (1978) The limitation of the Lugol's iodine staining technique for the identification of vaginal epithelial cells. *J Forensic Sci* 18:181–184
- Schöneberg A, Gerl L, Oesterreich W, Bastisch I, Gerhard M, Kärger H-J, Fesefeld A, Pflug W (2003) DNA-Analyse von Hautabriebspuren. *Kriminalistik* 8-9:497–499
- Senge L (2005) Die Neuregelung der forensischen DNA-Analyse. *NJW* 42:3028–3033
- Thomas F, Hecke W von (1963) The demonstration of recent sexual intercourse in the male by Lugol method. *Med Sci Law* 3:169–171
- Tröger HD, Eisenmenger W (1977) Eine Methode zum Nachweis von Scheidenepithelien. *Beitr Gerichtl Med* 35:109–111
- Volk E (2002) DNA-Identitätsfeststellungsgesetz – Kein Ende der Begehrlichkeiten. *Neue Z f Strafr* 11:561–616
- Walcher K (1939) Gerichtlich-medizinische und kriminalistische Blutuntersuchungen. Springer, Berlin, S 15
- Weber K (1966) Die Anwendung der Chemilumineszenz des Luminols I. *Z gerichtl. Med* 57:410
- Wiegmann H (1910) Über den Glykogengehalt der Scheidenepithelien und seine diagnostische Bedeutung. *Med Diss*, München

# 14 DNA-Analysen in der forensischen Fallarbeit

Diane Schmidt, Susanne Hummel

„Es ist schon lange einer meiner Grundsätze,  
dass die kleinsten Dinge bei weitem  
die wichtigsten sind.“

*Sherlock Holmes, Eine Frage der Identität*

## 14.1 Einführung

Die DNA (engl. *deoxyribonucleic acid*), welche in Form verschiedener zellhaltiger Spuren im Zusammenhang mit einer Straftat vom Täter zurückgelassen wurde, stellt ein zunehmend wichtiges Indiz in der Kette der Ermittlungen zur Aufklärung eines Verbrechens oder zur Entlastung verdächtiger Personen dar.

Die forensische DNA-Analytik, die bestimmte Abschnitte dieses Biomoleküls charakterisiert, hat seit ihrer Einführung Ende der 1980er Jahre eine enorme Steigerung ihrer Bedeutung als Untersuchungsmethode erfahren, die es ermöglicht, auch kleinste biologische Spuren menschlicher Herkunft einem bestimmten Individuum zuzuordnen (s. Kap. 14.2). Durch die höher werdende Sensitivität der Untersuchungsmethoden gab es in den letzten Jahren eine Verschiebung des analytischen Fokus in Richtung Mikros Spuren (z. B. Hautabrieb, Kontakts Spuren und Gebrauchss Spuren).

In diesem Beitrag werden einige in der forensischen DNA-Analytik häufig vorkommende Spurenarten kurz vorgestellt. Eine umfassende Darstellung der Spuren und ihrer Sicherung findet sich im Kap. 13.

**Blutspuren** sind eine sehr häufige DNA-Quelle in der forensischen DNA-Analytik. Hierbei kann es sich einerseits um Blut des Opfers handeln, das im Bereich des Täters, z. B. an seiner Kleidung oder in seinem Fahrzeug nachgewiesen wird und über das eine Verbindung zwischen Täter und Opfer hergestellt werden kann. Zum anderen kann sich ein Täter bei Verübung seines Verbrechens, z. B. dem Einschlagen einer Scheibe bei einem Einbruchsdiebstahl, auch selbst verletzen und eine Blutspur hinterlassen, über

---

Diane Schmidt: Hessisches Landeskriminalamt, Abteilung 732, Hölderlinstraße 5,  
65187 Wiesbaden, E-Mail: diane.schmidt2@polizei.hessen.de

die er identifiziert werden kann. Es genügen mittlerweile mikroskopisch kleine Blutantragungen, um die DNA-Merkmale der sie verursachenden Person bestimmen zu können.

**Speichelspuren** werden oft im Zusammenhang mit Raub- oder Diebstahlsdelikten gesichert und werden vom Täter z. B. an Masken, Flaschen, Briefmarken oder Zigarettenresten hinterlassen. Sie können jedoch auch in anderen Tatzusammenhängen, z. B. bei Bissspuren im Zusammenhang mit Sexualstraftaten wichtig sein.

Bei Sexualdelikten spielen vom Täter hinterlassene **Spermaspuren**, die sich an Körper oder Kleidung des Opfers befinden können, eine wichtige Rolle zur Aufklärung der Straftat. Ebenso kann der Nachweis der **Vaginal-epithelzellen** des Opfers an Körper oder Kleidung des Täters entscheidend zur Klärung einer Sexualstraftat beitragen.

Einen häufig auftretenden Spurentyp bilden **Haare**, die vom Täter auf das Opfer oder umgekehrt übertragen wurden, wobei normalerweise nur aus Haaren mit Wurzel die für einen genetischen Fingerabdruck geeignete Kern-DNA in ausreichenden Mengen gewonnen werden kann. Diese DNA liegt bei ausgefallenen Haaren mit bereits degenerierter, telogener Wurzel stark fragmentiert vor und erfordert modifizierte Analysestrategien (s. Kap. 14.5).

Ein weiterer im Zusammenhang mit Diebstahlsdelikten auftretender Spurentyp sind **Kotspuren**. Hier sind die enthaltenen Darmepithelzellen Fokus der DNA-analytischen Untersuchung und können Aufschluss über die Identität des Spurenverursachers geben.

Ein Spurentyp, dessen molekulargenetische Untersuchung in der letzten Zeit an Bedeutung gewonnen hat, sind **Hautabriebspuren**. Hierbei handelt es sich um kleine Mengen Zellmaterials, das bei ein- oder mehrfachem Berühren/Benutzen eines Gegenstandes, z. B. eines Werkzeugs, an diesem hinterlassen wurde und über das der Spurengerber identifiziert werden kann.

Eine weitere wichtige Anwendung erfährt die forensische DNA-Merkmalbestimmung bei der Identifikation von Vermissten oder Opfern von Massenergebnissen (z. B. Hsu et al. 1999, Holland et al. 2003, Ladika 2005). Hier können zum Abgleich mit dem DNA-Material der Opfer (z. B. Knochen, Zähne, Muskelgewebe, Haare, Blut) eine Vielzahl unterschiedlicher Referenzmaterialien (z. B. Zahnbürsten, Käämme, DNA von Verwandten) herangezogen werden.

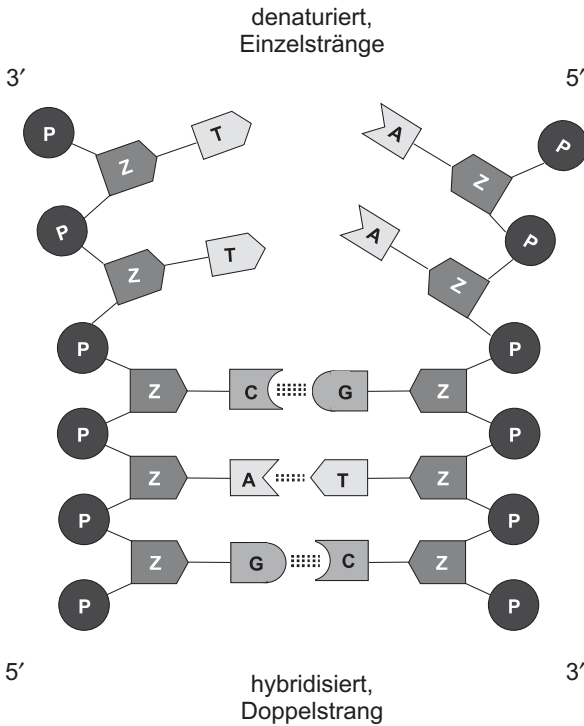
### 14.1.1 DNA

In ihrer Grundform liegt die DNA als Doppelhelix vor (Watson u. Crick 1953). Die für die Kodierung und Weitergabe der genetischen Information

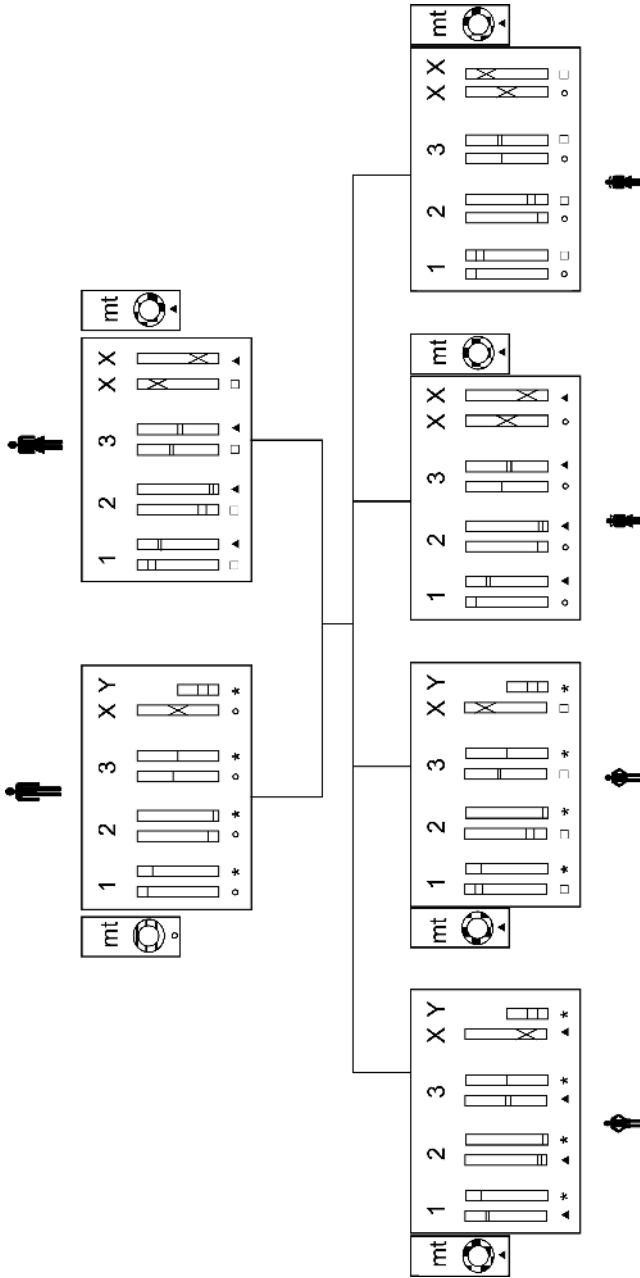


wichtigsten Grundbausteine des DNA-Moleküls bilden vier Basen Guanin (G), Adenin (A), Cytosin (C) und Thymin (T), von denen jeweils zwei Basen über Wasserstoffbrücken aneinander gebunden sind. (Abb. 14.1). Hierbei bilden immer A und T ein Basenpaar, ebenso korrespondieren C und G.

In der Abfolge dieser Basen entlang des DNA-Stranges ist die genetische Information gespeichert. Durch die spezifischen Paarungen A/T und C/G ergibt sich aus der Basenabfolge des einen Stranges zwingend die Abfolge auf dem anderen Strang. Diese Komplementarität ermöglicht im biologischen System „Zelle“ selbst (*in vivo*) wie auch im Labor (*in vitro*) die Vervielfältigung und Weitergabe der genetischen Information (s. Kap. 14.5). Grundprinzip ist hierbei die Teilung des Doppelstranges in zwei Einzelstränge (Denaturierung), welche nun als Matrizen für an ihnen entlang neu aufzubauende Einzelstränge fungieren.



**Abb. 14.1.** Schema eines DNA-Stranges. Die Basen Adenin (A) und Thymin (T) werden durch zwei, Cytosin (C) und Guanin (G) durch drei Wasserstoffbrückenbindungen verbunden, wodurch ihre Bindung etwas fester als die A/T-Bindung ist. Der Doppelstrang kann durch Einwirkung von Hitze oder Chemikalien in zwei Einzelstränge reversibel denaturiert werden. Die Einzelstränge verlaufen antiparallel, ihre Richtung ist durch die Position der Kohlenstoffatome (5' und 3') in den Zuckermolekülen (Z) determiniert, die über Phosphatgruppen (P) miteinander verbunden sind



**Abb.14.2.** Schema des Erbganges nuklearer und mitochondrialer DNA. In diesem Beispiel werden je 3 homologe Paare von Autosomen (1-3), die Gonosomen (X,Y) und die mtDNA (mt) von einer Elterngeneration auf ihre Kinder vererbt, wobei hier nur einige der denkbaren Varianten der Verteilung der Chromosomen auf die Filialgeneration gezeigt werden. Das Y-Chromosom wird vom Vater an alle Söhne in Form eines Haplotyps weitergegeben, d. h. alle männlichen Mitglieder einer Familienlinie zeigen die gleichen Y-chromosomalen Muster. Das X-Chromosom liegt bei Frauen als homologes Paar vor, während Männer nur ein X-Chromosom besitzen und damit hemizygot sind. Während die mütterlichen X-Chromosomen mit einer Chance von 50% auf Nachkommen (Töchter und Söhne) vererbt werden, gibt der Vater sein X-Chromosom nur an seine Töchter weiter, die dann alle das gleiche väterliche X-Chromosom besitzen. Die mitochondriale DNA wird als mt-Haplotyp von der Mutter auf alle Nachkommen gleichermaßen vererbt, jedoch nur wiederum von den Töchtern an deren Kinder weitergegeben

Grundsätzlich findet man bei Säugetieren, und damit auch beim Menschen, zwei Arten von DNA. Der eine Typ kommt im Kern vor (Kern-DNA oder nukleare DNA), der andere Typ in den Mitochondrien, die der Energieversorgung der Zelle dienen (mitochondriale DNA, abgekürzt mtDNA).

Die Kern-DNA liegt normalerweise kondensiert in Form von Chromosomen vor, deren Anzahl zwischen den Spezies differiert. Beim Menschen sind es 46 Chromosomen, die 23 Paare bilden, die als homolog bezeichnet werden. Auf 22 dieser Paare, den Autosomen, sind die geschlechtsunabhängigen Merkmale eines Menschen lokalisiert. Die Träger der geschlechtsbestimmenden Merkmale sind die übrigen beiden Chromosomen, die als Gonosomen bezeichnet werden (X und Y), wobei Frauen die Kombination XX und Männer die Kombination XY tragen. Die Vererbung dieser im Kern befindlichen DNA erfolgt kodominant, d.h. ein Kind erhält von jedem Elternteil je ein Autosom jedes homologen Paares, wobei die Verteilung zufällig erfolgt. Des Weiteren erbt das Kind von jedem Elternteil ein Gonosom; die Kombination aus beiden Gonosomen bestimmt das Geschlecht des Kindes (s. Abb. 14.2).

Die mitochondriale DNA liegt in den Mitochondrien und damit außerhalb des Kernes als ringförmiges Molekül vor. Sie wird im Regelfall ausschließlich von der Mutter einheitlich auf alle Kinder vererbt, die somit alle die gleichen Charakteristiken in ihrer mtDNA aufweisen.

## 14.2 Genetische Typisierung

Das Ziel der forensischen DNA-Analysen ist die Identifikation des Verursachers einer in einem Tatzusammenhang relevanten biologischen Spur. Dies kann einerseits direkt geschehen, indem gezeigt wird, dass ein aus einer Spur typisiertes DNA-Merkmalprofil mit dem einer bestimmten Person (verdächtig oder geschädigt) übereinstimmt. Zum anderen kann bei Fehlen entsprechender Vergleichsproben eine abgeleitete Identifikation über den Nachweis von Verwandtschaft mit anderen Personen, z. B. den Eltern einer vermissten Person, durchgeführt werden.

Seit Alec Jeffreys über die Analyse eines „genetischen Fingerabdrucks“ 1985 den ersten forensischen Fall mit Hilfe dieser neuen Technologie löste (Jeffreys et al. 1985a) und die grundlegende Technik der PCR (Polymerasekettenreaktion, engl. *polymerase chain reaction*; Saiki et al. 1985, Mullis u. Faloona 1987) etabliert wurde, ist eine stetige Weiterentwicklung der DNA-Analytik bezüglich der Sensitivität, Aussagekraft und Validität der für die forensische Anwendung untersuchten DNA-Merkmalssysteme zu beobachten. Die den ursprünglichen genetischen Fingerabdruck bildenden VNTRs (engl. *variable numbers of tandem repeats*; Jeffreys et al. 1985b),

für deren Analyse große Mengen hochmolekularer DNA für eine RFLP-Analyse (engl. *restriction fragment length polymorphism*) erforderlich waren, wurden zunächst durch die wesentlich kürzeren, für die PCR-Analyse geeigneten STRs (engl. *short tandem repeats*) abgelöst (z. B. Hamada et al. 1982, Edwards et al. 1991; s. Kap. 14.2.1). Damit wurden auch kleine Spuren, deren DNA in zu geringer Menge oder bereits zu degradiert für eine VNTR-Typisierung vorlag, der molekulargenetischen Untersuchung zugänglich gemacht.

Der nächste logische Schritt bestand darin, simultan in einem Analysegang gleich mehrere DNA-Marker zu untersuchen, um bei Einsatz von möglichst wenig Material die Aussagekraft der gewonnenen Informationen zu steigern. Heute werden in der Laborroutine größtenteils Multiplex-Kits benutzt, mit denen bis zu 15 solcher STRs gleichzeitig nachgewiesen werden können und die von verschiedenen Firmen entwickelt und validiert werden (s. Kap. 14.2.1).

Die für molekulargenetische Untersuchungen verwendeten DNA-Abschnitte sind nicht auf die für den genetischen Fingerabdruck typisierten STRs beschränkt. Es steht darüber hinaus ein großes Repertoire an sehr unterschiedlichen DNA-Markern auf dem Y-Chromosom (Kap. 14.2.2), dem X-Chromosom (s. Kap. 14.2.3), dem Mitochondrium (s. Kap. 14.2.4) und bei Pflanzen den Chloroplasten zur Verfügung, aus dem fragestellungsabhängig die geeigneten Sequenzbereiche ausgewählt werden können. Die verschiedenen verwendeten Markertypen werden in den entsprechenden Abschnitten beschrieben.

## 14.2.1

### Der genetische Fingerabdruck – autosomale STRs

Das menschliche Genom umfasst etwa 3 Mrd. Basenpaare, von denen der Großteil im Kern lokalisiert ist. Nur ein kleiner Teil dieser DNA trägt Informationen, die in der Zelle abgelesen und in Proteine umgesetzt werden. Diese Abschnitte werden als Gene oder kodierende Bereiche bezeichnet. Der überwiegende Teil der DNA, nach Schätzungen des *Human Genome Projects* ca. 95%, besteht aus nicht-kodierenden Bereichen, die also keine Informationen tragen, welche vom zellulären Transkriptionsmechanismus abgelesen und umgesetzt werden. Somit sind diese Abschnitte auch informationsneutral bezüglich genetisch fixierter Eigenschaften des Trägers, wie z. B. Ethnie, Aussehen oder Prädisposition gegenüber bestimmten Krankheiten.

In diesen nicht-kodierenden Abschnitten auf den nuklearen Autosomen liegen die STRs, welche für die Generierung des genetischen Fingerabdruckes verwendet werden. Diese Marker weisen Längenspolymorphismen

flankierende Region	GATA	GATA	GATA	flankierende Region
---------------------	------	------	------	---------------------

## Allel 3

flankierende Region	GATA	GATA	GATA	GATA	GATA	flankierende Region
---------------------	------	------	------	------	------	---------------------

## Allel 5

flankierende Region	GATA	GATA	GATA	GATA	GATA	GAT	GATA	flankierende Region
---------------------	------	------	------	------	------	-----	------	---------------------

## Allel 6.3

**Abb. 14.3.** Struktur und Nomenklatur von STRs, hier am Beispiels einer GATA-Repeatstruktur mit einem Zwischenallel (6.3), das aus einer unvollständigen Repeateinheit resultiert

auf, d. h. die Unterscheidung der nachgewiesenen Merkmalsausprägungen (Allele) richtet sich nach deren absoluter Länge, während ihre Basenabfolge nicht bzw. nur in speziellen Situationen relevant ist.

Bei den STRs handelt es sich um kurze, tandemartig wiederholte Basenabfolgen, die meist zwei bis fünf Basen umfassen, wobei unter den forensisch genutzten Markern Tetranukleotidrepeats am häufigsten vertreten sind [z. B.  $(GATA)_n$ ]. Die verschiedenen Allele unterscheiden sich in der realisierten Anzahl dieser repetitiven Elemente, welche messbare Längenvariationen verursachen (s. Abb. 14.3).

Die interne Struktur von STRs kann sehr stark variieren, die meisten können einer der folgenden Kategorien zugeordnet werden (Urquhart et al. 1994, Butler 2005b):

- einfache Repeatstrukturen, deren wiederholtes Sequenzmotiv nicht variiert (CSF1PO, TPOX, D5S818, D13S317, D16S539),
- einfache Repeatstrukturen, in denen Zwischenallele vorkommen (TH01, D18S51, D7S820),
- zusammengesetzte Repeatstrukturen mit Zwischenallelen (vWA, FGA, D3S1358, D8S1179),
- komplexe Repeatstrukturen (z. B. D21S11),
- hypervariable Repeats (SE33).

Die für forensische Zwecke zur sicheren Unterscheidung verschiedener Personen ausgewählten STRs erfüllen eine Vielzahl von Kriterien, von denen einige im Folgenden dargestellt werden.

Die verwendeten STRs müssen hochpolymorph sein und dürfen nicht mit Genen oder anderen in die Untersuchung einbezogenen STRs „gelinkt“ sein. Ihre Merkmalsausprägung muss unabhängig von der anderer Marker sein, auf die z. B. gerichtete Selektionsdrücke wirken. Darüber hinaus darf die Merkmalsausprägung der STRs selbst nicht Auslöser einer Krankheit sein. Um diese Eigenschaften zu überprüfen, werden in der Validierungsphase eines solchen Markers umfangreiche Daten gesammelt und statistischen Tests unterworfen, wie der Prüfung auf Abweichungen vom Hardy-Weinberg-Gleichgewicht oder Ermittlung der Höhe von Inzuchtkoeffizienten. Wichtige Eckdaten zur letztendlichen Auswahl eines Markers für forensische Zwecke sind seine chromosomale Verortung und seine theoretische sowie beobachtete Heterozygotenrate. Diese setzt sich aus der Anzahl der realisierten Allele und der Frequenz ihres Auftretens zusammen; sie zeigen näherungsweise eine Gauß-Verteilung, wenn keine Selektionsdrücke spezifisch gegen eines oder mehrere Allele wirken (z. B. Edwards et al. 1992, Deka et al. 1995, Chakraborty et al. 1999). Dies wiederum ist die Voraussetzung für ein verlässliches Unterscheidungspotential des betreffenden STR-Markers innerhalb einer Bevölkerung wie auch populationsübergreifend. Hierbei sind vor allem zwei Werte wichtig: die Diskriminierungskraft  $P_d$  (engl. *power of discrimination*) und die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Übereinstimmung  $P_m$  (engl. *probability of random match*), wobei der Zusammenhang  $P_m = 1 - P_d$  gilt. Während der  $P_d$ -Wert Auskunft darüber gibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit zwei nicht verwandte, zufällig ausgewählte Personen verschiedene Merkmalskombinationen aufweisen, gibt  $P_m$  dagegen an, mit welcher Wahrscheinlichkeit sie die gleiche Merkmalskombination besitzen. Für die kombinierte Berechnung dieser Werte (Tabelle 14.1) für mehrere untersuchte STRs ist deren Unabhängigkeit voneinander Voraussetzung, welche dadurch gewährleistet wird, dass sich die Marker in der Regel auf verschiedenen Chromosomen befinden und damit unabhängig voneinander segregieren. Diese chromosomale Lokalisierung ist bei den meisten STRs bereits aus dem Namen ersichtlich, sofern er der systematischen Nomenklatur folgt (ISFH seit 1995, z. B. Bär et al. 1997, vgl. auch Butler 2005b, Hummel 2003). So beinhaltet z. B. der STR-Name „D21S11“ die Informationen, dass es sich um einen DNA-Marker handelt, er sich auf Chromosom 21 befindet, es sich um eine Einzelkopiesequenz (engl. *single copy*) handelt und dies der 11. beschriebene Locus auf diesem Chromosom ist.

Die beschriebenen Auswahlregeln wurden bei der Festlegung der in der forensischen DNA-Analytik verwendeten STR-Marker berücksichtigt (nur CSF1PO und D5S818 befinden sich auf demselben Chromosom). Im Jahre 1997 wurden in den USA nach umfangreichen Evaluationsstudien bereits in der Fallarbeit verwendeter sowie einiger neu entdeckter STR-Marker 13 Kernsysteme (engl. *core loci*) für die forensischen Un-

**Tabelle 14.1.** Beispiel der Berechnung der „probabilities of random match“ ( $P_m$ ) für eine Kombination häufiger und eine Kombination seltener DNA-Merkmale

STRs	Person A häufiger Genotyp	Allelfrequenzen p und q	$P_{m(A)}$	Person B seltener Genotyp	Allelfrequenzen p und q	$P_{m(B)}$
TH01	9/9.3	0,155/0,331	0,10261	5/5	0,007/0,007	0,000049
vWA	17/17	0,265/0,265	0,070225	15/20	0,0282/0,021	0,0011844
D8S1179	13/14	0,319/0,183	0,116754	8/16	0,012/0,026	0,000624
FGA	20/21	0,171/0,190	0,06498	18/26	0,017/0,019	0,000646
D21S11	28/29	0,1585/0,2138	0,0677746	26/33	0,0034/0,0036	0,00002448
D3S1358	15/16	0,268/0,227	0,121672	14/19	0,117/0,012	0,002808
D18S51	14/15	0,1613/0,1478	0,04768028	11/22	0,0191/0,0057	0,00021774
SE33	18/27.2	0,075/0,0866	0,01299	13/34	0,0085/0,0038	0,0000646
			$P_{m(\text{kombiniert})}$ $= 2,79215 \times 10^{-10}$			$P_{m(\text{kombiniert})}$ $= 2,26199 \times 10^{-29}$

tersuchungen bestimmt. Sie umfassen die Systeme **CSF1PO** (Chromosom 5q33.1; Hammond et al. 1994), **FGA** (auch als **FIBRA** bekannt) (Chromosom 4q31.3; Mills et al. 1992), **TH01** (Chromosom 11p15.5; Edwards et al. 1991), **TPOX** (Chromosom 2p25.3; Anker et al. 1992), **vWA** (Chromosom 12p13.31; Kimpton et al. 1992), **D3S1358** (Chromosom 3p31.31; Li et al. 1993), **D5S818** (Chromosom 5q23.2; Lins et al. 1998), **D7S820** (Chromosom 7q21.11; Lins et al. 1998), **D8S1179** (Chromosom 8q24.13; Oldroyd et al. 1995), **D13S317** (Chromosom 13q31.1; Cooperative Human Linkage Center GATA7G10.415), **D16S539** (Chromosom 16q24.1; Cooperative Human Linkage Center GATA11C06.715), **D18S51** (Chromosom 18q21.33; Urquhart et al. 1995), **D21S11** (Chromosom 21q21.1; Sharma u. Litt 1992) und den geschlechtsanzeigenden Marker Amelogenin, der als homologe, jedoch längendimorphe Sequenz auf X- und Y-Chromosom vorliegt (Nakahori et al. 1991, Akane et al. 1991, Sullivan et al. 1993).

Für die DNA-Analysen in Europa wurden 7 Kernsysteme verbindlich festgelegt. Sie umfassen **D21S11**, **vWA**, **TH01**, **FGA**, **D3S1358**, **D8S1179**, **D18S51** und Amelogenin. In Deutschland wird zusätzlich der hochkomplexe STR-Locus **SE33** (auch als **ACTB** bekannt) (Chromosom 6q15; Polymeropoulos et al. 1992) als achttes Merkmalssystem in die DNA-Analysedatei (DAD) eingestellt. In dieser seit 1998 bestehenden und vom Bundeskriminalamt geführten Datenbank werden die DNA-Merkmale von in der forensischen Fallarbeit untersuchten Spuren sowie die DNA-Profile verurteilter Straftäter gespeichert.

Prinzipiell können weit mehr als nur diese Marker untersucht werden, eine übersichtliche Auflistung weiterer in Verwendung befindlicher Systeme findet sich in z. B. in Butler 2005b, auf der im Internet veröffentlichten Webseite „Short Tandem Repeat Internet DataBase“ (Ruitberg et al. 2001; s. Linkliste) können aktuelle Informationen zu STRs abgerufen werden.

Wie nun errechnen sich biostatistische Werte, die Aussagen wie „... die Wahrscheinlichkeit, dass eine zufällig ausgewählte Person die gleiche Merkmalskombination aufweist, beträgt 1 zu etlichen Milliarden/Trillionen...“ zulassen? Hierzu benötigt der Sachverständige umfangreiches Vorwissen über die möglichen Allelausprägungen eines Locus und deren Häufigkeit in einer oder mehreren Populationen. Für viele autosomale und gonosomale DNA-Marker stehen entsprechende Datenbanken zu Verfügung (z. B. Huckenbeck et al. 1997 oder von Firmen wie Applied Biosystems oder der Promega Corporation gesammelte Populationsdaten, welche die Frequenzen für die in einer Bevölkerungsgruppe gefundenen Allele enthalten; siehe Linkliste). Für Loci mit homozygoter Ausprägung (z. B. Tabelle 14.1; Person B, TH01: 5/5) wird für die Berechnung der kombinierten Wahrscheinlichkeit, das gefundene Allel von jedem der Elternteile ererbt zu haben, die gefundene Allelfrequenz  $p$  mit sich selbst multi-



pliziert ( $p^2$ ). Bei heterozygot vorliegenden Systemen (z. B. Tabelle 14.1; Person A, TH01: 9/9.3) berechnet sich die Genotypenfrequenz aus den Allelfrequenzen  $p$  und  $q$ . Die Chance, Allel 9 von der Mutter und Allel 9.3 vom Vater ererbt zu haben, beträgt  $p \times q$ . Die Chance, dass Allel 9.3 von der Mutter und Allel 9 vom Vater weitergegeben wurden, beträgt  $q \times p$ , demnach beträgt die Wahrscheinlichkeit, die Allelkombination 9/9.3 zufällig ererbt zu haben  $2 \times p \times q$ . Bei vorliegender Unabhängigkeit der untersuchten Marker voneinander kann die Produktregel angewandt werden und für ein Individuum die Wahrscheinlichkeiten eines zufälligen Treffers  $P_m$  für die einzelnen Systeme miteinander multipliziert werden, um die  $P_{m(\text{kombiniert})}$  für die gesamte untersuchte STR-Merkmalsskombination zu berechnen.

Die beiden in Tabelle 14.1 aufgeführten DNA-Merkmalssprofile der Personen A und B stellen jeweils Extreme dar; das eine besteht ausschließlich aus sehr häufigen Allelen, das andere ausschließlich aus sehr seltenen. Je mehr seltene Allele in einem Genotypen enthalten sind, desto kleiner wird die Wahrscheinlichkeit, zufällig eine andere unverwandte Person zu finden, welche die gleichen Merkmale trägt. Im Falle der Person A wäre dies theoretisch bei einer von  $3 \cdot 10^9$  ( $= 1/P_{m(\text{kombiniert})}$ ) Personen denkbar, bei Person B nur bei einer von  $4 \cdot 10^{28}$ .

Kommen mehrere miteinander verwandte Personen als Tatverdächtige in Frage, ist die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass sie in den untersuchten DNA-Systemen die gleichen Merkmale tragen. Hier muss die Anzahl der untersuchten DNA-Marker erhöht bzw. ein anderer Berechnungsmodus verwendet werden (z. B. Weir 1994).

Für die Untersuchung von autosomalen STRs stehen seit Mitte der 1990er Jahre kommerziell erhältliche Multiplex-PCR-Kits zu Verfügung, welche die simultane Koamplifikation von drei bis 15 STRs mit unterschiedlicher Nachweisempfindlichkeit und Diskriminierungskraft erlauben. Die anbietenden Firmen führen selbst Populations- und Validierungsstudien für die von ihnen angebotenen Kits durch. Die Primersequenzen (s. Kap. 14.5) dieser käuflich zu erwerbenden Kits werden in der Regel aus wirtschaftlichen Interessen nicht veröffentlicht. Die fehlende Transparenz bezüglich der verwendeten Primer bedingt eine Unkenntnis eventuell auftretender Probleme beim Nachweis eines bestimmten Merkmalssystems und erschwert forschenden, nichtkommerziellen Institutionen diesbezügliche Fehleranalysen. Die einzigen bislang veröffentlichten Primersequenzen eines forensisch verwendeten kommerziellen STR-Kits sind die des Powerplex16-Kits (Promega Corporation). Sie wurden publiziert (Masibay et al. 2000), nachdem mit diesem Kit generierte DNA-Muster in den USA vor Gericht nicht als Beweis zugelassen wurden.

In Tabelle 14.3 sind einige der aktuell erhältlichen Kits für die forensische DNA-Analyse und die in ihnen enthaltenen Marker aufgeführt.

## 14.2.2

### Y-chromosomale STRs

Das humane Y-Chromosom ist mit ca. 50 Mb (Megabasen) das kleinste der menschlichen Chromosomen, der informationstragende Teil der Sequenz von ca. 23 Mb wurde 2003 veröffentlicht (Skaletsky et al. 2003). Weitere etwa 30 Mb werden von der Zelle nicht abgelesen und bestehen zum Teil aus hochrepetitiven Sequenzen. Der größte Teil des Y-Chromosoms besteht aus Bereichen, die als nicht-rekombinant bezeichnet werden. Dagegen bilden die telomeren Enden des Y-Chromosoms die pseudo-autosomalen Regionen (PAR), weil sie in geringem Ausmaß meiotischen Crossing-over-Ereignissen und damit einer Rekombination ausgesetzt sind (z. B. Rappold et al. 1994). Ein großer Teil der auf dem Y-Chromosom lokalisierten Sequenzen liegt dupliziert auch auf dem X-Chromosom vor, was bei der Auswahl von DNA-Markern für Y-chromosomspezifische Nachweissysteme zu berücksichtigen ist.

Auch auf dem Y-Chromosom befinden sich STRs, die eine ähnliche Struktur und Variabilität wie die autosomalen STRs aufweisen (z. B. Roewer et al. 1992, de Knijff et al. 1997, Kayser et al. 1997, Jobling et al. 1997, Caracedo et al. 2001; s. Abb. 14.2) und einer forensischen DNA-Untersuchung zugänglich sind.

In welchen Fällen können DNA-Merkmale auf dem Y-Chromosom forensisch interessant sein? Ein wichtiges Anwendungsgebiet bilden Sexualdelikte. Hier findet man oft Spurenlagen, in denen ein sehr hoher Anteil der DNA des weiblichen Opfers mit einem sehr geringen Anteil der DNA des männlichen Täters vermischt ist. Unter Umständen ist das Mengenverhältnis der beiden DNAs so ungünstig, dass die autosomalen STR-Merkmale des Täters nicht oder nicht sicher abgeleitet werden können. In solchen Fällen kann die Bestimmung von Y-STRs die einzige probate Methode sein, überhaupt DNA-Merkmale des Täters zu typisieren (z. B. Hall u. Ballantyne 2003). Die ebenfalls vorhandene weibliche DNA stellt dabei kein konkurrierendes Substrat dar, so dass die männliche DNA effizient amplifiziert und separat dargestellt wird.

Eine Besonderheit des Y-Chromosoms und der auf ihm lokalisierten Marker besteht darin, dass sie *en bloc*, als so genannter Haplotyp, vom Vater auf sämtliche männlichen Nachkommen vererbt werden (paternale Vererbung, siehe Abb. 14.2). Daraus folgt, dass alle einer Patrilinie zugehörigen Personen die gleichen Y-chromosomalen Merkmale besitzen. Der biostatistische Aussagewert von Y-STRs ist aufgrund dieser Nicht-Individualisierbarkeit niedriger als der von autosomalen STRs, welche rekombiniert werden und deshalb individualspezifisch sind. Dieses Faktum wird wichtig, wenn Y-STRs die einzigen verfügbaren DNA-Daten in einem Fall ausmachen („... der böse Onkel war es ...“ – Verteidigung).

Grundsätzlich kann der untersuchte Y-Haplotyp zwar verwendet werden, um tatverdächtige Personen sicher auszuschließen. Eine Übereinstimmung zwischen den Merkmalen aus der Tatortspur und dem Verdächtigen hingegen zeigt lediglich, dass diese Person der Spurenverursacher sein könnte, ebenso aber der Vater, der Bruder oder andere Träger des gleichen Y-chromosomalen Musters.

Für forensische Zwecke hat sich die Verwendung bestimmter Y-STRs durchgesetzt (*minimal* und *extended haplotype*). Der „*minimal haplotype*“ (Pascali et al. 1999) besteht aus den Markern DYS19 (Roewer et al. 1992), DYS389I, DYS389II, DYS390, DYS391, DYS392, DYS393, DYS385 I/II (de Knijff et al. 1997, Kayser et al. 1997). Für die Erstellung des „*extended haplotype*“ werden zusätzlich zu diesem Markerkanon zwei weitere Y-STRs typisiert: DYS438 und DYS439 (z. B. Ayub et al. 2000).

Daneben ist die Analyse einer Vielzahl weiterer Y-STRs (Kayser et al. 2004) möglich, die in den unterschiedlichen publizierten (z. B. Gusmao et al. 1999, Prinz et al. 2001, Parson et al. 2001, Butler et al. 2002) oder kommerziell erhältlichen Y-STR-Multiplex-Systemen [z. B. PowerPlex® Y (Promega Corporation), AmpFlSTR® Yfiler™ (Applied Biosystems), DYSplex1, DYSplex2 (Serac, Bad Homburg, Deutschland), Mentype® Argus Y-MH (Biotype, Dresden, Deutschland)] enthalten sind.

Wegen der großen Variabilität Y-chromosomaler Haplotypen ist die Bestimmung ihrer Frequenz und damit die Einschätzung des Aussagewertes der im untersuchten Fall typisierten Y-chromosomalen Merkmale nur über den Zugang zu großen Datenbanken möglich. Die größte derartige Datenbank ist die „Y-chromosome Haplotype Reference Database“, die Frequenzabfragen auf Grundlage stetig aktualisierten Datenmaterials online ermöglicht (Roewer et al. 2000, Roewer et al. 2001), Adresse siehe Linkliste) und in welcher derzeit 38761 Haplotypen aus 316 Populationen erfasst sind (Stand Mai 2006). Hier ist die Ausführung verschiedener Typen von Abfragen möglich, wie z. B. eine „GeoSearch“, in welcher die Recherche eines Y-Haplotypen innerhalb von sieben definierten kontinentalen Metapopulationen sowohl global als auch auf einzelne Kontinente eingegrenzt durchgeführt werden kann.

### 14.2.3

#### X-chromosomale STRs

Auch auf dem X-Chromosom befinden sich neben Genen nicht-kodierende Abschnitte, welche STRs (X-STRs) enthalten, die wie autosomale STRs in Form von Di- bis Pentanukleotidrepeats aufgebaut sind. Der Vererbungsmodus des X-Chromosoms und der auf ihm befindlichen genetischen Marker wird in Abb. 14.2 veranschaulicht. Mütter sind Träger von zwei verschie-

denen X-chromosomalen Haplotypen, von denen jeweils zufällig einer vererbt wird. Zusätzlich ist zwischen den beiden X-Chromosomen im Prinzip eine Rekombination aufgrund meiotischer *crossing-over*-Ereignisse möglich. Väter hingegen als Träger nur eines X-Chromosoms geben einen konstanten X-Haplotypen an alle ihre Töchter weiter.

Die Forschung an diesen Markern mit Fokus auf forensische Applikationen begann erst vor wenigen Jahren (z. B. Kishida u. Tamaki 1997, Edelmann u. Szibor 1999, Tun et al. 1999). X-STRs haben das Potential, die Analyseresultate von autosomalen und Y-chromosomalen STRs zu unterstützen, besonders wenn es um die Generierung zusätzlicher Informationen bei komplexen Verwandtschaftsuntersuchungen mit „Informationslücken“ von einer oder mehreren Generationen geht (z. B. Szibor et al. 2003). Auch wenn bei der Untersuchung autosomaler STRs an stark degradiertem Material nur unzureichende Resultate zu erzielen sind, können X-STRs die Analyse sinnvoll ergänzen. In Defizienzfällen (bei Abwesenheit der molekulargenetischen Daten eines Elternteils), besonders solchen, in denen Vater-Tochter-Relationen im Fokus der Untersuchung stehen, können X-STRs entscheidend zur Aufklärung von Verwandtschaftsvermutungen sein. Dies betrifft insbesondere solche Fälle, in denen der Putativvater nicht mehr zu beproben ist, aber weitere weibliche Nachkommen desselben als Probanden zu Verfügung stehen, die alle das gleiche väterliche X-Chromosom tragen sollten (z. B. Edelmann et al. 2002). Inzwischen stehen auch für die Analyse X-chromosomaler STRs kommerzielle Kits mit validierten Markern zu Verfügung (z. B. Mentype® Argus X-UL von Biotype).

#### 14.2.4

### Mitochondriale Haplotypen

Bei Mitochondrien handelt es sich um im Zytoplasma lokalisierte, für die Energieerzeugung der Zelle essentielle Organellen. Während eine Zelle nur einen Kern enthält, beinhaltet sie eine Vielzahl (im Muskelgewebe bis etwa 1000) Mitochondrien. Sie enthalten im Normalfall alle mehrere Kopien der gleichen, mütterlich vererbten DNA – den mitochondrialen Haplotypen (zum Erbgang der mtDNA s. Abb. 14.2).

Beim Menschen besteht das mitochondriale Genom aus 16.570 Basenpaaren, die nur einen sehr geringen Teil der menschlichen Erbinformation von ca. 3 Mrd. Basenpaaren ausmachen. Auf der mtDNA befinden sich relativ dicht gepackt die Codierungen für 37 Gene. Es finden sich jedoch auch Bereiche, welche keine Information enthalten, die von der Zelle verwendet werden und daher einen hohen Grad an Variabilität aufweisen. Ein starke Akkumulierung von Sequenzpolymorphismen befindet sich in der als d-Loop bezeichneten, ca. 900 Basenpaare umfassenden Region, in der

sich auch die beiden hypervariablen Regionen I und II (HVR I, zwischen den Nukleotidpositionen 16.024 und 16.365, und HVR II, zwischen den Nukleotidpositionen 73 und 340) befinden.

Die Sequenzen der hypervariablen Regionen unterscheiden sich zwischen zwei zufällig ausgewählten, unverwandten Personen um ca. 3% (z. B. Stoneking 2000). Diese Unterschiede werden in der forensischen DNA-Analyse dazu herangezogen, um Personen indirekt über die Zuordnung zu einer Familienlinie zu identifizieren. Dies kann nötig werden, wenn z. B. die DNA für eine Analyse der autosomalen STRs zu degradiert vorliegt oder als Referenzmaterial nur das von nicht direkt verwandten Angehörigen einer Verwandtschaftslinie (z. B. Großtanten) vorliegt (z. B. Bär et al. 2000, Ginther et al. 1992, Holland et al. 1993, Butler u. Levin 1998, Jehaes et al. 1998, Goodwin et al. 1999, Lleonart et al. 2000, Andelinovic et al. 2005).

Die Aussagekraft dieser Marker bezüglich der Identifizierung einer Person ist jedoch geringer als die eines genetischen Fingerabdruckes, weil mt-Haplotypen markertypimmanent nicht individualspezifisch sind. Der Aussagewert steigt jedoch mit dem Nachweis seltener Mutationen. Im Internet verfügbare Datenbanken stellen Referenzdaten zur Verfügung und ermöglichen eine Einschätzung der Häufigkeit der nachgewiesenen Polymorphismen. In diesen Datenbanken kann auch die regionale Verteilung bestimmter mitochondrialer Haplotypen recherchiert werden (für Adressen verfügbarer Datenbanken s. Linkliste), um Rückschlüsse auf die biogeographische Herkunft eines Individuums bzw. seiner Vorfahren in maternaler Linie zu erhalten (z. B. Vernesi et al. 2001).

Probleme in der mtDNA-Typisierung können prinzipiell durch nukleare Insertionen verursacht werden (z. B. Thomas et al. 1996, Greenwood u. Pääbo 1999). Hierbei handelt es sich um die in der frühen Evolution vonstatten gegangene Einlagerung von Kopien mitochondrialer DNA-Abschnitte in das Kern-Genom. Da die Mutationsrate des Kerngenoms etwa 10fach niedriger als die des mitochondrialen Genoms ist, liegen anfangs gleiche Sequenzen, später unterschiedliche Versionen im Kern (auch als *ancestral haplotype* bekannt) und im Mitochondrium vor. Dies kann zu reproduzierbar uneindeutigen Analyseergebnissen (unter Umständen Verwechslung mit Heteroplasmie) führen, wenn nicht sichergestellt ist, dass das verwendete Nachweissystem die Koamplifikation nuklearer Insertionen ausschließt.

Dieses andere, aufgrund der Häufigkeit seines Auftretens wichtigere Problem bezüglich der Typisierung mitochondrialer Sequenzpolymorphismen liegt im Auftreten von mitochondrialen Mosaikmustern. Diese können z. B. entstehen, wenn irregulär die mtDNA des Vaters durch das Spermium in die Oozyte eingebracht wird. Dies resultiert in einer Heteroplasmie der betreffenden mtDNA-Bereiche, in denen sich die Sequenzen beider Eltern

unterscheiden (Gill et al. 1994, Ivanov et al. 1996, Hühne et al. 1999, Pfeiffer et al. 1999).

Für die Typisierung mitochondrialer Sequenzpolymorphismen steht neben der klassischen Sequenzierung (Sanger et al. 1977) einzelner PCR-Produkte ein großes Repertoire an Nachweisverfahren zur Verfügung. Der Trend weist dabei in die Richtung von zeitsparenden Multiplex-Amplifikationen, denen sich eine Einzelbasenbestimmung anschließt, z. B. SBE-Analysen (engl. *single base extension*; z. B. Andreasson et al. 2002, Brandstatter et al. 2003, Just et al. 2004, Vallone et al. 2004, Parson et al. 2004, Quintans et al. 2004, Kline et al. 2005, Allen u. Andreasson 2005).

### 14.2.5 Spezies

In vielen Haushalten (im Jahre 2005 in Deutschland nach Daten des Industrieverbandes Heimtierbedarf e. V. in mehr als einem Drittel) teilen sich Menschen ihren Lebensraum mit Haustieren, wobei Katzen und Hunde die am häufigsten vertretenen Spezies darstellen. Zu diesen Tieren besteht in der Regel ein enger Körperkontakt oder eine starke räumliche Nähe, wodurch es zu einer Übertragung der Haare der Tiere auf ihre Besitzer kommt. Diese übertragen die anhaftenden Haare weiter, z. B. ins Auto, den Arbeitsplatz oder an die Kleidung anderer Personen. Damit wird das Potential der Analyse solcher in Form von Tierhaaren vorliegenden Spuren im Kontext der Verbrechensaufklärung offenbar. Dieser in der Praxis häufig gesicherte Spurentyp kann es unter Umständen ermöglichen, Menschen mit anderen Personen (Täter/Opfer), Orten (z. B. Tatort, Transportmittel) oder Gegenständen (z. B. Waffen, Tatkleidung, Verpackungsmaterial) auch dann noch in Verbindung zu bringen, wenn sonst keine anderen Nachweismöglichkeiten hierfür bestehen. Auch in diesem Bereich hat die DNA-Analytik den ursprünglich rein morphologischen Untersuchungsansatz bezüglich der Aussagekraft der gewonnenen Ergebnisse stark erweitert. Zur Identifizierung bzw. dem Ausschluss von Tieren als Spurengerber steht ein ähnliches Markerrepertoire wie für DNA-Typisierungen beim Menschen zur Verfügung. Es werden ebenfalls autosomale STRs und mitochondriale Sequenzpolymorphismen untersucht, um fragestellungsabhängig die gefundene Spur einem bestimmten Tier oder einer Spezies zuzuordnen. Um die Spezies zu bestimmen, werden häufig Sequenzpolymorphismen auf dem mitochondrialen Gen für Cytochrom b untersucht (z. B. Parson et al. 2000, Hsieh et al. 2001, Branicki et al. 2003, Bellis et al. 2003). Das Cytochrom-b-Gen umfasst bei den meisten Haustierarten 1140 Basenpaare auf der mitochondrialen DNA. In menschlichen Mitochondrien ist das Gen, das für den Energiehaushalt der Zellen von Bedeutung ist, zwischen den Nukleotidpositionen

14.747 und 15.887 lokalisiert. Die für die verschiedenen Arten charakteristischen Sequenzpolymorphismen können nach der PCR-gestützten Amplifikation geeigneter kurzer Teilabschnitte des Cytochrom-b-Gens entweder durch Sequenzierung oder durch RFLP-Analysen identifiziert werden.

Für die Identifizierung einzelner Tiere kommen den humanen autosomalen STRs analoge Mikrosatelliten zum Einsatz (z. B. Padar et al. 2001, Brauner et al. 2001, Halverson u. Basten 2005, Eichmann et al. 2005, Hellmann et al. 2006).

Neben Spuren tierischen Ursprungs können auch anhaftende Pflanzenreste verwendet werden, um eine Verbindung zwischen einer Person und einem Ort herzustellen, z. B. einem Täter die Anwesenheit am Ort des Verbrechens nachzuweisen (z. B. Korpelainen u. Virtanen 2003, Mildenhall 2004) oder aufzuzeigen, dass der Auffindungsort eines Opfers nicht identisch mit dem Tatort ist. Stehen Pflanzen im Fokus DNA-analytischer Untersuchungen, ist ihre Fortpflanzungsstrategie – sexuell oder asexuell – zu berücksichtigen, die im ersten Fall eine Identifikation einer ganz bestimmten Pflanze ermöglichen, bei asexueller Vermehrung, z. B. durch Sporen, jedoch nicht möglich wäre.

## 14.3

### DNA-Extraktion

Nachdem eine möglicherweise für eine DNA-Analyse geeignete Spur entdeckt und dokumentiert ist, beginnt der Untersuchungsgang im Labor. Ein essentieller Schritt ist die Auswahl des geeigneten Verfahrens, mit dem die in der Spur enthaltene DNA gewonnen und von anderen Bestandteilen, welche die sich anschließende PCR (siehe PCR-gestützte Amplifikation) stören könnten, abgetrennt wird. Je nach Spurenart variieren diese potentiell inhibierend wirkenden Substanzen, bei denen es sich z. B. um Proteine (aus Geweben), Huminsäuren (aus dem Boden), Hämoglobin (aus Blut), Melanin (aus Haut und Haaren) oder Kollagen (aus Knochen) handeln kann. Die Auswahl der geeigneten Extraktionsmethode wird daher hinsichtlich der untersuchten Spurenart, der Größe der Spur und der zu erwartenden Menge an DNA, des Anteils potentieller Inhibitoren sowie einer Abschätzung möglicher DNA-Verluste durch das Extraktionsverfahren getroffen. Weitere Auswahlkriterien sind der erforderliche zeitliche Aufwand für die Durchführung einer DNA-Extraktion und – zunehmend wichtiger – die Möglichkeit der Automatisierung eines Extraktionsverfahrens.

Im Folgenden werden einige der in forensischen Laboren angewandten Methoden zur Gewinnung von DNA aus forensischem Spurenmaterial dargestellt.

### 14.3.1

#### **Chelex**

Chelex100® (Bio-Rad Laboratories, ein vergleichbares Produkt ist das ReadyAmp™ Genomic DNA Purification System der Promega Corporation) ist ein in wässriger Lösung suspendiertes Ionenaustauschharz, das direkt auf die abgenommene Probe gegeben werden kann (Walsh et al. 1991). Es wirkt als Chelatbildner für mehrfach geladene (Metall-)Ionen wie z. B. Magnesium, die der Lösung quantitativ entzogen werden. Da Magnesium essentiell für die Funktionalität von (im DNA-Extrakt unerwünschten) Nukleasen ist, werden diese durch Zugabe von Chelex inaktiviert.

Die Lyse der Probe wird in einer meist 5%igen Chelex-Lösung unter Zugabe einer Protease und gegebenenfalls anderen Zusätzen (Kap. 14.3.6) durchgeführt. Es folgt ein längerer Denaturierschritt, nach welchem die DNA aufgrund des stark alkalischen Milieus der Lösung einzelsträngig bleibt. Das Harz mit den gebundenen Inhibitoren wird abzentrifugiert und der wässrige, die DNA enthaltende Überstand kann direkt für PCR-basierte Analysemethoden verwendet werden.

Mit der Methode kann DNA aus verschiedenen Probenarten wie z. B. Blut, Sperma, Speichel, Haare, Kopfschuppen und Hautschüppchen extrahiert werden, sofern diese nicht zu stark verschmutzt und dadurch potentiell inhibiert sind. Soll die Chelex-Methode auf Blut angewandt werden, können durch einen initialen Waschschrift Inhibitoren wie Hämoglobin und andere Proteine abgetrennt werden (z. B. Willard et al. 1998).

Die Methode ermöglicht es, aus einem breiten Spektrum an Probenmaterialien ohne hohen präparativen Aufwand DNA zu isolieren. Ein Vorteil liegt darin, dass die DNA-Extraktion in einem einzigen Reaktionsgefäß durchgeführt wird, wodurch das Verfahren wenig kontaminationsanfällig ist. Da das verwendete Ionenaustauschharz jedoch nicht sehr viele Verunreinigungen bindet, können die mit dieser Methode gewonnenen Extrakte inhibierende Substanzen enthalten. Die isolierte DNA liegt einzelsträngig vor und kann daher nur für bestimmte Untersuchungsmethoden, wie z. B. PCR-basierte Analysen, eingesetzt werden. Als Substrat für rein RFLP-basierte Verfahren sind die so hergestellten Extrakte nicht geeignet.

### 14.3.2

#### **Organische Extraktion – Phenol-Chloroform**

Bei dieser Methode (z. B. Sambrook et al. 1989, Baron et al. 1995) wird eine Phenol-Chloroform-Mischung zur lysierten Probe gegeben. Während die DNA in der wässrigen Phase bleibt, lösen sich in der organischen Phase polyphenolische Substanzen (wie z. B. Huminstoffe), die bei Verwendung



anderer Extraktionsverfahren mit der DNA koextrahiert worden wären. In der Probe enthaltene Proteine werden denaturiert und können ebenfalls abgetrennt werden.

Zunächst wird das Spurenmaterial in einem Puffer oder (bei Knochen) EDTA unter Einwirkung von Proteasen lysiert. Diese wässrige Lösung enthält DNA sowie diverse wasserlösliche Komponenten, die aus dem Extrakt entfernt werden sollen. Es folgt die Zugabe einer Phenol:Chloroform:Isoamylalkohollösung (Mischungsverhältnis 25:24:1) und anschließende Trennung der Phasen, z. B. durch Zentrifugation. Eine anschließend zugegebene Chloroformlösung nimmt verbliebene Phenolreste auf, die damit quantitativ entfernt werden. Die nun in der wässrigen Lösung vorliegende DNA kann nun z. B. alkoholisch mit oder ohne Fällungshilfe wie Silica (z. B. Dianova; s. auch Kap. 14.3.3) oder LPA (lineares Polyacrylamid, z. B. Sigma) präzipitiert und in Wasser oder einem Natriumacetatpuffer gelöst werden.

Mit der organischen Extraktion kann aus einem großen Probenspektrum, wie z. B. Blut, Haaren, Knochen und Sperma gewonnen werden. Es eignet sich besonders für Proben mit einem hohen DNA Anteil an Substanzen, die eine hemmende Wirkung auf die sich anschließende PCR-Analysetechnik haben und aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften mit anderen Methoden nicht abgetrennt werden können.

Die isolierte DNA liegt sehr rein und doppelsträngig vor und ist damit sowohl für PCR-basierte Untersuchungsverfahren als auch für RFLP-basierte Analysetechniken geeignet. Der Untersuchende kann das finale Elutionsvolumen der präzipitierten DNA selbst bestimmen und somit auch kleine DNA-Mengen aufkonzentrieren. Die Nachteile der Methode liegen in der zeitaufwändigen Durchführung sowie dem mehrfachen Transfer der Proben in neue Reaktionsgefäße, wodurch das Kontaminationsrisiko erhöht ist.

### 14.3.3

#### **Festphasenextraktion – Silica-Säulen/Magnetische Partikel**

Einige kommerzielle Hersteller (z. B. Qiagen) bieten DNA-Extraktionskits an, welche die Eigenschaft von Nukleinsäuren nutzen, bei Raumtemperatur, niedrigem pH-Wert und unter chaotropen Pufferbedingungen (z. B. Vogelstein u. Gillespie 1979, Boom et al. 1990) quantitativ an Glaspartikel (Silica) zu binden. Diese Bedingungen werden z. B. durch Puffer hergestellt, die Guanidiniumthiocyanat, Guanidiniumhydrochlorid oder Natriumjodid enthalten. Die zwischen DNA und Silica entstandene Bindung ist reversibel und kann unter leicht alkalischen Bedingungen gelöst werden.

In den Proben werden nach der Lyse die chemischen Bedingungen für die Bindung von DNA an Glasmilch hergestellt und die Lösung mit einem silicabeschichteten Trägermaterial zusammengegeben. Verwendet werden Säulchen mit einer silicabeschichteten Membran oder silicabeschichtete Magnetpartikel, an welche die Nukleinsäuren binden. Die am Trägermaterial fixierte DNA wird nun verschiedenen Waschschrritten unterzogen und danach unter Wärmeeinwirkung in einem leicht alkalischen Niedrigsalzpuffer oder Wasser von der Trägermatrix eluiert.

Auch diese Extraktionsmethode ist geeignet, um aus einem breiten Spektrum von Probenotypen, das sehr unterschiedliche Materialien wie Knochen, Blut oder Abriebe umfasst, sehr reine DNA doppelsträngig zu isolieren. Ein Nachteil besteht darin, dass die an die Silicamatrix gebundene DNA nicht quantitativ wieder von dort zu lösen ist, die Methode also mit systemimmanenten Verlusten arbeitet. Dem gegenüber bietet das realisierte Prinzip den großen Vorteil, dass es in der Kombination mit magnetischen Partikeln für den Einsatz in automatisierten Systemen geeignet ist. Entsprechende Extraktionsroboter werden seit einigen Jahren angeboten (z. B. Qiagen Biorobot EZ1, M48, M96) und finden in immer mehr forensischen DNA-Laboren Verwendung.

#### 14.3.4

### Differentielle Lyse

Eine DNA-Extraktionsstrategie, die im Zusammenhang mit Sexualdelikten verwendet wird, ist die differentielle Lyse (Gill et al. 1985). Sie wird insbesondere angewandt, wenn Mischspuren zwischen dem Sperma des Täters und Epithelzellen des Opfers vorliegen, in denen der Anteil der DNA des Täters sehr gering ist und seine DNA-Merkmale nicht oder nicht sicher bestimmt werden können. Die Methode nutzt die Unterschiedlichkeit der Membranstrukturen zwischen Epithelzellen und Spermien aus, um – durch eine differentielle Lyse beider Zelltypen – letztere von den anderen Zellfraktionen weitgehend zu trennen und damit die DNA des Täters zu separieren.

Das Spurenmaterial wird zunächst unter Zusatz von SDS und Proteinase K (s. Kap. 14.3.6) lysiert. Diese erste Lyse betrifft nur die in der Probe enthaltenen Epithelzellen, nicht aber die Spermienköpfe, die unversehrt abzentrifugiert werden. Während der Überstand idealerweise ausschließlich die lysierten (weiblichen) Epithelzellen enthält, wird das aus den Spermien bestehende Pellet in einem zweiten Verdau unter Zugabe von DTT (s. Kap. 14.3.6) aufgeschlossen.

Als Probenmaterialien kommen diverse Sperma/Epithelzelmischungen in Betracht, z. B. Vaginal- oder Oralabstriche des Opfers einer Vergewaltigung, aber auch Penisabstriche eines Tatverdächtigen.

Ein Vorteil der Methode liegt in einer im Idealfall vollständigen Entmischung der Zellfraktionen von Opfer und Täter und der damit eröffneten Möglichkeit der separaten Bestimmung der DNA-Merkmale beider Personen. In der Praxis wird diese quantitative Entmischung selten erreicht, geringkonzentrierte Spermienfraktionen gehen häufig verloren. Oft können überhaupt keine Spermien in den bei Vergewaltigungen gesicherten Sekretspuren nachgewiesen werden (fehlende Ejakulation beim Täter, steigende Zahl an Vasektomien, Verwendung von Kondomen). Die wenigen vom Mann stammenden Epithelzellen stellen dann das einzige Substrat für eine DNA-Analyse dar, die in diesem Fall vorzugsweise mit Y-chromosomalen STR-Markern durchgeführt werden sollte (s. Kap. 14.2.2).

### 14.3.5

#### Weitere Extraktionsmethoden

Neben den oben beschriebenen Methoden wird eine Vielzahl weiterer Verfahren zur Extraktion von DNA verwendet. Diese beruhen auf Prinzipien wie z.B. der alkalischen Lyse (Rudbeck u. Dissing 1998), der Aufbereitung der Proben mittels Mikrowellenstrahlung, dem Denaturieren durch Kochen (Meijer et al. 1992) oder Salzfällungen (Miller et al. 1988). Die Auswahl der durchgeführten DNA-Extraktionsmethode ist probentypabhängig und variiert zwischen den einzelnen DNA-Laboren stark. Mit diesen hier genannten Extraktionsverfahren werden in den Spurenmaterialien enthaltene Inhibitoren im Regelfall nicht abgetrennt, so dass die Methoden in der forensischen Laborroutine eher eine untergeordnete Rolle spielen.

### 14.3.6

#### Zusätze

Um bestimmte Spurentypen optimal aufzuschließen, können den zur Lyse verwendeten Puffern verschiedene Reagenzien zugefügt werden:

- **Proteinase K** ist ein Enzym, das zur Gruppe der Serinproteasen gehört, besitzt endo- und exoproteolytische Aktivität und wird für den Abbau von Proteinen in Zellysaten verwendet.
- **SDS** (Sodium dodecylsulfat) ist ein anionisches Tensid und wird als Denaturierungsmittel für Proteine verwendet. Die Wirkung auf Proteine basiert darauf, dass nichtkovalente Bindungen der Proteine unterbrochen und so deren Quartär- und Tertiärstruktur zerstört werden.
- **DTT** (Dithiothreitol) zerstört die Faltung von Enzymen, deren native Struktur durch Schwefelbrücken stabilisiert wird. Aufgrund dieser Ei-

genschaft findet es Verwendung bei der Lyse von Spermien, deren Membran es zerstört, sowie Haaren.

- **CTAB** (Cetyltrimethylammoniumbromid) ist ein ionisches Detergenz, das vor allem bei der Lyse von Pflanzen Verwendung findet, wo es der Permeabilisierung der Zellmembran dient.
- **EDTA** (Ethylentetradiaminacetat) ist ein Chelatbildner und ist in geringer Konzentration Bestandteil vieler Lysepuffer; in hoher Konzentration (0,5 M) wird es vor allem zur Dekalzifizierung von Knochen und deren Präparation eingesetzt.
- **Tween-20** (Polyoxyethylen(20)sorbitanmonolaurat) ist ein nicht-ionisches Detergenz und findet Verwendung als Additiv beim Aufschluss von fetthaltigen Spuren wie Kopf- oder Hautschuppen, wo es die Oberflächenspannung herabsetzt und die Lyse der Probe erleichtert.
- Bei **Nonidet P40** (Octylphenolpoly(ethyleneglycolether)) handelt es sich um ein nicht-ionisches Reagenz, das die Löslichkeit von Membranproteinen erhöht und damit deren Lyse fördert, ähnlich wirkt **Triton X-100** (Polyoxyethylen(10)octylphenylether), das die Peptidbindungen der Membranproteine zerstört.

## 14.4

### DNA-Quantifizierung

Nachdem eine Spur abgenommen und durch ein Extraktionsverfahren die enthaltene DNA isoliert wurde, liegt diese in unbekannter Konzentration in einer wässrigen Lösung und möglicherweise zusammen mit koextrahierten Komponenten vor, welche potentiell inhibierend auf die nachfolgenden Nachweisreaktionen wirken können. Um sich Zugang zu den für die weitere Laborarbeit wesentlichen Informationen „Konzentration“ einer bestimmten DNA-Art, „Degradation“ und „Ausmaß an Inhibition“ zu verschaffen, können verschiedene DNA-Quantifizierungsmethoden angewandt werden.

Die Konzentration der humanen Kern-DNA eines Extraktes bestimmt maßgeblich den weiteren Analysegang, vor allem in Bezug auf die eingesetzte Menge an DNA in die PCR, da die verwendeten Systeme sowohl über eine Nachweisgrenze als auch ein Reaktionsoptimum verfügen. Darüber hinaus beeinflusst eine zu hohe eingesetzte Menge an DNA die Effizienz einer PCR-Reaktion negativ. Mit den meisten kommerziell erhältlichen Multiplex-PCR-Kits können zuverlässige Resultate erzielt werden, wenn etwa 300 pg bis 2 ng DNA in die Reaktion eingesetzt werden, wobei der

empfohlene Einsatz bei einem Nanogramm liegt, was ca. 167 diploiden Genomen und damit etwa 333 Einzelkopien jedes DNA-Locus entspricht. Ist die extrahierte DNA-Menge sehr niedrig, müssen von den Standardparametern abweichende Reaktionsbedingungen (z. B. eine erhöhte Zyklenzahl für die PCR, s. Kap. 14.5.1) gewählt werden, um noch Merkmale nachweisen zu können.

Hinsichtlich des sich ständig erhöhenden Probenaufkommens – es werden immer mehr Spuren pro Fall untersucht – kann eine zuverlässige DNA-Konzentrationsbestimmung auch dazu verwendet werden, Proben, die keine DNA enthalten, schnell zu erkennen und von weiteren, zeitaufwändigen Analyseschritten ausschließen zu können.

Auch das Erkennen des Vorhandenseins von unerwünschten Substanzen im DNA-Extrakt ist wichtig, da diese auf die enzymbasierte PCR inhibierend wirken können. Hier stehen als Handlungsoptionen eine starke Verdünnung des Extraktes – und damit auch der inhibierenden Stoffe – oder eine Aufreinigung durch Abtrennung dieser störenden Bestandteile zu Verfügung.

Im Folgenden werden einige der in forensischen DNA-Laboren gebräuchlichen Methoden zusammengefasst. Weiterführende Informationen über Quantifizierungsmethoden, die in forensischen Zusammenhängen verwendet werden, können z. B. Nicklas u. Buel 2003b sowie Kline et al. 2003 entnommen werden.

### 14.4.1

#### Agarosegele

Bei dieser Methode wird ein Teil des DNA-Extraktes auf ein Agarosegel gegeben und einem elektrischen Feld ausgesetzt. Dort werden die im aufgetragenen DNA-Gemisch enthaltenen DNA-Moleküle entsprechend ihrer Länge aufgetrennt (zu diesem Prinzip s. Kap. 14.6.1). Durch Zugabe von Fluoreszenzfarbstoffen, die in doppelsträngige DNA interkalieren, wie z. B. Ethidiumbromid oder SYBR® Green, werden diese Fragmente unter UV-Licht sichtbar gemacht.

Die Methode vermittelt einen Eindruck von Mengen und Molekularität der im Extrakt enthaltenen DNA-Fractionen und damit auch vom Ausmaß der vorliegenden Degradation der extrahierten Nukleinsäuren. Einige inhibierend wirkende Substanzen wie koextrahierte Huminsäuren fluoreszieren im UV-Licht charakteristisch und können erkannt werden. Die Nachteile diese Methode bestehen einerseits im relativ hohen Verbrauch an DNA-Extrakt und andererseits darin, dass keine Aussagen über den artlichen Ursprung der detektierten DNA möglich ist.

### 14.4.2

#### Photometrie

Die photometrische DNA-Mengenbestimmung wird mit einem Teil des DNA-Extraktes in einem Spektralphotometer durchgeführt. Zur Ermittlung der Gesamt-DNA-Konzentration wird die Extinktion der Probe bei 260 nm gemessen; um die Menge an koextrahierten Verunreinigungen abzuschätzen, erfolgt eine weitere Messung bei 280 nm.

Der aus den Extinktionen bei 260 nm und bei 280 nm gebildete Quotient liefert Informationen über den Reinheitsgrad der DNA-Lösung. Ein unter 1,8 liegender Wert deutet auf Verunreinigung der Lösung mit Proteinen und/oder aromatischen Substanzen (z. B. Phenol) hin. Proteinverunreinigungen können sich negativ auf anschließende Amplifikationen auswirken. Auch mit dieser Methode sind keine Aussagen darüber möglich, von welcher Spezies die gemessene DNA stammt und wie degradiert sie vorliegt.

### 14.4.3

#### Fluorometrie

Sensitiver als die photometrische DNA-Mengenbestimmung ist die fluorometrische Bestimmung. Zu einem Aliquot des DNA-Extraktes wird ein in die doppelsträngige DNA interkalierender Fluoreszenzfarbstoff, z. B. PicoGreen, gegeben. Dessen Fluoreszenz erhöht sich proportional zu der Menge an DNA, in die er sich einlagert. Über den Vergleich zu einer Standardkurve kann die Konzentration der Gesamt-DNA einer Probe sehr genau ermittelt werden. Auch diese Quantifizierungsmethode ist nicht spezifisch für humane DNA und gibt keine Auskunft über den Degradierungsgrad der DNA.

### 14.4.4

#### Slot-Blot-Quantifizierung

Eine andere in forensischen DNA-Labors verwendete Methode zur DNA-Quantifizierung ist das Slot-Blot-Verfahren. Ein Aliquot des DNA-Extraktes wird auf einer Nylonmembran fixiert und mit einer humanspezifischen Sonde versetzt, welche an die DNA hybridisiert. Gemessen wird die Intensität des chemolumineszenten oder colorimetrischen Signals der gebundenen Sonde, das mit den Signalintensitäten einer Standardreihe bekannter DNA-Konzentrationen verglichen wird. Dieser Abgleich kann durch den Einsatz digitaler Bildbearbeitungssoftware erleichtert und objektiviert

werden. Diese Methode ermöglicht Quantifizierungen bis zu einer Detektionsgrenze von ca. 200 pg; die Sensitivität ist damit schlechter als die anderer Verfahren wie z. B. der Realtime-PCR.

### 14.4.5 Realtime-PCR

Die Realtime-PCR beruht auf dem Prinzip der herkömmlichen PCR (s. Kap. 14.5) und bietet die Möglichkeit der Quantifizierung der in einer Probe enthaltenen DNA durch den Einsatz fluoreszenzmarkierter, spezies- oder lokusspezifischer Primer und Sonden. Die Methode kann sowohl zur Speziesbestimmung als auch zum spezifischen Nachweis z. B. nuklearer DNA, Y-chromosomaler DNA oder mitochondrialer Zielsequenzen verwendet werden. Die Quantifizierung wird mit Hilfe von Fluoreszenz-Messungen am Ende oder während eines PCR-Zyklus (daher der Name „Realtime“) durchgeführt. Eine Quantifizierung wird möglich, weil die messbare Zunahme an Fluoreszenz proportional zur Menge der entstehenden PCR-Produkte ist. Mit dem Verfahren sind sowohl relative als auch absolute DNA-Mengenbestimmungen möglich. Letzteres wird in der forensischen DNA-Analytik angestrebt, da hier die absolute Anzahl amplifizierbarer Kopien von Interesse ist. Der für die Berechnung der DNA-Konzentration im Regelfall verwendete Wert ist der  $C_T$ -Wert oder  $C_p$ -Wert (engl. *threshold cycle* oder *crossing point*), was jeweils den Zyklus beschreibt, in dem die gemessene Fluoreszenz erstmalig signifikant über die Grund-Fluoreszenz ansteigt. Die in den Proben gemessenen  $C_T/C_p$ -Werte werden mit denen einer Standardkurve bekannter DNA-Konzentrationen verglichen und die DNA-Konzentration der Probe errechnet. Eine gelelektrophoretische Auftrennung der Fragmente ist nicht nötig, die Daten sind sofort verfügbar.

Für die Verwendung von Realtime-PCR zur Quantifizierung von DNA im forensischen Kontext stehen mittlerweile sowohl kommerziell erhältliche Kits (z. B. von Applied Biosystems) als auch von verschiedenen Forschungsgruppen veröffentlichte Assays zur Verfügung, mit denen die Anzahl nuklearer, Y-chromosomaler und mitochondrialer Kopien eines DNA-Extraktes sowohl einzeln (z. B. Richard et al. 2003, Nicklas u. Buel 2003a, Alonso et al. 2004, Bhat u. Epelboym 2004) als auch im Multiplex-Ansatz (z. B. Timken et al. 2005, Kochl et al. 2005, Walker et al. 2005) bestimmt werden können. In einigen der verwendeten Nachweissystemen ist außerdem die Koamplifikation einer internen Positivkontrolle eingeschlossen, um eine mögliche Inhibition des DNA-Extraktes anzuzeigen [z. B. Kochl et al. 2005; Quantifiler™ Human DNA Quantification Kit, Quantifiler™ Y Human Male DNA Quantification Kit (Applied Biosystems)].

## 14.5 PCR-gestützte Amplifikation

„It has not escaped our notice that the specific pairing that we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material.“ (Watson u. Crick 1953)

Die Polymerasekettenreaktion bildet das Kernstück der heute durchgeführten forensischen DNA-Analytik. Es handelt sich um ein bestechend einfaches Verfahren zur exponentiellen Vermehrung von DNA-Abschnitten (z. B. Erlich 1989, Mullis et al. 1994) auch noch aus kleinsten, stark degradierten Spuren. Hierfür ist ein Gemisch aus nur fünf Komponenten ausreichend: eine Pufferlösung (Medium für die Reaktion), dNTPs (freie Basen als Bausteine für die DNA-Kopien), Primer (kurze einzelsträngige synthetische DNA-Stücke, die den gewünschten DNA-Abschnitt begrenzen und zugleich als Startermoleküle dienen), DNA-Extrakt (aus der Probe, dient als Matrize für die Kopien) und eine Polymerase (Enzym, das dNTPs von den Primern ausgehend entlang der Matrize einen DNA-Strang neu aufbaut). Dieses Reaktionsgemisch wird zyklisch wiederkehrend drei verschiedenen Temperaturen für jeweils etwa eine Minute ausgesetzt. Diese werden zum einen benötigt, um die Kräfte der Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den komplementären Basen zu überwinden und die Doppelhelix der Proben-DNA in zwei Einzelstränge aufzutrennen (Denaturierung bei 94 °C). Die anschließend angesteuerte Temperaturstufe (Annealing bei ca. 55–60 °C) ermöglicht die Anlagerung der Primer, danach werden die Reaktionsbedingungen für die Neusynthese von DNA (Elongation bei 72 °C) hergestellt.

Während die PCR in der klinischen Anwendung wegen der dabei verwendeten vergleichsweise großen Mengen intakter DNA zu einer sehr robusten und bereits weitgehend automatisierten Technik entwickelt werden konnte, verlangt das Verfahren in seiner Anwendung in Grenzbereichen ein erhöhtes Maß an Aufmerksamkeit sowie eine möglichst fundierte Kenntnis der Reaktionsmechanismen. Gründe hierfür sind die verschiedenen Möglichkeiten, zu fehlerhaften Ergebnissen zu gelangen, seien dies nun falsch-positive Ergebnisse, verursacht durch z. B. zellhaltige Kontaminationen, oder falsch-negative Ergebnisse durch Wahl ungeeigneter Reaktionsparameter.

### 14.5.1 PCR-Parameter

Theoretisch findet je Zyklus eine Verdopplung des durch die Primer definierten DNA-Abschnittes statt, da die im vorangegangenen Zyklus neu



synthetisierten Abschnitte im folgenden Zyklus ebenfalls als Matrize dienen. Die Vermehrungsreaktion wird durch die Gleichung  $Y = A(1 + F)^n$  beschrieben, wobei  $Y$  der Menge amplifizierter DNA [ng DNA] entspricht,  $A$  der Ausgangskonzentration der eingesetzten Zielsequenzen [ng DNA],  $n$  der Anzahl der durchlaufenen Reaktionszyklen und  $F$  der Reaktionseffizienz, die im Idealfall 1 bzw. 100% beträgt. Faktisch kann die Effizienz der Reaktion jedoch stark vermindert sein, z. B. durch Inhibitoren aus dem DNA-Extrakt. Dies kann beispielsweise durch eine Erhöhung der Zyklenzahl kompensiert werden (z. B. Rameckers et al. 1997, Sambrook u. Russel 2001, Hummel 2003). Ist die Effizienzverminderung zu stark, müssen andere Parameter der Reaktion verändert werden.

In forensischen Zusammenhängen spielt die Belastbarkeit der erzielten Ergebnisse, die vor Gericht vertretbar sein müssen, eine große Rolle. Bei der STR-Analyse geringerer Mengen als etwa 100 pg DNA (etwa 30 Genomkopien, z. B. Fregeau u. Fournery 1993, Kimpton et al. 1994, Gill et al. 2000) treten neben erhöhten Stotterpeaks (engl. *stutter* oder *shadow bands*; z. B. Whitaker et al. 2001; s. Abb. 14.4) vermehrt stochastische Effekte wie „*drop in*“ (nicht reproduzierbares Erscheinen eines Artefaktpeaks, eines Scheinallels), „*drop out*“ (scheinbares Fehlen eines eigentlich im Genotypen vertretenen Allels und damit Anschein falsche Homozygotie) oder die präferentielle Amplifikation eines Allels (mit „*drop out*“ des anderen Allels als Extrem) auf. Um den Effekt dieser Artefakte so gering wie möglich zu halten, wird versucht, mehr als 30 Genomkopien in die PCR einzusetzen. Dem Bedürfnis nach vollständig abgesicherten Ergebnissen angepasst sind daher die Zyklenzahlen, welche die Hersteller von kommerziell erhältlichen STR-Typisierungskits empfehlen und für welche die Kits von Seiten der Firmen validiert sind. Diese empfohlenen Zyklenzahlen liegen in der Regel zwischen 28 und 32, womit DNA-Mengen von etwa 200 pg in einer Endpunkt-PCR nachgewiesen werden können. Damit werden im Prinzip die Rahmenbedingungen für eine DNA-Analyse vorgegeben, deren Ergebnisse von stochastischen Effekten in nur geringem Maße beeinflusst sind. Diese angegebenen Zyklenzahlen setzen zum erfolgreichen Nachweis jedoch eine hohe Reaktionseffizienz voraus, die bei forensischem Spurenmaterial sicher nicht immer gegeben ist. Wie wichtig die Kenntnis möglicherweise vorliegender Inhibition und damit herabgesetzter Reaktionseffizienz ist (wie es durch Methoden wie die Realtime-PCR möglich ist, siehe dort), verdeutlicht die folgende Tabelle 14.2.

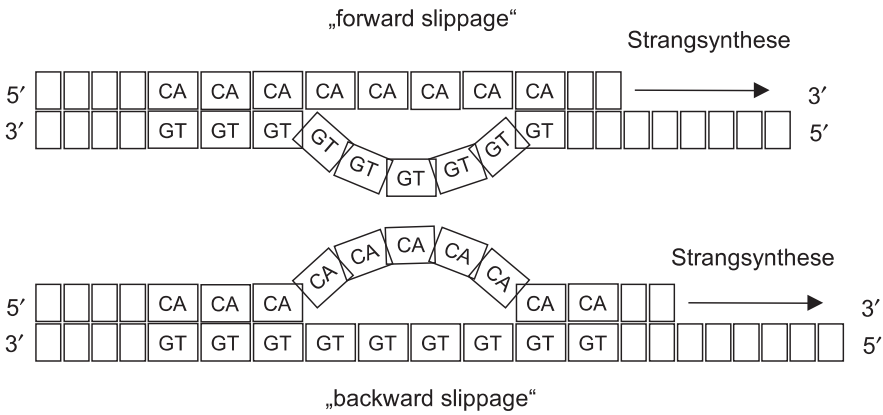
Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass in einem DNA-Extrakt tatsächlich genügend intakte Zielsequenzen vorhanden sein können, um eine sichere Genotypisierung zu ermöglichen, dass dies bei Vorliegen starker Inhibition aber erst bei höheren Zyklenzahlen als den routinemäßig angewandten möglich ist.

**Tabelle 14.2.** Zyklenzahl, die zur Amplifikation von 10 ng eines 200 bp langen PCR-Produktes benötigt wird

Reaktionseffizienz (F)	Anzahl intakter Zielsequenzen (A)					
	1	10	100	1.000	10.000	100.000
	Anzahl der durchlaufenen Amplifikationszyklen (n)					
1,00	34	30	27	24	20	17
0,90	36	33	29	26	22	18
0,80	40	36	32	28	24	20
0,70	44	40	35	31	27	22
0,60	49	45	40	35	30	25
0,50	57	52	46	40	35	29
0,40	69	62	55	48	42	35

Auch Modifikationen im Reaktionsansatz können eine durch Inhibition des DNA-Extraktes verursachte Effizienzmindern der PCR verringern. Bei ausreichender DNA-Menge kann dies die Verdünnung des DNA-Extraktes und somit auch des Inhibitors sein oder die Zugabe von mehr Polymerase, der Einsatz einer weniger empfindlichen Polymerase (Abu Al-Soud u. Radstrom 1998) oder die Zugabe anderer Additive wie z. B. BSA (bovines Serumalbumin). Ist die Inhibition sehr stark, kann ein weiterer Aufreinigungsschritt zur Abtrennung der DNA von unerwünschten Komponenten über Präzipitation der DNA und Verwerfen der Inhibitoren mit dem Überstand, die Verwendung von Filtern oder eines trennenden Gels nötig werden, wobei diese zusätzlichen Schritte meist mit einem Verlust an DNA einhergehen.

Ist ein DNA-Extrakt nicht inhibiert und liegen in ihm in der Tat nur sehr wenige DNA-Sequenzen vor, die als Matrizen für die Polymerasekettenreaktion dienen können, steigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Analyseartefakten (s. Abb. 14.4). Die Interpretation der aus geringsten Spurenmengen erzielten Daten erfordert viel Erfahrung. In der Praxis werden jedoch oft genug nur geringe Spurenmengen hinterlassen, so dass zur Lösung dieser Fälle keine andere Möglichkeit als die Untersuchung solcher Spuren besteht. Aus diesem Grunde kommt der LCN-Analyse (engl. *low copy number*, z. B. Whitaker et al. 2001, Gill et al. 2006a, Gill et al. 2006b), die es erlaubt, z. B. aus beim Anfassen eines Gegenstandes hinterlassenen Kontaktpuren oder Fingerabdrücken DNA-Merkmale zu typisieren (z. B. van Oorschot u. Jones 1997, Alessandrini et al. 2003), eine wachsende Bedeutung zu. Hier bewegt man sich in einem ähnlichen DNA-Mengenbereich wie bei der Analyse (prä)historischer DNA (engl. *ancient DNA*, abgek. aDNA) und muss dieselben Vorkehrungen zur Kontaminationsprävention (z. B. Hummel u. Schultes 2000, Hummel 2003, Capelli et al. 2003) treffen sowie entsprechende Anpassungen der PCR-Reaktionsparameter vornehmen.



**Abb. 14.4.** „Slippage“-Ereignisse treten während der Elongationsphase der Amplifikation auf und bedingen die Entstehung von Stotterbanden. „Forward slippage“ führt zur Bildung von PCR-Produkten, die eine Repeatschleife kürzer als die originale Sequenz sind („Vorstotter“). Durch „backward slippage“ werden PCR-Produkte generiert, die eine Repeatschleife länger sind als ihre Matrix („Nachstotter“)

Neben der Adjustierung der Zyklenzahl und den verschiedenen Strategien zur Überwindung möglicher Inhibition können weitere Parameter einer PCR verändert werden, um die erzielten Ergebnisse zu optimieren. Dies gilt sowohl für die Verwendung selbst designter Nachweissysteme als auch für kommerziell erhältliche Kits. Eine solche Möglichkeit bietet z. B. die Variation der Elongationstemperatur der PCR zur Reduzierung von Stotterartefakten. Dieser Zusammenhang erschließt sich durch die Vergegenwärtigung des Entstehungsmechanismus von Stotterbanden durch so genanntes Polymerase-„Slippage“, welches in der Abb. 14.4 schematisch dargestellt wird.

Polymerase-„Slippage“ tritt häufig bei der Amplifikation von STRs auf. Das Phänomen ist verstärkt bei Di- und Trinukleotidrepeatsequenzen zu beobachten und ist einer der Gründe, warum für forensische DNA-Analysen die weniger artefaktbelasteten Tetra- und Pentanukleotidrepeats präferiert werden. Die Entstehung der Stotterbanden kann durch einen Effekt erklärt werden, der „waving“ genannt wird und einen permanenten Wechsel zwischen Hybridisierung und Ablösung (Denaturierung) des Matrixstrangs von der in der Neusynthese begriffenen DNA-Sequenz darstellt. Da bei STRs die einzelnen Repeatschleifen alle die gleiche kurze Basenabfolge aufweisen, kann es beim Renaturieren zum „Verrutschen“ zwischen Matrixstrang und Komplementärstrang und somit zur Generierung von Produkten falscher Länge kommen. STRs mit hochkomplexen, unregelmäßigen Repeatstrukturen sind dementsprechend weniger von diesem Phänomen betroffen als solche mit gleichmäßiger, einfacher Basen-

abfolge. Durch Absenken der Elongationstemperatur von 72 °C auf bis zu 60 °C wird die Denaturierung der beiden DNA-Stränge während der Synthesephase vermindert und damit auch die Entstehung von Stotterbanden. Konsequenterweise wird dieses Konzept in der Zweischritt-PCR, bei welcher das Temperaturprofil nur zwischen der Denaturiertemperatur und einer kombinierten Anneal/Elongationstemperatur alterniert.

Die Verlängerung der Elongationsphase stellt darüber hinaus eine andere Strategie dar, einer ungenügenden Reaktionseffizienz, die durch Inhibition verursacht ist, entgegenzuwirken. Diese Möglichkeit sollte erwogen werden, wenn kurze Fragmente aus einem DNA-Extrakt amplifiziert werden können, längere jedoch nicht. Hier wird meist darauf geschlossen, dass längere Fragmente in der Probe eben nicht mehr intakt vorlagen, was in einer großen Zahl von Fällen auch durchaus zutreffend sein mag. Die Auswertungen von genetischen Fingerabdrücken, deren sehr verschiedenen lange DNA-Abschnitte simultan amplifiziert wurden, haben jedoch gezeigt, dass mitunter allein die Verlängerung der Elongationsdauer zum Erfolg auch in der Generierung langer DNA-Abschnitte führen kann. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Reaktionseffizienz durch Inhibitoren im DNA-Extrakt gerade so weit herabgesetzt ist, dass die zeitlichen Standardparameter zwar ausreichen, um Kopien kurzer DNA-Abschnitte zu generieren, die Amplifikation längerer Abschnitte jedoch unterbrochen wird, was eine exponentielle Vermehrung solcher Abschnitte im Grundsatz unmöglich macht.

## 14.5.2

### Amplifikationssysteme

In der Praxis müssen nun wesentliche Komponenten und Parameter der PCR auf der Grundlage des angestrebten Analyseziels und aufgrund der Voraussetzungen, die das Probenmaterial charakterisieren (z. B. Degradierungsgrad, Inhibitoren) bestimmt werden. Im Vordergrund steht die Wahl der Primer, derjenigen Komponenten im PCR-Reaktionsgemisch, die einen DNA-Abschnitt einrahmen und von denen aus die Amplifikation des gewünschten DNA-Abschnittes beginnt. Wichtig ist, dass die verwendeten Primer eine ausreichend hohe Spezifität besitzen, damit nur die für die Fragestellung dienlichen Abschnitte amplifiziert werden. Es sollten Nebenreaktionen vermieden werden, was sowohl die Amplifikation anderer Stellen auf dem Genom der untersuchten Spezies als auch auf dem anderer Arten betrifft (z. B. Hummel 2003, Butler 2005a, Butler 2005b). Inzwischen werden die von Firmen angebotenen Kits gegen die gängigen Haustierspezies getestet, die DNA von Primaten hingegen kann im Regelfall mit den humanen STR-Nachweissystemen erfolgreich amplifiziert werden (z. B. Immel et al. 2000).

Ein großer Teil der Entwicklungsarbeit für in forensischen DNA-Laboren verwendete Multiplex-STR-Nachweissysteme liegt in der Validierung der Primer einerseits hinsichtlich ihrer Spezifität und der Vermeidung von störenden Wechselreaktionen (Dimerbildung). Andererseits muss geprüft werden, ob die Primer sich an Stellen in der flankierenden Region des respektiven Repeats befinden, an denen es wenig Variabilität hinsichtlich der Basenabfolge gibt. Polymorphismen in den Primerbindungssequenzen führen unter Umständen dazu, dass der Primer nicht binden kann und damit die Amplifikation des betroffenen Allels fehlschlägt („Null-Allel“). Auffällig werden solche Artefakte z. B. durch das Auftreten von Abweichungen der beobachteten Häufigkeiten der Allele eines Markers von der erwarteten Häufigkeitsverteilung. In diesen Fällen müssen solche Primer an eine weniger polymorphe Stelle versetzt werden. Alternativ kann auch ein Primergemisch zugegeben werden, das Primer in den verschiedenen Sequenzvarianten enthält. Ein solches Primergemisch („degenerate“ Primer) liegt z. B. im AmpFISTR®Profiler Plus™ (ABI) für den STR D8S1179 vor (Leibelt et al. 2003).

Im Folgenden sind einige der aktuell erhältlichen Kits für die forensische DNA-Analyse und die in ihnen enthaltenen Marker dargestellt (s. Tabelle 14.3). Hierbei ist anzumerken, dass nur wenige Multiplex-Kits alle in der Deutschen DNA-Analysedatei geforderten STR-Systeme untersuchen, was im Wesentlichen auf den nur in Deutschland analysierten SE33 zurückgeht.

Neben den Aspekten der Spezifität und dem Vermeiden von Basenfehlpaarungen muss berücksichtigt werden, dass die aus forensischen Spuren gewonnene DNA stark degradiert sein kann. Der Zielabschnitt, der von den Hybridisierungsstellen der Primer eingerahmt und damit definiert wird, sollte daher idealer Weise möglichst kurz sein, um auch aus Proben DNA-Merkmale verlässlich bestimmen zu können, in denen nur noch kurze DNA-Fragmente vorliegen (vgl. z. B. Hummel 2003, Butler 2005b).

Die mit den kommerziell verfügbaren STR-Kits (s. Tabelle 14.3) generierten Produktlängen fallen in den Bereich von 100–400 Basenpaaren (bp). Viele Spuren enthalten DNA mit entsprechenden Fragmentlängen und können mit diesen Kits erfolgreich typisiert werden. Liegt die DNA jedoch stärker degradiert vor, zeigen zwar die STR-Marker, für die kürzere Produkte amplifiziert werden, noch Signale; solche Systeme, für deren Nachweis jedoch höhermolekulare Ziel-DNA (250 bp oder mehr) erforderlich wäre, können nicht mehr typisiert werden. Damit sinkt die Diskriminierungsstärke des erzielten DNA-Merkmalprofils, zumal oftmals gerade die diskriminanzstarken, hochpolymorphen Systeme FGA und SE33 von diesem Ausfall betroffen sind. Diese Systeme müssen schon aufgrund der hohen Anzahl der vorhandenen Wiederholungseinheiten (mehr als 30) mit größeren Fragmentlängen nachgewiesen werden als z. B. der maximal 11 Wieder-

**Tabelle 14.3.** Kommerziell erhältliche Multiplex-Kits für die forensische DNA-Analytik, wobei nur die letzten drei den in der DAD erfassten Marker SE33 enthalten

Name des Kits	im Kit enthaltene Loci	Firma
PowerPlex™	CSFIPO, TPOX, TH01, vWA, D16S539, D13S317, D7S820, D5S818	Promega Corporation
PowerPlex®16	CSFIPO, FGA, TPOX, TH01, vWA, D3S1358, D5S818, D7S820, D8S1179, D13S317, D16S539, D18S51, D21S11, Penta D, Penta E, Amelogenin	Promega Corporation
PowerPlex®ES	FGA, TH01, vWA, D3S1358, D8S1179, D18S51, D21S11, SE33, Amelogenin	Promega Corporation
AmpFISTR®Profiler	CSFIPO, FGA, TPOX, TH01, vWA, D3S1358, D5S818, D7S820, D13S317, Amelogenin	Applied Biosystems
AmpFISTR®Profiler Plus™	FGA, vWA, D3S1358, D5S818, D7S820, D8S1179, D13S317, D18S51, D21S11, Amelogenin	Applied Biosystems
AmpFISTR®Cofiler™	CSFIPO, TPOX, TH01, D3S1358, D7S820, D16S539, Amelogenin	Applied Biosystems
AmpFISTR®SGM Plus™	FGA, TH01, vWA, D2S1338, D3S1358, D8S1179, D16S539, D18S51, D19S433, D21S11, Amelogenin	Applied Biosystems
AmpFISTR®Identifiler™	CSFIPO, FGA, TPOX, TH01, vWA, D3S1358, D5S818, D7S820, D8S1179, D13S317, D16S539, D18S51, D21S11, D2S1338, D19S433, Amelogenin	Applied Biosystems
AmpFISTR®SEfiler™	FGA, TH01, vWA, D3S1358, D8S1179, D16S539, D18S51, D21S11, D2S1338, D19S433, SE33, Amelogenin	Applied Biosystems
genRES®MPX-2 LF und MPX-2 SP	FGA, TH01, vWA, D3S1358, D8S1179, D18S51, D21S11, SE33, Amelogenin	Serac
Mentype®Nonaplex I,II, QS	FGA, TH01, vWA, D3S1358, D8S1179, D18S51, D21S11, SE33, Amelogenin	Biotype

holungseinheiten aufweisende STR TH01. Um aus solchen Proben, die stark degradierte DNA enthalten, genügend Informationen zu gewinnen, werden STR-Multiplex-Kits benötigt, deren Amplikonlänge 200–250 bp nicht überschreitet. Derartige „miniSTR“-Systeme wurden von verschiedenen Arbeitsgruppen publiziert, (z. B. Hellmann et al. 2001, Butler et al. 2003, Schilz et al. 2004, Asamura et al. 2005, Asamura et al. 2006, Grubwieser et al. 2006) und auf ihre Einsatzmöglichkeiten geprüft (z. B. Drabek et al. 2004). Die für die Etablierung von „miniSTR“-Kits unternommenen Anstrengungen beschränken sich nicht nur auf die Verkürzung der Amplifikationsprodukte durch geeignetes Primerdesign (Hummel 2003), sondern setzen auf eine gleichzeitige Erweiterung des bislang verwendeten Markerspektrums (z. B. Coble u. Butler 2005). Kommerziell erhältlich sind momentan wenige STR-Multiplexsysteme mit kurzen Amplikons, sie enthalten oftmals nur 3–4 Marker, z. B. *genRES*<sup>®</sup>MPXSP-1 (Serac) und die *Mentype*<sup>®</sup> Triplex Systeme (Biotype). „MiniSTR“-Multiplexsysteme, die eine größere Markeranzahl enthalten, sind der *AmpF/STR*<sup>®</sup>Minifiler<sup>™</sup> (Applied Biosystems) und der *genRES*<sup>®</sup>MPX-2 SP.

## 14.6

### PCR-Produktanalyse

Die mit Hilfe der Polymerasekettenreaktion generierten DNA-Fragmentgemische müssen mit hoher Präzision aufgetrennt werden. Hierzu bedient sich die Molekularbiologie einer grundsätzlich einfachen Methode, der Gelelektrophorese. Alternative Methoden wie z. B. MALDI-TOF (engl. *Matrix Assisted Laser Desorption/Ionisation-Time of Flight*), bei der eine Massenbestimmung der zu untersuchenden, ionisierten Moleküle im Hochvakuum über sehr genaue elektronische Messung der Flugzeit der Teilchen durchgeführt wird, werden im Kontext von Genomforschungen und der Diagnostik, besonders im Hochdurchsatzbereich, für die Analyse von Sequenzpolymorphismen (sog. SNPs, engl. *single nucleotide polymorphisms*) angewandt (z. B. Ross et al. 1997, Sun et al. 2000, Leushner 2001, Pusch et al. 2002, Chen et al. 2005, Audsley u. Weaver 2006). Im forensischen DNA-Routinebetrieb kommt die SNP-Analyse noch nicht regelhaft zur Anwendung; damit stellt auch die MALDI-TOF-Messung im forensischen Analyseumfeld keines der bislang üblicherweise verwendeten Verfahren dar, obwohl die Verlässlichkeit der Methode zur Genotypisierung gezeigt wurde (Carey u. Mitnik 2002, Mengel-Jorgensen et al. 2004, Lessig et al. 2005, Petkovski et al. 2005), das Verfahren multiplexfähig ist und die Untersuchung der Proben mit geringem Zeitaufwand verbunden ist.

## 14.6.1 Elektrophorese

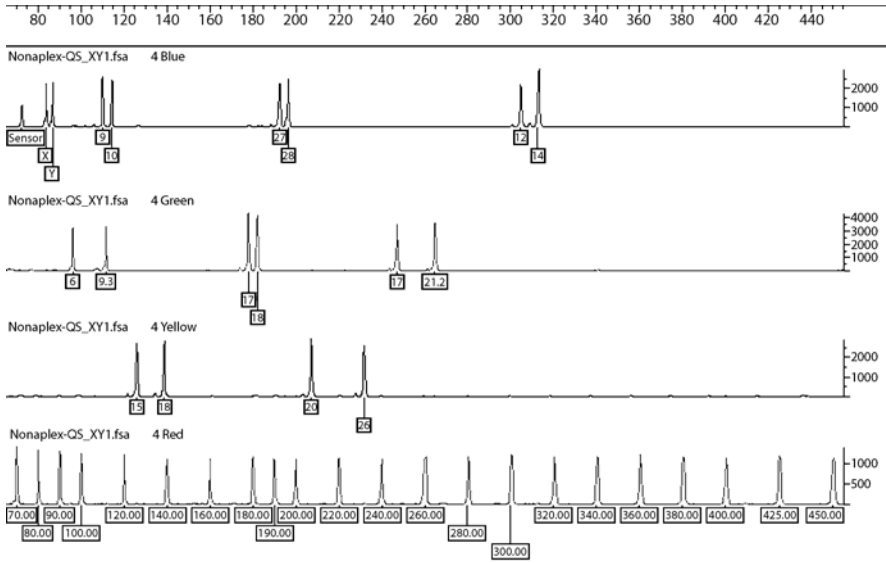
Gelelektrophorese ist eine analytische Methode, verschiedene Arten von geladenen Molekülen, in diesem Falle DNA-Moleküle unterschiedlicher Länge, zu trennen. Dabei wandern die zu trennenden Fragmente im elektrischen Feld durch ein Gel, das sich in einer ionischen Pufferlösung befindet. Die negativ geladenen Moleküle wandern in Richtung der positiv geladenen Anode. Dabei weisen kleine DNA-Fragmente eine höhere elektrophoretische Mobilität auf als große, d.h. sie bewegen sich schneller durch das als Molekularsieb wirkende Gel, wodurch eine Auftrennung der Moleküle entsprechend ihrer Größe erzielt wird. Diese im Prinzip einfache Methode erfordert für die Fragmentlängenanalyse von STRs einen relativ hohen apparativen Aufwand, da auch Längenunterschiede von nur einem Basenpaar präzise und reproduzierbar erfasst werden müssen.

## 14.6.2 Fragmentlängenanalyse

Voraussetzung für eine exakte und reproduzierbare Trennung der in der Regel multiplex generierten PCR-Produkte ist die Möglichkeit, die Fragmente gesichert den verschiedenen STRs zuordnen zu können. Dies wird durch eine farbliche Markierung der PCR-Produkte erreicht, die bereits während der Polymerasekettenreaktion geschieht. Hierfür wird der Umstand genutzt, dass die eingesetzten Primer Bestandteile der neu generierten DNA-Fragmente werden: Durch die Ankopplung eines Farbstoffes an die Primer werden die neu entstehenden PCR-Produkte markiert. In der Praxis verwendet man heute vorwiegend Fluoreszenzfarbstoffe, die bei Bestrahlung mit Laserlicht in einem spezifischen Wellenlängenspektrum Licht emittieren.

Bei den instrumentellen Plattformen, mit denen die markierten Produkte aufgetrennt und detektiert werden, fand im Laufe der letzten Jahre eine Verschiebung von der Plattenelektrophorese (z. B. Kimpton et al. 1996) hin zur Kapillargelelektrophorese (z. B. Mansfield et al. 1998) statt. Im ersten Fall befindet sich das Trenngel zwischen zwei meist vertikal montierten Glasplatten, während sich bei Kapillargelelektrophoresegeräten das Trenngel in dünnen, biegsamen Glaskapillaren befindet, deren Länge und damit die Trennstrecke der Applikation angepasst werden kann. Moderne Hochdurchsatzgeräte wie der ABI 3730xl DNA Analyzer (Applied Biosystems) arbeiten heute mit „Arrays“, die aus bis zu 96 Kapillaren bestehen, welche die gleichzeitige Auftrennung der entsprechenden Anzahl von Proben erlauben.





**Abb. 14.5.** Beispiel für das Elektropherogramm eines genetischen Fingerabdruckes (x-Achse Fragmentlänge in Basenpaaren, y-Achse relative Fluoreszenzeinheiten), bestehend aus den acht in Deutschland in die DAD eingestellten STR-Systemen (siehe autosomale STRs) und Amelogenin (AM), hier generiert mit dem Amplifikationssystem Mentype®Nonaplex<sup>QS</sup> (Biotype). Im gezeigten Fall handelt es sich um ein männliches Individuum (X und Y-Banden im Amelogenin), das in allen untersuchten STR-Systemen heterozygot ist. Im Kit enthalten ist zusätzlich eine interne PCR-Kontrolle (Sensor), deren Amplifikationserfolg Aufschlüsse über die Effizienz der durchgeführten PCR und potentiell enthaltene Inhibitoren gibt. In der unten liegenden Analysespur ist der Längenstandard dargestellt, über den die Längen der generierten Amplikons errechnet werden

Eine Zusammenstellung der am Markt befindlichen Plattformen zur Fragmentlängenanalyse und den verwendeten Farbstoffen findet sich z. B. in Butler 2005b.

Das Ergebnis der Fragmentlängenanalyse wird in einem so genannten Elektropherogramm (s. Abb. 14.5) ausgegeben. Die exakte Berechnung der Fragmentlängen der amplifizierten DNA-Bereiche wird durch ebenfalls fluoreszenzmarkierte DNA-Standards definierter Fragmentlängen ermöglicht.

Die Berechnung der Fragmentlängen und die Bestimmung der nachgewiesenen Merkmalsausprägungen (Allele) erfolgt heute softwaregestützt (z. B. Genescan® Analysis), wobei der Trend in Richtung weitgehend automatisierter Allelerkennung geht, wofür beispielsweise Werkzeuge wie z. B. Genotyper® oder Komplettlösungen wie GeneMapper™ (Applied Biosystems) zur Verfügung stehen. Mit dem beschriebenen Verfahren werden

nur absolute Längen von DNA-Fragmenten bestimmt, über die Basenabfolge an sich sowie potentielle Sequenzpolymorphismen, wie sie insbesondere komplex aufgebaute STRs aufweisen können, erhält der Untersuchende keinen Aufschluss. Im Regelfall ist diese Information auch nicht nötig, sie kann jedoch im Bedarfsfall über eine Sequenzierung ermittelt werden.

## 14.7 Genetisches Phantombild

In vielen Fällen, in denen es keine (verlässlichen) Augenzeugen gibt, könnten die polizeilichen Ermittlungen sicherlich davon profitieren, wenn mit objektiven, naturwissenschaftlichen Methoden Kenntnisse über das Aussehen einer Person gewonnen würden. In der DNA eines Menschen sind große Teile dieser relevanten Informationen wie Körperhöhe und Robustizität (z. B. Mukhopadhyay u. Weeks 2003, Lei et al. 2005, Malkin et al. 2006), Augenfarbe (z. B. Rebbeck et al. 2002, Frudakis et al. 2003, Oetting et al. 2005) und Haarfarbe (z. B. Bastiaens et al. 2001, Grimes et al. 2001, Voisey et al. 2001a, Voisey et al. 2001b, Sturm et al. 2003) gespeichert, obgleich die Erforschung der betreffenden Marker noch andauert.

Dem Wunsch nach einem „genetischen Phantombild“ gegenüber steht die Rechtslage in Deutschland, welche die Analyse kodierender DNA-Abschnitte im forensischen Kontext verbietet. Es ist nicht erlaubt, Abschnitte des Genoms dahingehend zu untersuchen, Aussagen über das Aussehen einer Person oder andere ihrer Eigenschaften zu treffen.

In den USA werden in Einzelfällen kodierende DNA-Abschnitte untersucht. Hier werden z. B. die von der Firma DNAPrint Genomics entwickelten DNA-Tests zur Bestimmung der menschlichen Augenfarbe und der ethnischen Zugehörigkeit verwendet. Die in diesen Kits verwendeten Marker (überwiegend SNPs) sind allerdings größtenteils unveröffentlicht und damit unabhängigen Untersuchungen nicht zugänglich.

## 14.8 Qualitätssicherung

Seit den 1990er Jahre können DNA-Labore, die mit forensisch relevanten Probenmaterialien und Markern arbeiten, zur Qualitätssicherung an Ringversuchen teilnehmen. In Deutschland sind dies die mittlerweile länderübergreifenden GeDNAP-Ringversuche (engl. *German DNA Profiling Group*), in denen standardisierte, praxisnah gestaltete Proben an die teilnehmenden Labors versandt werden, deren Typisierungsergebnisse au-

tosomaler Y-chromosomaler STRs und mitochondrialer Sequenzen dann überprüft und zertifiziert werden.

## Linkliste

### Populationsdatenbanken:

<http://www.uni-duesseldorf.de/WWW/MedFak/Serology/dna.html>

<http://www.cstl.nist.gov/div831/strbase/populationdata.htm>

### Y-STR-Datenbank:

<http://www.ystr.org>

### STRbase:

<http://www.cstl.nist.gov/div831/strbase/>

### MitoMap (Informationen zur mtDNA und weiterführende Links):

<http://www.mitomap.org>

### CODIS mtDNA Population Database (Anwendung zum Download):

<http://www.fbi.gov/hq/lab/fsc/backissu/april2002/miller1.htm>

Scientific Working Group on DNA Analysis, Guidelines for mitochondrial DNA (mtDNA) nucleotide sequence interpretation, *Forensic Science Communications* [Online]. (April 2003):

<http://www.fbi.gov/hq/lab/fsc/backissu/april2003/swgdammitodna.htm>

### HVRbase (Datenbank humaner und von anderen Primaten stammender mtDNA):

<http://www.hvrbase.org> (Handt et al. 1998)

### EDNAP (European DNA Profiling Group) mtDNA Population Database:

<http://www.empop.org>

## Literatur

- Abu Al-Soud W, Radstrom P (1998) Capacity of nine thermostable DNA polymerases to mediate DNA amplification in the presence of PCR-inhibiting samples. *Appl Environ Microbiol* 64:3748–3753
- Akane A, Shiono H, Matsubara K, Nakahori Y, Seki S, Nagafuchi S, Yamada M, Nakagome Y (1991) Sex identification of forensic specimens by polymerase chain reaction (PCR): two alternative methods. *Forensic Sci Int* 49:81–88
- Alessandrini F, Cecati M, Pesaresi M, Turchi C, Carle F, Tagliabracci A (2003) Fingerprints as evidence for a genetic profile: morphological study on fingerprints and analysis of exogenous and individual factors affecting DNA typing. *J Forensic Sci* 48:586–592
- Allen M, Andreasson H (2005) Mitochondrial D-loop and coding sequence analysis using pyrosequencing. *Methods Mol Biol* 297:179–196
- Alonso A, Martin P, Albarran C, Garcia P, Garcia O, de Simon LF, Garcia-Hirschfeld J, Sancho M, de la RC, Fernandez-Piqueras J (2004) Real-time PCR designs to estimate nuclear and mitochondrial DNA copy number in forensic and ancient DNA studies. *Forensic Sci Int* 139:141–149
- Andelinovic S, Sutlovic D, Erceg I, I, Skaro V, Ivkovic A, Paic F, Rezic B, Definis-Gojanovic M, Primorac D (2005) Twelve-year experience in identification of skeletal remains from mass graves. *Croat Med J* 46:530–539
- Andreasson H, Asp A, Alderborn A, Gyllensten U, Allen M (2002) Mitochondrial sequence analysis for forensic identification using pyrosequencing technology. *BioTechniques* 32:124–3

- Anker R, Steinbrueck T, Donis-Keller H (1992) Tetranucleotide repeat polymorphism at the human thyroid peroxidase (hTPO) locus. *Hum Mol Genet* 1:137
- Asamura H, Uchida R, Takayanagi K, Ota M, Fukushima H (2005) Allele frequencies of the six miniSTR loci in a population from Japan. *Int J Legal Med*:1–3
- Asamura H, Uchida R, Takayanagi K, Ota M, Fukushima H (2006) Allele frequencies of the six miniSTR loci in a population from Japan. *Int J Legal Med* 120:182–184
- Audley N, Weaver RJ (2006) Analysis of peptides in the brain and corpora cardiaca-corpora allata of the honey bee, *Apis mellifera* using MALDI-TOF mass spectrometry. *Peptides* 27:512–520
- Ayub Q, Mohyuddin A, Qamar R, Mazhar K, Zerjal T, Mehdi SQ, Tyler-Smith C (2000) Identification and characterisation of novel human Y-chromosomal microsatellites from sequence database information. *Nucleic Acids Res* 28: e8
- Bär W, Brinkmann B, Budowle B, Carracedo A, Gill P, Lincoln PJ, Mayr W, Olaisen B (1997) DNA recommendations. Further report of the DNA Commission of the ISFH regarding the use of short tandem repeat systems. *Int J Legal Med* 110:175–176
- Bär W, Brinkmann B, Budowle B, Carracedo A, Gill P, Holland M, Lincoln PJ, Mayr W, Morling N, Olaisen B, Schneider PM, Tully G, Wilson M (2000) DNA Commission of the International Society for Forensic Genetics: guidelines for mitochondrial DNA typing. *Int J Legal Med* 113:193–196
- Baron H, Hummel S, Herrmann B (1995) Mycobacterium tuberculosis complex DNA in ancient human bones. *J Archaeol Sci* 23:667–671
- Bastiaens M, ter Huurne J, Gruis N, Bergman W, Westendorp R, Vermeer BJ, Bouwes Bavink JN (2001) The melanocortin-1-receptor gene is the major freckle gene. *Hum Mol Genet* 10:1701–1708
- Bellis C, Ashton KJ, Freney L, Blair B, Griffiths LR (2003) A molecular genetic approach for forensic animal species identification. *Forensic Sci Int* 134:99–108
- Bhat HK, Epelboym I (2004) Quantitative analysis of total mitochondrial DNA: competitive polymerase chain reaction versus real-time polymerase chain reaction. *J Biochem Mol Toxicol* 18:180–186
- Boom R, Sol CJA, Salimans MMM, Jansen CL, Wertheim van Dillen PME, van der Noordaa J (1990) Rapid and simple method for purification of nucleic acids. *J Clin Microbiol* 28:495–503
- Brandstatter A, Parsons TJ, Parson W (2003) Rapid screening of mtDNA coding region SNPs for the identification of west European Caucasian haplogroups. *Int J Legal Med* 117:291–298
- Branicki W, Kupiec T, Pawlowski R (2003) Validation of cytochrome b sequence analysis as a method of species identification. *J Forensic Sci* 48:83–87
- Brauner P, Reshef A, Gorski A (2001) DNA profiling of trace evidence-mitigating evidence in a dog biting case. *J Forensic Sci* 46:1232–1234
- Butler JM (2005a) Constructing STR multiplex assays. *Methods Mol Biol* 297:53–66
- Butler JM (2005b) *Forensic DNA Typing*. 2nd Edition. Elsevier, Academic Press
- Butler JM, Levin BC (1998) Forensic applications of mitochondrial DNA. *Focus* 16:158–162
- Butler JM, Schoske R, Vallone PM, Kline MC, Redd AJ, Hammer MF (2002) A novel multiplex for simultaneous amplification of 20 Y chromosome STR markers. *Forensic Sci Int* 129:10–24
- Butler JM, Shen Y, McCord BR (2003) The development of reduced size STR amplicons as tools for analysis of degraded DNA. *J Forensic Sci* 48:1054–1064
- Capelli C, Tschentscher F, Pascali VL (2003) „Ancient“ protocols for the crime scene? Similarities and differences between forensic genetics and ancient DNA analysis. *Forensic Sci Int* 131:59–64
- Carey L, Mitnik L (2002) Trends in DNA forensic analysis. *Electrophoresis* 23:1386–1397

- Carracedo A, Beckmann A, Bengs A, Brinkmann B, Cagliá A, Capelli C, Gill P, Gusmao L, Hagelberg C, Hohoff C, Hoste B, Kihlgren A, Kloosterman A, Dupuy B, Morling N, O'Donnell G, Parson W, Philipps C, Pouwels M, Scheithauer R (2001) Results of a collaborative study of the EDNAP group regarding the reproducibility of the Y-chromosome STRs DYS19, DYS389 I and II, DYS390 and DYS393 in a PCR pentaplex format. *Forensic Sci Int* 119:28–41
- Chakraborty R, Stivers DN, Su B, Zhong Y, Budowle B (1999) The utility of short tandem repeat loci beyond human identification: implications for development of new DNA typing systems. *Electrophoresis* 20:1682–1696
- Chen JY, Wang CM, Ma CC, Chow YH, Luo SF (2005) The -844C/T polymorphism in the Fas ligand promoter associates with Taiwanese SLE. *Genes Immun* 6:123–128
- Coble MD, Butler JM (2005) Characterization of new miniSTR loci to aid analysis of degraded DNA. *J Forensic Sci* 50:43–53
- de Knijff P, Kayser M, Cagliá A, Corach D, Fretwell N, Gehrig C, Graziosi G, Heidorn F, Herrmann S, Herzog B, Hidding M, Honda K, Jobling M, Krawczak M, Leim K, Meuser S, Meyer E, Oesterreich W, Pandya A, Parson W (1997) Chromosome Y microsatellites: Population genetic and evolutionary aspects. *Int J Legal Med* 110:134–140
- Deka R, Shriver MD, Yu LM, Ferrell RE, Chakraborty R (1995) Intra- and inter-population diversity at short tandem repeat loci in diverse populations of the world. *Electrophoresis* 16:1659–1664
- Drabek J, Chung DT, Butler JM, McCord BR (2004) Concordance study between Miniplex assays and a commercial STR typing kit. *J Forensic Sci* 49:859–860
- Edelmann J, Szibor R (1999) Validation of the HumDXS6807 short tandem repeat polymorphism for forensic application. *Electrophoresis* 20:2844–2846
- Edelmann J, Hering S, Kuhlisch E, Szibor R (2002) Validation of the STR DXS7424 and the linkage situation on the X- chromosome. *Forensic Sci Int* 125:217–222
- Edwards A, Civitello A, Hammond HA, Caskey CT (1991) DNA typing and genetic mapping with trimeric and tetrameric tandem repeats. *Am J Hum Genet* 49:746–756
- Edwards A, Hammond HA, Jin L, Caskey CT, Chakraborty R (1992) Genetic variation at five trimeric and tetrameric tandem repeat loci in four human population groups. *Genomics* 12:241–253
- Eichmann C, Berger B, Steinlechner M, Parson W (2005) Estimating the probability of identity in a random dog population using 15 highly polymorphic canine STR markers. *Forensic Sci Int* 151:37–44
- Erlich HA (1989) Polymerase chain reaction. *J Clin Immunol* 9:437–447
- Fregeau CJ, Fournery RM (1993) DNA typing with fluorescently tagged short tandem repeats: a sensitive and accurate approach to human identification. *BioTechniques* 15:100–119
- Frudakis T, Thomas M, Gaskin Z, Venkateswarlu K, Chandra KS, Ginjupalli S, Gunturi S, Natrajan S, Ponnuswamy VK, Ponnuswamy KN (2003) Sequences associated with human iris pigmentation. *Genetics* 165:2071–2083
- Gill P, Jeffreys AJ, Werrett DJ (1985) Forensic application of DNA 'fingerprints'. *Nature* 318:577–579
- Gill P, Ivanov PL, Kimpton C, Piercy R, Benson N, Tully G, Evett I, Hagelberg E, Sullivan K (1994) Identification of the remains of the Romanov family by DNA analysis. *Nat Genet* 6:130–135
- Gill P, Whitaker J, Flaxman C, Brown N, Buckleton J (2000) An investigation of the rigor of interpretation rules for STRs derived from less than 100 pg of DNA. *Forensic Sci Int* 112:17–40
- Gill P, Brenner CH, Buckleton JS, Carracedo A, Krawczak M, Mayr WR, Morling N, Prinz M, Schneider PM, Weir BS (2006a) DNA commission of the International Society of Forensic Genetics: Recommendations on the interpretation of mixtures. *Forensic Sci Int*

- Gill P, Kirkham A, Curran J (2006b) LoComatioN: A software tool for the analysis of low copy number DNA profiles. *Forensic Sci Int*
- Ginther C, Issel-Tarver L, King MC (1992) Identifying individuals by sequencing mitochondrial DNA from teeth. *Nat Genet* 2:135–138
- Goodwin W, Linacre A, Vanezis P (1999) The use of mitochondrial DNA and short tandem repeat typing in the identification of air crash victims. *Electrophoresis* 20:1707–1711
- Greenwood AD, Pääbo S (1999) Nuclear insertion sequences of mitochondrial DNA predominate in hair but not in blood of elephants. *Mol Ecol* 8:133–137
- Grimes EA, Noake PJ, Dixon L, Urquhart A (2001) Sequence polymorphism in the human melanocortin 1 receptor gene as an indicator of the red hair phenotype. *Forensic Sci Int* 122:124–129
- Grubwieser P, Muhlmann R, Berger B, Niederstatter H, Pavlic M, Parson W (2006) A new „miniSTR-multiplex“ displaying reduced amplicon lengths for the analysis of degraded DNA. *Int J Legal Med* 120:115–120
- Gusmao L, Gonzalez-Neira A, Pestoni C, Brión M, Lareu MV, Carracedo A (1999) Robustness of the Y STR's DYS19, DYS389 I and II, DYS390 and DYS393: optimization of a PCR pentaplex. *Forensic Sci Int* 106:163–172
- Hall A, Ballantyne J (2003) The development of an 18-locus Y-STR system for forensic casework. *Anal Bioanal Chem* 376:1234–1246
- Halverson JL, Basten C (2005) Forensic DNA identification of animal-derived trace evidence: tools for linking victims and suspects. *Croat Med J* 46:598–605
- Hamada H, Petrino MG, Kakunaga T (1982) A novel repeated element with Z-DNA-forming potential is widely found in evolutionarily diverse eukaryotic genomes. *Proc Natl Acad Sci USA* 79:6465–6469
- Hammond HA, Jin L, Zhong Y, Caskey CT, Chakraborty R (1994) Evaluation of 13 Short Tandem Repeat loci for use in personal identification applications. *Am J Hum Genet* 55:175–189
- Handt O, Meyer S, von Haeseler A (1998) Compilation of human mtDNA control region sequences. *Nucleic Acids Res* 26:126–129
- Hellmann A, Rohleder U, Schmitter H, Wittig M (2001) STR typing of human telogen hairs – a new approach. *Int J Legal Med* 114:269–273
- Hellmann AP, Rohleder U, Eichmann C, Pfeiffer I, Parson W, Schleenbecker U (2006) A Proposal for Standardization in Forensic Canine DNA Typing: Allele Nomenclature of Six Canine-Specific STR Loci. *J Forensic Sci* 51:274–281
- Holland MM, Fisher DL, Mitchell LG, Rodriguez WC, Canik JJ, Merrill CR, Weedn VW (1993) Mitochondrial DNA sequence analysis of human skeletal remains: identification of remains from the Vietnam war. *J Forensic Sci* 38:542–553
- Holland MM, Cave CA, Holland CA, Bille TW (2003) Development of a quality, high throughput DNA analysis procedure for skeletal samples to assist with the identification of victims from the World Trade Center attacks. *Croat Med J* 44:264–272
- Hsieh HM, Chiang HL, Tsai LC, Lai SY, Huang NE, Linacre A, Lee JC (2001) Cytochrome b gene for species identification of the conservation animals. *Forensic Sci Int* 122:7–18
- Hsu CM, Huang NE, Tsai LC, Kao LG, Chao CH, Linacre A, Lee JC (1999) Identification of victims of the 1998 Taoyuan Airbus crash accident using DNA analysis. *Int J Legal Med* 113:43–46
- Huckenbeck W, Kuntze K, Scheil HG (eds) (1997) *The Distribution of the Human DNA-PCR Polymorphisms*. Berlin
- Hühne J, Pfeiffer H, Brinkmann B (1999) Heteroplasmic substitutions in the mitochondrial DNA control region in mother and child samples. *Int J Legal Med* 112:27–30
- Hummel S (ed) (2003) *Ancient DNA typing – Methods, Strategies and Applications*. Springer, New York Heidelberg

- Hummel S, Schultes T (2000) From skeletons to fingerprints – STR typing of ancient DNA. *Ancient Biomol* 3 :103–116
- Immel UD, Hummel S, Herrmann B (2000) Reconstruction of kinship by fecal DNA analysis of orangutans. *Anthropol Anz* 58:63–67
- Ivanov P, Parsons T, Wadhams M, Holland M, Rhoby R, Weedn V (1996) Mitochondrial DNA variations in the Hessian lineage: heteroplasmy found in Grand Duke of Russia Georgij Romanov ends disputes over authenticity of the remains of Tzar Nicholas II.
- Jeffreys AJ, Brookfield JFY, Semeonoff R (1985a) Positive identification of an immigration test-case using human DNA fingerprints. *Nature* 317:818–819
- Jeffreys AJ, Wilson V, Thein SL (1985b) Individual-specific „fingerprints“ of human DNA. *Nature* 316:76–79
- Jeheas E, Decorte R, Peneau A, Petrie JH, Boiry PA, Gilissen A, Moisan JP, Van den Berghe H, Pascal (1998) Mitochondrial DNA analysis on remains of a Putative son of Louis XVII, King of France and Marie-Antoinette. *Eur J Hum Genet* 6:383–395
- Jobling MA, Pandya A, Tyler-Smith C (1997) The Y chromosome in forensic analysis and paternity testing. *Int J Legal Med* 110:118–124
- Just RS, Irwin JA, O'Callaghan JE, Saunier JL, Coble MD, Vallone PM, Butler JM, Barritt SM, Parsons TJ (2004) Toward increased utility of mtDNA in forensic identifications. *Forensic Sci Int* 146 Suppl:147–149
- Kayser M, Cagliá A, Corach D, Fretwell N, Gehrig C, Graziosi G, Heidorn F, Herrmann S, Herzog B, Hidding M, Honda K, Jobling M, Krawczak M, Leim K, Meuser S, Meyer E, Oesterreich W, Pandya A, Parson W, Penacino G (1997) Evaluation of Y-chromosomal STRs: a multicenter study. *Int J Legal Med* 110:125–129
- Kayser M, Kittler M, Erler A, Hedman M, Lee AC, Mohyuddin A, Mehdi SQ, Rosser Z, Stoneking M, Jobling MA, Sajantila A, Tyler-Smith C (2004) A comprehensive survey of human Y-chromosomal microsatellites. *Am J Hum Genet* 74:1183–1197
- Kimpton C, Walton A, Gill P (1992) A further tetranucleotide repeat polymorphism in the vWF gene. *Hum Mol Genet* 1:287
- Kimpton C, Fisher D, Watson S, Adams M, Urquhart A, Lygo J, Gill P (1994) Evaluation of an automated DNA profiling system employing multiplex amplification of four tetrameric STR loci. *Int J Legal Med* 106:302–311
- Kimpton CP, Oldroyd NJ, Watson SK, Frazier RR, Johnson PE, Millican ES, Urquhart A, Sparkes BL, Gill P (1996) Validation of highly discriminating multiplex short tandem repeat amplification systems for individual identification. *Electrophoresis* 17:1283–1293
- Kishida T, Tamaki Y (1997) Japanese population data on X-chromosomal STR locus AR. *Nippon Hoigaku Zasshi* 51:376–379
- Kline MC, Duewer DL, Redman JW, Butler JM (2003) NIST Mixed Stain Study 3: DNA quantitation accuracy and its influence on short tandem repeat multiplex signal intensity. *Anal Chem* 75:2463–2469
- Kline MC, Vallone PM, Redman JW, Duewer DL, Calloway CD, Butler JM (2005) Mitochondrial DNA typing screens with control region and coding region SNPs. *J Forensic Sci* 50:377–385
- Kochl S, Niederstatter H, Parson W (2005) DNA extraction and quantitation of forensic samples using the phenol-chloroform method and real-time PCR. *Methods Mol Biol* 297:13–30
- Korpelainen H, Virtanen V (2003) DNA fingerprinting of mosses. *J Forensic Sci* 48:804–807
- Ladika S (2005) South Asia tsunami. DNA helps identify missing in the tsunami zone. *Science* 307:504
- Lei SF, Deng FY, Xiao SM, Chen XD, Deng HW (2005) Association and haplotype analyses of the COL1A2 and ER-alpha gene polymorphisms with bone size and height in Chinese. *Bone* 36:533–541

- Leibelt C, Budowle B, Collins P, Daoudi Y, Moretti T, Nunn G, Reeder D, Roby R (2003) Identification of a D8S1179 primer binding site mutation and the validation of a primer designed to recover null alleles. *Forensic Sci Int* 133:220–227
- Lessig R, Zoledziewska M, Fahr K, Edelmann J, Kostrzewa M, Dobosz T, Kleemann WJ (2005) Y-SNP-genotyping – a new approach in forensic analysis. *Forensic Sci Int* 154:128–136
- Leushner J (2001) MALDI TOF mass spectrometry: an emerging platform for genomics and diagnostics. *Expert Rev Mol Diagn* 1:11–18
- Li H, Schmidt L, Wei MH, Hustad T, Lerman MI, Zbar B, Tory K (1993) Three tetranucleotide polymorphisms for loci: D3S1352; D3S1358; D3S1359. *Hum Mol Genet* 2:1327
- Lins AM, Micka KA, Sprecher CJ, Taylor JA, Bacher JW, Rabbach DR, Bever RA, Creacy SD, Schumm JW (1998) Development and population study of an eight-locus short tandem repeat (STR) multiplex system. *J Forensic Sci* 43:1168–1180
- Leonart R, Riego E, Saínz de la Pena MV, Bacallao K, Amaro F, Santiesteban M, Blanco M, Currenti H, Puentes A, Rolo F, Herrera L, de la Fuente J (2000) Forensic identification of skeletal remains from members of Ernesto Che Guevara's guerrillas in Bolivia based on DNA typing. *Int J Legal Med* 113:98–101
- Malkin I, Ermakov S, Kobylansky E, Livshits G (2006) Strong association between polymorphisms in ANKH locus and skeletal size traits. *Hum Genet* 120:42–51
- Mansfield ES, Robertson JM, Vainer M, Isenberg AR, Frazier RR, Ferguson K, Chow S, Harris DW, Barker DL, Gill PD, Budowle B, McCord BR (1998) Analysis of multiplexed short tandem repeat (STR) systems using capillary array electrophoresis. *Electrophoresis* 19:101–107
- Masibay A, Mozer TJ, Sprecher C (2000) Promega Corporation reveals primer sequences in its testing kits. *J Forensic Sci* 45:1360–1362
- Meijer H, Perizonius WRK, Geraedts JPM (1992) Recovery and identification of DNA sequences harboured in preserved ancient human bones. *Biochem Biophys Res Commun* 183:367–374
- Mengel-Jorgensen J, Sanchez JJ, Borsting C, Kirpekar F, Morling N (2004) MALDI-TOF mass spectrometric detection of multiplex single base extended primers. A study of 17 y-chromosome single-nucleotide polymorphisms. *Anal Chem* 76:6039–6045
- Mildenhall DC (2004) An example of the use of forensic palynology in assessing an alibi. *J Forensic Sci* 49:312–316
- Miller SA, Dykes DD, Polesky HF (1988) A simple salting out procedure for extracting DNA from human nucleated cells. *Nucleic Acids Res* 16:1215
- Mills KA, Even D, Murray JC (1992) Tetranucleotide repeat polymorphism at the human alpha fibrinogen locus (FGA). *Hum Mol Genet* 1:779
- Mukhopadhyay N, Weeks DE (2003) Linkage analysis of adult height with parent-of-origin effects in the Framingham Heart Study. *BMC Genet* 4 Suppl 1: p 76
- Mullis KB, Faloona FA (1987) Specific Synthesis of DNA in vitro via a Polymerase-Catalysed Chain Reaction. *Meth Enzymol* 155:335–350
- Mullis KB, Ferrè F, Gibbs RA (eds) (1994) *Polymerase Chain Reaction*. Birkhäuser, Boston
- Nakahori Y, Takenaka O, Nakagome Y (1991) A human X-Y homologous region encodes „Amelogenin“. *Genomics* 9:264–269
- Nicklas JA, Buel E (2003a) Development of an Alu-based, real-time PCR method for quantitation of human DNA in forensic samples. *J Forensic Sci* 48:936–944
- Nicklas JA, Buel E (2003b) Quantification of DNA in forensic samples. *Anal Bioanal Chem* 376:1160–1167
- Oetting WS, Garrett SS, Brott M, King RA (2005) P gene mutations associated with oculocutaneous albinism type II (OCA2). *Hum Mutat* 25:323



- Oldroyd NJ, Urquhart AJ, Kimpton CP, Millican ES, Watson SK, Downes T, Gill PD (1995) A highly discriminating octoplex short tandem repeat polymerase chain reaction system suitable for human individual identification. *Electrophoresis* 16:334–337
- Padar Z, Angyal M, Egyed B, Furedi S, Woller J, Zoldag L, Fekete S (2001) Canine microsatellite polymorphisms as the resolution of an illegal animal death case in a Hungarian zoological gardens. *Int J Legal Med* 115:79–81
- Parson W, Pegoraro K, Niederstatter H, Foger M, Steinlechner M (2000) Species identification by means of the cytochrome b gene. *Int J Legal Med* 114:23–28
- Parson W, Niederstatter H, Kochl S, Steinlechner M, Berger B (2001) When autosomal short tandem repeats fail: optimized primer and reaction design for Y-chromosome short tandem repeat analysis in forensic casework. *Croat Med J* 42:285–287
- Parson W, Brandstatter A, Alonso A et al (2004) The EDNAP mitochondrial DNA population database (EMPOP) collaborative exercises: organisation, results and perspectives. *Forensic Sci Int* 139:215–226
- Pascali VL, Dobosz M, Brinkmann B (1999) Coordinating Y-chromosomal STR research for the Courts. *Int J Legal Med* 112:1
- Petkovski E, Keyser-Tracqui C, Hienne R, Ludes B (2005) SNPs and MALDI-TOF MS: tools for DNA typing in forensic paternity testing and anthropology. *J Forensic Sci* 50:535–541
- Pfeiffer H, Hühne J, Ortman C, Waterkamp K, Brinkmann B (1999) Mitochondrial DNA typing from human axillary, pubic and head hair shafts – success rates and sequence comparisons. *Int J Legal Med* 112:287–290
- Polymeropoulos MH, Rath DS, Xiao H, Merrill CR (1992) Tetranucleotide repeat polymorphism at the human beta-actin related pseudogene H-beta-Ac-psi-2 (ACTBP2). *Nucleic Acids Res* 20:1432
- Prinz M, Ishii A, Coleman A, Baum HJ, Shaler RC (2001) Validation and casework application of a Y chromosome specific STR multiplex. *Forensic Sci Int* 120:177–188
- Pusch W, Wurmbach JH, Thiele H, Kostrzewa M (2002) MALDI-TOF mass spectrometry-based SNP genotyping. *Pharmacogenomics* 3:537–548
- Quintans B, Alvarez-Iglesias V, Salas A, Phillips C, Lareu MV, Carracedo A (2004) Typing of mitochondrial DNA coding region SNPs of forensic and anthropological interest using SNaPshot minisequencing. *Forensic Sci Int* 140:251–257
- Rameckers J, Hummel S, Herrmann B (1997) How many cycles does a PCR need? Determinations of cycle numbers depending on the number of targets and the reaction efficiency factor. *Naturwissenschaften* 84:259–262
- Rappold GA, Klink A, Weiss B, Fischer C (1994) Double crossover in the human Xp/Yp pseudoautosomal region and its bearing on interference. *Hum Mol Genet* 3:1337–1340
- Rebbeck TR, Kanetsky PA, Walker AH, Holmes R, Halpern AC, Schuchter LM, Elder DE, Guerry D (2002) P gene as an inherited biomarker of human eye color. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 11:782–784
- Richard ML, Frappier RH, Newman JC (2003) Developmental validation of a real-time quantitative PCR assay for automated quantification of human DNA. *J Forensic Sci* 48:1041–1046
- Roewer L, Arnemann J, Spurr NK, Grzeschik KH, Epplen JT (1992) Simple repeat sequences on the human Y chromosome are equally polymorphic as their autosomal counterparts. *Hum Genet* 89:389–394
- Roewer L, Kayser M, Knijff P et al (2000) A new method for the evaluation of matches in non-recombining genomes: application to Y-chromosomal short tandem repeat (STR) haplotypes in European males. *Forensic Sci Int* 114:31–43
- Roewer L, Krawczak M, Willuweit S et al (2001) Online reference database of European Y-chromosomal short tandem repeat (STR) haplotypes. *Forensic Sci Int* 118:106–113

- Ross PL, Lee K, Belgrader P (1997) Discrimination of single-nucleotide polymorphisms in human DNA using peptide nucleic acid probes detected by MALDI-TOF mass spectrometry. *Anal Chem* 69:4197–4202
- Rudbeck L, Dissing J (1998) Rapid, simple alkaline extraction of human genomic DNA from whole blood, buccal epithelial cells, semen and forensic stains for PCR. *BioTechniques* 25:588–90, 592
- Ruitberg CM, Reeder DJ, Butler JM (2001) STRBase: a short tandem repeat DNA database for the human identity testing community. *Nucleic Acids Res* 29:320–322
- Saiki RK, Scharf S, Faloona F, Mullis KB, Horn GT, Erlich HA, Arnheim N (1985) Enzymatic amplification of P-globulin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. *Science* 230:1350–1354
- Sambrook J, Fritsch EF, Maniatis T (eds) (1989) *Molecular cloning. A laboratory manual*. 2nd ed. Cold Spring Harbor Press, Cold Spring Harbor/NY
- Sambrook J, Russel DW (eds) (2001) *Molecular Cloning*. 3rd ed. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor/NY
- Sanger F, Nicklen S, Coulson AR (1977) DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proc Natl Acad Sci USA* 74:5463–5467
- Schilz F, Hummel S, Herrmann B (2004) Design of a multiplex PCR for genotyping 16 short tandem repeats in degraded DNA samples. *Anthropol Anz* 62:369–378
- Sharma V, Litt M (1992) Tetranucleotide repeat polymorphism at the D21S11 locus. *Hum Mol Genet* 1:67
- Skaletsky H, Kuroda-Kawaguchi T, Minx PJ et al (2003) The male-specific region of the human Y chromosome is a mosaic of discrete sequence classes. *Nature* 423:825–837
- Stoneking M (2000) Hypervariable sites in the mtDNA control region are mutational hot-spots. *Am J Hum Genet* 67:1029–1032
- Sturm RA, Duffy DL, Box NF, Newton RA, Shepherd AG, Chen W, Marks LH, Leonard JH, Martin NG (2003) Genetic association and cellular function of MC1R variant alleles in human pigmentation. *Ann N Y Acad Sci* 994:348–358
- Sullivan KM, Mannucci A, Kimpton CP, Gill P (1993) A rapid and quantitative DNA sex test: fluorescence-based PCR analysis of X-Y homologous gene amelogenin. *BioTechniques* 15:636–1
- Sun X, Ding H, Hung K, Guo B (2000) A new MALDI-TOF based mini-sequencing assay for genotyping of SNPs. *Nucleic Acids Res* 28: E68
- Szibor R, Krawczak M, Hering S, Edelmann J, Kuhlisch E, Krause D (2003) Use of X-linked markers for forensic purposes. *Int J Legal Med* 117:67–74
- Thomas R, Zischler H, Paabo S, Stoneking M (1996) Novel mitochondrial DNA insertion polymorphism and its usefulness for human population studies. *Hum Biol* 68:847–854
- Timken MD, Swango KL, Orrego C, Buoncristiani MR (2005) A duplex real-time qPCR assay for the quantification of human nuclear and mitochondrial DNA in forensic samples: implications for quantifying DNA in degraded samples. *J Forensic Sci* 50:1044–1060
- Tun Z, Honda K, Nakatome M, Nakamura M, Shimada S, Ogura Y, Kuroki H, Yamazaki M, Terada M, Matoba R (1999) Simultaneous detection of multiple STR loci on sex chromosomes for forensic testing of sex and identity. *J Forensic Sci* 44:772–777
- Urquhart A, Kimpton CP, Downes TJ, Gill P (1994) Variation in short tandem repeat sequences—a survey of twelve microsatellite loci for use as forensic identification markers. *Int J Legal Med* 107:13–20
- Urquhart AJ, Oldroyd NJ, Kimpton CP, Gill P (1995) Highly discriminating heptaplex short tandem repeat PCR system for forensic identification. *BioTechniques* 18:116–121
- Vallone PM, Just RS, Coble MD, Butler JM, Parsons TJ (2004) A multiplex allele-specific primer extension assay for forensically informative SNPs distributed throughout the mitochondrial genome. *Int J Legal Med* 118:147–157

- van Oorschot RAH, Jones MK (1997) DNA fingerprints from fingerprints. *Nature* 387:767
- Vernesi C, Di Benedetto G, Caramelli D, Secchieri E, Simoni L, Katti E, Malaspina P, Novelletto A, Marin VT, Barbujani G (2001) Genetic characterization of the body attributed to the evangelist Luke. *Proc Natl Acad Sci USA* 98:13460–13463
- Vogelstein B, Gillespie D (1979) Preparative and analytical purification of DNA from agarose. *Proc Natl Acad Sci USA* 76:615–619
- Voisey J, Box NF, van Daal A (2001b) A polymorphism study of the human Agouti gene and its association with MC1R. *Pigment Cell Res* 14:264–267
- Walker JA, Hedges DJ, Perodeau BP, Landry KE, Stoilova N, Laborde ME, Shewale J, Sinha SK, Batzer MA (2005) Multiplex polymerase chain reaction for simultaneous quantitation of human nuclear, mitochondrial, and male Y-chromosome DNA: application in human identification. *Anal Biochem* 337:89–97
- Walsh PS, Metzger DA, Higuchi R (1991) Chelex 100 as a Medium for Simple Extraction of DNA for PCR-Based Typing from Forensic Material. *BioTechniques* 10:506–513
- Watson JD, Crick FH (1953) Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 171:737–738
- Weir BS (1994) The effects of inbreeding on forensic calculations. *Annu Rev Genet* 28:597–621
- Whitaker JP, Cotton EA, Gill P (2001) A comparison of the characteristics of profiles produced with the AMPFISTR SGM Plus multiplex system for both standard and low copy number (LCN) STR DNA analysis. *Forensic Sci Int* 123:215–223
- Willard JM, Lee DA, Holland MM (1998) Recovery of DNA for PCR amplification from blood and forensic samples using a chelating resin. *Methods Mol Biol* 98:9–18

# 15 Molekularbiologische Bestimmung der einheimischen Fauna und CITES-geschützter Tierarten

Ina Pfeiffer

Während die meisten forensischen Typisierungen auf humanes Erbmaterial (DNA) ausgerichtet sind, handelt es sich dabei nicht zwangsläufig um die einzige DNA Quelle, welche zur Fallaufklärung relevant sein kann. Viele Haustiere, wie Hunde und Katzen, teilen sich mit dem Menschen den Wohnraum und können am Tatort Spurenläger hinterlassen. Des Weiteren sind in zunehmendem Umfang Tiere der heimischen Fauna und CITES-(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna) geschützte Arten Gegenstand der unterschiedlichsten Ermittlungsarbeiten (Wang et al. 2003, Paetkau et al. 1995, Giovambattista et al. 2001, Ketchum et al. 2002, Müller et al. 1999). Damit eröfnet sich ein interessantes Untersuchungsfeld, das die kriminalistische Arbeit deutlich verbessern kann und wichtige Hinweise zur Aufklärung eines Verbrechens liefert.

## 15.1 Haustiere in der Forensik

Wie eine Statistik zeigt, leben in Deutschland mehr als 5 Mio. Hunde (<http://www.starkehunde.com/newsroom/Onlinebuch.pdf>). Der Anteil der Katzen liegt bei ca. 6 Mio. Alle Haustiere verlieren kontinuierlich Haare oder Hautschuppen, die an Ort und Stelle zurückgelassen werden oder an Kleidungsstücken oder Gegenständen hängen bleiben, so dass diese „Fundstücke“ oftmals den Weg zum Täter ebenen können (D'Andrea et al. 1998, Dachs et al. 2003). In diesem Zusammenhang wird seit längerem intensiv an Verfahren zum molekulargenetischen Nachweis von Tier-DNA gearbeitet. Dabei haben sich Spezialisierungen im Hinblick auf das Tier als Opfer, Tiere als Täter und Tiere als Tat-Zeugen entwickelt. Typische genetische Marker, unter anderem *Short Tandem Repeats* (Mikrosatelliten), die mitochondriale DNA (mtDNA) oder *Single Nucleotide Polymorphisms* (SNPs) lassen sich bei Tieren ebenso aussagekräftig untersuchen wie beim Menschen. Die Fallkonstellationen hierzu können sehr

Ina Pfeiffer: Institut für Biologie der Universität Kassel, Heinrich-Plett-Straße 40, 34109 Kassel, E-Mail: [ipfeiff@gwdg.de](mailto:ipfeiff@gwdg.de)

unterschiedlich ausgerichtet sein. Einen mittlerweile unerfreulichen Bekanntheitsgrad haben Hunde-Bissattacken auf Menschen erlangt. Für die forensische Analyse wird das Kampfhundeproblem interessant, wenn an der zerfetzten Kleidung der Hund Speichelspuren zurückgelassen hat, die man mittels genetischem Fingerprint (Mikrosatellitenanalyse) eindeutig zuordnen kann (Eichmann et al. 2004, Pfeiffer et al. 2003). Die Tier-DNA unterschiedlichster Herkunft eröffnet aber auch eine Möglichkeit, den Tatverdächtigen zu überführen. So zeigten beispielsweise Untersuchungen, dass ein Hund oder eine Katze bei einem kurzen Aufenthalt in einer Wohnung mehr als 100 Haare verliert. Es ist demnach so gut wie unmöglich, dass ein Appartement frei von Tierhaaren ist, wenn ein Haustier dort lebt (D'Andrea et al. 1998, Dachs et al. 2003). Bei ausgefallenen Haaren kommt für die Analyse erschwerend hinzu, dass diese Asservate oft nicht genug Kern-DNA enthalten, um einen Fingerprint durchzuführen (Pfeiffer et al. 2005). Unter diesen Umständen isoliert man mitochondriale DNA.

Welche unterschiedlichen Möglichkeiten die Kern-DNA und die mitochondriale DNA von Haustieren im Rahmen forensischer Arbeit bietet, soll im Folgenden vertiefender ausgeführt werden.

### 15.1.1

#### Hunde-DNA

Seit der Domestikation vor ca. 15 000 Jahren, möglicherweise auch schon vor 100 000 Jahren (Vila et al. 1997) ist der Hund „des Menschen bester Freund“. Es sind weltweit mehr als 400 verschiedene Hunderassen bekannt, die mit dem Menschen zusammen leben. Als Beschützer, Kamerad und Retter oder als Jagdkumpan erfüllt der Hund wichtige Funktionen im Leben des Menschen. Neben diesen Qualitäten, aber auch aufgrund der enormen Anpassungsfähigkeit, ist der Hund als Helfer für viele Aufgaben unentbehrlich geworden, jedoch Kinder und ältere Menschen zahlen bisweilen einen hohen Preis für diese enge Bindung (Overall et al. 2001, De Munnynck et al. 2002, Brogan et al. 1995, Wiseman et al. 1983). „Kampfhunde“ stellen ein nicht unerhebliches Problem in der modernen Umwelt dar. Allein in Deutschland wurden mehr als 30 000 Fälle bei Versicherungen gemeldet (De Munnynck et al. 2002). Rottweiler, Pitt Bull aber auch der Schäferhund gehören zu den Rassen, die am häufigsten in Verbindung mit Biss-Attacken gebracht werden. Da es in vielen Fällen um Schadensersatzforderungen vor Gericht geht, soll im Nachstehenden erläutert werden, wie mit Hilfe von molekulargenetischen Methoden ein bestimmter Hund identifiziert werden kann.

## 15.1.2 Die molekulargenetische Untersuchung

Als Ausgangsmaterial diente eine zerfetzte Hose der betroffenen Person (Abb. 15.1). Für die DNA-Präparation wurden jeweils an verschiedenen Stellen der Blut und Speichel durchtränkten Hose Abstriche genommen. Da auf der Oberfläche keine Hundehaare zurückgeblieben waren, musste das Erbmolekül aus den anhaftenden Mundschleimhautzellen gewonnen werden (Sweet et al. 1997, 1999). Grundsätzlich kann aus sämtlichen kernhaltigen Zellen die DNA extrahiert werden. Wenn dies erfolgreich gelingt, lässt sich anhand der Mikrosatelliten-Technologie eine Individualisierung der Probe durchführen. Diese Verfahren beschränken sich auf kleine individuell unterschiedliche Bereiche des Erbmoleküls. Um eine verlässliche Aussage über die Identität machen zu können, muss eine ausreichend große Anzahl von Mikrosatelliten untersucht werden. Da von der DNA oft nur noch Bruchstücke erhalten sind, wurde in Anbetracht dessen ein Set von 8 STR-Markern angewandt, welches speziell auf degradierte DNA abgestimmt ist. Mit diesen Verfahren lassen sich Fragmente in der Größenordnung von 250 bp nachweisen. Aus dem vorliegenden DNA-Extrakt erbrachten die Marker im Bereich von 300 bp keine reproduzierbaren Ergebnisse. Vereinzelt war ein Komplettausfall der PCR zu beobachten oder „*Allelic Drop Outs*“ erschwerten die Auswertung der Daten (Pfeiffer et al. 2003). Neben der Kampfhunde-Problematik, in der oft wehrlose Menschen zu Schaden kommen, spielen Hundeasservate als Spureenträger bei einer Reihe kriminalistischer Ermittlungen eine nicht zu unterschätzenden Rolle (Brauner et al. 2001).

Wie der geschilderte Fall zeigt, sind den Mikrosatelliten-Nachweisverfahren deutliche Grenzen gesetzt, wenn es sich um degradierte DNA han-



Abb.15.1. Zerfetzte Hose nach einer Hundebissattacke

delt. Um dennoch einen möglichst hohen genetischen Informationsgewinn aus den vorliegenden Asservaten zu erhalten, hat man von den STR-Markern eine Auswahl getroffen, die speziell für forensischen Zwecke geeignet erscheint. Anlass hierfür gab eine nicht international akzeptierte Allelbezeichnung der bisher verwendeten Systeme. Bisher gibt es jedoch nur eine Publikation, die eine exakte sequenzierte Allelstruktur, die korrespondierenden Allelfrequenzen, sowie die dazugehörigen Zwischenallele eindeutig dokumentiert (Hellmann et al. 2006). Des Weiteren liegt beim Hund noch keine international verbindliche Nomenklatur der STRs vor. Es bestehen jedoch erste Unternehmungen in diese Richtung (Hellmann et al. 2006). So konnte beispielsweise ein Set von 15 STR-Markern kürzlich publiziert werden (Eichmann et al. 2004). Eine Allelleiter befindet sich in der Vorbereitung. Mit dieser Standardisierung wären Daten international vergleichbar. Voraussichtlich Ende 2006 werden die entsprechenden Studien abgeschlossen sein und einem breiten Anwenderkreis vorgestellt.

Daneben wurden in jüngster Zeit Untersuchungen gestartet, um die lückenhaften Beziehungen der Hunderassen zueinander molekulargenetisch aufzuklären. Einen Anlass hierfür bot, dass es bei Ermittlungsverfahren hilfreich sein kann, wenn Informationen zur beteiligten Hunderasse vorliegen. Als Basis für diese Studie dienten ausgewählte Mikrosatellitenmarker. Forschungsarbeiten von Parker et al. (2004) veranschaulichten eine klare Aufspaltung von 85 untersuchten Hunderassen in 4 große Gruppen. Diese Ergebnisse bestätigten teilweise die bestehende klassische Einteilung nach Verwendungszweck, Zuchtstätte und Erscheinungsbild. Überdies enthüllten sie völlig neue Aspekte der genetischen Verwandtschaft. In neueren Forschungsergebnissen (Völkel 2005) konnte anhand von 375 Tieren aus 14 Hunderassen, die nach Phänotyp, Zuchtgeschichte und Verwandtschaftsgrad ausgewählt wurden, die Biodiversität und das Divergenzverhalten im Einzelnen untersucht werden. Unter Verwendung von 9 autosomalen Mikrosatelliten und verschiedener „Breed-Assignment-Methoden“ gelang es, von den 14 Ausgangspopulationen 12 sicher zu clustern. Damit konnte erstmalig nachgewiesen werden, dass bei den meisten Rassen eine Kongruenz zu den subjektiv definierten Rassen und ihren genetischen Entsprechungen vorliegt. Ein Assignmentstest mit 40 Blindproben unterschiedlicher Hunde dokumentierte, dass eine Zuordnungs-Erfolgsquote von 92% unter der Verwendung der Referenzdatenbank möglich ist. Damit lässt sich beim Hund – in bestimmten Grenzen – eine Rassezuordnung anhand von genetischen Markern vornehmen (Völkel 2005).

Darüber hinaus werden inzwischen von vielen Rassehunden routinemäßig die Abstammung und Identität anhand vom Mikrosatelliten geprüft. In naher Zukunft sind vielleicht Recherchen an Hand von Datenbankabgleichen möglich, vergleichbar denen, die man heute schon im humanen Bereich kennt.

### 15.1.3

#### Katzen-DNA

Da Hunde-DNA bei Bisswunden die Hauptrolle spielt und quasi als stiller Zeuge einer Straftat an Kleidung oder Gegenständen nur vereinzelt vorkommen kann, nimmt die Katze in diesem Zusammenhang eine bedeutendere Rolle ein. Man kennt bei der Katze 18 Autosomen sowie je ein X- und Y-Chromosom, für die, ähnlich wie beim Hund, genetische Marker entwickelt wurden. Die Pionierarbeiten auf diesem Gebiet wurden von Frau Menotti-Raymond und Mitarbeitern (1997) geleistet. Mittlerweile legendär sind die genetischen Analysen zum „Snowball-Fall“, bei welchem Katzenhaare auf der Jacke des Mörders den Täter überführen konnten. Seit 2002 ist ein Set ausgewählter STR-Marker, kombiniert mit einer SRY-Geschlechtsbestimmung, erhältlich. Untersuchungen der felinen 11er Plex-Reaktion stellten unter Beweis, dass über sämtliche Katzenrassen eine Ausschlusswahrscheinlichkeit von  $5,5 \cdot 10^7$  bis  $3,3 \cdot 10^{13}$  erreicht werden kann. Als Grundlage für dieses Markerset diente eine Datenbank mit mehreren hundert verschiedenen Mikrosatelliten. Hiervon wurden 22 potentiell polymorphe STRs (Tetranukleotide) ausgewählt. Für das spätere forensische Set konnten anhand von 200 Katzen DNAs aus insgesamt 29 Rassen letztlich 11 geeignete Loci zusammengesellt und verifiziert werden. Untersuchungen an anderen Spezies, wie Hund, Wolf oder dem Otter deuten darauf hin, dass bei einigen STR-Systemen in gewissem Umfang Amplifikatbildung möglich ist. Die PCR-Produkte sind jedoch im Vergleich zum gewohnten variablen Muster stets monomorph. Testreihen mit humaner DNA als Kontaminationsquelle ergaben keinerlei PCR-Produkte. Die Nachweisgrenze der 11er Plex liegt bei 0,125 ng feliner DNA.

Zur Zeit sind weitere Markersysteme bei der Katze in der Entwicklung, um die Detektionsfähigkeit zu verbessern (Menotti-Raymond et al. 2005). Es bleibt daher abzuwarten, welche Technologien sich durchsetzen werden.

### 15.1.4

#### Nutztier-DNA

Es müssen bei den forensischen Fallkonstellationen nicht zwingend Katzen oder Hunde die stillen Zeugen einer Tat darstellen. Vielmehr haben Lebensmittelskandale, wie die „Gammelfleischproblematik“ oder die Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln tierlichen Ursprungs gezeigt, dass hier kriminelle Machenschaften mit Hilfe von molekulargenetischen Methoden aufgeklärt werden können. Besonders brennend wurde die Lage Ende der 1990er Jahre als die ersten BSE-Fälle in Deutschland auftraten. Da Nutztiere heutzutage mehrfachen Besitzerwechsel erfahren, kann es durchaus



vorkommen, dass herkömmliche Kennzeichnungen verloren gehen oder ausgetauscht werden. Das Erbmolekül hingegen ist immer fälschungssicher. Gerade im Nutztierbereich, insbesondere beim Rind, existieren inzwischen umfangreiche DNA-Datenbanken, die eine Rekonstruktion von Abstammungsverhältnissen zulassen. Aber auch beim Pferd (Marklund et al. 1994, Bowling et al. 1997) oder dem Schwein (Nechtelberger et al. 2001) sind inzwischen STR-Marker bekannt, die zur Abstammungs- und Identitätsüberprüfung herangezogen werden können. Letztendlich werden die Verfahren in diesem Bereich aber noch nicht so umfangreich umgesetzt, wie man es beim Rind kennt. Im Gegensatz dazu stellt sich bei Geflügel, insbesondere dem Huhn, bisher wenig die Frage nach einer Rückverfolgbarkeit anhand einer genetischen Individualisierung. Dementsprechend rückständig ist hier die Forschung hinsichtlich polymorpher Marker einzustufen.

### 15.1.5

#### Mitochondriale DNA

Neben den Erfahrungen über die Diversität der Mikrosatelliten bei Haus- und Nutztieren werden zunehmend neue Nachweismöglichkeiten zur mitochondrialen DNA (mtDNA) erarbeitet. Die mtDNA existiert in 100facher Kopienzahl in Körperzellen. Gerade bei alten oder degradierten Asservaten oder Haaren ohne Wurzel ist es oft nur schwer möglich aussagekräftige Ergebnisse mittels Kern-DNA zu erzielen. In diesen Fällen eröffnet die mtDNA einen brauchbaren Vergleich zwischen biologischem Material am Tatort und der Referenzprobe. Welche Areale der mitochondrialen DNA hierfür bei den verschiedenen Tieren anwendbar sind, soll im Folgenden beschrieben werden. Im Vergleich mit dem Erkenntnisstand über humane mitochondriale DNA, erreichen die Kenntnisse für den Tiersektor noch nicht diesen Umfang. Ähnlich wie beim Menschen, ist bei Tieren die mt-Mutationsrate ca. 10fach höher, als im Vergleich zur Kern-DNA (Brown et al. 1979). Folglich unterliegt diese DNA einer überdurchschnittlichen Weiterentwicklung (Roy et al. 1994). Inzwischen ist das mitochondriale Genom für sämtliche Haustiere, aber auch viele Wildtiere in Datenbanken abrufbar. Verglichen mit der humanen mtDNA, weisen Säugetiere eine eher konservierte Anordnung der Gene, sowie eine straffe Struktur und hohe Kompaktheit bezüglich Ihrer Information auf (Andersson et al. 1981).

Welche Bereiche relevant sind, soll anhand der sehr gut charakterisierten caninen mtDNA vorgestellt werden. Bei bestimmten codierenden Bauelementen, wie den Enzymen der Atmungskette, der tRNA und rRNA unterscheidet sich deren Anzahl und Organisation sowie der offene Leseramen nicht von anderen Säugetieren. Bedeutende Unterschiede lassen sich jedoch

in der nicht codierenden Kontrollregion, auch als *Displacement-loop* (d-loop) bezeichneten Region, aufzeigen. Die d-loop-Region übernimmt die Regulation und Initiation der mitochondrialen Replikation. Da bis heute keine einheitliche Nomenklatur für die canine d-loop vorliegt, soll von einer „hochvariablen Region“ gesprochen werden. Savolainen et al. (1997) zeigte an der caninen hypervariablen Region, dass insgesamt 19 Varianten identifiziert werden konnten, die sich an 23 Positionen unterscheiden. Insgesamt erreicht die Ausschlusswahrscheinlichkeit der caninen hypervariablen Region 88%, im Vergleich zu 97% beim Menschen. Grundsätzlich ist eine Korrelation zwischen einzelnen Hunderassen und der ermittelten Haplotypen nicht festgestellt worden, aber eine deutliche Überrepräsentation einzelner Sequenzvarianten konnte dennoch bei einigen Rassen beobachtet werden. Besonders auffällig ist, dass eine tendenzielle Ursprungszuordnung vollzogen werden kann. So scheinen beispielsweise Schlittenhunde aus einem sehr homogenen Ursprungs-Pool zu stammen.

Die d-loop-Region ist auch bei anderen Haus- und Nutztieren ein beliebtes Werkzeug, um genetische Unterschiede herauszufinden. So haben beispielsweise Brown et al. (1986) in ihrer Arbeit konservierte Elemente der d-loop-Region in verschiedenen Spezies verglichen. Sie zeigten erstmalig, dass im 3'- und im 5' Bereich der d-loop-Region Sekundärstrukturen zu finden sind, die Haarnadel- bzw. Kleeblattstrukturen ausbilden. Bei vielen Spezies, Invertebraten und Vertebraten, sind Variationen in der Größe der mtDNA beschrieben worden (Fumagalli et al. 1996, Hoelzel 1993), die hauptsächlich auf multiple Sequenzwiederholungen (tandem repeats) zurückzuführen sind. Diese Insertionen von Sequenzwiederholungen finden in den beiden Randbereichen der d-loop Region statt und bestätigen damit, dass die d-loop Region Del/Ins Ereignisse toleriert und Sequenzwiederholungen akkumulieren kann, ohne in der Funktion beeinträchtigt zu werden. Solche Sequenzwiederholungen sind zum Beispiel im Rind und Büffel nicht zu finden (Kirstein 2001). Die molekulargenetische Analyse erlaubt dennoch eine klare Unterscheidung zwischen verschiedenen Paarhufern, wenn die Daten mit entsprechenden Referenzen ausreichender Stichprobe überprüft werden. Ferner kann über mtDNA die mütterliche Vererbung, d. h. Populationszugehörigkeit ermittelt werden. So lassen sich beispielsweise bestimmte Haplotypen als Rassekennzeichen ausweisen.

Wie schon erwähnt, bedeuten mt-Untersuchungen auch immer ein gewisses Risiko, da hier lediglich die mütterliche Vererbung rekonstruiert werden kann. Deshalb treten beispielsweise Fälle ein, dass man aufgrund der gefundenen mt-Daten das Tier einer bestimmten Rasse zuordnen würde. Da aber der Vater einer völlig anderen Rasse zugehört, kann die Konstellation eintreten, dass das Tier phänotypisch nicht dem Genotyp entspricht. Insofern liefern d-loop Analysen, mit Einschränkungen, wichtige Anhaltspunkte.

## 15.2

### Speziesbestimmungen bei CITES-geschützten Tieren

Die mitochondriale DNA bietet aber noch eine weitere Möglichkeit im Rahmen der Zuordnung von unbekanntem biologischem Material. Nicht selten wird bei einem Wildunfall ein Stück Gewebe am Unfallort zurückgelassen und das verursachende Wild verschwindet im Wald. Eine beispielhafte statistische Erhebung von 2003 bis 2004 in Deutschland zeigt, dass annähernd 180 000 Rehe durch Kfz-Unfälle getötet wurden (<http://www.lsv.de/lsv>), wobei diese Zahl nur die registrierten Fälle beinhaltet. Die Kollisionen mit Wildschweinen liegen unter 50 000 gemeldeten Schäden. Rotwild und Damwild tauchen in der Statistik eher am Rande auf, sind aber nicht zu unterschätzen, da die Zahlen im fünfstelligen Bereich liegen. Insofern haben Versicherungen und Behörden ein großes Interesse daran zu prüfen, welche Tierart an einem Wildunfall beteiligt war.

Eine weitere Anwendung findet die Speziesbestimmung bei Vogelschlägen in der Luftfahrt. Schäden, bei denen Vögel in Triebwerke geraten, können äußerst gravierend ausfallen. 1995 brachten beispielsweise Kiebitze in Frankreich ein Flugzeug zum Absturz, zehn Menschen kamen damals ums Leben. Wegen dieser Gefahren betreiben alle deutschen Zivil- und Militärflughäfen umfangreiche Maßnahmen zur Verhütung und Aufklärung von Vogelschlägen. Die Gefährdung ist in der militärischen Luftfahrt noch sehr viel größer als im zivilen Bereich, weil beispielsweise Tornados und Hubschrauber meist in geringer Höhe fliegen, in der sich auch viele Vögel aufhalten. Zivile Verkehrsflugzeuge, die in einer Höhe von 10 000 Metern fliegen, sind dagegen in erster Linie bei Starts und Landungen gefährdet. Den spektakulärsten Vorfall in Deutschland gab es 1993, als bei einer Boeing 747 zwei Mäusebussarde zwei Triebwerke lahm legten, so dass der Start abgebrochen werden musste. Der Schaden betrug damals 8,5 Mio. Euro. Eine Schadensaufklärung, von den oft nur spärlich zurückgebliebenen Vogelresten, kann die molekulargenetische Diagnostik leisten. Flugzeugtriebwerkhersteller benötigen die Daten als Planungsgrundlage für Maschinenverbesserungen. Für sie ist die Frage bedeutsam, ob Kollisionen mit bestimmten Vogelarten zu spezifischen Deformationen führen. Außerdem müssen die Unfälle für Versicherungen dokumentiert und gemeldet werden.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit der molekulargenetischen Speziesanalyse liegt im Nachweis von CITES-geschützten Arten: Exotische Souvenirs beeindrucken durch ihre Besonderheit und durch ihre Einzigartigkeit. Viele Tierarten, aus denen derartige Souvenirs hergestellt werden, sind in ihrem Bestand gefährdet oder sogar vom Aussterben bedroht. Insbesondere exotische Tierarten unterliegen mittlerweile strengen Einfuhrbestimmungen. Mancher Reisende erkennt nicht, dass der Kauf solcher Erinne-

rungsstücke außerdem ein böses Erwachen nach sich ziehen kann. Eine Statistik aus dem Jahr 2004 besagt, dass allein den deutschen Zollbehörden 1150 Verstöße gegen das Artenschutzrecht mit insgesamt 37 000 einbehaltenen Pflanzen und Tieren vorlagen ([www.zoll.de](http://www.zoll.de)). Da die Beschlagnahmungen am Zoll oft nicht genau identifiziert werden können, nutzen die Behörden hier molekulargenetische Verfahren zur Speziesidentifikation um ihrer Amtspflicht nachzukommen.

Wie schon mehrfach erwähnt, kann man anhand der Morphologie nicht immer zweifelsfrei erkennen, welcher Spezies das Asservat zuzuordnen ist. Bei einigen Delikten stehen die Behörden vor dem Problem, dass der Vorgang länger zurückliegt oder dass nur wenig Material vorhanden ist. Hier helfen herkömmliche Verfahren, wie die Analyse des Proteinmusters, nicht mehr weiter. Diese komplizierten Aufklärungsarbeiten leisten heute molekulargenetische Methoden. Wobei in der Praxis die erste offene Frage darin besteht, ob das Asservat humanen oder nicht-humanen Ursprungs ist. Sobald diese Problematik geklärt ist, wird die Spezieszugehörigkeit untersucht. Als Grundlage für die Analyse haben sich in jüngster Zeit verschiedene Gene als sehr geeignet herausgestellt. Ein Hauptkriterium dabei ist, dass mit dem Nachweis in einer Schlüsselreaktion möglichst viele Spezies abgedeckt werden müssen. Sobald der Test auch humane DNA erkennt, die häufig im Überschuss oder als Kontaminationsquelle vorliegt, ist der Nachweis nur sehr eingeschränkt zu gebrauchen. Besonders vorteilhaft hat sich in dieser Hinsicht die Cytochrom-b-(Cytb-)Region erwiesen (Irwin et al. 1991, Chikuni et al. 1994). Mehrere Studien verweisen auf die sichere Speziesidentifikation bei diesem Locus (Parson et al. 2000). Interessanterweise sind die Abgleichsmöglichkeiten für Cyt B inzwischen auf mehrere tausend Einträge in der NCBI-Datenbank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) angewachsen, so dass damit ein sehr repräsentativer Datenabgleich möglich ist. Weiterhin beliebt ist die Cytochrom-C-Oxidase-1-Untereinheit (COX1) als Speziesnachweis (Hebert et al. 2003). Bei sämtlichen Untersuchungen muss dem Erhaltungszustand der DNA Rechnung getragen werden. Daher sind Testverfahren, die Fragmente mit einer Größe zwischen 300 bp und 600 bp detektieren, ausrechend geeignet, um die Spezies sicher zu identifizieren. Es lassen sich zwar vereinzelte Nukleotidaustausche beobachten, in der Regel sind die ausgewählten Gene zu konserviert, als dass es hier zu größeren Abweichungen kommen könnte. Selbst wenn keine 99%ige Übereinstimmung bei einem Datenabgleich vorliegt, so erlauben näher verwandte Taxa Rückschlüsse auf potentielle Spezieszugehörigkeit.

Eine weitaus tiefer gehende experimentelle Problematik ergibt sich, wenn von bestimmten Tieren die relevanten Sequenzabschnitte noch nicht beschrieben und entsprechend in Datenbanken nicht verfügbar sind. In diesem Fall muss man auf Verfahren zurückgreifen, die in der Lage sind,

möglichst unterschiedliche und damit speziesinformativ Bereiche auf dem Erbmolekül zugänglich machen und zu visualisieren. Nachstehend sollen zwei Methoden vorgestellt werden, die zur Lösung dieser Probleme herangezogen werden können.

Eine der frühesten Entwicklungen war die RFLP (*restriction fragment length polymorphism*)-Methode (Botstein et al. 1980), wobei Polymorphismen (Unterschiede) im Bereich der Schnittsequenz von Restriktionsenzymen nachgewiesen werden. Diese Technologie wurde erfolgreich zur Differenzierung von Fischen und Krestieren, aber auch Insekten verwendet.

Wichtige Nachteile dieser Methodik sind jedoch der große Zeit- und Arbeitsaufwand sowie die unzureichende Zahl nachweisbarer Polymorphismen. Das RAPD (*random-amplified polymorphic DNA*)-Verfahren (Williams et al. 1996) stellt eine weniger aufwändige Alternative dar, da es prinzipiell nur mit Hilfe der PCR durchzuführen ist und keinerlei Vorkenntnis über die DNA-Sequenz des Zielorganismus voraussetzt. Weitere Vorteile liegen in der geringen benötigten Menge an Ausgangs-DNA (Wolfe et al. 1998). Dieses Verfahren funktioniert in der Regel derart, dass Primer aus ca. 10 zufällig zusammengestellten Nukleotiden synthetisiert werden. Diese lagern sich während der PCR überall dort im Genom an, wo sie komplementäre Bereiche auf der in Einzelstränge denaturierten DNA vorfinden. Nach einer Amplifikation können diese Bereiche mit Hilfe einer Elektrophorese separiert und visualisiert werden. Die Aussagefähigkeit dieser Methode hat aber ihre Begrenzungen, die vor allem darauf beruhen, dass eine nicht-mendelsche Vererbung der Marker beobachtet wird oder dass Amplifikate gleicher Größe nicht zwangsläufig homolog sind (Wolfe et al. 1998). Ein weiterer Nachteil liegt in der eingeschränkten Reproduzierbarkeit der RAPD-Banden (Harris 1995).

Im Vergleich dazu stellt die AFLP (*amplified fragment length polymorphism*)-Technik (Vos et al. 1995) eine Methode dar, die sich sehr gut zur Evaluierung der genetischer Variation von Kollektionen eignet. So konnte zum Beispiel anhand von verschiedenen Stören gezeigt werden, in welchem Ausmaß die einzelnen Arten genetisch verschieden sind (Abb. 15.2). Diese Technologie wurde in der Praxis zum Nachweis bestimmter Kaviarsorten angewendet. Am Kaviar konnte gezeigt werden, dass die Methode verglichen mit anderen Techniken wie RFLP über eine hohe Reproduzierbarkeit verfügt. Bei einer Gegenüberstellung der verschiedenen Methoden zeigte die AFLP-Technik die höchste „*multiplex ratio*“, die sich aus dem Produkt aus der Anzahl der analysierten Marker und dem Anteil derjenigen Marker ergibt, die polymorph sind (Milbourne et al. 1997). Der AFLP basiert auf dem Prinzip einer selektiven PCR von Restriktionsfragmenten, die nach dem Verdau genomischer DNA mit Restriktions-Endonukleasen entstanden sind. Polymorphismen treten durch unterschiedlich lange, amplifizierte Fragmente auf, die mit Hilfe einer Polyacrylamid-Gel-Elektrophorese

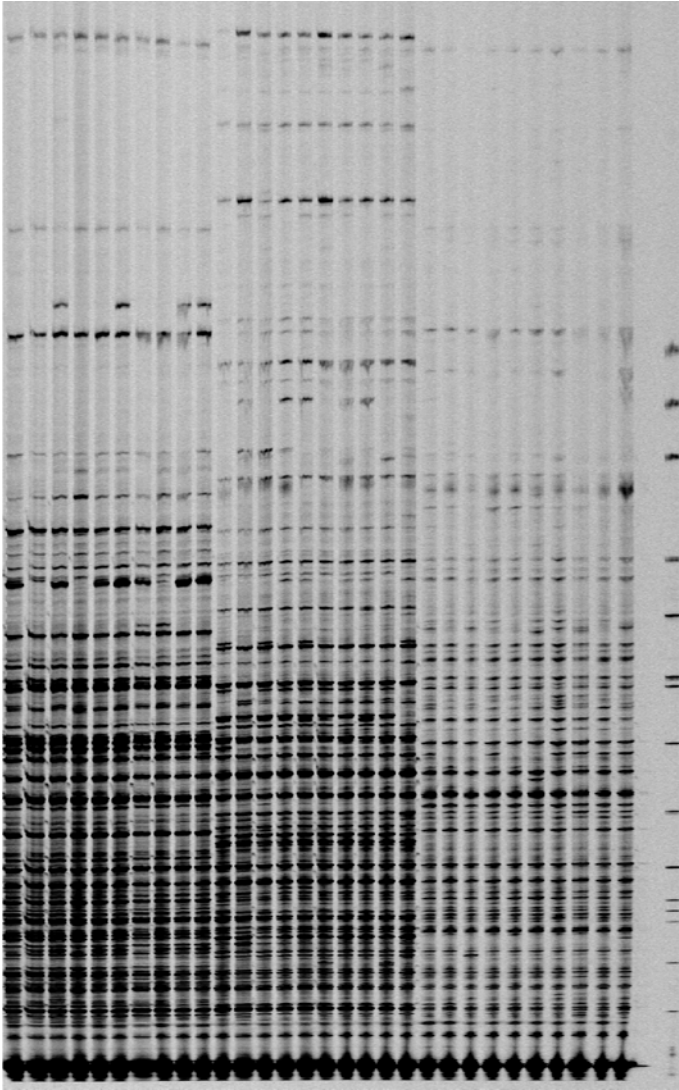


Abb. 15.2. AFLP Muster von drei verschiedenen Störarten

(PAGE) aufgetrennt werden. Kurz beschrieben ist der Ablauf der AFLP-Analyse folgender: Die genomische DNA wird mit zwei verschiedenen Restriktionsenzymen komplett verdaut: Einem häufig schneidenden Enzym *MseI* mit einer 4-bp-Erkennungssequenz und einem selten schneidenden Enzym *EcoRI* mit einer 6-bp-Erkennungssequenz. An den entstandenen Fragmenten werden Oligonukleotid-Adapter ligiert, die eine Erkennungssequenz für weitere Amplifikationen der Fragmente mit speziellen Pri-

mern liefern. Um die Komplexität dieser anfänglichen Fragmentmischung zu verringern, werden in der prä-selektiven Amplifikation mittels PCR nur diejenigen mit Adaptoren ligierten Fragmente vermehrt, deren Sequenz auf einen um eine Base verlängerten Primer passt. In einer zweiten PCR, der selektiven Amplifikation, wird die Anzahl der Fragmente noch einmal deutlich verringert. Hinzu kommt, dass die EcoRI-Primer mit einem Fluoreszenz-Farbstoff markiert werden, so dass nur Fragmente unter Beteiligung dieses Primers bei der Polyacrylamid-Gel-Elektrophorese sichtbar gemacht werden. Es können mit der AFLP-Technik in der Regel mehr als 100 auswertbare Fragmente erzeugt werden. Damit steht eine hohe Anzahl nutzbarer Polymorphismen zur Verfügung.

Wie diese Studien dokumentieren, müssen für derartige Untersuchungen im Vorfeld von relevanten Tieren Referenzdaten generiert werden. Damit kann abgesichert werden, dass die Tierart tatsächlich eine bestimmte genetische Variabilität vorweist. Bei einigen Fällen konnten hingegen kaum nennenswerten Unterschiede ermittelt werden. So zeigte beispielsweise die AFLP-Technologie, dass verschiedene Rinderrassen keine auswertbaren Polymorphismen besitzen. Bessere Erfolge zur Rassendifferenzierung leisten hier d-loop-Untersuchungen, die sehr spezifische Rassemuster/Haplotypen wiedergeben. Diese Analysen und andere Methoden sind beispielsweise von hoher Bedeutung, wenn es um den Nachweis und die Zuordnung von Fleisch als Lebensmittel geht.

## 15.3

### **Molekulargenetische Speziesbestimmungen aus schwierigem Probenmaterial**

Im Rahmen der weltweit steigenden Produktion von Lebensmitteln sowie aufgrund der zunehmenden Unübersichtlichkeit des Marktes, etwa durch die Liberalisierung des Handelsverkehrs in der Europäischen Union (EU) und den Anstieg der Wildimporte aus aller Welt, hat die Notwendigkeit von Lebensmittelkontrollen zur eindeutigen Identifizierung der verarbeiteten Bestandteile in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Das vorrangige Ziel dabei ist die Qualitätssicherung, um sowohl den Verbraucher als auch den Handel vor Falschdeklarationen und Verfälschungen zu schützen. Nicht nur Fleisch- und Fischerzeugnisse, sondern auch Milch- und Käse-Produkte werden häufig unter falscher Deklaration bewusst mit Materialien von minderwertigeren Tierarten versetzt, um durch überhöhte Preise einen wirtschaftlichen Vorteil zu erlangen. So können Käseprodukte aus Ziegen-, Schafs- oder Büffelmilch durch die viel billigere Kuhmilch aufgestockt werden. Fisch wird nach der Filetierung oft als teure, nachgefragte Spezies verkauft, da eine Identifizierung nicht mehr

auf den ersten Blick möglich ist. Als Folge der BSE-Krise, häufiger Lebensmittelkandale und einer zunehmenden Verunsicherung der Verbraucher nimmt die Lebensmittelanalyse eine immer wichtigere Rolle ein. Ihre Aufgabe besteht darin, einerseits durch die Bestimmung von Inhaltsstoffen die Lebensmittelqualität und andererseits durch deren exakten Nachweis die Sicherheit von Verbrauchern und Umwelt zu gewährleisten (Matissek et al. 1992). In den letzten Jahren wurden viele traditionelle Analysemethoden durch moderne, Zeit- und Kosten sparende molekularbiologische Verfahren ersetzt, welche die Erbsubstanz in der Probe untersuchen. Bei PCR-basierten Methoden zur Tierartendifferenzierung werden im ersten Schritt speziesspezifische DNA-Sequenzen in der Probe amplifiziert, woraufhin der eigentliche Nachweis der verschiedenen Spezies-DNA durch eine weitere Analyse der PCR-Produkte erfolgt. Die vorausgegangene Sequenzanalyse in verschiedenen Bereichen der genomischen DNA von zahlreichen Spezies sowie der Zugang zu den gesammelten Informationen in Datenbanken bilden dabei die Voraussetzung für die Auswahl der Zielsequenzen und die Abstimmung der verwendeten Primersequenzen. Die PCR-Verfahren unterscheiden sich grundlegend durch die Art der eingesetzten Primer. Bei der tierartenspezifischen PCR werden Primer verwendet, die ausschließlich an die DNA einer bestimmten Tierart binden können. Das Design dieser Werkzeuge orientiert sich an DNA-Regionen, die zu anderen lebensmittelrelevanten Tierarten eine hohe Diversität aufweisen. Ein paralleler Nachweis verschiedener Spezies kann dadurch vereinfacht werden, dass die artspezifischen PCR-Amplifikate charakteristische Fragmentlängen besitzen, die bei einer anschließenden gelelektrophoretischen Analyse der PCR-Produkte unterschieden werden können. Die tierartenspezifischen PCR-Nachweise sind entweder in separaten Ansätzen mit jeweils einem Primerpaar durchführbar (Lahiff et al. 2001), was in der Regel mit einem umfangreichen Versuchsaufwand verbunden ist, oder sie werden in einer Multiplex-Reaktion durchgeführt (Matsunaga et al. 1999, Bellagamba et al. 2003). Um diesen Aufwand zu reduzieren, wird häufig ein *forward*-Primer eingesetzt, der komplementär an die DNA aller nachzuweisenden Spezies bindet, während durch speziesspezifische *reverse*-Primer die charakteristischen Fragmente gebildet werden. Nach diesem Prinzip wurden zum Beispiel von Matsunaga et al. (1999) Rind, Schwein, Huhn, Schaf, Ziege und Pferd in erhitzten Fleischproben nachgewiesen. Selbst in Asservaten, die stark degradierte DNA enthalten, ermöglichen geeignete Primer auch sehr kurze spezifische PCR-Amplifikate. Eine weitere Verbesserung zum simultanen Nachweis verschiedener Spezies erzielt man durch den Einsatz universeller Konsensus-Primer. Die Primersequenzen liegen dabei in Bereichen, welche tierartübergreifend äußerst konserviert sind, wodurch speziesunabhängig gleich große PCR Amplifikate entstehen, die intern jedoch Sequenzvariationen aufweisen. Eine weitere Möglichkeit



zur Analyse erfolgt üblicherweise durch die Methode des Restriktions-Fragment-Längen-Polymorphismus (RFLP). Dabei spalten Restriktionsenzyme die PCR-Fragmente an definierten Sequenzstellen, wodurch infolge der artspezifischen Sequenzunterschiede verschiedene Spaltprodukte entstehen. Bei einer anschließenden gelelektrophoretischen Auftrennung der verdauten Amplifikate ergeben sich für jede Spezies charakteristische Bandenmuster. Mit Hilfe dieser Technologie konnten Pfeiffer et al. (2004) einen Betrugsfall aufklären, bei welchem eine Mischprobe mehrerer Spezies Gegenstand der Analysen war. Die Mehrzahl von PCR-RFLP-Methoden nutzt in diesem Zusammenhang die Amplifikation von Teilssequenzen des Cytochrom-B(*cytb*)-Gens der mtDNA. Durch PCR-RFLP eines 359bp-Fragmentes konnte außerdem die Herkunft von Milch in Mozzarella und griechischem Feta bestimmt werden (Branciarri et al. 2000). Da bei der Methode nach Meyer et al. (1995) in einzelnen Fällen zweifelhafte Ergebnisse aufgrund einer zusätzlichen Amplifikation von Pseudo-*cytb*-Genen der nuklearen DNA auftraten, wurde von Burgener und Hübner (1998) unter Beibehaltung des *reverse*-Primers ein effizienter *forward*-Primer entwickelt.

Ein Nachteil ergibt sich bei der PCR-RFLP-Methode jedoch dadurch, dass es bei Mischproben zu Problemen in der Interpretation der Intensität der Bandenmuster kommen kann (Wolf et al. 1999, Hold et al. 2001). In der Routinekontrolle ist der Erfolg der erläuterten Verfahren in besonderem Umfang von der Qualität der DNA-Extraktion abhängig. So gibt es mittlerweile Verfahren, die speziell auf das zu untersuchende Ausgangsmaterial ausgerichtet sind. Im Nachfolgenden werden einige Besonderheiten der DNA-Isolation aus tierlichem Material erläutert.

## 15.4

### **Besonderheiten in der DNA-Extraktion aus Asservaten tierlicher Herkunft (Haare)**

Da tierische DNA bei vielen forensischen Konstellationen in der Regel nur im Spurenbereich vorliegt, erfordert die Analyse besondere Vorsichtsmaßnahmen, um Kontaminationen mit humaner DNA zu vermeiden. Den beschriebenen Problemen kann im Vorfeld zusätzlich durch diskriminierendes Primerdesign entgegengewirkt werden.

Wie bereits mehrfach geschildert, drehen sich sehr viele Fragestellungen um die Entschlüsselung der DNA aus Tierhaaren. Da mikroskopische Vergleiche oft sehr schwierig sind, weil die speziestypischen Merkmale nicht offensichtlich in Erscheinung treten, wird in der kriminalistischen Arbeit vermehrt die DNA-Untersuchung angewendet. Dabei spielt die Qualität der zur Verfügung stehenden Tierhaare für den Erfolg einer Analyse eine

nicht zu unterschätzende Rolle. Es hat sich gezeigt, dass man am Tatort mit folgenden Tierhaarspuren rechnen kann: Hauptsächlich abgebrochene Haare, d. h. ohne Haarwurzel aber auch ausgefallene Haare mit einem minimalen Anteil von zellkernhaltigen Zellen, oder in seltenen Fällen ausgerissene Haare inklusive Haarwurzel. Je nachdem, wie gut die Haare erhalten sind, gestalten sich in der Regel auch die Ergebnisaussichten einer DNA-Typisierung. Die brauchbarsten Analyseresultate lassen sich nach wie vor von Haaren mit Haarwurzel erzielen. Sobald nur noch der Haarschaft zur Verfügung steht, kann vielfach lediglich nur noch die mitochondriale DNA berücksichtigt werden. In diesen Fällen lässt sich die Tierspezies bestimmen, wohingegen eine Individualisierung der Probe meist nicht mehr möglich ist. Wie bereits erwähnt, können die vorliegenden Haare mit Wurzeln beim ersten Anblick zunächst sehr viel versprechend aussehen, wenn das Präparat jedoch in Trägermaterialien, u. a. Glycerin, eingebettet und viele Jahre bei Raumtemperatur gelagert wurde, stehen die Chancen für einen „Treffer“ sehr schlecht. Normalerweise degradiert das Erbmolekül unter diesen Bedingungen und ist damit nicht mehr für eine Individualisierung zugänglich. Um dennoch auch aus weniger gut erhaltenem Spurenmaterial ein Maximum an genetischer Information zu bekommen, wurden in den letzten Jahren mit Hilfe zahlreicher Verfahrensverbesserungen beachtliche Erfolge erzielt. So konnte über die Entwicklung effizienter DNA-Extraktions-Methoden aus Tierhaaren, die im Haarschaft verbliebene DNA den Analysen zugänglich gemacht werden. Mittels eines speziellen Extraktionspuffers und einer Inkubation bei 56 °C wird in kürzester Zeit die Haarstruktur komplett aufgelöst. Untersuchungen an Hundehaaren haben gezeigt, dass dieser Auflösungsprozess bei dunklen Hundehaaren wesentlich schneller verläuft als bei hellen Haarvarianten. Über ähnliche Versuche mit Katzen- und Rinderhaaren konnten diese Ergebnisse bestätigt werden. Um zu klären, wie viele Hundehaare für einen genetischen Fingerprint zur Individualisierung notwendig sind, wurden Testserien mit verschiedenen Haar-Ausgangsmengen angelegt und geprüft. Hierbei stellte sich heraus, dass mit mindestens 5 bis 10 Hundehaaren ein genetisches Profil im Rahmen einer Routine-Diagnostik möglich ist. Handelt es sich um weniger Ausgangsmaterial, gestalten sich die Analysen als ungleich schwieriger und die Versuchsparameter müssen entsprechend angepasst werden. Die Grenzen des genetischen Fingerprints beim Rind konnten anhand von einzelnen Zellen untersucht werden. Mit ca. 10 bis 20 Zellen war ein genetisches Profil unter Spezialbedingungen durchführbar. Inwieweit diese Nachweisgrenze auch beim Hund und der Katze gilt, konnte bisher noch nicht eindeutig geklärt werden. Da es sich jedoch in vielen forensischen Fällen um degradierte Kern-DNA handelt, weisen die Analysen wiederholt den Ausfall einzelner Allele auf (*Allelic-drop-out*). Bei dieser Ergebnislage müssen die Untersuchungen mehrfach wiederholt werden, um ein annä-

hernd lückenloses Profil zu erhalten. Steht nicht ausreichend DNA-Extrakt zur Verfügung, muss bezüglich der Fallkonstellation abgewägt werden, ob nicht eine Beantwortung der Haarherkunft (Speziesnachweis) weiterhelfen könnte und damit eine Analyse der mitochondrialen DNA bevorzugt werden sollte. Sind beispielsweise am Tatort Haarfragmente ohne Wurzel gefunden worden, bestehen mit diesem Material noch gute Chancen ausreichend mitochondriale DNA für die Speziesbestimmung zu isolieren. Die Beantwortung der Haarherkunft kann bei Ermittlungen oft weiterhelfen.

## Literatur

- Anderson S, Bankier AT, Barrell BG et al. (1981) Sequence and organization of the human mitochondrial genome. *Nature* 290:457–465
- Bellagamba F, Valfrè F, Panseri S, Moretti VM (2003) Polymerase chain reaction based analysis to detect terrestrial animal protein in fish meal. *J Food Protect.* 66 :682–685
- Botstein D, White R L, Skolnick M, Davis R W (1980): Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *Am J of Human Genetics* 32:314–331
- Bowling AT, Eggleston-Stott ML, Byrns G, Clark RS, Dileanis S, Wictum E (1997) Validation of microsatellite markers for routine horse parentage testing. *Anim Genet* 28:247–52
- Branciarri R, Nijman IJ, Plas ME, Di Antonio E, Lenstra JA (2000) Species origin of milk in italian mozzarella and greek feta cheese. *J Food Protect.* 63:408–411
- Brauner P, Reshef A, Gorski A. (2001) DNA Profiling of trace evidence – mitigating evidence in a dog biting case. *J Forensic Sci* 46:1232–4
- Brogan TV, Bratton SL, Dowd MD, Hegenbarth MA (1995) Severe dog bites in children. *Pediatrics* 96:947–950
- Brown, WM, George M, Wilson UA (1979) Rapid evolution of animal mitochondrial DNA. *Proc Natl Acad Sci USA* 76:1967–1971
- Burgener M, Hübner P (1998) Mitochondrial DNA enrichment for species identification and evolutionary analysis. *Z Lebensm Unters Forsch A* 207:261–263
- Chikuni K, Tabata T, Saito M, Monma M (1994) Sequencing of mitochondrial cytochrome b genes for the identification of meat species. *Anim Sci Technol* 65:571–579
- Dachs J, McNaught IJ, Robertson J (2003) The persistence of human scalp hair on clothing fabrics. *Forensic Sci Int* 138:27–36
- D'Andrea F, Fridez F, Coquoz R (1998) Preliminary experiments on the transfer of animal hair during simulated criminal behaviour. *J Forensic Sci* 43:1257–8
- De Munnynck K, Van de Voorde W (2002) Forensic approach of fatal dog attacks: a case report and literature review. *Int J Legal Med* 116:295–300
- Eichmann C, Berger B, Parson W (2004) A proposed nomenclature for 15 canine specific polymorphic STR loci for forensic purposes. *Int J Legal Med* DOI 10.1007/s00414-004-0452-5
- Eichmann C, Berger B, Reinhold M, Lutz M, Parson W (2004) Canine-specific STR typing of saliva traces on dog bite wounds. *Int J Legal Med.* 118:337–42
- Fumagalli L, Taberlet P, Favre L, Hausser, J (1996) Origin and evolution of homologous repeated sequences in the mitochondrial DNA control region of shrews. *Mol Biol Evol* 13:31–46
- Giovambattista G, Ripoli MV, Liro'n JP, Villegas Castagnasso EE, Peral-García P, Lojo MM (2001) DNA typing in a cattle stealing case. *J Forensic Sci* 46:1484–6

- Harris SA (1995) Systematic and randomly amplified polymorphic DNA in the genus *Leucaena* Benth. (Mimosoideae, Legumi-nosae). *Plant Syst. Evol.* 197:195–208
- Hebert PD, Ratnasingham S, deWaard JR (2003) Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species. *Proc Biol Sci* 7:96–9
- Hellmann A, Rohleder U, Eichmann C, Pfeiffer I, Parson W, Schleenbecker U (2006) A Proposal for Standardization in Forensic Canine DNA Typing: Allele Nomenclature of Six Canine-Specific STR Loci. *J Forensic Sci* 51, No 2:274–281
- Heyen DW, Beaver JE, Da Y, Evert RE, Green C, Bates SR, Ziegler JS, Lewin HA (1997) Exclusion probabilities of 22 bovine microsatellite markers in fluorescent multiplexes for semiautomated parentage testing. *Anim Genet* 28:21–7
- Hoelzel AR (1993) Evolution by DNA turnover in the control region of vertebrate mitochondrial DNA. *Curr Opin Genet Dev* 3:891–5
- Hold GL, Russell VJ, Pryde SE et al (2001) Development of a DNA-based method aimed at identifying the fish species present in food products. *J Agric Food Chem* 49:1175–1179 <http://www.lsv.de/lsv: Sicher Leben: Mitteilungsblatt der Landwirtschaftlichen Sozialversicherung: „Achtung Wildwechsel“>
- Irwin DM, Kocher TD, Wilson AC (1991) Evolution of the cytochrome b gene of mammals. *J Mol Evol* 32:128–144
- Ketchum M, Alvarez M, Alvarez J, Konieczny M (2002) Forensics and animal genetics: an emerging science. Proceedings of the 28th International Conference on Animal Genetics; August 11–15, Goettingen, Germany: International Society for Animal Genetics 2002; 77–8
- Kierstein G (2001) Phylogenetische Entwicklung asiatischer Wasserbüffel anhand Polymorphismen in der mitochondrialen D-loop Region. (Diss), Universität Göttingen
- Lahiff S, Glennon M, O'Brien L, Lyng J, Smith T, Maher M, Shilton N (2001) Species-specific PCR for the identification of ovine, porcine and chicken species in meat and bone meal (MBM). *Mol Cell Probe* 15:27–35
- Marklund S, Ellegren H, Eriksson S, Sandberg K, Andersson L (1994) Parentage testing and linkage analysis in the horse using a set of highly polymorphic microsatellites. *Anim Genet* 25:19–23
- Matsunaga T, Chikuni K, Tanabe R, Muroya S, Shibata K, Yamada J, Shinmura Y (1999) A quick and simple method for the identification of meat species and meat products by PCR assay. *Meat Sci* 51:143–148
- Matissek R, Schnepel FM, Steiner G (1992) *Lebensmittelanalytik*. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Menotti-Raymond MA, David VA, O'Brien SJ (1997) Pet cat hair implicates murder suspect. *Nature* 1997;386:774
- Menotti-Raymond MA, David VA, Wachter LL, Butler JM, O'Brien SJ (2005) An STR forensic typing system for genetic individualization of domestic cat (*Felis catus*) samples. *J Forensic Sci* 50:1061–70
- Meyer R, Höfelein C, Lüthy J, Candrian U (1995) Polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism analysis: a simple method for species identification in food. *J AOAC Int* 78:1542–1551
- Milbourne D, Meyer R, Bradshaw JE, Baurd E, Bonar N, Provan J, Powell W, Waugh R (1997) Comparison of PCR-based marker systems for the analysis of genetic relationships in cultivated potato. *Molecular Breeding* 3:127–136
- Müller S, Flekna G, Müller M, Brem G (1999) Use of canine microsatellite polymorphisms in forensic examinations. *J Hered* 90:55–6
- Nechtelberger D, Kaltwasser C, Stur I, Meyer JN, Brem G, Mueller M, Mueller S (2001) DNA microsatellite analysis for parentage control in Austrian pigs. *Anim Biotechnol* 12:141–4

- Neff MW, Broman KW, Mellersh CS, Ray K, Acland GM, Aguirre GD (1999) A second generation genetic linkage map of the domestic dog, *Canis familiaris*. *Genetics* 151:803–20
- Overall KL, Love M (2001) Dog bites to humans – demography, epidemiology, injury, and risk. *J Am Vet Med Assoc* 218:1923–1934
- Paetkau D, Calvert W, Stirling I, Strobeck C (1995) Microsatellite analysis of population structure in Canadian polar bears. *Mol Ecol* 4:347–54
- Parker HG, Sutter LV, Carlson S, Lorentzen TD, Malek TB, Johnson GS, De France HB, Ostrander EA, Kruglyak UL (2004) Genetic structure of the purebred domestic dog. *Science* 304:1093–1095
- Parson W, Pegoraro K, Niederstatter H, Foger M, Steinlechner M (2000) Species identification by means of the cytochrome b gene. *Int J Legal Med* 114:23–8
- Pfeiffer I, Volkel I, Brenig B (2003) Animals as evidentiary organisms – New possibilities in DNA analysis. *Kriminalistik* 57:163–164
- Pfeiffer I (2005) A hair – all clear? Possibilities for the genetic identification of animal hairs. *Kriminalistik* 59:180–181
- Roy MS, Geffen E, Smith D, Ostrander EA, Wayne URK (1994) Patterns of differentiation and hybridization in North American wolflike canids, revealed by analysis of microsatellite loci. *Mol Biol Evol* 11:553–570
- Schelling C, Stranzinger G, Dolf G, Schlapfer J, Switonski M (1998) Assignment of the canine microsatellite ZuBeCa1 to canine chromosome 10q22–q24. *Anim Genet* 29:398
- Sweet D, Lorente JA, Valenzuela A, Lorente M, Villanueva E (1997) PCR-based DNA typing of saliva stains recovered from human skin. *J Forensic Sci* 42:447–451
- Sweet D, Hildebrand D (1999) Saliva from cheese bite yields DNA profile of burglar: a case report. *Int J Legal Med* 112:201–203
- Vila C, Savolainen P, Maldonado JE, Amorim IR, Rice JE, Honeycutt RE, Crandall CA, Lundeberg J, Wayne URK (1997) Multiple and ancient origins of the domestic dog. *Science* 276:1687–1689
- Völkel I (2005) Untersuchungen zur molekulargenetischen Rassendifferenzierung bei *Canis familiaris*. (Diss), Tierärztliche Hochschule Hannover
- Vos P, Hogers R, Bleeker M, Reijans M, Van de Lee T, Hornes M, Fristers A, Pot J, Peleman J, Kuiper M, Zabeau M (1995) AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucl Acids Res* 23:4407–4414
- Wolf C, Rentsch J, Hübner P (1999) PCR-RFLP analysis of mitochondrial DNA: a reliable method for species identification. *J Agric Food Chem* 47:1350–1355
- Wolfe AD, Liston A. (1998) Contributions of PCR-based methods to plant systematics and evolutionary biology. In: Soltis DE, Soltis PS, Doyle JJ, (eds) *Molecular Systematics of Plants II: DNA Sequencing*, pp 43–86. Kluwer New York
- Williams JG, Kubelik AR, Livak KJ, Rafalski JA, Tingey SV (1996) DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl Acids Res* 18:6531

# 16 Molekulare Analyse von Pflanzenteilen in der Forensik

Reiner Finkeldey, Oliver Gailing, Hans H. Hattemer,  
Barbara Vornam

Obwohl die molekulare Analyse von Pflanzenteilen nicht zu forensischen Standardverfahren zählt, gibt es zahlreiche Anwendungen für den Einsatz molekulargenetischer Marker bei Pflanzen zur Klärung gerichtsrelevanter Sachverhalte. Für forensische Fragestellungen geeignete DNA-Marker sind insbesondere anonyme Fingerprint-Methoden (RAPDs, AFLPs) sowie art-spezifische Marker, insbesondere Kernmikrosatelliten [SSRs; (SSR ist der in der Botanik gebräuchliche Begriff für STR)] und Sequenzen von DNA-Fragmenten. Auch durch eine Analyse von DNA aus uniparental vererbten Chloroplasten können spezifische Fragestellungen geklärt werden.

Die molekulare Untersuchung von Pflanzenteilen an Tatorten oder an der Kleidung von Tatverdächtigen und ihr Vergleich zu Referenzproben, etwa einer am Tatort wachsenden Pflanze, kann zur Aufklärung von Kapitalverbrechen beitragen. Die Zugehörigkeit von Pflanzenteilen, die Schäden verursacht haben (z. B. ein herabgefallener Ast) zu einer bestimmten Pflanze kann mit molekularen Methoden überprüft werden. Eine molekulargenetische Analyse von illegal gehandelten Pflanzen und Produkten aus Pflanzen, insbesondere von Rauschmitteln, kann für die Klärung von Straftaten bedeutsam sein. Molekulare Marker können genutzt werden, um durch Erkennung des Ursprungs von Pflanzenteilen, beispielsweise Holz, Beiträge zur Klärung von Fällen von Umweltkriminalität zu erbringen. Schließlich können molekulare Methoden genutzt werden, um besondere Rechtsvorschriften, die sich auf die Produktion und den Handel mit beispielsweise gentechnisch veränderten Pflanzen und Pflanzenprodukten befassen, zu überprüfen.

Aufgrund der großen Vielfalt von Fragestellungen, Untersuchungsmaterialien und Methoden stößt die Festlegung verbindlicher Standards für die molekulare Untersuchung von Pflanzenteilen auf große Schwierigkeiten. Eine für gerichtliche Entscheidungen erforderliche, sehr hohe und exakt quantifizierbare Sicherheit von Aussagen kann durch Untersuchung pflanzlicher DNA seltener erreicht werden als bei der Analyse von menschlicher DNA, obwohl die methodischen Ansätze ähnlich sind. Es bedarf einer auf den jeweiligen konkreten Fall bezogenen Prüfung, ob entsprechende Untersuchungen an Pflanzenresten aussichtsreich sind.

---

Reiner Finkeldey: Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, Büsgenweg 2,  
37077 Göttingen, E-Mail: rfinkel@gwdg.de

## 16.1

### Einleitung

Molekulare Analysen von Pflanzen und Pflanzenteilen gehören noch nicht zu den Standardverfahren der Forensik. In einem übertragenen Sinn kann jedoch von Pflanzen als „Zeugen“, „Tätern“ oder „Opfern“ gesprochen werden. Die Fälle, in denen eine molekulare Analyse von Pflanzenresten gerichtserhebliche Tatbestände klären kann, sind dabei außerordentlich unterschiedlich.

Eine Zuordnung von an Tatorten oder an Tatverdächtigen beziehungsweise Opfern gefundenen Pflanzenresten zu bestimmten Pflanzen oder Gruppen von Pflanzen kann zur Aufklärung von Kapitalverbrechen beitragen. Pflanzenreste können beispielsweise als „stumme Zeugen“ belegen, dass ein Verdächtiger mit hoher Wahrscheinlichkeit einen bestimmten Tatort aufgesucht hat (Fallbeispiel 1 in Kap. 16.3.1). Ebenso können Pflanzen als „Täter“ oder deren „Gehilfen“ auftreten. Viele solcher Fälle sind häufig privatrechtlich unter dem Aspekt des Schadensersatzes relevant. Der durch einen herabfallenden Ast eines Baumes verursachte Schaden ist hier nur ein typisches Beispiel. Die molekulare Untersuchung von Pflanzen beziehungsweise von aus Pflanzen gewonnenen Stoffen und Substanzen kann aber auch strafrechtlich relevant werden, wenn es sich um verbotene Mittel, insbesondere Rauschgifte, handelt (Kap. 16.6.2). Weiterhin können Ökosysteme samt der in ihnen auftretenden Pflanzen zu „Opfern“ krimineller Handlungen werden. Der Verkauf von Tropenholz aus illegalem Holzeinschlag wird hier als Beispiel im Kap. 16.5 diskutiert. Einige Rechtsvorschriften betreffen den Verkehr mit Pflanzen oder Produkten aus beispielsweise gentechnisch veränderten Pflanzen (Kap. 16.6). In allen diesen Fällen kann unter bestimmten Voraussetzungen die molekulare Analyse von Pflanzen entscheidend zur Klärung gerichtserheblicher Sachverhalte beitragen.

Die folgende Diskussion molekularer Analysen beschränkt sich auf die Untersuchung der DNA aus Pflanzenresten. Komplementäre Methoden, zu denen beispielsweise eine Analyse der Zusammensetzung stabiler Isotope oder die Untersuchung flüchtiger Spurenstoffe zählen, stehen ebenfalls für spezifische Anwendungen zur Verfügung, können in dieser kurzen Übersicht aber nicht angesprochen werden.

## 16.2

### Einsatz molekularer Marker bei Pflanzen

Grundsätzlich entspricht die Vorgehensweise bei der molekulargenetischen Untersuchung von Pflanzenteilen den Arbeitsschritten bei einer DNA-Analyse von tierlichem oder menschlichem Gewebe (vgl. Kap. 14). Zunächst

ist DNA in hinreichender Qualität und Quantität aus Pflanzengewebe zu extrahieren. Aus frischen Holzproben, Holzspänen und Blattmaterial oder aus trocken gelagerten Proben lässt sich in der Regel hochmolekulare DNA isolieren. Hitzeeinwirkung oder feuchte Lagerung von Pflanzenmaterial führt dagegen schnell zur Degradation der DNA, die dann nur noch in sehr kurzen Fragmenten vorliegt. Je nach Pflanzenart, Gewebetyp (z. B. Wurzel, Blatt, Holz), Alter des Gewebes und Zustand der Probe (z. B. Größe und mögliche Kontamination mit anderen Organismen) können unterschiedliche Extraktionsmethoden zu optimalen Ergebnissen führen.

Die weitere Untersuchung der DNA basiert in nahezu allen Fällen auf der Vermehrung (Amplifikation) bestimmter DNA-Bereiche mittels der PCR (Polymerase-Kettenreaktion). Durch die Qualität der isolierten DNA sind auch die Möglichkeiten der Markeranalysen bedingt. Ist die DNA hochgradig degradiert, so können mittels PCR auch im günstigen Fall i. d. R. nur kurze Abschnitte der DNA vervielfältigt werden.

## 16.2.1 Markertypen

Neben der Untersuchung biparental vererbter DNA aus dem Zellkern (*nuclear DNA*; nDNA) und maternal vererbter mitochondrialer DNA (mtDNA) kommt auch DNA aus den Chloroplasten (cpDNA) für eine Untersuchung in Frage. CpDNA wird bei angiospermen Pflanzen maternal (McCauley 1995), bei Gymnospermen wie den Koniferen (Nadelbäumen) dagegen paternal vererbt (Neale u. Sederoff 1989). Pflanzen sind prinzipiell bisexuelle Organismen; Gonosomen (geschlechtsbestimmende Chromosomen) sind auch bei diözischen Pflanzen selten. Die Untersuchung uniparental vererbter Marker ist daher in der Regel auf die Analyse von DNA aus Plastiden (mtDNA oder häufiger cpDNA) beschränkt. CpDNA-Marker haben den Vorteil, dass es keine Rekombination zwischen ihnen gibt und dass keine Genduplikationen vorliegen. Zudem liegt cpDNA in einer Zelle in vielen Kopien vor, so dass die untersuchten Bereiche auch im teils degradierten Material in größerer Anzahl erwartet werden als Kernmarker. Für stark degradierte DNA eignen sich besonders sehr kurze DNA-Abschnitte des Chloroplastengenoms (cpSSRs; s. unten).

Der Vererbungsgang hat erheblichen Einfluss auf genetische Variationsmuster bei Pflanzen, da der Samenerler und der weibliche Gamet ortsfest sind, so dass genetische Information nur durch Pollen oder Samen verbreitet wird. Da die Verbreitung von Pollen bei vielen Pflanzen wesentlich effektiver als die Samenverbreitung ist, findet sich bei maternal vererbten Markern (cpDNA und mtDNA bei Angiospermen) ein großer Teil der Variation zwischen Populationen und in der Regel nur geringe Variation



innerhalb von Populationen (Ennos 1994). Der durch genetische Differenzierung zwischen Populationen bedingte Anteil an der Gesamtvariation ( $F_{ST}$  oder  $G_{ST}$ ; Nei 1973) ist daher bei maternal vererbten Markern in der Regel hoch, bei biparental vererbten Markern hingegen häufig sehr gering (Austerlitz et al. 2000). Dies ist bei der Auswahl geeigneter Markertypen für bestimmte Fragestellungen unbedingt zu berücksichtigen.

Wichtige Fingerprint-Methoden bei Pflanzen sind RAPDs (*Random Amplified Polymorphic DNA*; Newbury u. Ford-Lloyd 1993) und AFLPs (*Amplified Fragment Length Polymorphism*; Vos et al. 1995). Diese Markertypen sind anonym, da sich keine Aussagen über die Zugehörigkeit einzelner Banden zur nDNA, mtDNA, oder cpDNA treffen lassen. Somit ist ihr Vererbungsmodus unbekannt, und sie werden in der Regel als dominante Marker interpretiert. Sequenzinformationen sind zur Anwendung dieser universellen Marker nicht erforderlich. Daher können mit diesen Methoden auch Pflanzenarten untersucht werden, über die keinerlei genetische Informationen vorliegen. Da jedoch auch DNA anderer Organismen amplifiziert wird, ist eine mögliche Kontamination zum Beispiel durch bakterielle oder pilzliche DNA bei Pflanzenresten eine bedeutsame Fehlerquelle. Weitere Nachteile sind eine teilweise geringe Wiederholbarkeit insbesondere bei RAPDs (Rabouam et al. 1999) und vergleichsweise hohe Anforderungen an die Qualität der extrahierten DNA bei AFLPs.

Mikrosatelliten oder SSRs (*Simple Sequence Repeats*; Lefort et al. 1999, Li et al. 2002) sind schon aufgrund der geringen Größe amplifizierter DNA-Fragmente auch bei Pflanzen die wichtigsten spezifischen Marker für forensische Fragestellungen. SSRs, insbesondere Dinukleotid-Wiederholungsmuster, treten sehr häufig im Kerngenom von Pflanzen auf. Das Design spezifischer Primer für die Amplifikation eines SSR-Fragments und die Identifikation eines kodominanten, hypervariablen SSR-Genortes ist aber dennoch aufwändig (Zane et al. 2002) und insbesondere bei polyploiden Arten problematisch (z. B. Pandey et al. 2004). Für eine bestimmte Pflanzenart etablierte SSR-Marker können in der Regel allenfalls innerhalb einer Gattung genutzt werden, eine Übertragung auf Arten innerhalb einer Familie oder auf noch höheren taxonomischen Ebenen ist nur sehr selten möglich. Die Zahl der Pflanzenarten, für die diese für forensische Anwendungen sehr bedeutsamen Marker (vgl. 16.2.3) etabliert wurden, ist in den vergangenen Jahren rasch angestiegen.

SSRs treten insbesondere als Mononukleotid-Wiederholungen auch in der cpDNA häufig auf. Da die DNA der Chloroplasten aufgrund geringerer Mutationsraten und der Abwesenheit von Rekombination weniger variabel als die DNA des Zellkerns ist, wurden sowohl bei angiospermen Pflanzen (Weising u. Gardner 1999) als auch bei Gymnospermen (Vendramin et al. 1996) universelle Primer entwickelt, welche die Amplifikation von cpSSR-Markern bei einer Vielzahl von Arten ermöglichen.

In vielen Fällen ist auch die Sequenzierung amplifizierter DNA-Fragmente für bestimmte Fragestellungen hilfreich oder sogar erforderlich. Weitere, für forensische Fragestellungen weniger wichtige Marker-Typen können hier nicht angesprochen werden (vgl. hierzu das Buch von Weising et al. 2005).

## 16.2.2

### Artbestimmung mit molekularen Markern

Die Identifizierung der Art, der ein Pflanzenrest angehört, ist für bestimmte forensische Anwendungen hinreichend. In anderen Fällen ist die Erkennung der Art Voraussetzung für weitere Untersuchungen. Die botanische Art eines Pflanzenrests ist durch die Beobachtung morphologischer oder anatomischer Merkmale häufig nicht zu erkennen, so dass auch für diese Zwecke der Einsatz molekularer Marker an Bedeutung gewinnt.

Neben der Länge der amplifizierten Fragmente müssen DNA-Marker noch anderen Kriterien genügen, um eine Art mit hoher Sicherheit identifizieren zu können:

- Sie müssen einfach und verlässlich bei diversen Pflanzenarten mit den gleichen (universellen) Primern vervielfältigt werden können.
- Sie sollten pflanzenspezifisch sein.
- Es müssen möglichst viele Vergleichsdaten (DNA-Sequenzen) in öffentlich zugänglichen Datenbanken verfügbar sein (EMBL, NCBI, „BARCODE of life“, [www.barcoding.si.edu](http://www.barcoding.si.edu)).
- Sie müssen zwischen Arten stark diskriminieren, aber innerhalb der Arten wenig Variation zeigen.
- Sie sollten nicht in multiplen Kopien im Genom vorliegen.

Es gibt keine Marker bei Pflanzen, welche allen diesen Kriterien vollständig genügen. Häufig bietet sich die ITS (*Internal Transcribed Spacer*, ITS1, ITS 2)-Region (Baldwin et al. 1995) der ribosomalen Kern-DNA zur Art-erkennung an, da sie für phylogenetische Untersuchungen bei Pflanzen der am häufigsten sequenzierte Bereich des Genoms ist. Außerdem gibt es für die ITS-Region universelle, pflanzenspezifische Primer. Zudem ist der amplifizierte Bereich nicht zu lang und zeigt eine hohe Divergenz zwischen den Arten. Nachteile sind das Vorhandensein multipler Kopien im Genom und die relativ geringe Divergenz bei evolutionär jungen Arten (z. B. bei Inselarten). Aufgrund seiner hohen Variation zwischen Arten ist die *trnH-psbA*-Spacer-Region der cpDNA (ca. 450 bp), die mit Hilfe von universellen Primern bei den meisten Pflanzen amplifiziert werden kann

(Kress et al. 2005), für die Erkennung der Art ebenfalls geeignet. Ferner ist durch Kombination mehrerer cpSSR-Marker die Artidentifikation mit Hilfe von Vergleichsproben in vielen Fällen möglich. Es wäre wünschenswert, Vergleichsdatenbanken für solche spezifischen, kurzen DNA-Bereiche zu erstellen, um die Arterkennung auch für schlecht erhaltene Pflanzenproben mit degradiertem DNA anhand von Vergleichssequenzen zu ermöglichen.

### **16.2.3 Individuelle Genotypisierung**

Für viele forensische Anwendungen reicht die Bestimmung der botanischen Art eines Pflanzenrests nicht aus. Es soll dann oft die Möglichkeit der genetischen Identität des interessierenden Pflanzenteils mit einer Vergleichsprobe überprüft werden. Zu diesem Zweck eignen sich insbesondere hochvariable Marker wie Mikrosatelliten des Zellkerns (SSRs). Je größer die Zahl untersuchter Marker, desto geringer wird die Wahrscheinlichkeit der zufälligen Übereinstimmung der untersuchten Probe mit dem Vergleichsmaterial an allen Markern. Die Vorgehensweise bei der Genotypisierung bei Pflanzen entspricht damit prinzipiell der Untersuchung hochvariabler Marker beim Menschen, sofern entsprechende Marker zur Verfügung stehen. Ist dies nicht der Fall, so können anonyme Marker (RAPDs; AFLPs) zur Genotypisierung herangezogen werden.

## **16.3 Pflanzen als Zeugen – Pflanzenreste zur Klärung von Tathergängen**

Molekulare Analysen von Pflanzenresten, die beispielsweise an der Kleidung von Tätern, Opfern und anderen Beweisstücken gefunden werden, liefern wichtige Hinweise, um Tathergänge zu rekonstruieren oder eine verdächtige Person mit einem vermeintlichen Tatort oder einer größeren Region in Verbindung zu bringen (Miller Coyle et al. 2001). Als „stumme Zeugen“ können solche Pflanzenreste somit dazu beitragen, Alibis zu stützen oder zu widerlegen.

### **16.3.1 Genotypisierung von Individuen**

#### **Fallbeispiel 1:**

Der genetische Fingerabdruck von Pflanzenmaterial wurde als „Zeuge der Anklage“ erstmals 1992 in Amerika gerichtlich akzeptiert und zur Auf-

klärung eines Mordes (im Maricopa County, Arizona) eingesetzt (Yoon 1993). Unter einer Gruppe von 12 Palo-verde-Bäumen (*Cercidium microphyllum*), die hauptsächlich in der Sonora-Wüste im Südwesten der USA und in Nord-Mexiko vorkommen, wurde eine Frauenleiche gefunden. In der Nähe dieser Leiche wurde auch ein Mobilfunkempfänger gefunden, der hauptsächlich vom Tatverdächtigen benutzt wurde. Bei der Untersuchung des Fahrzeuges des Verdächtigen konnten zwei Samenkapseln eines Palo-verde-Baumes gefunden werden. Nun sollte festgestellt werden, ob diese Samen einem der Bäume, in deren Nähe die Frauenleiche gefunden wurde, zugeordnet werden können. Dr. Helentjaris von der University of Arizona benutzte für die DNA-Analyse dieser Samen und der Bäume RAPD-Marker. Neben der DNA der Bäume am Tatort wurde auch die DNA von weiteren 19 zufällig in verschiedenen Teilen von Maricopa County beprobten Palo-verde-Bäumen als Vergleichsprobe analysiert. Mit den benutzten 7 Primern konnten alle Bäume eindeutig bestimmt und die Samen aus den Samenkapseln einem der Bäume am Tatort zugeordnet werden. Palo-verde-Bäume werden hauptsächlich fremdbefruchtet, so dass der Beitrag des Pollenelters zu den Samen unbekannt ist, aber die Amplifizierungsprodukte des Samenelters finden sich in den Samen wieder. Die Chance einer zufälligen Übereinstimmung wurde von Helentjaris mit 1 zu einer Million eingestuft. Der Verdächtige gab zwar zu, die Frau als Anhalterin mitgenommen zu haben, sagte aber aus, niemals am Tatort gewesen zu sein. Diese Aussage wurde durch die molekulare Untersuchung der Pflanzensamen wenig glaubhaft.

### **Fallbeispiel 2:**

In Norwegen wurde die Analyse der Chloroplasten (cp) DNA von Kiefernadeln (*Pinus sylvestris*) als Beweismittel in einem Mordfall herangezogen. Nördlich von Oslo wurden 1999 in einem Bauernhaus drei Menschen erschossen aufgefunden. Es wurden drei verdächtige Personen festgenommen; bei einer dieser Personen fand man eine Kiefernadel in der Socke. Die cpDNA-Analyse der Kiefernadel sollte klären, ob diese Nadel von einem der 42 Bäume in der Nähe des Bauernhauses stammen kann. Zum Zeitpunkt der Gerichtsverhandlung konnte nur gezeigt werden, dass die Kiefernadel in der Socke zumindest nicht von 36 der 42 Bäume stammte. Für die Analyse der restlichen 6 Bäume wurde kein eindeutiges Ergebnis erzielt. Trotzdem wurde die verdächtige Person verurteilt.

## **16.3.2**

### **Identifizierung von Arten und Populationen**

Ebenso wie die Identifizierung einzelner Individuen kann auch die Zuordnung von Pflanzen oder Pflanzenresten zu ihren Arten oder Populationen,

die ein großflächiges Gebiet einnehmen, hilfreich sein. In Abhängigkeit von den verwendeten genetischen Markern ist hier mitunter ein großer Untersuchungsaufwand notwendig, um die Variation auf Populationsebene zu bestimmen, und so einen Hinweis auf den eigentlichen Herkunftsort der Pflanzenprobe zu erhalten.

### Fallbeispiel 3:

Bei einem Tötungsdelikt in Finnland wurden verschiedene Moosreste an den Schuhen verdächtiger Personen gefunden. Die DNA dieser Moosreste wurden mit RAPD- und SSR-Markern untersucht (Korpelainen u. Virtanen 2003). Die Moosreste konnten drei verschiedenen Arten zugeordnet werden: *Brachythecium albicans*, *Calliargonella lindbergii* und *Ceratodon purpureus*. Alle drei Arten wurden auch als natürliche Kolonien am Tatort gefunden. Neben den Proben, die bei den Verdächtigen gefunden wurden, untersuchte man auch Pflanzenproben vom Tatort und Proben aus anderen Gebieten. Für *B. albicans* und *C. lindbergii*, die bei den Verdächtigen gefunden wurden, ließ sich zeigen, dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Tatort stammten.

### Fallbeispiel 4:

Mehrere Bäume in einem Garten wurden von einem Unbekannten angesägt und schwer geschädigt. Tatverdächtig war ein Nachbar, gegen den eine Untersuchung wegen Sachbeschädigung eingeleitet wurde. In dessen Haus wurde eine Säge mit anhaftenden Holzresten und kleinen Bruchstücken von Ästen sichergestellt. Diese wurden im Labor der Autoren untersucht. Durch Sequenzierung der *trnL*F-Region der cpDNA (Abb. 16.1) konnte gezeigt werden, dass die Holzreste ganz sicher nicht von einem der angesägten Bäume stammen, die den Arten *Picea breweriana* (Mähnenfichte), *Sorbus aucuparia* Edulis (Mährische Eberesche), *Quercus robur* (Stieleiche), *Betula pendula* (Sandbirke), *Acer pseudoplatanus* (Bergahorn) und *Carpinus betulus* (Hainbuche) angehören. Die Sequenz zeigte dagegen hohe Homologie zu einer Art der Gattung *Thuja* (Lebensbaum). Vermutlich stammen die Holzreste damit von einer *Thuja*-Hecke auf dem Grundstück des Nachbarn. Der Beschuldigte wurde durch die Untersuchung also entlastet.

## 16.4

### Pflanzen als Täter – Schäden durch Pflanzen

Schäden können beispielsweise durch herab fallende Äste oder durch in Abwasserleitungen eindringende Wurzeln (<http://www.baumwurzeln.de/Schadenbilder.html>) verursacht werden. Dabei ist der Eigentümer der den





Abb. 16.2. Teil einer Baumwurzel, die zur Verstopfung eines Abflussrohres geführt hat

Schaden verursachenden Pflanze grundsätzlich zur Beseitigung des Schadens und gegebenenfalls zum Schadensersatz verpflichtet. Nicht immer ist es offensichtlich, von welchem Baum eine Wurzel stammt, die Schaden verursacht. In den meisten Fällen gibt es aber eine begründete Vermutung, zu welchem Baum die entsprechende Probe gehört. Es stehen also eine Probe (Wurzel, Ast), die den Schaden verursacht hat, und eine oder mehrere Vergleichsproben zur Verfügung. Die zu klärende Frage lautet demnach: Kann die Probe (Wurzel oder Ast) zu einem der „verdächtigten Bäume“ (Vergleichsproben) gehören, sind also beide Proben genetisch identisch?

Eine ähnliche Frage stellt sich, wenn kleinere Mengen einer Drogenprobe (z. B. Marihuana) bei einem Verdächtigen gefunden werden und eine Verbindung zu einer größeren Menge beschlagnahmter Ware oder illegal angebaute Pflanzen hergestellt werden soll. Diese Nachweismöglichkeit besteht insbesondere bei klonal vermehrten Marihuana-Kultivaren. Da alle Klone identische DNA-Muster aufweisen, lässt sich dann der Ursprung des Pflanzenmaterials auf eine gemeinsame genetische Linie zurückverfolgen.

#### Fallbeispiel 5:

Die Verstopfung eines Abwasserrohres durch eine Baumwurzel (Abb. 16.2) verursachte die Überflutung einer Wohnung und richtete damit einen erheblichen Schaden an. Es wurden je eine Blattprobe von zwei in der Nähe wachsenden Bäumen (Weiden; *Salix* spp.) und zusätzlich drei Wurzelproben im Labor der Autoren mit Hilfe von cpSSR-Markern (*ccmp2*, *ccmp4*, *ccmp6*) untersucht. Die Wurzeln konnten von keinem anderen Baum als den beiden Weiden stammen. Alle drei Wurzelproben zeigten den gleichen genetischen Fingerabdruck und stammen demnach vermutlich von einem Baum. Das Muster stimmte mit Blatt 1, nicht aber mit Blatt 2 überein

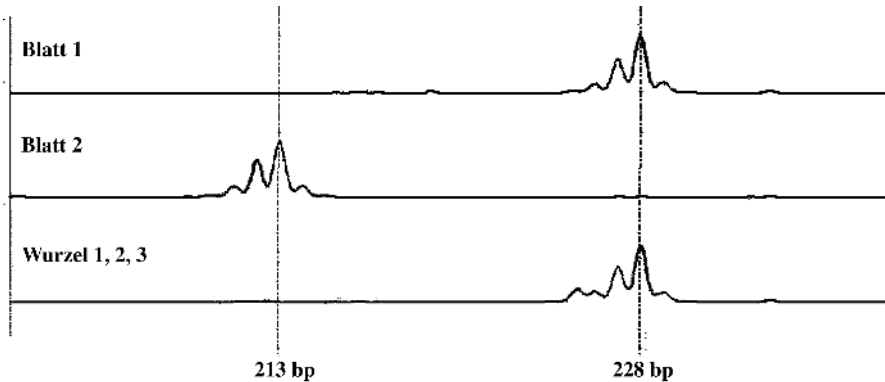


Abb. 16.3. Mit dem Chloroplastenmarker *ccmp2* erzeugter „Fingerabdruck“ von DNA aus Blättern zweier Bäume und Wurzeln, die zur Verstopfung eines Abflussrohres führten

(Abb. 16.3). Es konnte demnach sicher ausgeschlossen werden, dass die Wurzelproben von dem Baum stammen, von dem Blatt 2 als Referenzprobe gewonnen wurde. Da Blatt 1 und die Wurzelproben einen identischen genetischen Fingerabdruck an allen Markern haben, ist die Annahme plausibel, dass sie vom gleichen Baum stammen.

## 16.5

### Pflanzen als Opfer –

### Illegaler Raubbau bei Tropenhölzern als Beispiel

Viele Aktivitäten des Menschen, die zu einer Zerstörung naturnaher Lebensräume und zur Beeinträchtigung von Tier- und Pflanzenarten führen, sind illegal. Die in diesem Zusammenhang von Pfeiffer (Kap. 15) dargestellten molekularbiologischen Ansätze zur Identifikation von Tierarten lassen sich selbstverständlich grundsätzlich auch auf Pflanzen übertragen. Die Bestimmung der Zugehörigkeit von Pflanzenmaterial zu bestimmten geschützten Arten (Kap. 16.2.3) mittels molekularer Methoden ist insbesondere für den nationalen und internationalen Handel mit entsprechenden Produkten von erheblicher Bedeutung.

Der Handel mit illegal gewonnenen Pflanzen und ihren Produkten beschränkt sich jedoch nicht nur auf geschützte Arten. So stammt beispielsweise noch immer ein beachtlicher Teil des international gehandelten Holzes aus nicht-nachhaltiger Waldbewirtschaftung. Insbesondere in den Tropen stellen der Einschlag und der Handel mit Holz aus „Raubbau“ den Regelfall dar. Dies verstößt dabei gegen internationale Abkommen wie die Biodiversitäts-Konvention und gegen nationales Recht. Unter diesem Aspekt kommt molekularen Methoden, welche die Erkennung des



Ursprungs von Tropenholz zum Ziel haben, auch forensische Bedeutung zu. Entsprechende Verfahren können helfen, den illegalen Einschlag und den Handel mit illegal geerntetem Holz erkennbar zu machen und damit Gesetzesverstöße insbesondere in Erzeugerländern von Tropenholz aufzudecken.

Molekulargenetische Methoden, welche die Erkennung des Ursprungs von Tropenholz zum Ziel haben, werden gegenwärtig für die wichtige Baumfamilie der Dipterocarpaceen entwickelt (Finkeldey et al. 2007). Die Dipterocarpaceen bestimmen mit über 400 Arten zahlreiche tropische Wälder Südostasiens und stellen eine wichtige Gruppe international gehandelter Tropenhölzer (Handelsname z. B. Meranti) dar. Illegaler Holzeinschlag ist ein gravierendes Problem in fast allen Ländern Südost-Asiens und insbesondere in Indonesien. Die Handelswege des illegal geernteten Holzes und der daraus gewonnenen Produkte sind kaum nachvollziehbar; das Holz gelangt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem erheblichen Anteil in den internationalen Handel.

Aussagen und Dokumente über den Ursprung von Dipterocarpaceen-Holz und -Holzprodukten sollen mit molekulargenetischen Methoden überprüfbar gemacht werden. Zu diesem Zweck wurden zunächst Methoden zur Extraktion von DNA aus Holz entwickelt. Erfahrungen mit der Extraktion von DNA aus dem Holz von Baumarten der gemäßigten Zone liegen vor (Deguilloux et al. 2002, Deguilloux et al. 2003). Auch aus dem Holz von Dipterocarpaceen kann DNA extrahiert und anschließend amplifiziert werden (Rachmayanti et al. 2006). Der Erfolg der Amplifikation der mehr oder weniger stark degradierten DNA ist dabei negativ mit der Länge der Fragmente korreliert.

Parallel wurden molekulare Methoden zur Artunterscheidung auf der Basis von Variation der cpDNA etabliert (Indrioko et al. 2006). Da viele Arten der Dipterocarpaceen endemisch sind, also in nur kleinen Verbreitungsgebieten auftreten, ermöglicht bereits die Erkennung der botanischen Art mittels molekularer Methoden Aussagen über den möglichen Ursprungsort von Holz. Methoden zur Unterscheidung räumlich weit getrennter Vorkommen z. B. auf verschiedenen Inseln Indonesiens wurden für weit verbreitete Arten wie *Shorea leprosula* und *S. parvifolia* etabliert (Cao et al. 2006).

Die Anwendung molekulargenetischer Verfahren für Zwecke der Überprüfung der Holzherkunft erfordert die Beobachtung von Variation zwischen Arten und verschiedenen Regionen innerhalb des Verbreitungsgebiets einer Art. Es werden daher künftig insbesondere Polymorphismen der cpDNA (vgl. Kap. 16.2) und stark differenzierende AFLP-Banden durch Sequenzierung und andere Methoden charakterisiert.

Die Erfahrungen hinsichtlich der Möglichkeiten der Extraktion von DNA aus Dipterocarpaceen-Holz und der Etablierung geeigneter Marker sollen

später genutzt werden, um auch bei anderen Arten tropischer Nutzhölzer ähnliche Analysemethoden zu etablieren, die gegen den illegalen Holzeinschlag und den Handel mit illegal geschlagenem Holz sowie daraus hergestellten Produkten eingesetzt werden können.

## 16.6

### Verstöße gegen besondere Rechtsvorschriften

#### 16.6.1

##### Patentrecht

Mit Hilfe von RAPD-Markern konnten in Italien Patentverstöße bei Erdbeeren aufgedeckt werden (Congiu et al. 2000). Die patentierte Erdbeer-Varietät „Marmolada“<sup>®</sup> zeichnet sich durch ihren hohen ökonomischen Wert aus. Sie ist kälteresistent und daher gut für den Anbau in entsprechenden Klimazonen geeignet; als Hydrokultur kann sie ganzjährig Erdbeeren produzieren. Ferner zeigt sie eine geringe Anfälligkeit gegenüber dem Pilz *Botrytis cinerea* (Grauschimmel). Auf einem Erdbeerfeld wurden etwa 1 Mio. Pflanzen entdeckt, die nach morphologischen Merkmalen der Varietät „Marmolada“<sup>®</sup> zugeordnet wurden, aber von den Eigentümern dieser Erdbeerplantage nicht als solche deklariert waren. Das zuständige Zivilgericht benötigte daher eine zweifelsfreie Identifizierung der Pflanzen. Mit Hilfe von 6 RAPD-Markern wurden 31 Pflanzen der Plantage sowie 31 Pflanzen einer Blindprobe („Marmolada“<sup>®</sup> sowie andere Varietäten, die durch das Gericht zur Verfügung gestellt wurden) untersucht. Die Plantagenpflanzen wurden als „Marmolada“<sup>®</sup> identifiziert und der exakte Anteil dieser Varietät (13 Pflanzen) in der Blindprobe konnte bestimmt werden.

#### 16.6.2

##### Betäubungsmittelgesetz

Die Erkennung von Kultivaren ist bei der Identifizierung des geographischen Ursprungs von beschlagnahmten Drogen wie Marihuana bedeutsam. Zudem können molekulare Marker zur Unterscheidung zwischen illegalen Marihuana-Kultivaren und Kultivaren des Faserhanfs genutzt werden und um Verbindungen zwischen Anbau und Vertrieb der Droge herzustellen. Allerdings konnte an SSR-Markern nur 6% der Gesamtvariation zwischen Faserhanf und Marihuana-Kultivaren gefunden werden (Gilmore et al. 2003). Mit Hilfe spezifischer diagnostischer AFLP-Marker konnte

eindeutig zwischen 3 Kultivaren des Faserhanfes und einem potentiellen Marihuana-Kultivar differenziert werden (Datwyler u. Weiblen 2006). Da nur eine Marihuana-Akzession mit vergleichsweise geringer genetischer Variation untersucht wurde, ist die Verwendungsmöglichkeit dieser AFLP-Marker zur Unterscheidung anderer Akzessionen allerdings fraglich. Diese und andere Ergebnisse deuten darauf hin, dass es sich bei Faser- und Marihuanahanf nicht um natürliche Einheiten handelt. Dennoch erscheint es vielversprechend, zwischen einzelnen Akzessionen oder Herkünften anhand von molekularen Markern zu unterscheiden. Über Variationsmuster an Chloroplastenmarkern, die in anderen Arten zwischen geografischen Herkünften die Unterscheidung ermöglichen, ist beim Hanf wenig bekannt. Eine Untersuchung von cpDNA könnte helfen, zwischen Akzessionen bzw. Herkünften zuverlässig zu differenzieren.

### 16.6.3

#### Lebensmittelgesetz

In den letzten Jahren sind eine Reihe von PCR-basierten Methoden zum Nachweis von Spuren „genetisch modifizierter Organismen“ (GMOs) in Lebensmitteln entwickelt worden. Das Prinzip dieser Methoden ist die PCR-Amplifikation regulatorischer Sequenzen, die häufig im Zuge der Transformation in genetisch modifizierte Pflanzen eingebracht werden. Dabei werden z. B. Primer für den 35S-Promotor des *Cauliflower Mosaic Virus* (CaMV) und der NOS-Terminator-Region von *Agrobacterium tumefaciens* verwendet. Die Menge an GMOs in Nahrungsmitteln kann mit QC-PCR (*Quantitative Competitive Polymerase Chain Reaction*) bestimmt werden (Studer et al. 1998).

Durch neue Regelungen der Europäischen Union bezüglich verpflichtender Schwellenwerte für die Deklaration von GMO-Lebensmitteln ist es notwendig, für die Quantifizierung der GMOs in Lebensmitteln zuverlässige Standards zu haben. Zertifiziertes Referenzmaterial für die unterschiedlichen Linien der GMOs ist wesentlich, um die Messverfahren zu kalibrieren. Derzeit ist zertifiziertes Referenzmaterial nur für die wenigen in der EU zugelassenen GMOs vorhanden (Mattarucchi et al. 2005). Die Akkreditierung von Laboren ist notwendig, um die Zuverlässigkeit der Detektion von GMOs zu verbessern (Zel et al. 2006).

### 16.6.4

#### Forstvermehrungsgutgesetz

Verschiedene Rechtsvorschriften im Bereich des Verbraucherschutzes haben erhebliche wirtschaftliche Bedeutung; sie haben daneben Auswirkun-

gen auf ökologischem und privatrechtlichem Gebiet. Diesbezügliche Bundesgesetze stellen Anpassungsgesetze entsprechender Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft dar. Im Rahmen einschlägiger Verordnungen des Bundes haben die Bundesländer weitere Verordnungen erlassen.

Die Verwendung ungeeigneten Vermehrungsguts hat in der Forstwirtschaft besonders unangenehme Auswirkungen, weil Ertragseinbußen hier anders als in der Landwirtschaft nicht im gleichen oder spätestens im Folgejahr, sondern erst nach vielen Jahren zutage treten. Nach schmerzlichen Erfahrungen mit der Verwendung ungeeigneten Forstsaatguts im 19. Jahrhundert darf forstliches Vermehrungsgut heute nur in Verkehr gebracht werden, wenn es von hierfür zugelassenem Ausgangsmaterial abstammt und gewissen Voraussetzungen der Deklaration entspricht.

Angesichts der überschaubaren Anzahl von Baumarten, die diesem Gesetz unterliegen, ist die Zugehörigkeit von Vermehrungsgut zu einer bestimmten botanischen Art heute vergleichsweise einfach nachzuprüfen. Schwierigkeiten zur Erkennung von Artunterschieden am Saatgut bestehen lediglich bei den Eichen (*Quercus robur* und *Q. petraea*), bei denen verschiedentlich Introgression nachgewiesen wurde.

Handelt es sich bei dem Ausgangsmaterial um einen Klon, lässt sich die genetische Identität in Verkehr gebrachter Klonteile mit der angegebenen Ausgangspflanze unschwer nachprüfen. Mit zunehmender Anzahl in ihrer Ausprägung übereinstimmender genetischer Marker (z. B. hochvariabler SSRs) wird die Entdeckung falsch deklarerter Klonteile immer wahrscheinlicher und der Anteil falsch deklarerter Klonteile lässt sich immer sicherer einschätzen. Handelt es sich um Klongemische, lassen sich an einer größeren Stichprobe die Zahl der Komponenten und ihre Mischungsanteile ermitteln; im Interesse genetischer Diversität des Gemisches müssen diese Mischungsanteile ausgewogen sein.

In den meisten Fällen ist diese Individualisierung jedoch weder sachdienlich noch möglich. Ist das Ausgangsmaterial etwa ein Bestand, so setzt sich das dort geerntete Saatgut in der Regel aus den Samen vieler Bäume zusammen. Das Vermehrungsgut ist ebenso wenig genetisch homogen wie der Erntebestand und die Übereinstimmung mit dem Ausgangsmaterial ist nicht mehr gegeben. Der Vergleich von Vermehrungsgut mit dem Ausgangsmaterial kann nur noch anhand der Häufigkeitsverteilungen genetischer Varianten geschehen. Dabei ist es gut möglich, dass sich nicht alle im Ausgangsmaterial vorhandenen Varianten auch im Vermehrungsgut wieder finden (wenn nämlich Saatgut nicht von allen Bäumen oder nur in bestimmten Bestandesteilen geerntet wurde). Auch das Auftreten im Ausgangsmaterial fehlender Varianten von Kerngenen im Vermehrungsgut ist nicht unbedingt Indiz für eine Verfälschung; denn solche Varianten können auf Eintrag effektiven Externpollens zurückgehen. Treten sie an nuklearen Markern allerdings homozygot auf, so muss Saatgut verfälscht

und gegen das Gesetz verstoßen worden sein. Da die ‚privaten‘, d. h. alternativ auftretenden oder fehlenden, Varianten im Allgemeinen selten sind, bedingt diese Untersuchung einen großen Stichprobenumfang. Bei Laubbäumen empfiehlt sich die Abstammungsuntersuchung anhand der cpDNA, die maternal vererbt wird. Im Falle von Koniferensaatgut empfiehlt sich die Analyse genetischer Polymorphismen in den Makrogametophyten.

Ein ganz eindeutiger Abstammungsnachweis ist in Auswirkung der komplexen Vorgänge bei der Reproduktion also nicht zu führen. Der mit solchen Methoden verbundene Aufwand ist hoch und setzt neben großem Umfang der Stichproben von Vermehrungsgut die intensive, in idealer Weise vollständige, Beprobung des Ausgangsmaterials voraus. Es gibt indessen Fälle, in denen das an Genmarkern beobachtete Ergebnis den Angaben in den Begleitpapieren so massiv widerspricht, dass von einem Gesetzesverstoß ausgegangen werden muss. Die Abstammung eines Postens Vermehrungsgut von einem Bestand gilt etwa dann als widerlegt, wenn im Bestand ganz überwiegend ein bestimmter maternal vererbter cpDNA Haplotyp auftritt, im Ausgangsmaterial aber ebenso überwiegend eine anderer.

## **16.7**

### **Diskussion**

Die vorangegangenen Fallbeispiele verdeutlichen die sehr unterschiedlichen Fragestellungen, Materialien und Methoden, die bei der molekularen Analyse von Pflanzenresten für forensische Anwendungen bedeutsam sind.

#### **16.7.1**

##### **Fragestellungen und Ziele von Untersuchungen**

Im Rahmen der Aufklärung von Kapitalverbrechen (Kap. 16.3) gilt es häufig, die genetische Identität eines Pflanzenrestes mit Referenzmaterial zu überprüfen. Dies setzt eine möglichst genaue individuelle Genotypisierung des Materials voraus, die im Idealfall an zahlreichen höchstvariablen Genorten erfolgt (Kap. 16.2.3). In anderen Fällen ist es dagegen das Ziel der molekularen Analyse, die Zugehörigkeit des Materials zu bestimmten Gruppen von Pflanzen, beispielsweise zu einer Art, zu überprüfen (Kap. 16.2.2). Je nach Fragestellung sind unterschiedliche Marker anzuwenden oder zu etablieren.

## 16.7.2

### Material

Das für molekulare Analysen nutzbare Material enthält DNA der Zielpflanze, welche in für eine Amplifikation mittels PCR hinreichender Quantität und Qualität zu extrahieren ist. Die Zellwand stellt grundsätzlich eine Struktur dar, die aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften und ihrer Inhaltsstoffe die Extraktion von pflanzlicher DNA im Vergleich zu tierlichen Geweben erschwert (Csaikl et al. 1998). Je nach Art, Alter und Zustand des zur Verfügung stehenden Gewebes für eine Analyse ist die DNA mehr oder weniger stark degradiert und mit Fremd-DNA anderer Organismen kontaminiert. Zudem werden sehr kleine Gewebeproben durch einen oder wenige Versuche, DNA zu extrahieren, zerstört, so dass sie als Beweismittel ausfallen, ohne dass vorab ein gerichtsverwertbares Ergebnis der molekularen Untersuchung zugesichert werden kann. Die Qualität des Gewebes bestimmt nicht nur die jeweils geeignete Extraktionsmethode, sondern schränkt auch die Anwendung bestimmter Markersysteme ein. So ist beispielsweise der Einsatz anonymer Marker (AFLPs, RAPDs) bei stark pilzlich infiziertem Gewebe kaum sinnvoll. Die Untersuchung langer DNA-Fragmente scheidet offensichtlich aus, wenn bereits stark degradierte DNA vorliegt.

## 16.7.3

### Methoden

Die hohe Artendiversität bei Pflanzen schränkt die Wahl der Marker für konkrete Fälle stark ein. Viele Marker, insbesondere die höchst variablen, für individuelle Genotypisierungen besonders geeigneten, Mikrosatelliten (SSRs; Kap. 16.2.1) stehen nicht für alle Pflanzenarten zur Verfügung. Insbesondere aus diesem Grund werden universelle Markertypen, die bei allen Pflanzenarten genutzt werden können (AFLPs, RFLPs, Variation der cpDNA) zumindest mittelfristig ihre Bedeutung auch bei forensischen Fragestellungen behalten.

Nach erfolgreicher Etablierung eines Markersystems ist dieses für forensische Anwendungen nur eingeschränkt nutzbar, solange die Häufigkeitsverteilungen von Typen (Allele oder Genotypen) innerhalb der jeweils relevanten Kollektive oder entsprechende Differenzierungsmuster zwischen diesen nicht oder nur unzureichend genau bestimmt sind. Um präzise Wahrscheinlichkeiten dafür berechnen zu können, dass zwei (Multilocus-) Genotypen zufallsmäßig identisch sind, obwohl sie nicht vom gleichen Individuum stammen, müssen allelische oder genotypische Strukturen (Häufigkeitsvektoren der Allele oder Genotypen) an den einzelnen Genorten in der entsprechenden Population bekannt sein. Dies ist bei Pflanzen

jedoch nur ausnahmsweise der Fall. Die Situation wird durch eine in der Regel von der Zufällsmäßigkeit abweichende räumliche Verteilung von ortsunbeweglichen Pflanzen nicht nur zwischen, sondern auch innerhalb von Populationen zusätzlich kompliziert (Epperson 1989). Während also ein sicherer Nachweis der Unterschiedlichkeit der Genotypen einer Probe (z. B. Blattrest an Kleidung eines Verdächtigen) von einer Referenz (z. B. Baum am Tatort) möglich ist, stößt die Berechnung von präzisen Wahrscheinlichkeiten für eine zufällsmäßige Identität von Proben bei Pflanzen auf erhebliche Schwierigkeiten. Der letztgenannte Fall stellt ein offensichtliches Problem für gerichtsverwertbare Ergebnisse molekularer Analysen von Pflanzenteilen dar.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine molekulare Analyse von Pflanzenteilen bereits heute für forensische Zwecke in vielen Fällen möglich ist, dass aber gegenwärtig die Festlegung von allgemeinverbindlichen Standards für damit befasste Labore an der dargestellten Vielzahl von Fragestellungen, Untersuchungsmaterialien und Methoden scheitert. In vielen Fällen können aufgrund einer molekularen Analyse von Pflanzenresten gerichtsverwertbare Aussagen getroffen werden, deren Beweiskraft aber häufig geringer ist als bei der Untersuchung menschlicher DNA. Es bedarf also einer auf den jeweiligen konkreten Fall bezogenen Prüfung, ob entsprechende Untersuchungen an Pflanzenresten aussichtsreich sind und wie diese durchgeführt werden können.

## Literatur

- Austerlitz F, Mariette S, Machon N, Gouyon P-H, Godelle B (2000) Effects of colonization processes on genetic diversity: differences between annual plants and tree species. *Genetics* 154:1309–1321
- Baldwin BG, Sanderson MJ, Porter JM, Wojciechowski MF, Campbell CS, Donoghue MJ (1995) The ITS region of nuclear ribosomal DNA – a valuable source of evidence on angiosperm phylogeny. *Ann Mo Bot Gard* 82:247–277
- Cao CP, Finkeldey R, Siregar I, Siregar U, Gailing O (2006) Genetic diversity within and among populations of *Shorea leprosula* Miq. and *Shorea parvifolia* Dyer (Dipterocarpaceae) in Indonesia detected by AFLPs. *Tree Genetics and Genomes* 2(4):225–239
- Congiu L, Chicca M, Cella R, Rossi R, Bernacchia G (2000) The use of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers to identify strawberry varieties: a forensic application. *Mol Ecol* 9:229–232
- Csaikl UM, Bastian H, Brettschneider R, Gauch S, Meir A, Schauerte M, Scholz F, Sperisen C, Vornam B, Ziegenhagen B (1998) Comparative analysis of different DNA extraction protocols: a fast, universal maxi-preparation of high quality plant DNA for genetic evaluation and phylogenetic studies. *Plant Mol Biol Rep* 16:69–86
- Datwyler SL, Weiblen GD (2006) Genetic variation in hemp (*Cannabis sativa* L.) according to amplified fragment length polymorphisms. *J Forensic Sci* 51:371–375
- Deguilloux M-F, Pemonge M-H, Petit RJ (2002) Novel perspectives in wood certification and forensics: dry wood as a source of DNA. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 269:1039–1046

- Deguilloux M-F, Pemonge M-H, Bertel L, Kremer A, Petit RJ (2003) Checking the geographical origin of oak wood: molecular and statistical tools. *Mol Ecol* 12:1629–1636
- Ennos RA (1994) Estimating the relative rates of pollen and seed migration among plant populations. *Heredity* 72:250–259
- Epperson BK (1989) Spatial patterns of genetic variation within plant populations. In: Brown AHD, Clegg MT, Kahler AL, Weir BS (eds) *Plant population genetics, breeding, and genetic resources*, pp 229–253. Sinauer, Sunderland
- Finkeldey R, Rachmayanti Y, Gailing O (2007) Molecular genetic tools for the identification of the origin of wood. In: Kües U (ed) *Wood production, wood technology and biotechnological impacts*, pp 125–140. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen
- Gilmore S, Peakall R, Robertson J (2003) Short tandem repeat (STR) DNA markers are hypervariable and informative in *Cannabis sativa*: implications for forensic investigations. *Forensic Sci Int* 131:65–74
- Indrioko S, Gailing O, Finkeldey R (2006) Molecular phylogeny of Dipterocarpaceae in Indonesia based on chloroplast DNA. *Plant Syst and Evol* 261:99–115
- Korpelainen H, Virtanen V (2003) DNA fingerprinting of mosses. *J Forensic Sci* 48:804–807
- Kress WJ, Wurdack KJ, Zimmer EA, Weigt LA, Janzen DH (2005) Use of DNA barcodes to identify flowering plants. *Proc Natl Acad Sci USA* 102:8369–8374
- Lefort F, Echt C, Streiff R, Vendramin GG (1999) Microsatellite sequences: a new generation of molecular markers for forest genetics. *Forest Genetics* 6:15–20
- Li Y-C, Korol AB, Fahima T, Beiles A, Nevo E (2002) Microsatellites: genomic distribution, putative functions and mutational mechanisms: a review. *Mol Ecol* 11:2453–2465
- Mattarucchi E, Weighardt F, Barbati C, Querci M, Van den Eede G (2005) Development and applications of real-time PCR standards for GMO quantification based on tandem marker plasmids. *Eur Food Res Technol* 221:511–519
- McCauley DE (1995) The use of chloroplast DNA polymorphism in studies of gene flow in plants. *Trends Ecol Evol* 10:198–202
- Miller Coyle HM, Ladd C, Palmbach T, Lee HC (2001) The green revolution: Botanical contributions to forensics and drug enforcement. *Croat Med J* 42:340–345
- Neale DB, Sederoff RR (1989) Paternal inheritance of chloroplast DNA and maternal inheritance of mitochondrial DNA in loblolly pine. *Theor Appl Genet* 77:212–216
- Nei M (1973) Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proc Natl Acad Sci USA* 70:3321–3323
- Newbury HJ, Ford-Lloyd BV (1993) The use of RAPD for assessing variation in plants. *Plant Growth Regul* 12:43–51
- Pandey M, Gailing O, Fischer D, Hattmer HH, Finkeldey R (2004) Characterization of microsatellite markers in sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.). *Mol Ecol Notes* 4:253–255
- Rabouam C, Comes AM, Bretagnolle V, Humbert J-F, Periquets G, Bigot Y (1999) Features of DNA fragments obtained by random amplified polymorphic DNA (RAPD) assays. *Mol Ecol* 8:493–503
- Rachmayanti Y, Leinemann L, Gailing O, Finkeldey R (2006) Extraction, amplification, and characterization of wood DNA from Dipterocarpaceae. *Plant Molecular Biology Reporter* 24:45–55
- Studer E, Rhyner C, Luthy J, Hubner P (1998) Quantitative competitive PCR for the detection of genetically modified soybean and maize. *Food Res and Technol* 207:207–213
- Vendramin GG, Lelli L, Rossi P, Morgante M (1996) A set of primers for the amplification of 20 chloroplast microsatellites in Pinaceae. *Mol Ecol* 5:585–598
- Vos P, Hogers R, Bleeker M, Reijans M, van de Lee T, Hornes M, Frijters A, Pot J, Peleman J, Kuiper M, Zabeau M (1995) AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res* 23:4407–4414



- Weising K, Gardner RC (1999) A set of conserved PCR primers for the analysis of simple sequence repeat polymorphisms in chloroplast genomes of dicotyledonous angiosperms. *Genome* 42:9–19
- Weising K, Nybom H, Wolff K, Kahl G (2005) DNA fingerprinting in plants. Principles, methods, and applications. Taylor & Francis, Boca Raton
- Yoon CK (1993) Botanical witness for the prosecution. *Science* 260:894–895
- Zane L, Bargelloni L, Patarnello T (2002) Strategies for microsatellite isolation: a review. *Mol Ecol* 11:1–16
- Zel J, Cankar K, Ravnikar M, Canmloh M, Gruden K (2006) Accreditation of GMO detection laboratories: improving the reliability of GMO detection. *Accreditation and Quality Assurance* 10:531–536

# 17 Biometrische Verfahren

Rainer Herrmann

Es gibt viele verschiedene biometrische Verfahren, deren vollständige Darstellung hier nicht möglich ist. Während sich die Verfahren grundsätzlich in der Verwendung der verschiedenen biometrischen Merkmale unterscheiden, bestehen darüber hinaus auch große Unterschiede zwischen den verfügbaren konkreten biometrischen Systemen und Produkten.

Unter den Rubriken Fingerabdruck-, Gesichts- und Iriserkennung werden diese Verfahren in ihrer grundsätzlichen Funktionsweise beschrieben. Diese sind die gegenwärtig am meisten diskutierten Verfahren. Die Ausführungen basieren im Wesentlichen auf Informationen des Bundeskriminalamtes und des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik.

## 17.1 Einleitung

Biometrische Methoden haben in den letzten Jahren einen enormen Aufschwung erlebt. Auf der einen Seite ist der technologische Fortschritt zu nennen, der rasche Messungen von biologischen Merkmalen und deren Auswertung mit vertretbarem Aufwand und hoher Qualität erlaubt.

Auf der anderen Seite steht das ungelöste Problem aller Sicherheitskonzepte: Wie verbindet man Identitäten und die dazugehörigen Rechte mit den richtigen physischen Personen, die der Identität entsprechen?

In der globalisierten Informationsgesellschaft ist die Lösung des Problems von zentraler Wichtigkeit. Der Einsatz von Biometrie ist dabei ein vielversprechender Ansatz.

Der Begriff Biometrie leitet sich aus den griechischen Worten **bios** für Leben und **metron** für Maß ab.

Die klassische Biometrie befasst sich mit der Anwendung statistischer Methoden in Human- und Veterinärmedizin, in Land- und Forstwirtschaft, in der Biologie sowie in verwandten Wissenschaftsgebieten. Der Begriff Biometrie wird daher oft als Synonym für Biostatistik verwendet.

---

Rainer Herrmann: Landeskriminalamt Niedersachsen,  
Abteilung Kriminalwissenschaft und -technik, Schützenstraße 25, 30161 Hannover  
E-Mail: rainer.herrmann@polizei.niedersachsen.de

Die neuere Biometrie befasst sich insbesondere mit Merkmalen von Menschen. Aus einzelnen oder einer Kombination von biometrischen Daten wird auf eine Person geschlossen. Diese kann sich authentifizieren oder sie wird identifiziert.

Etymologisch ist Biometrie die Technik der Erkennung einer Person anhand persönlicher Charakteristika.

Die Biometrie (auch Biometrik) beschäftigt sich mit der Vermessung quantitativer Merkmale von Lebewesen. Hierzu werden statistische Verfahren angewendet.

Oft sind zur Bearbeitung große Datenmengen erforderlich, die erst mit speziellen Techniken der Informationstechnologie beherrschbar werden.

Als biometrische Merkmale werden u. a. verwendet:

- Fingerabdruck,
- Gesichtserkennung,
- Augen-Iris- oder Retina-Merkmale,
- Stimme und/oder Sprachverhalten,
- Handschrift,
- Tippverhalten auf Tastaturen,
- Stimmprofil/Lippen,
- Verhalten des Menschen, Füße (Gang),
- Handgeometrie/Handlinienstruktur,
- Geruch,
- DNA (mobiler DNA-Test).

### 17.1.1

#### **Begriffsbestimmungen**

Zum allgemeinen Verständnis biometrischer Verfahren sind einige Begriffe vorab zu erklären:

Passive Erfassung	Erfassung im „Vorbeigehen“, z. B. Gesicht durch Kamera,
Aktive Erfassung	Erfassung durch Mitwirkung der Person, z. B. Fingerabdruck,
Statische Merkmale	anatomische Merkmale des Körpers, die sich im Laufe des Lebens nicht oder kaum verändern (Iris, genetische Information, Fingerabdruck usw.),

Dynamische Merkmale	Verhaltensmerkmale eines Menschen (Handschrift, Stimme, Gangart usw.),
Verifikation	Bestätigung der Identität. Bei der Verifikation gibt der Anwender dem biometrischen System seine Identität vorab bekannt und das System muss das biometrische Merkmal dann nur noch mit dem einen zur User-ID passenden Referenzmerkmal vergleichen (1:1 Vergleich),
Identifikation	Feststellung der Identität. Bei der Identifikation wird das biometrische Merkmal mit allen im biometrischen System gespeicherten Referenzmerkmalen verglichen (1:n-Vergleich),
Biometrisches System	Ein System zur biometrischen Erkennung von Personen. Es erfasst die biometrischen Daten einer Person und vergleicht sie mit vorher erfassten Referenzdaten mit dem Ziel, die Identität dieser Person festzustellen (Identifikation ) oder die behauptete Identität zu bestätigen oder zu widerlegen, d. h. sie zu akzeptieren oder zurückzuweisen (Verifikation).

## 17.1.2

### Historische Entwicklung

In den vergangenen Jahrhunderten wurden Menschen in unterschiedlicher Art und Weise authentisiert. Archäologische Funde belegen, dass der Fingerabdruck als eine Form der Identifikation schon früh bei den Assyrern eingesetzt wurde, die Tonvasen mit dem Fingerabdruck des Töpfers kennzeichneten. In der Tang-Dynastie (618–906) wurden die ersten Fingerdrücke verwendet, um Verträge zu authentifizieren. Zur Zeit der Pharaonen wurde die Körpergröße einer Person zum Nachweis seiner Berechtigung verwendet.

Die Vermessung des Menschen zu Identifikationszwecken wird vor allem im Bereich der Strafverfolgung schon lange angewendet. 1858 erfolgten erste Vorschläge zur Nutzung des Fingerabdrucks in der Kriminalistik. Im gleichen Jahr wurde erstmals der Fingerabdruck in einem Distrikt im britischen Indien durch Sir William Herschel angewendet, um Verträge mit Handelsreisenden zu authentifizieren. 1879 entwickelte Alphonse Bertillon ein Messsystem, das bereits das grundsätzliche Ziel der Identifikation durch physiologische Merkmale verfolgte.

Darauf beruhend wurde die Methode bei der Polizei auf der ganzen Welt zu Beginn des 20. Jahrhunderts eingeführt. 1892 fand Sir Francis

Galton, Statistiker und Cousin von Darwin, als Erster heraus, dass der Fingerabdruck einzigartig für jedes Individuum ist und sich prinzipiell während des ganzen Lebens nicht ändert. 1897 wurden die ersten Straftäter durch New Scotland Yard mittels Fingerabdrucks identifiziert. Ein System des Fingerabdrucks wurde von 1901 an eingesetzt und 1903 offiziell in Deutschland eingeführt. Demnach ist die Daktyloskopie in Europa etwa seit der Wende zum 20. Jahrhundert in Gebrauch.

Eine Automatisierung erfolgte hingegen erst später im Laufe des 20. Jahrhunderts. In den sechziger Jahren begannen Arbeiten an der automatisierten Fingerabdruckererkennung auch im nicht-forensischen Bereich für Hochsicherheitssysteme. In den siebziger Jahren folgten Entwicklungen von Handgeometrieerkennungssystemen. Mitte der achtziger Jahre wurden Verfahren zur Erkennung von Retina und Iris entwickelt. Ende der achtziger wurde das erste Verfahren zur Iriserkennung durch John Daugman patentiert. Auf der Grundlage neuronaler Netze werden biometrische Systeme seit etwa 1995 angewendet. Von 1994–1996 erfolgte der erste Wettbewerb von Gesichtserkennungsverfahren, ausgeschrieben und veranstaltet vom US-amerikanischen Verteidigungsministerium. Daraufhin entstand die erste Kommerzialisierungswelle biometrischer Systeme, an die sich die Entwicklung des Marktwettbewerbs entsprechender Produkte anschloss.

## 17.2

### Ablauf einer biometrischen Erkennung

#### 17.2.1

##### Fingerabdruck

Eine der ersten biometrischen Eigenschaften, die entdeckt und wissenschaftlich untersucht wurden, war der Fingerabdruck. Die Oberfläche der Leistenhaut von Menschen und von den meisten Säugetieren weist Muster auf, deren Mannigfaltigkeit schier unendlich zu sein scheint (vgl. Kap. 5). So verlaufen die Papillarleisten der Leistenhaut auf den Fingern bei jedem Menschen unterschiedlich. Die Papillarleisten bilden verschiedene Muster (Schleife, Bogen, Wirbel), die in Verbindung mit den Unterbrechungen der Papillarleisten (Minuzien) von Finger zu Finger unterschiedlich sind. Die Fingerabdrücke wurden in der Kriminaltechnik schon Ende des 19. Jahrhunderts zur Identifikation von Personen herangezogen (Daktyloskopie).

Mit dem technologischen Fortschritt erlangt die Frage nach der Sicherheit an Bedeutung. Die biometrische Auswertung der Fingerabdrücke bei Zutrittskontrollen spielt dabei eine zunehmend wichtige Rolle.

In der IT-gestützten, automatisierten Form ist das digitale Fingerabdruckverfahren ein biometrisches Verfahren mit hoher Erkennungslei-

stung. Für die Erfassung des Fingerabdrucks bei automatischer Fingerabdruckererkennung werden spezielle Sensoren optischer, kapazitiver (Halbleiter), thermischer oder direkt-optischer Technologie verwendet. Ultraschall-Sensoren, die den akustischen Widerstand der Haut, der über Kanten und Furchen differiert, messen, befinden sich noch in der Erprobungsphase.

Unabhängig von der Art der Erfassung des Fingerabdrucks steht dem Verfahren stets ein Graustufenbild des Fingers, der Fingerabdruck, zur Verfügung. Dieses Bild wird weiterverarbeitet, um mit dem verbesserten Bild korrekte Matching-Ergebnisse erzielen zu können. Schritte der Bildverarbeitung sind etwa Verminderung des Bildrauschens, Verbesserung des Bildes und Detektion der Merkmale. Die Extrahierung der charakteristischen Kennzeichen aus dem Bild kann anhand unterschiedlicher Methoden erfolgen. Es können entweder das gesamte Bild (*Global Pattern Matching*), relevante Teile daraus oder die Minuzien nach Art, Lage und Richtung erfasst werden. Der Vergleich dieser gemessenen charakteristischen Kennzeichen mit den gespeicherten Sollwerten zeigt, ob die Abdrücke vom gleichen Finger und somit von genau einer Person stammen.

Im Kontext des Begriffes „Identifikation mittels Fingerabdruckes“ werden die Fingerabdrücke allgemein als Menschenfingerabdrücke ausgenommen. Eine Identifikation kann funktionell nach den folgenden drei grundlegenden Aufgaben aufgeteilt werden:

- Fingerabdruckabtastung,
- Fingerabdruckklassifizierung,
- Fingerabdruckvergleich.

Man erhält als Farbdruck oder mittels eines Sensors Fingerabdrücke, welche die Papillarlinien auf einem Medium (Glas, Papier, Sensoroberfläche usw.) hinterlassen. Die Klassifizierung ordnet den Fingerabdruck optional in eine bestimmte Kategorie nach der globalen Orientierung der Papillarlinien ein und markiert die Lage der Minuzien. Beim Vergleich wird bestimmt, ob zwei Fingerabdrücke identisch sind, also zum gleichen Urheber (Finger) gehören.

Der gesamte Prozess der Fingerabdruckanalyse (Vergleich von Merkmalen) kann schematisch in **sechs Schritten** dargestellt werden:

- **Abtastung des Fingerabdruckbildes**

Die Qualität des aufgenommenen Bildes ist für die automatische Identifikation entscheidend. Es ist wünschenswert, einen hochwertigen Scanner zur Erfassung der Fingerabdrücke einzusetzen, der verschiedene Hauttypen, Beschädigungen, Trockenheit oder Feuchtigkeit der Fingeroberfläche tolerieren kann.

- **Bildqualitätsverbesserung**

Damit wird eine optische Verbesserung der Strukturen (Papillarlinien) auf dem abgetasteten Bild erreicht.

- **Bildaufarbeitung**

Es handelt sich um die Vorbereitungsphase zur Merkmalsextraktion und zur Klassifizierung.

- **Musterklassifizierung**

Es zeigt sich, dass alle Fingerabdrücke gewisse globale Ähnlichkeiten aufweisen und eine grobe Einordnung in drei Hauptfingerklassen erlauben. Die Klassifizierung ist allerdings ein schwieriger Prozess sowohl für eine algorithmus-gestützte Entscheidung als auch für eine menschengesteuerte, weil manche Fingerabdrücke nicht eindeutig in eine konkrete Fingerklasse einzuordnen sind. Die Musterklassifizierung ist heutzutage nur in den daktyloskopischen Systemen im Einsatz (z. B. AFIS des BKA). In den Zutrittssystemen wird dieses Verfahren in der Regel nicht verwendet.

- **Merkmalsextraktion**

In diesem Schritt wird die Lage der Minuzien (Gabelung und Linienendung) in dem Fingerabdruck detektiert und extrahiert. In der Praxis weisen die aufgenommenen Fingerabdruckbilder eine unterschiedliche Qualität auf. Die Leistungsfähigkeit der Algorithmen wird durch mangelnde Bildqualität beeinträchtigt.

- **Verifikationsphase**

Es handelt sich um den Vergleich von zwei Merkmalvektoren.

Die Leistungsfähigkeit des Algorithmus für den Merkmalsvergleich hängt stark von der Güte (Signifikanz) der extrahierten Minuzien und dem Vergleichsprozess an.

In Abhängigkeit davon, ob der Prozess der Abtastung *on-line* oder *off-line* verläuft, kann der Fingerabdruck entweder

- Farbdruck auf z. B. Papier oder
- die Aufnahme des lebenden Fingers mittels eines Sensors

sein.

Beim **Farbdruck** wird das Bild der Papillarlinien durch Abrollen des mit Farbe (Tinte) benetzten Fingers auf einer Unterlage z. B. Papier erhalten. Ein Muster solcher gerollten Fingerabdrücke wird in der Abb. 5.1 gegeben. Durch das gleichmäßige Abrollen des Fingers von der einen Nagelseite zur anderen wird garantiert, dass die gesamte Linieninformation abgebildet wird. Anschließend können diese Abdrücke durch einen Scanner oder Kamera elektronisch aufgenommen werden.

In der Daktyloskopie wird diese Methode schon seit gut 100 Jahren benutzt. Durch die vollständige „Rundum-Aufnahme“ des Fingers werden neben einer höheren Anzahl von Papillarlinien und Minuzien auch die „Makromerkmale“ (Delta + Kern) aufgenommen, die zwar in jedem Papillarlinienmuster enthalten sind (nur beim Muster „Bogen“ gibt es kein Delta), aber nicht immer abgedruckt werden müssen.

Ein Nachteil dieser Methode ist die mögliche Verzerrung, die im Aufdrücken und Rollen des Fingers begründet ist. Ferner ist auch die Rückkopplung für eine Qualitätskontrolle nicht möglich, was zur Qualitätsverschlechterung der Fingerabdrücke führen kann. Aus der Sicht des Benutzers ist diese Methode unangenehm und langsam. Für ein teilautomatisiertes Zutrittskontrollsystem ist sie ungeeignet.

Der **Lebendabdruck eines Fingers** ist ein umfassender Terminus für Abbildungen, die mit einem geeigneten Sensor unmittelbar von dem aufgelegten Finger erworben werden. Es gibt eine große Anzahl von verschiedenen Methoden, die für die Abtastung der Papillarlinien verwendet werden können. Hierzu gehören:

- optische Sensoren,
- E-Feld-Sensoren,
- polymere TFT Sensoren (TFT – *Thin Film Transistor*),
- thermische Sensoren,
- kapazitive Sensoren,
- kontaktlose 3D-Sensoren,
- Ultraschallsensoren.

Als einen biometrischen Sensor bezeichnet man die Hardware-Komponente eines biometrischen Systems, welche zunächst die biometrischen Messdaten liefert. Je nach verwendetem biometrischen Verfahren gibt es die unterschiedlichsten Arten von Sensoren: Die optischen Sensoren verwenden Licht zur Bilderfassung des Fingerabdruckes. Der E-Feld-Sensor misst die örtliche Variation des elektrischen Feldes, das auf dem Relief der Fingeroberfläche bei der Aussendung eines kleinen elektrischen Signals entsteht. Der polymere TFT Sensor misst das Licht, das beim Auflegen des Fingers in dem polymeren Substrat dort emittiert wird, wo eine Berührung stattfindet. Der thermische Sensor registriert das Wärmebild des aufgelegten Fingers. Bei dem kapazitiven Sensor bildet die Sensoroberfläche zusammen mit der Fingeroberfläche einen Kondensator, dessen Kapazität sich aufgrund des Hautreliefs (Rücken und Täler) ändert. Diese örtlichen Änderungen werden vermessen und repräsentieren den Fingerabdruck. Die oben vorgestellten Sensoren werden zusammen mit einem



datenverarbeitenden Modul als *on-line*-Systeme eingesetzt und ersetzen die *off-line*-Methode, bei der der Fingerabdruck z. B. auf Papier aufgenommen und anschließend digitalisiert wird. Die Qualität der Abdrücke ist stark von dem erreichten „Kontrast“ zwischen den Papillarlinien und den nebenliegenden Furchen abhängig. Da bei der *on-line*-Methode eine Rückkopplung zu dem bildverarbeitenden Algorithmus existiert, ist es relativ einfach, die Qualität der aufgenommenen Fingerabdrücke sofort zu kontrollieren.

Der Lebendabdruck wird gewöhnlich durch ein leichtes Auflegen des Fingers auf die Oberfläche des Sensors aufgenommen, Abrollen der Fingeroberfläche wie bei der daktyloskopischen Methode wird aufgrund der Benutzerfreundlichkeit nur im Kontext von AFIS-Systemen durchgeführt. Die Abtastung kann hier natürlich nur solche Papillarlinien erfassen, die im unmittelbaren Kontakt mit der Sensorfläche stehen. Der Lebendabdruck führt deshalb zur Aufnahme eines kleineren Ausschnittes der Fingeroberfläche im Vergleich zu einem gerollten Fingerabdruck und kann zusätzlich hierzu auch kleinere Bildverzerrungen aufweisen.

Die zur Zeit am weitesten verbreitete Technologie für den Lebendabdruck ist die optische. Wenn der Finger auf die Glasplatte (Prisma) des Sensors aufgelegt wird, stehen die Erhebungen der Papillarleisten im Kontakt mit dem Glas – die Vertiefungen dagegen nicht. Das Aufzeichnungsgerät besteht im Prinzip aus einer Lichtquelle (LED) und einer CCD-Kamera, die sich beide im Gerät auf der anderen Seite der Glasplatte befinden. Das Licht aus der LED beleuchtet das Glas unter einem bestimmten Winkel und das Photoelement empfängt das reflektierte Licht. Der Strahlungsgang ist so angeordnet, dass das auffallende Licht an den angedrückten Papillarlinien wie an einer verspiegelten Oberfläche gestreut wird und zurück in die CCD-Kamera fällt. Dort, wo die Furchen hinter der Glasplatte liegen, trifft das Licht hindurch, diese Stellen bleiben dunkel.

Die globale Musteranordnung der Papillarleisten in dem zentralen Bereich der Fingerbeere bildet eine spezifische Konfiguration, die schon zu einer groben systematischen Klassifizierung ausreicht. Zu einer Klassifizierung des Fingerabdruckes wird hier nur ein Teil des gesamten Abdruckes, genannt Musterbereich (*Pattern Area*), verwendet. Der Musterbereich wird als der innere Bereich definiert, der durch zwei Linien die Typenlinien (*Type Lines*) begrenzt ist. In diesem Zentralbereich des Fingerabdruckes sind die zwei singulären Punkte: das Delta (davon können mehrere vorhanden sein, beim Muster Bogen gibt es kein Delta) und der Kern enthalten.

Das Delta, manchmal auch die „äußere Grenze“ genannt, befindet sich meistens auf dem Rand des Fingerabdruckes. Als Delta wird ein Papillarlinienbild bezeichnet, das dem griechischen Großbuchstaben Delta ähnelt

(Abb. 5.1 b,c). Es wird aus zwei auseinander laufenden Papillarlinien oder aus einer sich gabelnden Papillarlinie und einer dritten aus einer anderen Richtung kommenden konvex verlaufenden Papillarlinie gebildet. Der Kern eines einzelnen Fingerabdruckes ist aufgrund der großen Variation in der Krümmung der inneren Linien recht schwer definierbar. Deshalb wählt man den Kern als einen spezifischen Punkt, an dem sich das Zentrum des zugehörigen Musters befände. Ein weiterer wichtiger, quantitativer Faktor in der Klassifizierung der Abdrücke ist die Linienzahl. Dies ist die Anzahl der Linien, welche die imaginäre Verbindung zwischen dem Kern und dem Delta berühren oder kreuzen. Aufgrund der großen Komplexität verschiedener Linienkonfigurationen ist eine eindeutige Bestimmung der Linienzahl oft schwer.

Anlehnend an die oben gegebenen Definitionen können Fingerabdruckkategorien folgendermaßen beschrieben werden:

Die **Schleife** (*Loop*, Abb. 5.1 b), hier treten eine oder mehrere Papillarlinien in den Zentralbereich ein, krümmen sich, berühren oder kreuzen die imaginäre Linie zwischen dem Delta und dem Kern und laufen zurück zu der selben Seite, von der sie gekommen sind. Es gibt drei maßgebende Eigenschaften für eine Klassifizierung als Schleife: mindestens eine geeignete gekrümmte Papillarlinie, das Delta, eine von null verschiedene Linienzahl.

Je nach der Orientierung der Linienkrümmung wird zwischen rechten (im Uhrzeigersinn) und linken (entgegen dem Uhrzeigersinn) Schleifen unterschieden. Etwa 60–65% der menschlichen Fingerabdrücke gehören zu dieser Kategorie.

Der **Wirbel** (*Whorl*, Abb. 5.1 c) besitzt mindestens zwei Deltas, im Kern verlaufen die Papillarlinien wirbelförmig. Diese Definition, obwohl sehr allgemein gefasst, drückt das Wesentliche dieser Kategorisierung aus. Wirbel können weiter nach Unterkategorien aufgeteilt werden: flacher Wirbel, Wirbel mit mittlerer Schräge, doppelter Wirbel und zufälliger Wirbel. Etwa 30–35% der Fingerabdrücke gehören zu dieser Kategorie.

Der **Bogen** (*Arch*, Abb. 5.1 a) ist ein recht spezieller Typ des Fingerabdruckes. Weniger als 5% der Fingerabdrücke gehören zu dieser Kategorie. Der Bogen kann nach zwei Kategorien aufgeteilt werden: flacher Bogen und gewölbter Bogen.

Bei dem flachen Bogen treten die Papillarlinien an der einen Seite ein, wellen sich mäßig und nahezu parallel in der Mitte und treten auf der anderen Seite aus. Bei dem Typ gewölbter Bogen ist die Wellung in der Mitte stärker, der Verlauf aller Linien ist nicht mehr parallel und ein Teil der Linien drückt scheinbar von unten.

Es liegt nahe, dass die Klassifizierung aufgrund der riesigen Variationsbreite der Fingerabdrücke immer ein großes Problem sowohl für Experten als auch für die automatischen Systeme bleiben wird. Die Zuordnung zu einer der Kategorien ist eine sehr komplexe Aufgabe. Ein Fachmann für

Daktyloskopie benötigt sehr viel Erfahrung, um verlässliche Arbeit leisten zu können.

Obwohl die Information über die Fingerabdruckkategorie und weitere globale Merkmale, wie die Anzahl und die Positionen der Zentren, der Deltas und Papillarlinien eine gewisse Unterscheidbarkeit der Fingerabdrücke ergeben kann, wird die wahre Individualität des Fingerabdruckes durch die anatomischen Merkmale der Papillarlinien (Minuzien) und durch ihre gegenseitige Orientierung festgelegt. Ihre vollständige Erfassung ist von den Bedingungen der Aufnahme des Abdruckes und der Fingerabdruckqualität abhängig. Die häufigsten Minuzien sind

- das Papillarlinienende (*Rigde Ending*),
- die Gabelung (*Rigde Bifurcation*).

Das Papillarlinienende definiert das Ende einer Linie. Die Gabelung ist als Punkt auf der Papillarlinie definiert, an dem sich die Linie in zwei Äste teilt. Die Minuzien sind allgemein stabil und robust hinsichtlich der Bedingungen während der Abtastung. Minuzien können durch ihren Typ, die x- und y-Koordinate in einem Koordinatensystem und durch Richtung charakterisiert werden.

Die verallgemeinerte Definition für die Übereinstimmung zweier Fingerabdrücke besteht aus vier Kriterien und lautet:

- eine Übereinstimmung der allgemeinen Musterkonfiguration,
- eine qualitative Übereinstimmung der Minuzien (qualitativer Faktor),
- der quantitative Faktor besagt, dass eine bestimmte Anzahl Minuzien gefunden sein muss (in Deutschland 12),
- gegenseitige Minuzienbeziehung, spezifiziert, dass korrespondierende Minuzien in gegenseitiger Beziehung sein müssen. In der Praxis wurde eine große Anzahl von komplexen Identifikationsprotokollen für den Fingerabdruckvergleich vorgeschlagen. Diese Protokolle sind aus der traditionellen daktyloskopischen Methodologie abgeleitet und geben eine exakte Vorgehensweise für das geschulte Fachpersonal vor.

Obwohl sich die verschiedenen Protokolle im Ablauf des Vergleiches und der Entscheidungsdefinition unterscheiden, die wesentlichen Schritte bleiben die gleichen. Typischerweise läuft der Prozess des Vergleiches als iterativer dreistufiger Prozess ab. Am schwierigsten zu vergleichen sind zwei Fingerabdrücke, die sich in ihrer Musterkonfiguration ähneln. Falls dagegen beide Fingerabdrücke aus der Sicht der Musterkonfiguration gänzlich verschieden sind, ist es unmöglich, dass diese Abdrücke vom selben Finger stammen.

Im nächsten Schritt werden die bedeutenden Minuzien (vgl. Abb. 5.2) gesucht, das Zentralgebiet gefunden und miteinander verglichen. Danach wird der entscheidende Vergleich der Minuzien durchgeführt, bei dem alle Minuzien in den Fingerabdrücken verglichen werden und eine Entscheidung aufgrund der identifizierten Paare und deren Konfiguration durchgeführt wird. Wegen der Variation der Fingerabdruckqualität sind nicht immer alle Punkte klar und mit einer gleichen Qualität definiert.

Die Experten nutzen hier ihre Erfahrung, mit der sie eine Entscheidung über eine Übereinstimmung treffen können. Einige Gabelungen z. B. können als Endungen der Papillarlinien identifiziert werden, falls die Fingerandruckskraft gering war. Es ist klar, dass die Erfahrung der Experten immer eine gewisse Schlüsselrolle beim Fingerabdruckvergleich spielt.

## 17.2.2

### Iris

Zwischen der Iris (Regenbogenhaut) und der Hornhaut des menschlichen Auges liegen komplexe band- und kammartige Bindegewebsstrukturen. Diese Strukturen sind bei jedem Menschen unterschiedlich. Sie unterscheiden sich selbst bei eineiigen Zwillingen. Außerdem verändern sie sich in einem gesunden Auge während eines Lebens wenig. Das mit einer herkömmlichen Kamera (z. B. einer CCD-Kamera) von außen aufgenommene Bild der Iris lässt diese Strukturen erkennen und eignet sich damit als eindeutiges Erkennungsmerkmal.

Bei Menschen mit dunkler Augenfärbung sind die Strukturen im sichtbaren Licht allerdings nur schwer zu erkennen. Biometrische Iriserkennungssysteme beleuchten daher die Iris aus einem Abstand von etwa einem Meter mit für das Auge nahezu unsichtbarem Licht im nahen Infrarotbereich. Dieses durchdringt den „Farbstoff“ des menschlichen Auges (Melanin) besser als sichtbares Licht. So kann eine Aufnahme der Irisstrukturen bei allen Menschen mit gesunden Augen angefertigt werden, ohne zu blenden. Aus den aufgenommenen Bildern wird mit speziell für diesen Zweck entwickelten mathematischen Methoden ein eindeutiger Datensatz gebildet, der als „Template“ für die biometrische Erkennung dient. Dies gilt nur dann nicht, wenn für den Erkennungsvorgang als Referenz zuvor das Originalbild der Iris aufgenommen wurde und dieses später mit einem aktuell aufgenommenen Originalbild der Iris wieder verglichen wird.

Die Idee, die Farbe der Iris als Erkennungsmerkmal zu benutzen, wurde bereits 1885 von Bertillon geäußert. Erstmals in dem James-Bond Film „Never say never again“ von 1983 wird ein Verfahren gezeigt, das sich als

Iriserkennung interpretieren lässt. Erst 1987 wird das in der Einleitung skizzierte Verfahren von Flom und Safir als amerikanisches Patent geschützt. Der erste einsatzfähige biometrische Algorithmus wurde Anfang der neunziger Jahre von John Daugmann entwickelt und patentiert. Inzwischen gibt es eine Vielzahl von Algorithmen zur Iriserkennung, allerdings gelangte aus patentrechtlichen Gründen bisher nur der von Daugman zur weltweiten Praxisanwendung. Die entsprechenden Patente galten in den USA noch bis Februar 2005 und in der EU bis Februar 2006.

Bevor ein Template aus einem Bild der Iris erzeugt werden kann, muss die Iris im Auge erkannt werden und offensichtliche Störungen, wie z. B. Reflektionen, Abschattungen und verdeckte Teile entfernt werden.

Im Gegensatz zu allen anderen biometrischen Merkmalen hat die Iris einen hohen Grad an Symmetrie, die Merkmale befinden sich in einem Kreissegment, das um die Pupille liegt.

Dies erleichtert die Erzeugung des Templates erheblich, da Verformungen der Iris (z. B. durch Kontraktion der Iris bei erhöhtem Lichteinfall) auf einfache Weise mathematisch korrigiert werden können. In einem ersten Schritt transformieren die meisten Verfahren einen Teil dieses Kreissegments in einen Streifen konstanter Breite.

Dieser Streifen wird mit mathematischen Verfahren bearbeitet und dann in eine Abfolge von Nullen und Einsen gewandelt.

Die Grundidee der Verfahren ist aber typischerweise die folgende:

Die Abbildung der Iris wird in eine endliche Anzahl von Rechtecken geteilt. Die Helligkeit in jedem dieser Rechtecke wird gemittelt, indem Variationen über sowohl sehr kleine als auch sehr große Regionen entfernt werden. Nun werden alle Rechtecke die heller als der Mittelwert insgesamt sind als „1“ und diejenigen die dunkler als der Mittelwert sind als „0“ in den Datensatz des Templates gesetzt. Die typische Größe von Iristemplates ist – je nach Verfahren – im Bereich einiger hundert Bytes.

Obwohl dies im Vergleich mit anderen biometrischen Verfahren wenig ist, ist die tatsächliche Information eines Iristemplates wesentlich kleiner (weniger als 200 bit).

Prinzipiell haben sowohl Iris- als auch Fingerabdruck eine hochkomplexe und relativ unveränderliche Struktur. Beide eignen sich damit besonders für Anwendungen in denen eine hohe Erkennungsleistung erforderlich ist.

Die Tatsache, dass für eine Fingerabdruckserkennung eine größere Kooperation des Teilnehmers erforderlich ist, kann, je nach Anwendung, ein Vor- oder Nachteil sein. Bei den zur Zeit verfügbaren Systemen ist allerdings auch für die Iriserkennung erhebliche Kooperation notwendig. Eine völlige Überwindungssicherheit ist z. Zt. bei keinem der beiden Verfahren gegeben, auch nicht in Anwendung unter menschlicher Beaufsichtigung.

### 17.2.3

## Gesichtserkennung

Bei der biometrischen Gesichtserkennung wird über eine Kamera das Gesicht einer Person aufgenommen und mit einem oder mehreren zuvor gespeicherten Gesichtsbildern verglichen. Dabei wird zunächst das Bild z. B. in einem PC digitalisiert. Die Erkennungssoftware lokalisiert sodann das Gesicht und berechnet seine charakteristischen Eigenschaften. Das Ergebnis dieser Berechnung, das Template, wird mit den Templates der gespeicherten Gesichtsbilder verglichen. Dies gilt nur dann nicht, wenn als Referenzbild das Originalbild verwendet wird, das für den Erkennungsvorgang gegen ein aktuelles Originalbild verglichen wird.

Es gibt unterschiedliche Ansätze der Gesichtserkennung, wobei alle gewisse Schlüsselemente verwenden. Bei den meisten Verfahren der Gesichtserkennung werden die charakteristischen Merkmale der Gesichtszüge anhand eines digitalisierten Bildes bestimmt. Verwendet werden vor allem solche Merkmale des Gesichts, die sich aufgrund der Mimik nicht ständig verändern, also obere Kanten der Augenhöhlen, die Gebiete um die Wangenknochen und die Seitenpartien des Mundes. Grundsätzlich erfolgt ein Vergleich der charakteristischen Gesichtsmerkmale mit den entsprechenden Referenzmerkmalen mittels klassischer Bildverarbeitungs- und Bildanalyseverfahren, wie etwa nach Lokalisierung der Augen die Berechnung der Gesichtsmerkmale anhand eines Gitternetzes, das über das Gesicht gelegt wird. Die Templategröße beträgt bis zu 1300 Bytes. Eine Sondergruppe der biometrischen Gesichtserkennung ist das Eigenface-Verfahren, das vor allem im Bereich der Personenidentifikation verwendet wird. Schließlich existieren erste (Forschungs-)Ansätze einer 3D-Gesichtserkennung.

Im Gegensatz zur automatisierten Fingerbildererkennung ist die IT-gestützte Gesichtserkennung eine vergleichsweise junge Wissenschaft. Während erstere auf die mehr als 100 Jahre alten Erkenntnissen der Daktyloskopie zurückgreifen kann, ist die Geschichte der biometrischen Gesichtserkennungsalgorithmen gerade einmal etwas mehr als 10 Jahre alt. Dabei wurde der Stand der Entwicklungen bereits frühzeitig und inzwischen relativ häufig durch Tests überprüft.

So testete zunächst das US-amerikanische „Department of Defense“ (DoD) in seinem „Face Recognition Technology program“ (FERET) 1994, 1995 und 1996 die damals noch sehr jungen Gesichtserkennungssysteme. In den Jahren 2000, 2002 erfolgte dann eine Neuauflage und Erweiterung der Tests unter dem Namen „Facial Recognition Vendor Test“ (FRVT). Im vergangenen Jahr startete das amerikanische „National Institute for Standardization (NIST) den „Facial Recognition Grand Challenge“ (FRGC), der wiederum die Testszenarien des FRVT erweitert. In Deutschland werden

Gesichtserkennungsalgorithmen seit dem Jahr 2002 durch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) im Rahmen der Projekte BIOFACE und BiOp I und II untersucht. Abgesehen davon wurden Gesichtserkennungssysteme in den vergangenen Jahren weltweit in zahlreichen Praxiserprobungen auf ihre Leistungsfähigkeit geprüft.

Inzwischen haben viele Systeme den Schritt von der technischen Versuchsversion in den echten Einsatz geschafft: Sie werden vorzugsweise als Zutrittskontrolle für Firmenmitarbeiter und Ausstellungsbesucher sowie als Zugangsüberwachung in Spielkasinos verwendet. Besonders vorteilhaft im Vergleich zu anderen biometrischen Verfahren ist der Einsatz von Gesichtserkennungssystemen vor allem deshalb, weil das Gesicht mit wenigen Ausnahmen öffentlich „zugänglich“ und einfach zu fotografieren ist, wobei man allerdings in Kauf nehmen muss, dass sich das Objekt „Gesicht“ dabei frei im Raum bewegen kann und die Bildverarbeitung dadurch schwieriger ist, als beispielsweise bei der Finger- oder Iriserkennung.

Ähnlich den meisten anderen biometrischen Verfahren ist die Gesichtserkennung bzw. der Gesichtsbildvergleich in mehrere Arbeitsschritte unterteilt. Dabei kann man die drei Hauptarbeitsschritte „Template erzeugen“, „Referenzdatensatz erzeugen“ und „Gesichtsbilder vergleichen“ unterscheiden.

Um den Vergleich zweier Gesichtsbilder möglichst einfach und schnell zu halten, werden zunächst die Merkmale eines Gesichts ermittelt und in Form eines Merkmalsdatensatzes, dem „Template“, gespeichert.

### **Erzeugung des Templates**

Die **Arbeitsschritte** beinhalten folgende Aktionen:

#### **1. Bild erfassen**

Das Bild des Gesichts einer Person wird mittels einer Kamera im aktuellen Umfeld aufgenommen („Life-Bild“) oder in Form eines Scans eines bereits vorhandenen Bildes der Person z. B. vom Zutrittsausweis o.Ä.

#### **2. Gesicht finden**

Der Bildbereich wird daraufhin untersucht, ob sich eine gesichtsähnliche Form vor dem Bildhintergrund abhebt.

#### **3. Gesicht gefunden?**

Wenn kein Gesicht (bzw. kein gesichtsähnlicher Bereich) gefunden werden konnte, wird die weitere Verarbeitung des Bildes abgebrochen: Das Bild ist für die Gesichtserkennung unbrauchbar.

#### **4. Augen lokalisieren**

Die Augen sind typischerweise im Vergleich zu Haut extrem dunkle Punkte in der oberen Hälfte des Bildes.

### 5. Weitere Gesichtsbereiche lokalisieren

Von der Augenposition aus werden alle weiteren typischen Punkte des Gesichts (Nase, Mund-/Kinnpartie, äußerer Rand des Gesichts) gesucht. Das bedeutet: Wird die Augenposition nicht korrekt gefunden (z. B. bedingt durch eine extreme Seitenneigung des Gesichts oder Überschatung durch Hutkrempe o.Ä.), scheitert mitunter die Extraktion der Gesichtsmerkmale.

### 6. Gesicht normalisieren

Das Gesichtsbild wird durch Drehung und/oder Streckung bzw. Stauchung auf nahezu einheitliche Maße gebracht, so dass die Augenposition auf allen zu verarbeitenden Gesichtsbildern nahezu im gleichen Bildbereich liegt.

### 7. Merkmale extrahieren

Weitere Gesichtsmerkmale werden gesucht und je nach verwendetem Verfahren vermessen und ggf. zueinander in Bezug gesetzt.

### 8. Template erzeugen

Mittels einer mathematischen Formel werden die Merkmalsdaten codiert und komprimiert, so dass schließlich ein Merkmalsdatensatz von 1000 bis 1 300 Byte entsteht.

Im Bereich der Personenidentifikation wird das Template eines Lebensbildes (s. oben) immer mit den Templates aus einer Referenzdatenbank verglichen. Die Referenzdatenbank entsteht durch das „Einlernen“ („*Enrolment*“) von Gesichtsbildern in das Gesichtserkennungssystem.

Je nach Verfahren werden zur Erstellung des Referenztemplates auch mehrere Gesichtsbilder einer Person verwendet (z. B. indem aus einer Videosequenz mehrere Einzelbilder herangezogen werden), um z. B. veränderte Kopfhaltungen, Mundöffnungen o.Ä. zu berücksichtigen.

Um die Ähnlichkeit der Templates zweier Gesichtsbilder zu bestimmen, werden sie byteweise mittels eines mathematischen Algorithmus (z. B. in Form von Vektoroperationen) kombiniert. Die Höhe des mathematischen Resultats repräsentiert den Grad der Ähnlichkeit der Templates. Wenn das Resultat innerhalb gewisser Toleranzgrenzen liegt, werden die beiden Templates und damit die ihnen zugrunde liegenden Gesichtsbilder als identisch eingestuft.

## Verwendete Verfahren

Den verschiedenen Gesichtserkennungssystemen liegen unterschiedliche Verfahren aus dem Bereich der Mustererkennung bzw. deren Kombinationen zugrunde:



- **Template Matching**

Beim Template-Matching werden Gesichtsregionen vorgegeben (z. B. Augenpartie, Nasenpartie, Mundpartie), die im zu verarbeitenden Gesichtsbild gesucht werden. Daraufhin werden die grafischen Merkmale dieser Bereiche mathematisch mit denen der entsprechenden Bereiche des Referenzbildes kombiniert und daraus eine Ähnlichkeit der Bereiche berechnet.

- **Elastische Graphen**

Mittels einer grafischen Analyse des Bildes werden markante Stellen („Knoten“) im Gesicht (Augen, Nasenspitze, Kinnspitze, Haaransatz, Schläfen usw.) gesucht und über Linien zu einem Gittermodell verbunden. Mit Hilfe des Gittermodells eines normierten Gesichts wird das zu verarbeitende Gesichtsbild in eine Standardposition (frontale Ansicht) gedreht (Normalisierung). Beim Vergleich zweier Gesichtsbilder wird durch Verschiebung und/oder Steckung/Stauchung der Gittermodelle der Bilder versucht, diese aufeinander abzubilden. Die verbleibenden Unterschiede in der Lage gleichbedeutender Knoten der beiden Bilder (z. B. Nasenspitze, Augenpositionen) sind dabei das Maß für die Ähnlichkeit der beiden Gesichter.

- **Geometrische Merkmale**

Ähnlich zum Verfahren der Elastischen Graphen werden die markanten Stellen des Gesichts ermittelt. Ihre Lage, d. h. ihre jeweilige relative Position zueinander bildet dabei einen mathematischen Vektor. Zwischen diesem und dem des jeweiligen Referenzbildes kann dann im Vergleichsvorgang der Abstand, d. h. die Ähnlichkeit, bestimmt werden.

- **Eigenfaces**

Die Grundlage dieses Verfahrens ist eine Sammlung von sog. „Basisgesichtern“, die so kombiniert werden, dass sie dem zu verarbeitenden Bild (Referenz- oder Life-Bild) so ähnlich wie möglich sind. Die Koeffizienten, die zu der passendsten Kombination geführt haben, bilden schließlich das Template.

Die bisherigen Verfahren beruhen auf einem in der Regel zweidimensionalen Gesichtsbild. Dies führt dann zu Problemen beim Erkennungsvorgang, wenn die Position des Gesichts zur Kamera von einer Norm (z. B. Frontal) abweicht, da der Grad der Abweichung gar nicht oder nur annähernd ermittelt werden kann.

Mittels spezieller Kameras und Aufnahmetechnikern soll in zukünftigen Generationen daher ein dreidimensionales Gesichtsbild aufgenommen werden, so dass die Orientierung des Gesichts zweifelsfrei festgestellt werden und das Gesicht in eine normierte Position gedreht werden kann. Damit soll ausgeschlossen werden, dass signifikante Unterschiede beim

Vergleich zweier Gesichtsbilder nicht lediglich aufgrund unterschiedlicher Orientierung des Kopfes ein und derselben Person entstehen.

## 17.3 Fazit

Die Biometrie hält aber häufig nicht, was man sich von ihr verspricht. Wissenschaftliche Untersuchungen und Anwendungstests zeigen, dass sie oft nicht so zuverlässig funktioniert, wie es für ihren flächendeckenden Einsatz erforderlich wäre.

So arbeiten biometrische Verfahren nicht deterministisch, sondern basieren in aller Regel auf Algorithmen, die Wahrscheinlichkeitsaussagen treffen. Die mit dieser Technologie zusammenhängenden Fehlerraten können nicht wie in deterministischen Verfahren theoretisch berechnet werden, sondern müssen in sehr aufwändigen statistischen Untersuchungen ermittelt werden.

## Literatur

- Behrens M, Roth R (2001) Biometrische Identifikation: Grundlagen, Verfahren, Perspektiven. (= DuD Fachbeiträge). Vieweg, Braunschweig
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2001) 2001 – Odyssee im Cyberspace? Sicherheit im Internet! Tagungsband 7. Deutscher IT-Sicherheitskongress des BSI. SecuMedia, Ingelheim
- Bundeskriminalamt Neue Technologien. Informationsblätter BKA KI 2/ KI 21. Bundeskriminalamt, Wiesbaden
- Horster P (2004) Gesichtserkennung für den geplanten Einsatz in Lichtbildausweisen BioP I. D. A. CH Security Tagungsband
- Kung SY, Mak MW, Lin SH (2005) Biometric authentication: a machine learning approach. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River/NJ
- Vielhauer, C (2006) Biometric user authentication for IT security: from fundamentals to handwriting. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Yanushkevich S (2005) Biometric inverse problems. Taylor & Francis, Boca Raton

# 18 Isotopensignaturen von Bio- und Geo-Elementen in der Forensik

Susanne Rummel, Stefan Hölzl, Peter Horn

Die Grundlagen für Anwendungen von Isotopenverhältnissen der Bioelemente Wasser-, Kohlen-, Stick- und Sauerstoff sowie Schwefel (H, C, N, O, S), und der Geoelemente Strontium und Blei (Sr, Pb) in den forensischen und kriminalistischen Disziplinen werden anhand einer Fall-Kollage beschrieben und erläutert, welche auf tatsächlichen Befunden beruht. Diese umfassen im Wesentlichen Herkunftsbestimmungen unbekannter Toter und sächlicher Asservate. Da das Arbeitsgebiet der „Isotopenforensik“ neu ist, müssen in Zukunft noch weitere Grundlagen erarbeitet werden; auch darauf wird in dem Artikel eingegangen.

## 18.1 Einleitung – Grundlagen für Anwendungen der Isotopenmethoden

Chemische Elemente in natürlichen und technischen Kreisläufen, insbesondere Wasser-, Kohlen-, Stick-, und Sauerstoff sowie Schwefel, Strontium und Blei, welche aus Boden, Wasser und Luft bzw. über die Nahrung in Pflanzen und Lebewesen gelangen, zeigen zumeist von Ort zu Ort unterschiedliche Isotopenhäufigkeitsverhältnisse (im Folgenden abgekürzt: I.V.). Da diese zuweilen sehr spezifisch sind, kann man auch von Isotopensignaturen sprechen.

Isotope eines Elementes haben gleiche Kernladungszahlen  $Z$ , aber unterschiedliche Neutronenzahlen  $N$ . Jedes Isotop eines Elementes ist durch seine Atomzahl ( $A = Z + N$ ) gekennzeichnet; sie unterscheiden sich also nur durch ihre Massen, nicht aber chemisch, da der chemische Charakter eines Elementes durch  $Z$  bzw. durch die entsprechende Anzahl von Elektronen in der Atomhülle bestimmt ist. Die I.V. der Elemente in Pflanzen und Tieren einer Region entsprechen entweder direkt denen im Wachstumssubstrat bzw. der Nahrung (im Falle der schweren „Geo-Elemente“ Sr und Pb, welche aus Gesteinen und den darauf gebildeten Böden stammen) oder sie spiegeln zusätzlich physikalisch-chemische oder biologische

---

Susanne Rummel: Bayer. Staatssammlung für Paläontologie und Geologie, Richard-Wagner-Str. 10, 80333 München, E-Mail: susanne.rummel@iaag.geo.uni-muenchen.de

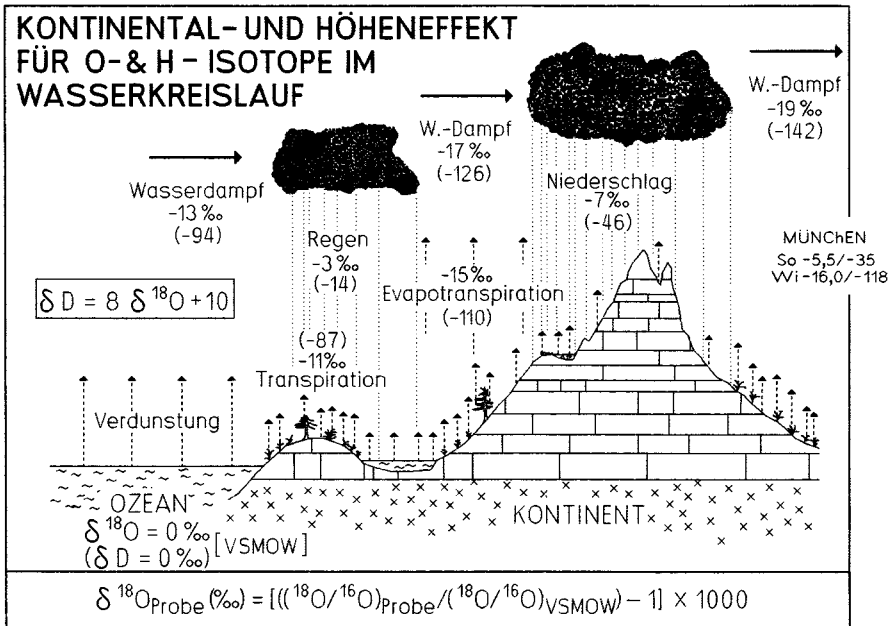
Prozesse wider, an denen sie beteiligt waren (letzteres gilt nur hinsichtlich der für Lebewesen essentiellen leichten „Bio-Elemente“ H, C, N, O und S). Isotopensignaturen in Geweben von Menschen lassen also Rückschlüsse auf die Wachstumsorte der Nahrung zu (Schöninger 1985, Sponheimer u. Lee-Thorpe 1999) – und implizit auch auf die Aufenthaltsregionen des Konsumenten.

Diese (und weitere) Elemente eignen sich deshalb als orts- und herkunftsspezifische Marker zur Ermittlung ihrer Verbreitungspfade bzw. für Herkunftsbestimmung organischer Gewebe und daraus hergestellter Lebensmittel oder sonstiger Produkte – und damit zur Bestimmung der Wohnregionen von Menschen. Die Isotopensignaturen chemischer Elemente sind für solche Zwecke sehr viel besser geeignete Marker als z. B. Elementkonzentrationen oder Elementverhältnisse. Der Grund dafür ist, dass sich Isotope eines gegebenen Elementes chemisch identisch verhalten, während die mannigfachen und sehr komplexen chemischen Vorgänge im Kreislauf der Elemente zu Elementfraktionierungen führen, welche sehr stark von Milieubedingungen (pH, eH, Konzentration, Temperatur, Lösungspartnern, usw.) abhängen.

### 18.1.1

#### **Ursachen für variable Isotopenhäufigkeitsverhältnisse der Bioelemente H, C, N, O, S**

Diese Elemente und ihre Verbindungen zeigen je nach Herkunft und Geschichte unterschiedliche I.V., da große relative Differenzen in den absoluten Isotopenmassen bestehen (z. B. D–H, Deuterium – Protium bzw.  $^2\text{H} - ^1\text{H} = 1,006175 \text{ u}$ , entsprechend +99, 836% bezogen auf  $^1\text{H}$ ; u = atomare Masseneinheit). Deshalb machen sich so genannte Kinetische- und Gleichgewichts-Isotopieeffekte bemerkbar. Diese führen – nicht selten beide gleichzeitig – zu prozessspezifischen Massenfraktionierungen. So verdunsten zum Beispiel Wassermoleküle mit den leichteren H- bzw. O-Isotopen aus einem offenen Reservoir schneller als solche mit höherem Molekulargewicht bzw. kondensieren schwerere Wassermoleküle früher aus Wolken usw. (s. Abb. 18.1). Oder es gehen, wie z. B. bei Isotopenaustauschvorgängen im Verlauf von chemischen Element- oder Molekülumsetzungen, die schwereren Isotope bevorzugt die stabileren der jeweils möglichen chemischen Bindungen ein bzw. verlassen leichtere Isotope chemische Reaktionspartner oder Verbindungen schneller. Bei Stoffwechselfvorgängen im Körper werden die I.V. der Bioelemente aus Nahrung und Getränken systematisch verändert (z. B. Schwarcz 1991), wobei die wesentlichen Einflussfaktoren bereits gut genug bekannt – und berechenbar sind (Trophiestufeneffekte, Bildung von Isotopomeren; u. a. Fronza et al. 2002, Schmidt 2003), um dar-



**Abb. 18.1.** H- und O-Isotope im Wasserkreislauf (erweitert, nach einer Darstellung von Siegenthaler 1979). I.V. dieser Elemente in Nahrung und Körpergeweben spiegeln klimatische Gegebenheiten am Wachstumsort der Nahrung wider (mittlere Jahrestemperatur, Niederschlagshäufigkeit und -intensität). Entsprechend unterliegen diese Isotopenparameter Kontinental-, Höhen- und Breiteneffekten (je weiter vom Meer und Äquator entfernt und je höher das Wassereinzugsgebiet gelegen ist, desto negativer die  $\delta$ -Werte)

aus die entsprechenden Rückschlüsse auf die Ernährungsweise und Umwelt der Konsumenten ziehen zu können.

## 18.1.2

### Ursachen für variable Isotopenhäufigkeitsverhältnisse der Geoelemente Sr und Pb

Diese schweren Elemente unterliegen zwar auch Isotopieffekten, aber die damit einhergehenden Massenfraktionierungen bzw. Veränderungen der I.V. sind wegen der kleinen relativen Massenunterschiede gering (z. B.  $^{87}\text{Sr} - ^{86}\text{Sr} = 0,999617 \text{ u}$ , entsprechend  $+1,1636\%$  bezogen auf  $^{86}\text{Sr}$ ). Strontium und Blei erfahren aber wesentliche Veränderungen ihrer I.V. durch – von äußeren Bedingungen praktisch unabhängigen – radioaktiven Zerfall der jeweiligen Mutternuklide (M) und damit einhergehendem Zuwachs an radiogenen Tochternukliden (T\* oder Trad.). So entsteht radiogenes  $^{87}\text{Sr}^*$  durch  $\beta$ -Zerfall des radioaktiven  $^{87}\text{Rb}$  bzw. damit verknüpfter Kernum-

wandlung,  $^{206}\text{Pb}^*$  und  $^{207}\text{Pb}^*$  aus alpha-Reihenzerfällen von  $^{238}\text{U}$  und  $^{235}\text{U}$ , und  $^{208}\text{Pb}^*$  aus  $^{232}\text{Th}$  (Elemente mit natürlichen radioaktiven Nukliden hatten und haben zu verschiedenen geologischen Zeiten und an verschiedenen Orten im Kosmos jeweils identische I.V., während die der Elemente mit radiogenem Nuklidzuwachs von ihrer jeweiligen Geschichte abhängen). Das Ausmaß dieses Zuwachses an Tochternukliden ist dabei eine Funktion des Alters eines Gesteins und der Konzentration des Mutternuklides:  $T^* = f(\text{conc. M, t})$ ; das Alter der Böden, welche in unseren Breiten in der Größenordnung von einigen -zig ka liegen ( $ka = 10^3$  Jahre), spielt angesichts der hohen Halbwertszeiten, d.h. niedrigen Zerfallsraten, der Mutternuklide keine Rolle ( $T_{1/2}$ :  $^{87}\text{Rb} = 48,8 \cdot 10^9$  a,  $^{238}\text{U} = 4,47 \cdot 10^9$  a,  $^{235}\text{U} = 0,704 \cdot 10^9$  a, und  $^{232}\text{Th} = 14,05 \cdot 10^9$  a).

Sr- und Pb-I.V. erfahren, wie oben bereits erwähnt, keine Veränderungen in der Nahrungskette oder in anderen Kreisläufen außer durch Zumischung von z. B. natürlichen und industriellen Aerosolen, Kunst- oder natürlichen Düngern bzw. Herbiziden (Horn et al. 2005). Die biologisch verfügbaren, also wasserlöslichen oder durch Pflanzen aktiv aus Bodenmineralen herausgelösten Anteile dieser Elemente und mit ihnen die I.V. gelangen isotopisch unverändert vom Gestein in die Böden, die Atmosphäre, Aerosole sowie Wasser und von dort nach den Gesetzmäßigkeiten der Homöostase in Gewebe von Pflanzen, Tieren und Menschen (Horn 2005).

### 18.1.3

#### Geogenes und anthropogenes Blei

Die Verwendbarkeit von Blei-I.V. als Herkunftsmarker in der Lebensmittelanalytik und Forensik stellt insofern ein besonderes Problem dar, als die weltweite Kontamination der Biosphäre mit Schwermetallen es sehr schwer macht, an indigene natürliche, anthropogen unkontaminierte, geogene bzw. pedogene Pb-Isotopensignaturen aus der Nahrung zu gelangen. So betrug noch 1970 der weltweite Jahresumsatz von Blei anthropogenen Ursprungs in der Atmosphäre ca. 425 000 Tonnen – gegenüber etwa 1 800 Tonnen natürlichen Bleis; dabei stammten ca. 80% des industriellen Bleis aus Antiklopfmitteln für Ottomotoren (Boutron et al. 1991). Anthropogenes Pb ist deshalb immer noch ubiquitär, d. h. es findet sich überall(!) in der Umwelt. Deshalb können I.V. dieses Bleis als Marker benutzt werden (z. B. Beyser et al. 2003). Anthropogene Kontaminationen mit Sr sind (noch) nicht allgegenwärtig.

Industrielles oder anthropogenes Blei eignet sich zur Unterscheidung möglicher Herkünfte vor allem deshalb, weil es derzeit häufig noch nationale Signaturen aufweist (bis zur Erreichung eines entropischen Endzustandes, welchem wir uns weltweit durch globalen Handel von Blei und

Bleiprodukten sukzessive annähern – vor allem aber durch die globale Kontamination der Atmo-, Pedo- und Hydrosphäre durch weltweiten Aerosoltransport!).

#### 18.1.4

### Isotopensignaturen menschlicher Gewebe und der globale Warenhandel

Ohne auf die erwähnten Isotopieeffekte oder Anreicherungen der Tochternuclide und ihre Auswirkungen auf die I.V. der verschiedenen essentiellen Elemente bzw. der schweren Spurenelemente in der Nahrung und in Nahrungsketten näher einzugehen, soll hier nochmals betont werden, dass mit den von Ort zu Ort variierenden I.V. in der natürlichen und technischen Umwelt hervorragende Marker vorliegen, welche sich schließlich als überaus unterschiedliche, spezifische und persistente I.V. in Körpergeweben von Menschen finden. Zwar führt der globale Warenhandel, insbesondere der mit Lebensmitteln dazu, dass die I.V. in Körpergeweben von Konsumenten sich weltweit mehr und mehr angleichen (z. B. Aberg et al. 1998), aber es gibt immer noch nationale und regionale Präferenzen für bestimmte, lokal erzeugte Nahrungsmittel und Getränke (mit zunehmender Tendenz) und auch Handelsbeziehungen unterliegen gewissen Traditionen. Deshalb sind I.V. in Geweben von Menschen weiterhin als nationale, regionale, lithologische, klimatische und geographische Marker empirisch verwendbar. Dabei wird angenommen, dass die über die Nahrung in Geweben archivierten isotopischen Informationen auch Hinweise auf die Aufenthaltsländer und -regionen der Menschen enthalten von denen die Gewebe stammen. Wenn jemand Ortswechsel und damit verbundenen möglichen Nahrungswechsel vornimmt, könnte es natürlich sein, dass sich die Regionen lithologisch und klimatisch nicht wesentlich voneinander unterscheiden und ein Ortswechsel unerkant bleibt. Da wir jedoch möglichst viele Isotopenparameter (H, C, N, S, Sr, Pb, zuweilen auch O und auch Konz.-Verhältnisse von Spurenelementen) nebeneinander zur Charakterisierung eines Gewebes oder Objektes benutzen, wäre es recht unwahrscheinlich, dass die I.V. aller Parameter an beiden Orten gleich sind.

Andererseits ist auch vorstellbar, dass jemand von einer vielbefahrenen Strasse, wo er oder sie verkehrsspezifischem Blei ausgesetzt ist, nur in den Hinterhof oder ein höheres Stockwerk verzieht, in dem die Bleibelastungen erfahrungsgemäß geringer sind. Dieses würde dann zu numerisch verschiedenen Pb-I.V. in später gewachsenen Geweben führen und könnte einen Ortswechsel vortäuschen. Um uns gegen solche Fehlinterpretation zu wappnen arbeiten wir mit regionalen Korrelationsgeraden (s. Kap. 18.4).

## **18.2 Anwendungen der Isotopensignaturen – der Fall eines unbekanntes Toten**

Wie der Ablauf eines Isotopengutachtens zu unbekanntes Toten vonstatten geht, soll im Folgenden geschildert werden. Dazu fassen wir verschiedene bisher von uns bearbeitete Fälle (z.B. Rauch et al. (im Druck)) zu einer Kollage zusammen, weil wir bisher noch nie alle zur Verfügung stehenden Isotopenparameter auf einen einzelnen Fall angewandt haben.

Auf Verfahren der Probenvorbereitung und massenspektrometrischer Analytik soll hier nicht eingegangen werden. Siehe dazu die Angaben in Horn (2005), Sieper et al. (2006), Heumann u. Vanhaecke (2004), Hölzl et al. (2004), Horn et al. (1997), Walczyk (2004).

### **18.2.1 Anfrage bzgl. eines Tötungsfalles zum Nachteil (z. N.) eines nichtidentifizierten toten Mannes**

Mitarbeiter einer Mordkommission und eines Gerichtsmedizinischen Institutes bearbeiten den Fall eines offensichtlich erschossenen Mannes (ein Geschoss aus dem Schädel ist sichergestellt und asserviert, s. unten), welcher am 28.02.2005 in einem am 5. Januar 2004 zugemauerten, schon vorher (seit unbekannter Zeit) trockenen und gut belüfteten Abwasserkanal einer Stadt in der Zentral-Eifel aufgefunden wurde. Eine Fundortbeschreibung mit Bildern liegt vor: der an den Handgelenken gefesselte Tote war in trockenem Abwasserschlamm vergraben und zufällig aufgefunden worden; vom Schlamm, jetzt ein feinkörniges, schwarzes Bodenmaterial, wurden Proben asserviert (s. unten). Er wurde also vor 2004 im Kanal vergraben und kann auch dann oder vorher ermordet worden sein. Ein genaues Jahr der Ermordung ist also nicht bekannt, liegt jedoch wohl vor dem Stilllegungszeitpunkt des Abwasser-Kanals (Jan. 2004).

#### **Fundumstände**

Der Tote war vollständig bekleidet, ohne Schuhe, ein Fuß war nackt, am anderen hatte er noch eine Socke in welcher sich „Sandspuren“ fanden, welche entweder aus dem Kanalschlamm selbst oder anderswoher stammen könnten. Der Verwesungsgrad des Toten war „erstaunlich gering“. Haare und Fingernägel sind gut erhalten. Auffällig an dem Toten sind seine langen Haare (19 cm) und die „gepflegten“ Finger- und Fußnägel.



**Begleitfunde (sächliche Funde/Asservate) in offensichtlichem oder fraglichem Zusammenhang mit dem Toten**

Kleider (herausgerissene Etiketten); 1 Socke; Geschoss aus dem Kopf des Toten (s. oben); ein 250 Dinar-Geldschein aus dem Irak in der Hosentasche, welcher, falls der Mann auch beraubt worden sein sollte, dem(n) Täter(n) wohl entgangen ist; Metalldraht mit Plastikummantelung (die Fessel); Plastiktüte mit Marmeladeglas (nach botan. Gutachten stark gezuckerte Erdbeermarmelade; die Tüte war zusammen mit dem Toten vergraben worden; ob sie bei der Vergrabung im Kanal zufällig in das Grab gelangte oder zu dem Toten gehörte, ist nicht ersichtlich); Bodenmaterial wurde genommen, um mögliche Sr- und Pb-Kontaminationen der Körpergewebe erkennen zu können, auf welche man dann korrigieren müsste.

**Rechtsmedizinische/anthropologische Befunde**

Laut rechtsmedizinischer Gutachten war der Mann zum Zeitpunkt seines Todes „gesund“, jedoch auffallend mager; er zeigte keine physiologischen Besonderheiten (keine Anzeichen von Alkoholismus, Rauschgiftsucht o. Ä. – er war kein Raucher; in den Bronchien fanden sich jedoch helle und dunkle, feinkörnige Substanzen). Kleinere Dentalarbeiten an einzelnen Zähnen ließen keine Merkmale erkennen, die bestimmten Ländern zuzuordnen sind. Sie deuten jedoch eher auf „westliche“ Verfahren und Materialien hin. Außer Fesselungsspuren an den Handgelenken und Schürfwunden, welche auf einen Kampf hindeuten könnten, war der Mann unverletzt. Die Liegezeit des Toten konnte nur ungenau bestimmt werden (max. 3 Jahre).

Das Alter des Mannes zum Zeitpunkt seines Todes wird mit  $48 \pm 3$  Jahren angegeben, wobei die relativ „junge“ Methode der Zahnzement-Annulation (Wittwer-Backofen 2004) für die Lebensaltersbestimmung angewandt wurde; diese scheint unter den zur Verfügung stehenden biologischen Verfahren die zuverlässigste und genaueste zu sein. Auf Knochen- und Zahnstatus beruhende Bestimmungen lagen um  $55 \pm 10$  Jahre.

Allerdings erlauben es jetzt sehr genaue Bomben- $^{14}\text{C}$ -Bestimmungen an Zahnschmelz mittels BMS (Beschleuniger-Massenspektrometrie), das Geburtsjahr und Lebensalter eines Menschen auf 1,6 Jahre genau zu bestimmen, also auch die Liegezeit nach dem Tode (Spalding et al. 2005). Diese Methode wurde in unserem Falle nicht angewandt.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Befunde wird hier als das Todesjahr 2003 angenommen. Fingerabdrücke konnten nicht abgenommen werden; DNA-Profile zur geographisch-genetischen Zuordnung an Knochenmaterial lassen annehmen, dass der Mann ein Europäer ist (angels. „Kaukasier“), sicher kein Afrikaner oder Asiate.

Eine Gesichtsrekonstruktion nach morphometrischen/morphognostischen Verfahren (BKA 2003) erlaubte es, ein detailreiches Phantombild zu

konstruieren (Wittwer-Backofen in BKA 2003). Nationale und internationale Recherchen mit dem AFIS-Datenbanksystem nach einem Gesuchten bzw. Vermissten mit oben genannten Merkmalen (Aussehen, DNA) blieben erfolglos.

### **Bitte um ein Isotopengutachten**

Bei diesem Stand der Dinge werden wir zuweilen mit der Anfrage in die Untersuchungen einbezogen, ob wir nicht nach isotopischen Hinweisen auf mögliche Aufenthaltsorte bzw. Lebensumstände der unbekanntenen Personen zu verschiedenen Lebzeiten suchen könnten: Herkunftsland des Toten, Wohnortwechsel, Lebensumstände zu verschiedenen, insbesondere tatzeitnahen Lebzeiten. Des Weiteren sollte im konkreten Fall ermittelt werden, woher das Geschoss, die Marmelade, die Fessel und der Sand in der Socke stammen könnten.

### **Vorschlag für zu untersuchende Gewebeprobe und sonstige Asservate**

Wie in derartigen Fällen üblich, wird jeweils eine Einschätzung, ein (gestufter) Untersuchungsplan (mit Anforderung der zu untersuchenden Gewebeteile und materiellen Asservate) sowie ein Kostenvoranschlag abgegeben. Im Falle des unbekanntenen Toten waren das die Proben, für die auch Ergebnisse in Tabelle 18.1 aufgelistet sind. Die zuständige Staatsanwaltschaft bewilligt dann die Mittel und erteilt einen formalen Auftrag für ein Isotopengutachten zur Beantwortung oben genannter Fragestellungen. Vereinbarung wird ein ständiger Kontakt zu den polizeilichen und forensischen Bearbeitern des Falles, so dass eventuell nicht alle berücksichtigten Gewebe auf alle Isotopenparameter hin untersucht werden müssen, sondern nach Vorliegen hinreichend guter Ergebnisse für eine schlüssige Interpretation und zur Vermeidung unnötiger Kosten die Untersuchungen jederzeit abgebrochen werden könnten.

## **18.3**

### **Untersuchte Gewebe des Mannes und fallrelevante Objekte (s. Tabelle 18.1)**

Da wir isotopische Informationen zu verschiedenen Lebenszeiten – und über die gesamte Lebenszeit des Toten – erhalten wollen, wählen wir zu möglichst unterschiedlichen Zeiten gebildete Gewebe aus bzw. solche, welche verschiedene Umbauraten aufweisen.

Tabelle 18.1. Isotopenwerte für Gewebe des Toten „Abwasserkanal Eifel“ und für sächliche Asservate

Gewebe oder Substanz	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
<b>Zähne***</b>								
Zahn 41* Krone	-101	-21.2	-	-13.9	-	0.70952	1.1421	2.413
Zahn 41 Wurzel	-104	-21.6	-	-14.2	-	0.70883	1.1427	2.416
Zahn 47* Krone	-103	-21.8	-	-14.1	-	0.70890	1.1417	2.410
Zahn 47 Wurzel	-114	-21.9	-	15.5	-	0.70931	1.1454	2.417
<b>Knochen***</b>								
Crista iliaca (spo)**	-	-	-	-	-	0.70884	1.1536	2.430
Kollagen	-64	-18.1	9.9	-	11.2	-	-	-
Rippen (com)	-	-	-	-	-	0.71902	1.1742	2.443
Kollagen	-71	-18.4	9.3	-	10.7	-	-	-
Wirbel (com)	-	-	-	-	-	0.71803	1.1769	2.442
Kollagen	-82	-18.7	7.6	-	10.5	-	-	-
Femur (com)	-	-	-	-	-	0.71406	1.1520	2.423
Kollagen	-89	-19.1	8.2	-	9.7	-	-	-
Schädel (com)	-	-	-	-	-	0.70947	1.1550	2.425
Kollagen	-93	-19.8	8.6	-	9.6	-	-	-

Tabelle 18.1. (Fortsetzung)

Gewebe oder Substanz	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
<b>Haare (cm; 0 = Wurzel)</b>								
0-1	-105	-20.1	7.5	-	6.8	0.70841	1.1188	2.413
1-2	-101	-21.0	8.8	-	5.6	0.70928	1.1312	2.418
2-3	-95	-20.9	8.6	-	5.8	0.70920	1.1367	2.418
3-4	-93	-20.2	8.4	-	6.2	0.70903	1.1370	2.418
4-5	-91	-21.0	8.0	-	7.6	0.70892	1.1381	2.424
5-6	-87	-20.8	6.2	-	8.2	0.70853	1.1454	2.429
6-8	-82	-20.4	6.5	-	8.4	0.70845	1.1613	2.436
8-10	-77	-20.1	9.4	-	8.6	0.70839	1.1686	2.441
10-12	-71	-19.6	9.7	-	10.6	0.70904	1.1699	2.444
12-14	-65	-19.1	9.6	-	11.4	0.71143	1.1788	2.446
14-16	-63	-17.8	10.2	-	12.2	0.71935	1.1884	2.452
16-17	-64	-19.0	10.5	-	11.8	0.72043	1.1925	2.453
17-18	-66	-17.8	10.4	-	12.1	0.72081	1.1952	2.454
18-19 (Spitzen)	-65	-18.3	10.6	-	12.3	0.71908	1.1983	2.458
Bronchien	-	-	-	-	-	0.71574	1.2104	2.479

Tabelle 18.1. (Fortsetzung)

Gewebe oder Substanz	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
<b>Sächliche Asservate</b>								
Socke (am Fuß)	-	-26.3	0.68	-	-	0.70806	1.1529	2.424
Socke (am Steinbruch)	-	-26.3	0.62	-	-	0.70809	1.1523	2.425
Sand in Socke	-	-	-	-	1.4	0.70364	1.2322	2.514
Boden (Kanal)	-	-	-	-	3.1	0.70570	1.1140	2.407
Geschoss (Blei)	-	-	-	-	-	-	1.1681	2.438
Fesseldraht (PVC)	-	-	-	-	-	0.72045	1.1322	2.456
Marmelade (Pulpe)	-	-24.7	4.99	-	4.2	0.70509	-	-
Gesamtzucker	-	-13.0	-	-	-	-	-	-
zuges. Zucker	-	-11.7	-	-	-	-	-	-
Geldschein (Dinar)	-	-25.1	-	25.7***	-	0.71448	-	-

\* 41 = Schneidezahn, \*47 = 2.Backenzahn, re. Unterkiefer; Abk.: com. = kompakta, spo. = spongiosa

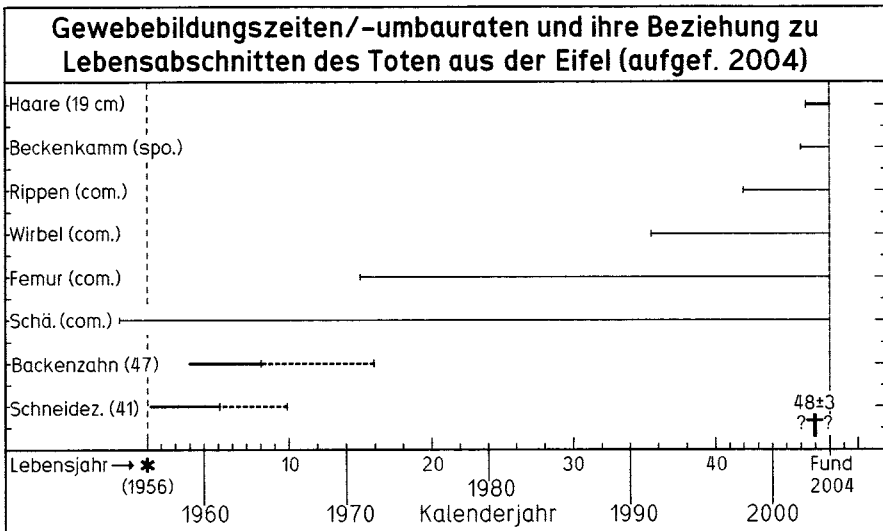
\*\* Cr. il. = Beckenkamm

Die Isotopenverhältnisse der Bioelemente H bis S sind in der  $\delta$ -Notation (in ‰) angegeben:  $\delta(\text{Probe}) = [(\text{I.V. Probe}/\text{I.V. Standard}) - 1] \times 1000$ , d. h. auf Abweichungen von intern. Standards, VSMOW ( $\delta^2\text{H}$ ), VPDB ( $\delta^{13}\text{C}$ ), ATM ( $\delta^{15}\text{N}$ ), CDT ( $\delta^{34}\text{S}$ ) bezogen. Unsicherheiten der Werte sind:  $\pm 1,5$  ( $\delta^2\text{H}$ ),  $< 0,2$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ),  $< 0,15$  ( $\delta^{15}\text{N}$ ),  $< 0,15$  ( $\delta^{34}\text{S}$ );  $2\sigma$ -Unsicherheiten der Sr- und Pb-I.V. sind  $\leq 50$  ppm bzw.  $\leq 500$  ppm; Sr- und Pb I.V. wurden auf Massenfraktionierung im Verlaufe der Messung korrigiert.

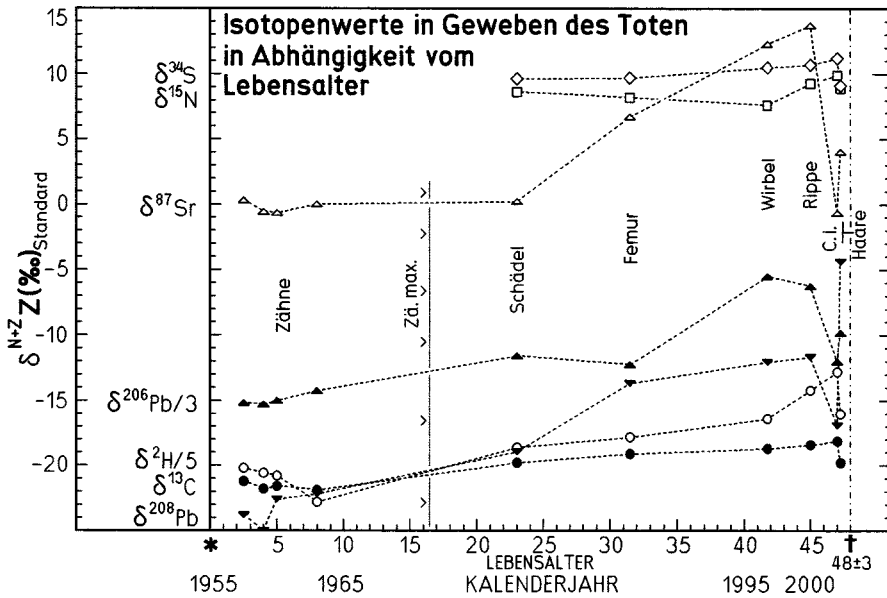
\*\*\* Die  $\delta$ -Werte für C und O an den Zähnen wurden am strukturellen Apatit-Karbonat bestimmt.  $\delta^{180}$  wurde auf VSMOW und Nahrungs-/Trinkwasser umgerechnet (Iacumin et al. 1996, 2004);  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Zähne wurden mit einem empirisch ermittelten Korrekturwert für Ominivoren auf Haarkeratin umgerechnet ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Tablette}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{gem.}} + 7,4$ ); aus  $\delta^{18}\text{O}$  der Zähne wurden über die globale meteorische Niederschlagslinie ( $\delta^2\text{H} = 86^{18}\text{O} + 10$ ) die angegebenen  $\delta^2\text{H}$ -Werte berechnet; alle  $\delta^2\text{H}$ -Werte für Zähne, Kollagen und Haare sind aus den Messwerten abgeleitete Niederschlagswerte (Haare -17‰, Kollagen -67‰); der  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Papierzellulose ist wie gemessen (VSMOW); gemessene  $\delta^2\text{H}$ -Werte wurden auf austauschbares Wasser korrigiert; die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Kollagens wurden auf Haarkeratin umgerechnet (nach O'Connell et al. 2001 und eigenen Befunden)

### 18.3.1 Frühgebildete Gewebe

Die zuerst im Leben eines Menschen gebildeten Gewebe, welche auch noch in hohem Alter erhalten sein können, sind permanente Zähne – und davon der Zahnschmelz bzw. das Dentin im Inneren der Kronen und in den Zahnwurzeln. Wir analysieren also Zähne, welche zu verschiedenen Lebenszeiten zu wachsen beginnen bzw. fertig ausgebildet sind. Bei Berücksichtigung der unterschiedlichen Bildungszeiten (die etwa auf ein halbes Jahr bekannt und tabelliert sind) können wir also zwischen Beginn des Zahnwachstums zur Zeit der Geburt bis zum 3. Lebensjahr, zwischen der Fertigstellung des Schmelzes zwischen dem 4. und 8. Lebensjahr bzw. der endgültigen Ausbildung der Wurzeln Mitte des 17. Lebensjahres (bei Knaben) unterscheiden. Die Zeiten für die hier mitgeteilten Zahnwerte sind in Abb. 18.2 und 18.3 angegeben. Nahrungs- und Ortswechsel in diesem Zeitraum könnten also abgeleitet werden. Bei der Präparation des Dentins ist allerdings darauf zu achten, dass nur Primärdentin beprobt wird und nicht auch sekundäres (Peritubulärdentin), welches sich mit fortschreitendem Alter besonders in pulpanahem primärem Dentin bildet und auch später aufgenommene Nahrungselemente einbaut. Obwohl auch Zähne Kollagen enthalten, bestimmen wir an ihnen nur I.V.



**Abb. 18.2.** Bildungs- und Umbauzeiten für die am Toten analysierten Gewebe. Die MUZ des Schädels ist mit 50 Jahren höher als es dem vermutlichen Lebensalter (48 J.) entspricht; dieses bedeutet, dass im Schädel noch Knochensubstanz aus der Embryonalzeit des Toten vorhanden ist



**Abb. 18.3.** In diesem Korrelationsdiagramm sind alle an Geweben des Toten bestimmten Isotopenwerte außer für O und U aufgetragen (s. Tabelle 18.1 und Legende dazu). Die gemessenen I.V. der Geoelemente wurden dafür durch Bezug auf 0.7093 (= mittleres zentraleuropäisches Boden- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) bzw. auf mittleres Erdkrustenblei ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 1,1966$  bzw.  $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 2,4718$ ) in die entsprechenden delta-Werte umgerechnet (s. a. Horn 2005). Aus Darstellungsgründen (wegen einheitlicher Ordinatenkala) mussten die  $\delta$ -Werte für  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  durch 3 dividiert werden, die für  $^2\text{H}/^1\text{H}$  durch 5. Für die Zeitskala der Zahn- und Knochenwerte wurden jeweils mittlere Bildungszeiten bzw. MUZ/2-Werte verwendet, für die Haare Mittelwerte aller analysierter Haarabschnitte (Abb. 18.5 für Einzelwerte). "Zä. max." sind die maximal möglichen Integrationszeiten für I.V. im Backenzahn 47, da dessen Wurzel etwa Mitte des 17. Lebensjahres fertig ausgebildet ist

von C, O, Sr und Pb (andere Autoren verwenden auch Zahnkollagen für C- + N-Isotopenanalytik).

### 18.3.2

#### Gewebe mit unterschiedlichen Umbauraten oder Isotopenakquisitionszeiten

Weitere Zeitmarken für Körpergewebe, welche uns im Prinzip zur Verfügung stehen, sind solche, die sich aus verschiedenen Umbauzeiten von Knochen ableiten lassen. Leider sind die Knochen-Umbauraten (oder die biologischen Halbwertszeiten (HWZ) für einzelne Knochen oder in ihnen enthaltene chemische Elemente und Verbindungen) nicht gut bekannt und die Angaben in der Literatur sehr widersprüchlich, so dass man nur grobe

zeitliche Bereiche angeben kann (s. dazu auch Horn et al. 1997 – und insbesondere die ausführliche Arbeit von Knipper 2002, in welcher der damalige Stand der Forschung auf dem Gebiet berücksichtigt ist – sowie die Zitate in beiden Arbeiten).

In Abb. 18.4 ist die Abhängigkeit des Umbaus von der biologischen HWZ (des Umbaus für das Karbonat und den Apatit im Knochen, also die feste Gerüstsubstanz) dargestellt. Inwiefern dieselbe zeitliche Abhängigkeit auch für die Proteine im Knochen-Kollagen gilt, ist offen. Vermutlich sind dessen Umbauraten relativ höher, da die Versorgung des Kollagens besser ist als die der festen Knochenstoffen.

Man kann davon ausgehen, dass massive Knochen geringere Umbauraten haben als poröse und mechanisch stark belastete Knochen (z.B. Beckenkamm-, Wirbel-, Rippen- und Fußknochen) höhere als unbelastete (Schädelknochen). Wir verwenden für diese Knochen vorläufig nur relative Abschätzungen der Umbildungszeiten (siehe Abb. 18.2 und 18.3)

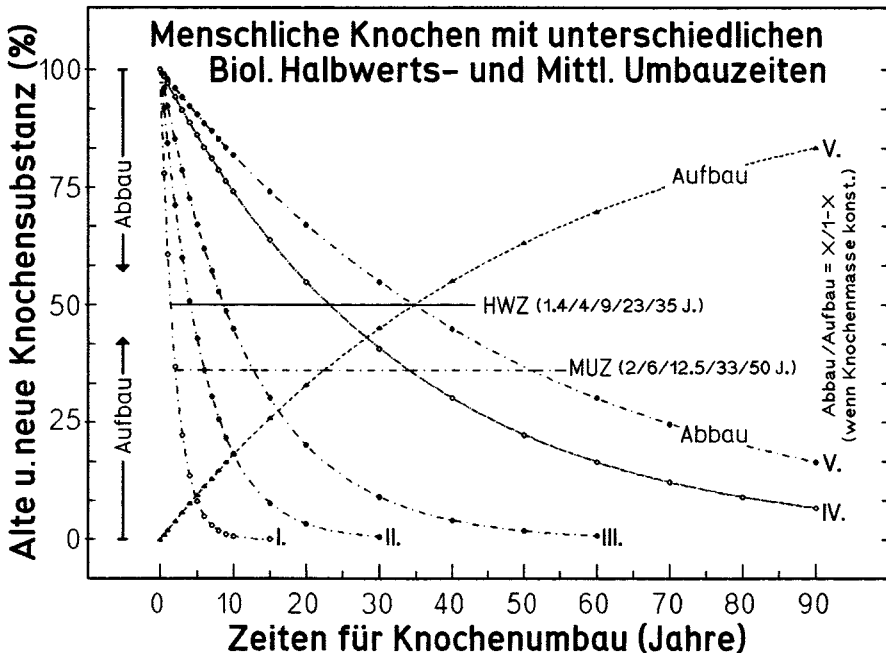


Abb. 18.4. Ab- und Aufbau von menschlichen Knochen im mittleren Lebensalter; in der Kindheit und Jugend überwiegt Aufbau, im Alter Abbau). Werte für HWZ (Halbwertszeiten) wurden aus zahlreichen Literaturangaben zusammengefasst, Mittlere Umbauzeiten daraus berechnet ( $MUZ = HWZ/\ln 2$ ). (I.) Crista iliaca (Beckenkamm), (II.) Rippenkompakta, (III.) Wirbel, (IV.) Femur (Oberschenkelkompakta), (V.) Schädelkompakta. In mittleren Lebensaltern besteht Gleichgewicht zwischen Knochenabbau und -aufbau, die maximale Knochenmasse haben Menschen im Alter zwischen 30 und 40 Jahren



und erwarten durch Anpassung unserer Ergebnisse an tatsächliche Lebensgeschichten (aus aufgeklärten Fällen) Erkenntniszugewinn in dieser Richtung.

Einer einfachen Interpretation der I.V. von Pb- und Sr-Isotopenwerten in Knochen steht auch entgegen, dass Menschen, welche nicht in Äquatornähe, sondern in höheren oder niedrigeren Breiten leben, starke jahreszeitliche Schwankungen in den Vitamin D-gesteuerten homöostatischen Absorptions-/Resorptionsraten von Ca und Phosphat (und damit einhergehend auch von Sr und Pb) aufweisen (Manton 1977, Filippelli et al. 2005). Dabei zeigt sich auch, dass nur endogen über UV-Bestrahlung der Haut gebildetes körpereigenes Vitamin D wirksam zu sein scheint, nicht jedoch synthetisches! Gleichmaßen erschwerend für Deutungen der vorgefundenen Werte wirkt sich die altersabhängige Resorption der mit der Nahrung aufgenommenen Elemente Sr und Pb im Körper aus (so liegt die für Pb bei ca. 5% für Erwachsene, bei Kindern jedoch um 50%).

Wegen der erwähnten Unsicherheiten besteht Forschungsbedarf, insbesondere für Anwendungen in der Osteologie, Forensik und Archäometrie. Arbeiten wie die von Smith et al. (1996), O'Brien et al. (1998), Patterson u. Veillon (2001) und Babraj et al. (2002), welche Isotopenanwendungen bezüglich der Physiokinetik von Calcium (das wegen Ähnlichkeit hinsichtlich Ionengröße und Wertigkeit als Leitelement für Sr und Pb in organischen Geweben angesehen werden kann) zum Thema haben bzw. große Unterschiede in Umbauraten unterschiedlicher Kollagentypen in ein und derselben Knochenart aufzeigen, sind hier sicherlich weiterführend und lassen erwarten, dass genauere Umbauraten in absehbarer Zeit bekannt werden. Zu befürchten ist allerdings, dass wegen der Komplexität physiologischer Prozesse im Körper feste, generell gültige Zeitmarken ein Wunschtraum bleiben.

Einen hervorragenden Übersichtsartikel zur Technik und den Möglichkeiten von gering invasiven (für die Probanden ungefährlichen) Isotopen-Tracerstudien an Menschen mittels ICP-MS veröffentlichte Stürup (2004). Sozusagen aus der Weltraumforschung stammt ein Verfahren, bei welchem nach oraler und intravenöser Gabe von Ca-Isotopen-Tracern Stoffwechselprodukte aus den verschiedenen Organen („Körperkompartimenten“) anhand von I.V.-Bestimmungen im Speichel verfolgt wurden (Smith et al. 1996).

Trotz der oben genannten Probleme analysieren wir zuweilen Knochen auf Geo- und Bioelemente, um wenigstens ungefähre Anhaltspunkte für Nahrungs- und/oder Ortswechsel von Menschen zu bekommen (wobei erstere Elemente an der festen Knochensubstanz bestimmbar sind, letztere nur am Kollagen). Dies geschieht dann, wenn keine Zähne, Haare, Nägel oder guterhaltene Haut für eine Analytik zur Verfügung stehen wie in den (relativ häufigen) Fällen, in welchen nur Torsi ohne Schädel, Hände

und Füße nach mehr oder weniger langer Liegezeit im Boden oder Wasser aufgefunden werden.

Uns ist dabei bewusst, dass die nur ungenau bekannten Umbauraten der unterschiedlichen Knochen lediglich grobe Hinweise auf Nahrungs- und Ortswechsel zu nur annähernd bestimmbar Lebenszeiten zulassen. Findet man jedoch Unterschiede in I.V. von Knochen mit unterschiedlichen Umbauraten, kann man sie zumindest als qualitative Hinweise auf Nahrungs-/Ortswechsel ansehen.

### 18.3.3

#### **Zu späten Lebenszeiten gebildete Gewebe (Keratin der Haare und Nägel)**

Für die Interpretation von Haaranalysen gehen wir von einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 1 cm/Monat aus (wobei erfahrungsgemäß Unterschiede von  $\pm 30\%$  bei Gesunden bestehen können). Die 19 cm langen Haare des Mannes in unserem Falle integrierten also über 1 Jahr und 7 Monate die I.V. der Nahrung. Da es aber ca. 14 Tage dauert bis sich unterschiedliche I.V. aus der Nahrung oder Umwelt erstmals in Haaren manifestieren, muss die Zeitskala entsprechend verschoben werden; im Falle des Opfers haben wir also isotopische Information von der Zeit 14 Tage vor dem Tode des Menschen bis 19 Monate vor diesem Zeitpunkt im letzten cm aus dem Haarspitzenbereich. Isotopisches Gleichgewicht zwischen Nahrung und Haaren stellt sich bei Menschen nach etwa 4 Monaten (C-I.V.; McCullagh et al. 2005) ein – kann aber auch ein Jahr dauern (N-I.V.; O’Connell und Hedges 1999a), wobei die genaue Dauer wohl vom jeweiligen Grundumsatz und/oder der Körpermasse von Menschen abhängt. Nach welcher Zeit sich I.V. der Nahrung erstmals in Geweben bemerkbar machen – und wie deutlich – hängt natürlich von den **Unterschieden** der mit der Nahrung aufgenommenen und im Körper (bzw. in den einzelnen Geweben) vorliegenden absoluten Mengen der betrachteten Elemente und deren I.V. ab.

#### **Entnahme von Haarproben für Zeitreihenuntersuchungen**

Dazu werden Haare jeweils büschelweise und davon wiederum 0,5 bis 1 cm lange Abschnitte genommen. Zuerst werden Proben vom Wurzelbereich und in größeren Abständen zur Haarspitze analysiert. Erst wenn die Ergebnisse Trends erkennen lassen, werden – je nach Problemstellung – näher beisammenliegende und/oder kürzere Haarabschnitte analysiert – je nach erwünschter zeitlicher Auflösung. Die Haarbüschel sollten nicht zu dünn sein (ca. 30–50 Haare) da auch direkt nebeneinander sprießende Einzel-

haare nicht in Phase oder synchron wachsen. Man geht davon aus, dass sich etwa 88% der Haare in der Wachstumsphase (Anagen) befinden, welche 2–6 Jahre dauern kann. Etwa 11% befinden sich in der 3–4 Monate anhaltenden Ruhephase (Telogen) einschließlich einer ca. 2 Wochen dauernden Zwischenphase (Katagen). Deshalb liegen stets etwa 10% der Haare isotopisch 0–3 Monate hinter dem jeweiligen momentanen Nahrungssignal (O’Connell und Hedges 1999b).

### **Alternative Gewebe**

Falls keine oder nur ganz kurze Haare zur Verfügung stehen, können auch Finger- oder Fußnägel analysiert werden – oder alternativ Haut. Bei Nägeln gehen wir von Wachstumsraten von 3–4 mm/Monat, bei Haut von 1–2 mm aus. Aber auch hier gibt es, wie bei den Haaren, saisonale Schwankungen und solche, die vom Lebensalter und vom jeweiligen individuellen psychosomatischen Gesamtzustand abhängen.

Schließlich können auch Gewebe von Muskeln, Leber, Lunge, Niere bzw. von Körperflüssigkeiten wie Urin, Blut, Lymphe oder Saliva zur Analytik auf die I.V. der betrachteten Elemente herangezogen werden: deren Erneuerungs- bzw. Isotopenintegrationszeiten liegen bei Monaten bis Tagen; Proteine im Blutserum, in denen sich Haupt- und Spurenelemente finden, haben eine Eliminations-Halbwertszeit von 7–10 Tagen, was einer Zeit für Totalerneuerung von 10–14 Tagen entspricht. Vom Toten des hier behandelten Falles erbaten wir Lungengewebe zur Untersuchung auf Umweltstäube, welche eventuell Hinweise auf frühere Aufenthaltsorte bergen könnten.

Für die Ermittlung von Nahrungs-/Ortswechseln des Menschen haben wir also relativ zuverlässige Zeitmarken für die Zeitspanne zwischen der Babyzeit bis zur Adoleszenz (Schmelz und Dentin der Zähne) und für die letzten Lebensjahre bis -wochen (Keratin der Haare). Die I.V. aus den mittleren Lebensabschnitten sind zeitlich nicht präzise zuordenbar, da die Umbauzeiten der entsprechenden Gewebe (feste Knochensubstanz und Kollagen) nicht sonderlich gut bekannt sind (s. oben).

## **18.4**

### **Analytische Ergebnisse an Geweben des Toten, an den sächlichen Asservaten und deren Interpretation**

Nachdem analytische Ergebnisse für die ausgewählten Gewebe vorliegen, müssen sie im Sinne der Fragestellungen der polizeilichen Sachbearbeiter interpretiert werden (s. oben).

### 18.4.1

#### Wechsel der Aufenthaltsorte des Mannes

Aus Tabelle 18.1 und der synoptischen Abb. 18.3 geht hervor, dass der Mann signifikante Nahrungs-/Ortswechsel erlebt haben muss, da die I.V. fast aller Elemente zu verschiedenen Lebenszeiten recht unterschiedlich sind – insbesondere die der Zähne von denen der Haare.

Hinsichtlich der Isotopenwerte für S, Sr und Pb in den Haaren wurde nach Beeinflussungen durch mögliche Kontaminationen mit dem Lagerungsmilieu (vgl. „Boden, Kanal“ in der Tabelle) gesucht. Mischungsrechnungen zeigen jedoch, dass diese ausgeschlossen werden können – und implizit auch sekundäre, lagerungsbedingte Veränderungen der I.V. der Bioelemente H – N nicht signifikant sind (die Reinigungsschritte bei den Probenvorbereitungen waren also ausreichend).

#### $\delta$ -Werte der Bioelemente H und O

Die an den Zähnen bestimmten recht niedrigen Werte zeigen an, dass der Mann in seiner Kindheit Wasser über Getränke und feste Nahrung aufgenommen hat, welches aus meerfernen, hochgelegenen Einzugsgebieten stammt und/oder sehr altes und „kaltes“ Grundwasser war, z. B. aus der letzten Eiszeit (Sponheimer u. Lee-Thorpe 1999, Fricke u. Wing 2004).

Dagegen sind die Haarwerte ( $\delta^2\text{H}$ ) insgesamt sehr viel höher und zeigen damit wärmeres Klima und/oder Meeresnähe an. Allerdings sind auch die Werte für Knochenskollagen erhöht, so dass er wohl nicht sehr lange nach Bildung der Backenzahnwurzel in wärmere Regionen gelangte.

#### $\delta$ -Werte für die Bioelemente C, N und S

Auch die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in den Zähnen liegen extrem niedrig und belegen eine vorwiegend pflanzliche Nahrung, welche wohl ausschließlich so genannte C3-Pflanzen kühler bis kalter Klimata umfasste (die üblicherweise  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte um  $-26\text{‰}$  aufweisen). C4-Anteile (Mais, Zuckerrohr mit Werten um  $-13 \pm 3\text{‰}$ ) hatte der Mann während seiner Kindheit und Jugend nicht (oder nur sehr wenig) in der Nahrung, wohl aber später zur Zeit des Haarwachstums; Fleisch kann er während seiner Kindheit nicht viel gegessen haben da ansonsten die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte höher sein müssten.

Als Hinweis auf wesentlichen Nahrungswechsel (implizit Ortswechsel) können die gegenüber den Zähnen erhöhten Knochen-Kollagen-Werte für  $\delta^2\text{H}$  und  $\delta^{13}\text{C}$  angesehen werden. Demnach kann der Mann bereits in seinen mittleren Jahren in, gegenüber denen seiner Jugendzeit, wärmere Gegenden mit entsprechenden Niederschlägen und erhöhten Anteilen von Mais in der Nahrung gelangt sein. Bevor jedoch eine Zeit für den vermuteten Ortswechsel abgeschätzt wird (und mögliche Aufenthaltsregionen vor- und

nachher), sollen noch die  $\delta^{15}\text{N}$ - und  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte – und die  $\delta$ -Werte für die Geoelemente betrachtet werden.

Erstere sind verhältnismäßig hoch und damit typisch für eine fleischreiche Ernährung ( $\delta^{15}\text{N}$ ), wobei auch Meeresfisch oder -früchte einen nicht geringen Anteil hatten ( $\delta^{34}\text{S}$ !).

### **$\delta$ -Werte der Geoelemente Sr und Pb**

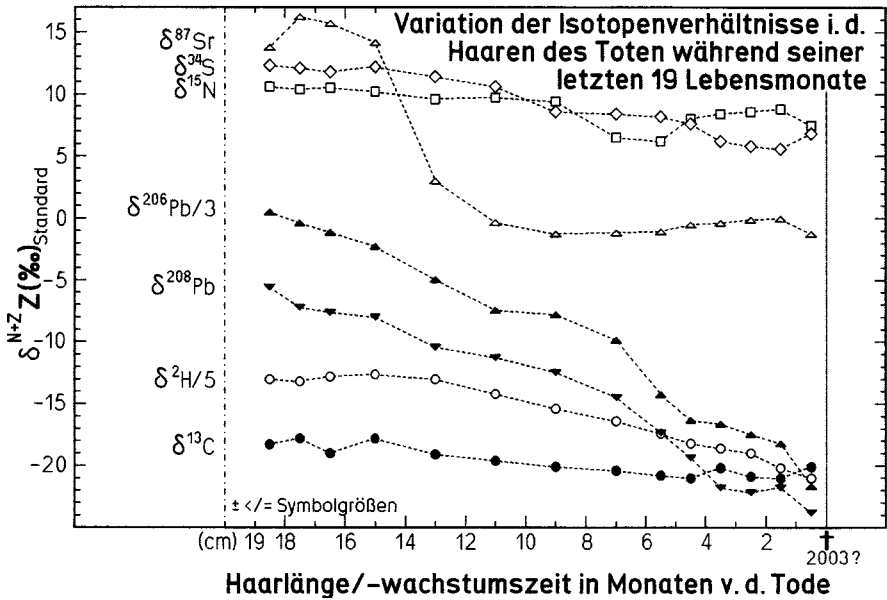
Die  $\delta^{87}\text{Sr}$ -Werte der Zähne liegen in einem Wertebereich um 0‰ und sind somit nicht spezifisch für bestimmte Regionen; sie sind vielmehr typisch für zahllose Gegenden der Erde, in denen Nahrungspflanzen für Menschen und Tiere angebaut werden bzw. wachsen. Diese sind u. a. Vorländer von Gebirgszügen und Auen größerer Flüsse oder Ströme, in denen chemisch und altersmäßig unterschiedliche Gesteine sedimentieren (in Mitteleuropa bzw. Deutschland wären das etwa das südliche und nördliche Alpenvorland, die Po-Ebene, der Oberrheingraben oder die Norddeutsche Tiefebene).

Die hohen Sr-Werte im Femur, Wirbel und in der Rippe (und in älteren Haarabschnitten, s. Abb. 18.5) dagegen weisen auf ein Gebiet mit granitischen oder granitoiden Gesteinen im Untergrund hin, auf denen sich Böden bilden. Diese Werte könnten also hilfreich bei der Suche nach früheren Aufenthaltsorten des Toten sein (s. unten). Ebenso die Pb-I.V., für welche deutliche Unterschiede der Werte für die frühgebildeten Zähne, Knochen mit verschiedenen Umbauraten oder Integrationszeiten sowie die Haare zu beobachten sind.

Als qualitative Hinweise auf Ortswechsel nach der Jugendzeit des Toten können entsprechend der Abb. 18.3 größere „Sprünge“ oder Unstetigkeiten in den Kurven durch die  $\delta$ -Werte der Elemente H, C und Pb angesehen werden, sofern dabei auch die recht ungenau bekannten effektiven Umbauraten der Knochen (insbesondere des Schädels) berücksichtigt werden. Ein erster wesentlicher Nahrungs-/Wohnortwechsel könnte demnach zwischen dem 8. und 23. Geburtstag stattgefunden haben (bzw. zwischen dem 17. und 23., wenn man annimmt, dass die Werte für die Backenzahnwurzel effektiv bis Mitte des 17. Lebensjahr akquiriert wurden “Zä. max.“ in Abb. 18.4). Ein zweiter Wohnortwechsel könnte dann zwischen dem 45. und 48. Lebensjahr (bzw. dem Jahr des Todes) stattgefunden haben; letzteres war, unter Vernachlässigung der Unsicherheit bei der Bestimmung der Liegezeit von max. 3 Jahren (s. oben), das Jahr 2003.

### **Die $\delta$ -Werte für die Haarabschnitte aus den letzten 19 Lebensmonaten**

In Abb. 18.5 sind die, in dem gering auflösenden Diagramm der Abb. 18.3 lediglich als Mittelwerte dargestellten Haarwerte für jeden analysierten



**Abb. 18.5.** Isotopenwerte für Haarabschnitte (von 1 bzw. 2 cm Länge) des Toten; Skala und Umrechnungen wie in Abb. 18.4. Für die Zeitskala wurde ein Haarwachstum von 1 cm/Monat zugrunde gelegt; wegen der Retention der Elemente im Körper von ca. 14 Tagen (s. Kap. 18.3.3), stammen die jüngsten Werte im Haarsegment 0–1 cm aus der Zeit 14 Tage vor dem Tode bzw. die im ältesten Haarabschnitt auch aus der Zeit von vor 19 Monaten +14 Tagen. Die Beobachtung, dass die Kurven während der 3,5 bis 1,5 Monate vor dem Tode nicht im jeweiligen Trend liegen, kann qualitativ durch Ernährungsstress (z. B. Hunger) erklärt werden. Dabei steigen die Werte für N, die für C fallen, während Sr- und Pb-Werte Einfluss von „altem“ remobilisiertem Gewebe aus größeren Körperreservoirien (Knochen) erkennen lassen (entsprechend eigener Haar-Messungen nach einem Entführungsfall mit Hungerstreik 2004 und nach Fuller et al. 2005, Mekota et al. 2006)

Haarabschnitt eingetragen. Zu jüngeren Abschnitten hin konvergieren die Kurven durch die darstellenden Punkte zu geringen Werten hin bzw. zeigen einen stetigen Abfall der Werte für S und N – sowie eine Annäherung der  $\delta^{87}\text{Sr}$ -Werte an 0‰. Auch anhand der Haarwerte lässt sich ein Ortswechsel abschätzen, welcher dann in der Zeitspanne von 15 bis 13 Monaten vor dem Tode stattgefunden haben dürfte. Ob allerdings die Fluktuationen der Werte später als ungefähr 4 Monate vor dem Tode als Ortswechsel interpretiert werden können, soll hier nicht weiter diskutiert werden, da sich die Werte ab dieser Zeit durchaus in Bereichen befinden, wie sie für authentisch deutsche Proben (Gewebe, Nahrung und Umweltproben) bekannt sind – und sich der Mann zum Zeitpunkt seiner Ermordung ja offensichtlich in Deutschland aufhielt.

## 18.4.2

### Die Leitmarkerfunktion der Pb-I.V. in Geweben des Toten und ein Lösungsansatz

Im 3-Isotopen-Mischungsdiagramm für Blei (Abb. 18.6) liegen die Zahnbleiwerte auf der gut definierten Korrelationsgeraden für „russisches“ (USSR/GUS/RUS) Blei, während sich die Werte der Knochen (außer für die *Crista iliaca*) entlang der typischen USA-Mischungslinie anordnen; diese gilt zwar für die Zeit von etwa 1965 bis 1990 – dürfte aber auch noch heute genauso verlaufen, trotz des Bleiverbots für Ottomotoren seit 1976 (wenigstens in gewissem Abstand von den Grenzen zu Kanada und Mexiko). Die Werte für die 19–14 Monate vor dem Tode des Mannes gewachsenen Haare liegen recht nahe bei der oben genannten USA-Mischungslinie und nähern sich für die später im Leben gewachsenen Haare allmählich der Mischungslinie für deutsches Umweltblei an.

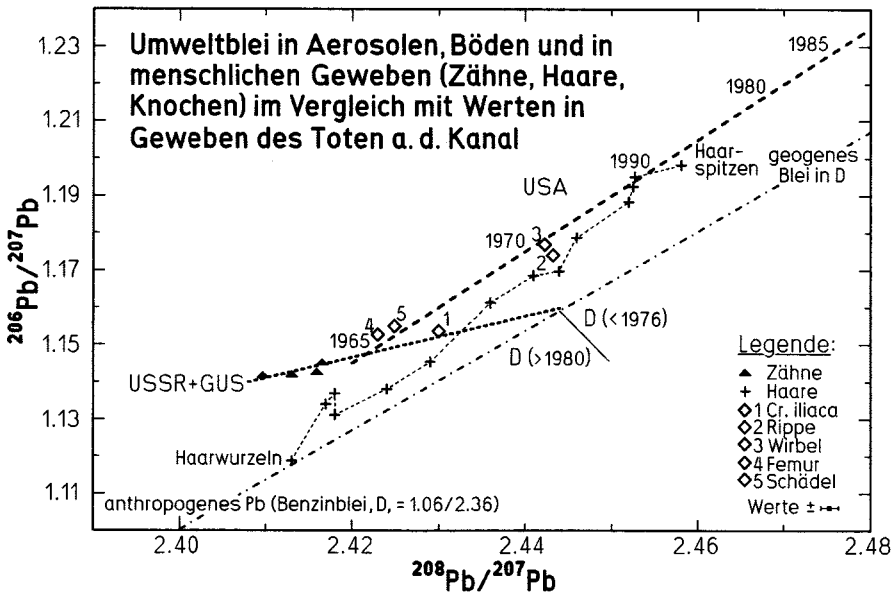


Abb. 18.6. Blei-I.V. aller untersuchten Gewebe des Toten im 3-Pb-Isotopen-Diagramm im Vergleich mit Werten für identifizierte Tote aus anderen Fällen und Umweltblei aus verschiedenen Gegenden (insbesondere D, USA und USSR/GUS). Die (gestrichelten) Linien sind entweder Mischungslinien verschiedener industriell verwendeter Bleiarten aus unterschiedlich alten Lagerstätten (USA, USSR/GUS) oder – im Falle von D – aus geogenem Gesteins- und Bodenblei mit Industrieblei (vorwiegend Benzinblei). Die Steigungen und Ordinatenschnittpunkte der Linien sind charakteristisch für diese Länder. (Werte aus eigenen unveröffentlichten Gutachten sowie aus Boutron et al. 1991, Rosman et al. 1994, Gulson et al. 1997, Filippelli et al. 2005)

Für sich allein genommen zwingen diese Befunde fast zu dem Schluss, dass der Mann nach der Pubertät aus dem Staatsgebiet der USSR in die USA verzog, sich dort bis etwa 10 Monate vor dem Tode vorwiegend aufhielt und dann nach Deutschland reiste, wo er getötet wurde.

Mit der oben genannten Interpretation sind insbesondere die  $\delta^2\text{H}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Gewebe in keinerlei Widerspruch: diese sehr niedrigen Werte in den Zähnen sprechen erfahrungsgemäß für Lebensorte in nördlichen oder sehr bergigen Gebieten der USSR zur Baby- und Jugendzeit. Entsprechend der Annahme einer Übersiedlung in die USA (hoher Fleischanteil in der Nahrung) steigen die Werte für  $\delta^{15}\text{N}$  im Kollagen und erreichen schließlich in den später gebildeten Haaren die höchsten Werte. Während der Mann nach Einreise in die USA in wärmeren (hohe  $\delta^2\text{H}$ -Werte!) und meeresnahen Regionen lebte (Fleisch und Meeresfrüchte in der Nahrung: hohe  $\delta^{15}\text{N}$ - und  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte) und auch hohe Maisanteile mit der Nahrung aufnahm (hohe  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte!), sind alle die genannten Werte nach der vermuteten Ausreise nach Deutschland abgefallen und liegen zum Zeitpunkt des Todes fast im (oberen) Bereich für in Deutschland lebende Menschen.

Da die  $\delta^{87}\text{Sr}$ -I.V. für alle Gewebe außer denen, in denen sich auch  $\delta$ -Werte aus den USA finden, im eher unspezifischen Bereich um 0‰ liegen (s. oben), können erstere nicht für positive Eingrenzungen der Wohngebiete in USSR/GUS/RUS und Deutschland herangezogen werden. In Geweben mit sichtlichem USA-Einfluss erreichen jedoch die ältesten Haare 15‰, wobei diese Werte für granitisch/granodioritische Gesteine im Untergrund oder Einzugsgebiet der Nahrung sprechen und damit von „diagnostischem“ Wert sind.

Kombiniert man nämlich die oben genannten Erkenntnisse, südlich-warmes und meeresnahes Gebiet mit Umweltblei wie in den USA, mit den hohen Sr-I.V., so wären die Daten insgesamt nicht im Widerspruch zu der Annahme eines Aufenthaltes des Mannes in Kalifornien, wo sich auch große mesozoische granitische Gesteinskomplexe finden (etwa der Lower California Batholith, welcher sich in die Baja California hineinzieht). Dieses Gebiet ist in den USA das einzige, für welches die genannten isotopischen Argumente im Sinne von „notwendig“ zutreffen. Hinreichend, also beweisend, sind sie deshalb nicht, weil nicht die gesamte Erde isotopisch bekannt ist.

### 18.4.3

#### Weitere Ergebnisse

##### Geldschein

Der Geldschein (250 Irakische Dinar), welcher beim Toten gefunden wurde (s. oben), stammt nach Vergleichen isotopischer und chemischer Parame-



ter ( $\delta^2\text{H} - \delta^{206,208}\text{Pb}$ , Spurenelemente) aus einem länger zurückliegenden Fall, bei dem es darum ging die Authentizität sehr großer Mengen solcher Geldscheine zu bestimmen.

### Lungengewebe

Da sich in den routinemäßig analysierten Körpergeweben des Toten keine Hinweise auf frühere Aufenthalte des Mannes im Irak finden ließen, wurde Lungengewebe untersucht (s. Kap. 18.3.3), welches zuweilen Umweltpartikel enthalten kann (Straßen-, Asbest-, u. Kohlenstaub, Ruß u.ä.). Die in den Bronchien vorgefundenen Partikel wurden mikroskopisch, chemisch und isotopisch analysiert. Es handelt sich dabei vorwiegend um fibrös eingekapselte Tonminerale, wie sie in allen Wüstengebieten (z. B. Naher Osten, Sahara, Mojawewüste in Kalifornien) der Erde verweht und eingeatmet werden und die daher von geringem diagnostischen Wert sind; vereinzelt finden sich opake Kügelchen ( $< 5 \mu\text{m}$ ) unbekannter Natur. Die relativ hohe Anreicherung der Tonminerale spricht für wenigstens zeitweilige Aufenthalte des Mannes in Wüstengebieten. Normale Uran-Konzentrationen in solchem natürlichem Material liegen im ppm-Bereich ( $= 10^{-6}$ ), die U-I.V. sind konstant ( $^{235}\text{U}/^{238}\text{U} = 0,00725$ , entspr.  $7,25 \cdot 10^{-3}$ ). Die opaken Kügelchen aus der Lunge des Toten haben jedoch sehr hohe Uran-Konzentrationen (einige -zig Masse-%) und ihr U-I.V. liegt bei  $2,0 \pm 0,1 \cdot 10^{-3}$ . Deshalb handelt es sich um DU („*depleted U*“), wie es in den beiden Irak-Kriegen und im Kosovo-Krieg als panzerbrechende Munition benutzt wurde. Da jedoch auch relativ große Mengen an  $^{236}\text{U}$  vorliegen (mit  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  von  $\sim 10^{-5}$ , – gegenüber I.V. von etwa  $3 \cdot 10^{-10}$  in natürlichem Uran, Boulyga et al. 2001), müssen Anteile von verbrauchtem Kernreaktor-Uran („abgebrannte Brennstäbe“) in dieser Munition vorhanden sein. Eine Herkunft des im Gewebe vorgefundenen Urans aus Chernobyl aus dem Jahr 1986 kann mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

### Socke und Sand in der Socke

Der Sand stammt nach mikroskopischer Untersuchung aus einem bestimmten Basalt-Steinbruch der Zentraleifel, wobei die Zuordnung relativ eindeutig ist. Im Steinbruch wurde nach intensiver Suche eine Socke gefunden, welche wegen der guten Übereinstimmung der Isotopenwerte (Tabelle 18.1) zur Socke vom Fuß des Mannes passt. Der Mann wurde also höchstwahrscheinlich in dem Steinbruch getötet.

### Plastik-Ummantelung der Fessel

Die Ummantelung besteht aus PVC, welches neben Blei auch Strontium bzw. Karbonat und Tonminerale als Gleitmittel enthält (Pb-Phosphit als Stabilisator). Nach Auskunft eines Herstellers von PVC-Additiven sprechen die

vorgefundenen I.V. für einen französischen Hersteller, welcher allerdings seine Produkte weltweit vertreibt, so dass das PVC kein sicheres Indiz für eine Herkunft des Drahtes aus Frankreich ist.

### Geschoss

Das Blei im Projektil, mit welchem der Mann getötet wurde, stammt mit Sicherheit aus einer Lagerstätte in Kasachstan (Abb. 18.7). Allerdings beweist diese Tatsache nicht, dass es kasachische oder russische Munition war, welche benutzt wurde, da aus Kasachstan größere Mengen an Militärmunition in die GUS und von da wiederum in die USA exportiert wurden und wohl immer noch werden (z. B. Buttigieg et al. 2003).

### Marmelade

Nach den Befunden (keine Konservierungsmittel außer Zucker, Inhomogenität) ist die Erdbeer-Marmelade, welche im Erdgrab des Mannes gefunden wurde, keine Handelsware, sondern privat hergestellt. Die gemessenen Isotopenverhältnisse für die Pulpe passen zu einer Wachstumsregion in Süd- bzw. Südosteuropa (A. Rossmann, Isolab GmbH, pers. Mitteilung), der hohe N-Wert spricht für organische Düngung (Gülle). Der Marmelade

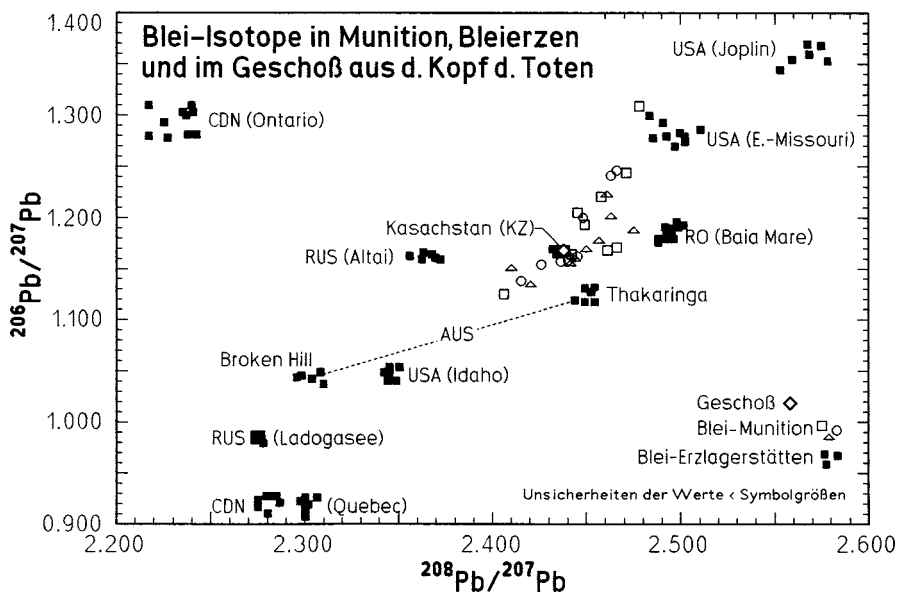


Abb. 18.7. Blei-Isotopenverhältnisse im Geschoss, mit welchem der Mann getötet wurde, und in Bleierzen bzw. Munition verschiedener Provenienzen (eigene Werte: Fehn et al. 1990 bzw. aus Andrasko et al. 1993, Buttigieg et al. 2003, Mukai et al. 1994, 2001; in Buttigieg et al. 2003)

wurde Rohrzucker zugesetzt, was gegen eine Herstellung in EU-Ländern spricht (Zucker-Marktordnung, hohe Einfuhrzölle) und für europäische Länder mit Handelsbeziehung in die Tropen (z. B. Cuba, Angola). Die Sr-Werte sprechen für Gegenden mit basischen Gesteinen im Untergrund. Daher wäre eine Herkunft der Marmelade aus Ungarn, Rumänien oder Bulgarien möglich.

## 18.5 Ausblick

Im vorliegenden (zusammengesetzten) Fall wurde das qualitative Vorgehen und die Denkweise bei der Erstellung eines Isotopengutachtens geschildert, mit welchem Sachbearbeitern Hinweise unterschiedlichster Qualität und Relevanz zur Verfügung gestellt werden. Ob und inwiefern diese bei der Lösung eines Falles von Nutzen sind, stellt sich nach Abschluss eines Verfahrens heraus. Bisherige tatsächliche Erfolge beruhen erfahrungsgemäß auf einer Kombination der klassischen kriminalistischen und forensischen Verfahren mit Isotopenmethoden und beruhen nur in seltenen Fällen ausschließlich auf letzteren.

Mit der Bearbeitung jedes neuen Falles wird die Datenbasis für zukünftige Fälle größer und sicherer, allerdings nur dann, wenn Rückmeldungen der Sachbearbeiter zu gelösten Fällen erfolgen. Ein solches Feedback ist naturgemäß dann besonders hilfreich, wenn bei der Interpretation der Daten Fehler gemacht wurden. Dementsprechend können wir einen Anstieg unserer Trefferquote im Laufe der Zeit konstatieren.

## Literatur

- Andrasko J, Kopp J, Abrink A, Skiöld T (1993) Lead isotope ratios in lead smears and bullet fragments and application in firearm investigations. *J Forensic Sci* 38:1161–1171
- Aberg G, Fosse G, Stray H (1998) Man, nutrition and mobility: A comparison of teeth and bone from Medieval era and the present from Pb and Sr isotopes. *Sci Total Environ* 224:109–119
- Babraj J, Cuthbertson DJ, Rickhust P, Meier-Augenstein W, Smith K, Bohé J, Wolfe RR, Gibson JN, Adams C, Rennie MK (2002) Sequential extracts of human bone show differing collagen synthetic rates. *Biochem Soc Transact* 30(2):61–65
- Beyser J, Pitz K, Horn P, Hölzl S, und Rauch E (2003) Isotopenanalytik - Hilfsmittel zur Herkunftsbestimmung unbekannter Toter. *Kriminalistik* 7:443–452
- Boulyga SF, Testa C, Desideri D, Becker S (2001) Optimisation and application of ICP-MS and alpha-spectrometry for determination of isotopic ratios of depleted uranium and plutonium in samples collected in Kosovo. *J Anal At Spectrom* 16:1283–1289
- Boutron CF, Görlach U, Candelone J-P, Bolshov MA, Delmas RJ (1991) Decrease in anthropogenic lead, cadmium and zinc in Greenland snows since the late 1960's. *Nature* 353:153–156

- Bundeskriminalamt (2003) BKA-Infoblatt Neue Technologien 8:1–8
- Buttigieg GA, Baker ME, Ruiz J, Denton MB (2003) Lead isotope ratio determination for the forensic analysis of military small arms projectiles. *Anal Chem* 75:5022–5029
- Fehn J, Hölzl S, Horn P (1990) Isotopensignaturen in der Kriminalistik. Blindversuch zur Anwendung der Blei-Isotopenverhältnisse von Munitionsschrot. *Arch Kriminol* 5/6:151–158
- Filippelli GM, Laidlaw MAS, Latimer JC, Raftis R (2005) Urban lead Poisoning and Medical Geology: an unfinished story. *GSA Today* 15/1:4–11
- Fricke HC, Wing SL (2004) Oxygen isotope and palaeobotanical estimates of temperature delta O-latitude gradients over north america during the early eocene. *Am J Sci* 304:612–635
- Fronza G, Fuganti C, Schmidt HL, Werner RA (2002) The  $\delta^{18}\text{O}$  value of the p-OH group of L-tyrosine permits the assignment of its origin to plant or animal sources. *Eur Food Res Technol* 215:55–58
- Fuller BT, Fuller IL, Sage E, Harris DA, O'Connell TC, Hedges EM (2005) Nitrogen Balance and  $\delta^{15}\text{N}$ : why you're not what you eat during nutritional stress. *Rapid Commun Mass Spectrom* 19:2497–2506
- Gulson BL, Jameson CW, Gillings BR (1997) Stable lead isotopes in teeth as indicators of past domicile – a potential new tool in forensic science? *J Forensic Sci* 42:787–791
- Heumann KG, Vanhaecke F (2004) Isotope ratio measurements. *Anal Bioanal Chem* 378:227–228
- Hölzl S, Horn P, Rossmann A, Rummel S (2004) Isotope abundance ratios of light (bio) and heavy (geo) elements in biogenic tissues: methods and applications. *Anal Bioanal, Chem Trends* 378:270–272
- Horn P (2005) Isotopensignaturen schwerer Elemente in der ökologischen Forschung und Praxis. Rundgespräche der Kommission für Ökologie, 30 „Auf Spurensuche in der Natur“, 131–152. Pfeil, München
- Horn P, Hölzl S, Fehr T (1997) Spurenelemente und Isotopenverhältnisse in fossilen Knochen und Zähnen. In: Wagner GA, Beinhauer (Hrsg): *Homo heidelbergensis von Mauer. Das Auftreten des Menschen in Europa*. S. 144–166, Heidelbergerverlagsanstalt, Heidelberg
- Horn P, Hölzl S, Rummel S (2005) Temporal and Spatial Variations of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in Cheeses from Trentino and Other Regions of Northern Italy. In: Gasperi F, Versini G. (eds): *Characterisation of typical cheeses from alpine region: The contribution of research. Quaderni dell'Istituto Agrario di San Michele all'Adige* 1:155–164
- Iacumin P, Bocherens H, Mariotti A, Longinelli A (1996) Oxygen isotope analyses of co-existing carbonate and phosphate in biogenic apatite: a way to monitor diagenetic alteration of bone phosphate? *Earth Planet Sci Lett* 142:1–6
- Iacumin P, Nikolaev V, Genoni L, Ramigini M, Ryskov YaG., Longinelli A (2004) Stable isotope analyses of mammal skeletal remains of Holocene age from European Russia: A way to trace dietary and environmental changes. *Geobios* 37:37–47
- Knipper C (2002) Die Strontiumisotopenanalyse – Eine naturwissenschaftliche Methode zur Erfassung von Mobilität in der Ur- und Frühgeschichte. *Schriftl Hausarbeit Magister Artium*. Eberhardt-Karls-Univ Tübingen
- Manton WI (1977) Sources of lead in blood: identification by stable isotopes. *Arch Environ Health* 32:149–159
- McCullagh JSO, Tripp JA, Hedges REM (2005) Carbon isotope analysis of bulk keratin and single amino acids from British and North American hair. *Rapid Commun Mass Spectrom* 19:3227–3231
- Mekota A-M, Grupe G, Ufa S, Cuntz U (2006) Serial analysis of stable nitrogen and carbon isotopes in hair: monitoring starvation and recovering phases of patients suffering from anorexia nervosa. *Rapid Commun Mass Spectrom* 20:1604–1610

- O'Brien KO, Abrams SA, Liang LK, Ellis KJ, Gagel RF (1998) Bone turnover response to changes in calcium intake is altered in girls and adult women in families with histories of osteoporosis. *J Bone Mineral Res* 13:491–499
- O'Connell TC, Hedges REM (1999a) Investigation into the effect of diet on modern human hair isotopic values. *Am J Phys Anthropol* 108:409–425
- O'Connell TC, Hedges REM (1999b) Isotopic comparison of hair and bone: archaeological analyses. *J Arch Sci* 26:661–665
- O'Connell TC, Hedges REM, Healey MA, Simpson AHRW (2001) Isotopic comparison of hair, nail and bone: modern analyses. *J. Arch Sci* 28:1247–1255
- Patterson KY, Veillon C (2001) Stable isotopes of minerals as metabolic tracers in human nutrition research. *Exp Biol Med* 226(4):271–282
- Rauch E, Rummel S, Lehn C, Büttner A (2006) Origin assignment of unidentified corpses by use of stable isotope ratios of light (bio-) and heavy (geo-) elements – a case report. *Forensic Science International*, in press, corrected proof
- Rosman KJR, Chisholm W, Boutron CF, Candelone JP, Hong S (1994) Isotope evidence to account for changes in the concentration of lead in Greenland snow between 1960 and 1988. *Geochim Cosmochim Acta* 58:3265–3269
- Schmidt HL (2003) Fundamentals and systematics of the non-statistical distributions of isotopes in natural compounds. *Naturwissenschaften* 90:537–552
- Schöninger ML (1985) Trophic level effects on  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios in bone collagen and strontium levels in bone mineral. *J Hum Evol* 14:515–525
- Szwarcz HP (1991) Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies. *J Arch Sci* 18:261–275
- Sieper HP, Kupka HJ, Williams T, Rossmann A, Rummel S, Tanz N, Schmidt H-L (2006) A measuring system for simultaneous isotope ratio and elemental analysis of four elements in food commodities and other biological materials. *Rapid Commun Mass Spectrom A*
- Siegenthaler U (1979) Stable hydrogen and oxygen isotopes in the water cycle. In: Jäger E, Hunziker JC (eds) *Lectures in Isotope Geology*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 264–273
- Smith SM, Wastney ME, Nyquist LE, Shih C-Y, Wiesmann H, Nillen JL, Lane HW (1996) Calcium kinetics with microgram stable isotope doses and saliva sampling. *J Mass Spectrom* 31:1265–1270
- Spalding KL, Buchholz BA, Bergamann L-E, Druid H, Frisén J (2005) Age written in teeth by nuclear tests. *Nature* 437:333–334
- Sponheimer M, Lee-Thorpe JA (1999) Oxygen isotopes in enamel carbonate and their ecological significance. *J Arch Sci* 26:723–728
- Stürup S (2004) The use of ICPMS for stable isotope tracer studies in humans: a review. *Anal Bioanal Chem* 378:273–282
- Walczyk Z (2004) TIMS versus multicollector-ICP-MS: Coexistence or struggle for survival. *Anal Bioanal Chem Trends* 378:229–231
- Wittwer-Backofen U, Gampe J, Vaupel JW (2004) Tooth cementum annulation for age estimation: Results from a large known-age validation study. *Am J Phys Anthropol* 123:119–123

# 19 Forensisch-toxikologische Spurenuntersuchungen an biologischem Material

Herbert Käferstein

Die forensische Toxikologie ist eine analytische Wissenschaft, deren Untersuchungsmethoden geeignet sein müssen, sehr niedrige Wirkstoffkonzentrationen – Spuren – in biologischem Material – insbesondere in Blut, Urin, Haaren – qualitativ und quantitativ nachweisen zu können. Weil sowohl aus qualitativen als auch aus quantitativen Analyseergebnissen – z. B. bei vorhandenen Grenzwerten im Straßenverkehr (Strafrecht und Ordnungswidrigkeitenrecht) – unmittelbare rechtliche Konsequenzen möglich sind, müssen an die Analyseergebnisse höchste qualitative Anforderungen gestellt werden. Während es sich bei der Blutalkoholbestimmung mit einem relevanten Konzentrationsbereich bis etwa 4 ‰ (4 g/kg Blut) um eine Makrospur handelt, muss der Messbereich bei der Begleitstoffanalyse mit Konzentrationen um 10 mg/kg als Mikrospur angesehen werden. Erst recht um eine Spurenanalytik handelt es sich beim Nachweis von Drogenwirkstoffen (THC z. B. bis 20 ng/mL = 20 µg/L) und hochpotenten Arzneimitteln mit Konzentrationsbereichen unter 100 ng/mL (entsprechend 100 µg/L oder 0,1 mg/L).

## 19.1 Einleitung

Spuren in biologischem Material können organischer oder anorganischer Natur sein. Entsprechend handelt es sich um eine Vielzahl verschiedenster Stoffe. Diese können wiederum in physiologischer oder unphysiologischer Konzentration vorkommen, so die ubiquitär in der Umwelt vorhandenen Spurenelemente, Arzneimittel, ärztlich verordnet oder missbräuchlich eingenommen, oder illegale Betäubungsmittel.

Das große Spektrum der Verteilung von Spurenelementen, wie es sich allein bei der Haaranalyse entfalten würde (Kijewski 1993), kann hier nicht dargestellt werden. Es würde den Rahmen des Beitrags als Übersicht sprengen.

---

Herbert Käferstein: Institut für Rechtsmedizin, Melatengürtel 60–62, 50823 Köln, E-Mail: herbert.kaeferstein@uk-koeln.de

**Tabelle 19.1.** Normale/therapeutische, toxische und hochtoxische Konzentrationen verschiedener Wirkstoffe nach Schulz und Schmoldt (2003), mg/L Serum/Plasma, modifiziert

Wirkstoff	therapeutisch (t)/ normal (n) ab	toxisch ab	hochtoxisch ab
Ethanol	< 1,00 (n) (<0,1 ‰)	1000-2000 (1-2 ‰)	3500-4000 (3,5-4 ‰)
Methanol	< 1 (n)	200	900
Diazepam	0,2 (t)	3-5	k. A.
Lorazepam	0,08 (t)	0,3-0,5	k. A.
Flunitrazepam	0,005-0,015 (t)	0,05	k. A.
Zolpidem	0,08-0,15 (-0,2) (t)	0,5	2-4
Clomipramin	0,09 (t)	0,4	1-2
Imipramin	0,05 (t)	0,5	1,5
Paracetamol	(5-) 10-25 (t)	100-150	200-300
Morphin	0,01 (t)	0,1	0,1
Codein	0,03-0,25 (t)	0,5-1	1,8
Cocain	0,05-0,3 (t)	0,5-1	4
Amfetamin	0,02 (n)	0,2	0,5
LSD	0,0005-0,005 (n)	0,001	0,002-0,005

Die Wirkstoffe können leicht flüchtig sein wie Alkohole und Lösungsmittel oder auch schwer/sehr schwer flüchtig wie Schwermetalle oder Drogen wie Morphin. Sowohl physiologisch als auch unphysiologisch vorkommende Wirkstoffe können im Organismus in untoxischen (normalen/therapeutischen) oder toxischen bzw. hochtoxischen/letalen Konzentrationen vorhanden sein. Tabelle 19.1 soll einen Eindruck über derartige Konzentrationsbereiche wiedergeben.

Der Liste ist zu entnehmen, dass Blut (bzw. Serum/Plasma) ein brauchbares Medium darstellt, in dem toxikologisch relevante Wirkstoffe nachgewiesen werden können. Dasselbe würde für Urin als Ausgangsmaterial gelten.

Beim lebenden wie beim toten Menschen können zusätzlich Haare nach einer chronischen oder weiter zurückliegenden Aufnahme als biologisches Material für die Analyse eingesetzt werden (Übersicht s. Kijewski 1997), beim toten Menschen auch Organe und Muskelgewebe, wenn Blut nicht in ausreichender Menge zur Verfügung steht oder postmortal erheblich zersetzt ist. Durch die Zersetzung können Störsubstanzen die Analyse erschweren oder unmöglich machen oder Wirkstoffe nicht mehr in den ursprünglichen Konzentrationen nachweisbar sein.

Weil sich die Fäulnis über die Blutgefäße ausbreitet, können die parenchymatösen Organe noch so weit erhalten sein, dass an diesem Material dennoch verlässliche Analysen mit interpretierbaren Ergebnissen möglich werden.

## 19.2 Forensische Fragestellungen

Bei welchen Fragestellungen sind insbesondere chemisch-toxikologische Untersuchungen erforderlich?

Zunächst sind derartige Untersuchungen im Zusammenhang mit dem klassischen Aufgabenbereich der forensischen Toxikologie, der Todesursachenklärung, zu sehen. Es geht also darum festzustellen, ob eine Intoxikation vorgelegen hat, ferner deren Schweregrad abzuschätzen und schließlich zu fragen, ob der Todeseintritt durch diese Untersuchungsergebnisse in Synopsis mit den Ergebnissen der Obduktion und gegebenenfalls feingeweblichen Untersuchungen zu klären ist. Hintergrund ist dabei die Klärung der Todesart, ob nämlich von einem Fremdverschulden auszugehen ist oder nicht. Selbstverständlich ist es ein Verbrechen, einen anderen Menschen zu vergiften. Der Nachweis der Vergiftung ist – unabhängig von der Konzentration des schädigenden Agens, also selbst bei Vorliegen niedrigster Konzentration – keine Ermittlung, sondern bleibt eine Spurenanalyse.

Als gesetzliche Grundlagen sind in der Regel heranzuziehen:

- StGB § 224 (gefährliche Körperverletzung): „Wer die Körperverletzung durch Beibringung von Gift oder anderen gesundheitsschädlichen Stoffen begeht, wird mit Freiheitsstrafe ... bis zu zehn Jahren ... bestraft. Der Versuch ist strafbar.“
- StGB § 211 (Mord): „Mörder ist ..., wer heimtückisch ... einen Menschen tötet.“
- Bei einer nachgewiesenen Giftbeibringung wird von den Ermittlungsbehörden eine gefährliche Körperverletzung, bei Todeseintritt ein Giftmord angenommen. Das Mordmerkmal „heimtückisch“ dürfte bei Gift in der Regel gegeben sein.

Ein Suizid, Suizidversuch oder auch die Beihilfe zum Suizid sind dagegen ebenso wenig strafbar wie eine Einnahme von pharmakologisch oder toxikologisch relevanten Substanzen, einschließlich von Betäubungsmitteln. Es gibt keinen strafbaren Eigenkonsum.

Der Schweregrad einer Intoxikation (analytischer Messwert und klinisches Erscheinungsbild) ist bei Fragen der strafrechtlichen Verantwortlichkeit durch Einnahme zentral wirksamer Wirksubstanzen wie z. B. Alkohol, Medikamente oder Drogen von Bedeutung. Es handelt sich dabei um eine Befundinterpretation und Verknüpfung der analytischen Messwerte mit anderen Erhebungsmethoden, also um den nächsten Schritt nach erfolgter Spurenanalyse.

- § 20 StGB (Schuldunfähigkeit wegen seelischer Störungen): „Ohne Schuld handelt, wer bei Begehung der Tat wegen einer krankhaften seelischen



Störung, wegen einer tiefgreifenden Bewusstseinsstörung oder wegen Schwachsinnis oder einer anderen schweren seelischen Abartigkeit unfähig ist, das Unrecht der Tat einzusehen oder nach dieser Einsicht zu handeln.“

Zu klären ist durch eine forensisch-toxikologische Untersuchung in diesem Zusammenhang nur der Schweregrad der Intoxikation. Die Zuordnung als „krankhafte seelische Störung“ ist eine fachärztliche Interpretation. Bei Vorerkrankungen ergeben sich aus der bestehenden Krankheit selber, der Wirkung des Arzneimittels und der Einnahme von Alkohol und/oder Drogen komplexe Zustandsbilder, die auch durch eine noch so umfangreiche Spurenanalyse nicht erfasst werden können. Bei den Arzneimitteln sind die Wechselwirkungen – selbst im feinsten Spurenbereich nach längerem Absetzen – für Laien wegen der unterschiedlich großen Halbwertszeiten oft nicht vorhersehbar.

Die Analyse von Makro- und Mikrospuren kommt in einem weiteren Bereich zur Anwendung. Sie liefert Messergebnisse und damit Basiswerte für eine Beurteilung, inwieweit die Fahrsicherheit/Fahrtüchtigkeit durch Alkohol oder Medikamente bzw. Drogen eingeschränkt ist. Im Strafgesetzbuch finden sich die Regelungen in den §§ 315c (Gefährdung des Straßenverkehrs) und 316 (Trunkenheit). Aufgeführt ist in § 315c: „Wer im Straßenverkehr ein Fahrzeug führt, obwohl er in Folge des Genusses alkoholischer Getränke oder anderer berauschender Mittel nicht in der Lage ist, das Fahrzeug sicher zu führen und dadurch Leib oder Leben eines anderen Menschen oder fremde Sachen von bedeutendem Wert gefährdet, wird bestraft.“

In § 24a StVG (Straßenverkehrsgesetz) heißt es: „Ordnungswidrig handelt, wer im Straßenverkehr ein Kraftfahrzeug führt, obwohl er 0,25 mg/L oder mehr Alkohol in der Atemluft oder 0,5 ‰ oder mehr Alkohol im Blut oder eine Alkoholmenge im Körper hat, die zu einer solchen Atem- oder Blutalkoholkonzentration führt.“ Abs. 2 lautet: „Ordnungswidrig handelt, wer unter der Wirkung eines in der Anlage zu dieser Vorschrift genannten berauschenden Mittels im Straßenverkehr ein Kraftfahrzeug führt. Eine solche Wirkung liegt vor, wenn eine in dieser Anlage genannte Substanz im Blut nachgewiesen wird.“ In der Anlage sind als berauschende Mittel benannt: Heroin, Morphin, Cocain, Amfetamin, Methylenedioxyamfetamin, Methylenedioxyamfetamin sowie Tetrahydrocannabinol.

Zum Nachweis eines Betäubungsmittelkonsums wird somit eine chemisch-toxikologische Spurenanalyse erforderlich. Ein Betäubungsmittelkonsum ist zwar als solcher nicht strafbar, jedoch wird die Herstellung, die Einfuhr, der Erwerb, der Besitz eines illegalen Betäubungsmittels sanktioniert. Aus einem positiven Konsumnachweis wird dann unter rechtlichen Gesichtspunkten der Schluss als nahe liegend angesehen, es habe zumindest ein strafbewehrtes Besitzverhältnis vorgelegen.

## 19.3 Rechtsrelevante Grenzwerte

Als Grenzwert für Alkohol im Blut wird im StVG im § 24a die Konzentration von 0,5 ‰ genannt. Im StGB sind derartige Konzentrationen nicht aufgeführt, jedoch hat die Rechtsprechung für Kraftfahrer als Grenzwert der absoluten Fahrunsicherheit eine Konzentration von 1,10 ‰ definiert. Für Fahrradfahrer gilt ein höherer Grenzwert (1,60 ‰), weil man davon ausgeht, dass Fahrradfahrer in erster Linie sich selbst und weniger andere gefährden. Eine Blutalkoholkonzentration von 1,6 ‰ hat weiterhin für die Wiedererteilung der Fahrerlaubnis Bedeutung. Ab einer derartigen Konzentration unterstellt man, dass ein chronisches Alkoholmissbrauchsverhalten vorliegt, es sei denn, dass der Betroffene mit einer derartigen Konzentration schwerst intoxiziert war. Durch eine medizinisch-psychologische Untersuchung (MPU) erfolgt dann die Zuordnung, ob tatsächlich ein Missbrauchsverhalten oder eine Abhängigkeit der Wiedererteilung der Fahrerlaubnis im Wege stehen.

Bei einer Beurteilung des Schweregrades einer Intoxikation – sowohl hinsichtlich der Todesursachenaufklärung als auch hinsichtlich der Einschätzung der Schuldfähigkeit – existieren derart starre Grenzwerte nicht, allerdings wird man ab einer Blutalkoholkonzentration von 3 ‰ üblicherweise die Voraussetzungen des § 20 StGB (Schuldunfähigkeit) sowie ab einer Konzentration von 2,3 ‰ die Voraussetzungen des § 21 StGB (erhebliche Minderung der Steuerungsfähigkeit) zu diskutieren haben. Hinsichtlich anderer Wirkstoffe als Alkohol werden Konzentrationen zumindest im toxischen Bereich (Tabelle 19.1) gefordert werden müssen, um eine schwerwiegende Vergiftung annehmen zu können.

Für Medikamente und Drogen gibt es keine dem Alkohol entsprechenden Grenzwerte im StGB. Im Ordnungswidrigkeitenrecht (§ 24a StVG) fordert der Gesetzgeber die strikte Trennung zwischen aktiver Teilnahme am Straßenverkehr und etwaigem Drogenkonsum (die Nulllösung), die allerdings in dieser Form durch die verfeinerte Spurenanalytik nicht völlig der ursprünglichen Intention des Gesetzgebers unter dem Aspekt der Fahrsicherheit entspricht. Durch eine fortlaufende Verbesserung der Untersuchungsmethodik können nämlich immer niedrigere Konzentrationen nachgewiesen werden. Entsprechend wird das Zeitintervall, in dem ein vorangehender Drogenkonsum nachweisbar ist, immer größer. Die spurentechnisch nachweisbare Konzentration nach abgeklungener Intoxikation belegt zwar noch den sozial unerwünschten Konsum, gibt aber keinen Anhalt auf etwaige Störungen im senso-motorischen Bereich. Das einzuhaltende Intervall zwischen Konsum und legaler aktiver Teilnahme am Straßenverkehr wird immer größer. Das kann der Gesetzgeber im Sinne der Drogenprävention wünschen. Insofern kommt der Spurenanalyse dabei

eine Schlüsselstellung zu. Die „Grenzwertkommission“ (2003) hat Konzentrationen vorgeschlagen, von deren Erreichen an eine Wirkung im Sinne des § 24a StVG angenommen werden soll. Es handelt sich um folgende Konzentrationen:

Tetrahydrocannabinol	1 ng/mL Blut
Morphin	10 ng/mL Blut
Amfetamin und Designeramfetamine	jeweils 25 ng/mL Blut
Benzoylcegonin (als Cocainstoffwechselprodukt)	75 ng/mL Blut

Nach den bisherigen Erfahrungen orientiert sich die Rechtsprechung an diesen Grenzwerten. Dieser Normierung für die Vorarbeiten zur Grenzwertbildung liegen verlässliche Standards bei der Analytik zugrunde, ein Gewinn für die Sicherheit der Spurenanalyse.

## 19.4 Nachweismethoden

### 19.4.1 Flüchtige Substanzen

Besonders große Bedeutung kommt dem Ethanol („Alkohol“) zu. Zur Alkoholbestimmung liegen Richtlinien seit 1966 im Gutachten des Bundesgesundheitsamtes „Alkohol bei Verkehrsstraftaten“ vor, die zwischenzeitlich aktualisiert und dem jeweiligen Stand der Wissenschaft und Technik sowie durch die höchstrichterliche Rechtsprechung angepasst wurden. Im Wesentlichen wird für die Bestimmung dieser Makrospur im Organismus gefordert, dass der quantitative Ethanolnachweis mit zwei unterschiedlichen Methoden, jeweils in Doppelbestimmung, zu erfolgen hat. Die beteiligten Laboratorien haben sich einer Qualitätskontrolle zu unterziehen. Es geht um Richtigkeit und Genauigkeit der Analyse. Zur Veranschaulichung sollen deshalb die Anforderungen an die Analyse dargestellt werden.

Sehr gebräuchlich ist die Methodenkombination von Headspace-Gaschromatographie (GC) und Alkoholdehydrogenaseverfahren (ADH). Aus den vier erhaltenen Einzelwerten wird dann der Mittelwert unter Berücksichtigung von zwei Nachkommastellen ohne Aufrundung errechnet, wobei unterhalb einer Konzentration von 1,0 ‰ der höchste und der niedrigste Messwert nicht mehr als 0,1 ‰ voneinander abweichen dürfen und bei einer Konzentration über 1,0 ‰ der höchste und niedrigste Messwert nicht mehr als jeweils 5% vom Mittelwert.

Die Headspacegaschromatographie kann mit Einsatz von je 50 µL Serum mit *t*-Butanol als innerer Standard erfolgen. Nach Equilibrierung bei

60 °C erfolgen die Probenentnahme aus der Gasphase, die Chromatographie, die Detektion mit einem Flammenionisationsdetektor und die Auswertung unter Bezugnahme auf den inneren Standard *t*-Butanol. Vor der Analysenserie muss arbeitstäglich eine Kalibration erstellt werden. In der Serie müssen Präzisions- und Richtigkeitskontrollen mitgeführt werden. Nur wenn die Ergebnisse den Qualitätsanforderungen entsprechen, ist die Serie verwertbar, sonst muss die gesamte Serie wiederholt werden.

Bei dem enzymatischen ADH-Verfahren mit Alkoholdehydrogenase können ebenfalls jeweils 50 µL Serum eingesetzt werden. Hierbei wird Alkohol mittels zugesetzter Alkoholdehydrogenase und dem Kofaktor NAD oxidiert, NAD zu NADH reduziert und das reduzierte NADH spektralphotometrisch gemessen. Auch dafür existieren Analyseautomaten, welche die Proben nach arbeitstäglicher Kalibration sowie die entsprechenden Präzisions- und Richtigkeitskontrollen abarbeiten.

## 19.4.2

### Begleitstoffe/Begleitalkohole

Alkoholische Getränke enthalten Begleitstoffe in sehr unterschiedlicher Qualität und Quantität (Bonte 1987). Ihre Verteilung in der wässrigen Phase des Organismus erfolgt in derart geringer Konzentration, dass von einer Mikrospur gesprochen werden muss. Der Nachweis dieser Mikrospuren ist entsprechend aufwändig. Zur Veranschaulichung sind die Konzentrationen der Begleitstoffe Methanol, 1-Propanol und Isobutanol in verschiedenen Getränkeklassen, normiert auf 50 mL reinem Alkohol in Tabelle 19.2 aufgetragen. Der Gruppe „Wodka“ wären auch Gin, Genever und Korn zuzurechnen.

Für die Beurteilung, welches Getränk bzw. welche Getränkeart konsumiert wurde, sind insbesondere die in der Tabelle 19.2 aufgeführten Methanol, 1-Propanol, Isobutanol von Bedeutung. Eine neuere Untersuchung von Koyuncu (2000) zeigt, dass ein angegebener Nachtrunk durch eine Begleitstoffanalyse in 80% der Fälle sicher widerlegt werden konnte.

**Tabelle 19.2.** Begleitalkoholgehalte verschiedener Getränkeklassen, bezogen auf ca. 50 mL reinen Alkohol in mg (nach Bonte 1987, Gilg 2005)

Getränk	mL	Methanol	1-Propanol	Isobutanol
Bier	1040	7 ± 3	13 ± 3	13 ± 4
Weißwein	435	13 ± 7	13 ± 3	24 ± 8
Weinbrand	132	35 ± 19	17 ± 3	33 ± 5
Obstbrand	125	70–205	10–33	2–42
Wodka	125	0,1	0	0

Nachtrunkangaben sicher zu bestätigen, war dagegen nur in 2% der Fälle möglich. In den restlichen Fällen war ein Nachtrunk nicht widerlegbar.

### 19.4.3 Analytik

Die Untersuchungen auf Begleitstoffe/Begleitalkohole erfolgen ebenfalls mittels Headspace-Gaschromatographie unter Bezugnahme auf *t*-Butanol und mittels der Standardadditionsmethode, wobei die Höhe der Zusätze in Abhängigkeit von der zuvor bestimmten Blutalkoholkonzentration abhängt. Eingesetzt werden 250  $\mu$ L Probenmaterial (Serum), 100  $\mu$ L Additionslösung bzw. Wasser, 100  $\mu$ L *t*-Butanol-Lösung (5 mg/L) und 0,3 g wasserfreies Natriumsulfat. Nach Equilibrierung bei 70 °C wird die Dampfphase analysiert, chromatographisch und mittels FID detektiert. Die Messbereiche liegen für Aceton bei 0–40 mg/L, bei Methanol bei 0–30 mg/L. Für 1-Propanol und Isobutanol liegt der Messbereich mit bis 5 bzw. 4 mg/L um den Faktor 1000 niedriger als bei der Ethanolbestimmung. Aus Begleitstoffanalysen lassen sich aber nicht nur Schlüsse auf die Getränkeart ziehen, sondern insbesondere Methanol und Aceton/Isopropanol lassen weitere Rückschlüsse zu. Methanol erscheint im Blut nicht nur durch Aufnahme methanolreicher Getränke, sondern noch aus zwei weiteren Quellen. Ein so genannter physiologischer Spiegel kann bis zu 1 mg/kg betragen, ferner wird Methanol unter dem Einfluss von Ethanol nicht abgebaut, so dass ein endogener Konzentrationsanstieg beobachtet wird, der bis zu 0,4 mg/kg/h betragen kann. Ein hoher Methanolspiegel kann daher insbesondere bei Konsum methanolarmer Getränke auf eine lang dauernde Alkoholisierungsphase hinweisen. Nach Iffland (2000) ist ab einem Methanolspiegel von 7 mg/kg ein Hinweis auf Alkoholmissbrauch und ab 10 mg/kg ein Nachweis für einen Alkoholmissbrauch gegeben.

Aceton und Isopropanol sollen als Summe betrachtet werden. Dieser Summenwert kann Hinweise auf alkoholinduzierte Stoffwechselstörungen liefern. Nach Iffland (2000) ist hier ab einem Wert von 6 mg/kg eine alkoholbedingte Stoffwechselstörung wahrscheinlich und ab 9 mg/kg eine solche als nachgewiesen anzusehen.

### 19.4.4 Schwerflüchtige Substanzen

Hierzu sind fast alle anderen organischen toxikologisch relevanten Wirkstoffe zu rechnen einschließlich Amfetamin und Cocain, die als freie Basen flüchtig sind und z. B. geraucht werden können. Es handelt sich um eine

große Zahl von Wirkstoffen, die aber nicht im Dampfraum, sondern mittels chromatographischer Verfahren nur nach Extraktion detektiert werden können.

Im Gegensatz zu Alkohol, wo dem Alkoholisierten sozusagen seine „Fahne vorwegflattern“ kann, gibt es bei der Intoxikation kein entsprechend einfaches Verfahren zur Verdachtsgewinnung. Eine Untersuchung auf alle nur möglichen schwerflüchtigen Stoffgruppen, die zu einer Störung des Sensoriums führen könnten, ist nicht leistbar. Deshalb bedarf es einengender Vortests. Das heißt, dass die Spurenanalyse auf häufige Stoffe begrenzt und zunächst eine Vorprobe durchgeführt wird. Vom Arbeitsaufwand und aus Gründen der Probenmaterialmenge wäre eine „*general-unknown*“-Analyse nicht vertretbar, so dass die sogenannten Screeningverfahren einen Kompromiss darstellen. Die Relevanz derartiger Vortests ergibt sich aus folgendem Beispiel: Bei Polizeieinsendungen insbesondere aus dem Bereich Straßenverkehr ist in 55% der Proben Cannabis, aber nur in 10% Cocain nachweisbar. Es wäre sehr aufwändig, alle Proben auf Cannabis mit regelrechter chromatographischer Analytik zu untersuchen. Erst recht gilt dies für andere denkbare Wirkstoffe. Das wird umso mehr verständlich, als nach Berghaus (2007) der zeitgleiche Konsum verschiedener Substanzen bei den meisten Teilnehmern im Straßenverkehr eher zufällig als beabsichtigt sein dürfte. Damit sind die möglichen Substanz-Spektren nur schwer zu systematisieren.

## 19.5

### Screeningverfahren

Für Screeningverfahren werden häufig Immunoassays für Blut oder Urin und qualitative chromatographische Untersuchungsmethoden eingesetzt.

Immunchemische Tests mit monoklonalen oder polyklonalen Antikörpern gegen eine bestimmte Substanz mit geringer Kreuzreaktivität gegenüber anderen chemisch verwandten Stoffen bzw. einer Substanzklasse werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Sie eignen sich insbesondere zur Analyse in Urin oder Blut, sie können aber vom Anwender auch auf andere Körperflüssigkeiten, auf Organ- oder Haarextrakte angewendet werden. Generell ist zwischen homogenen und inhomogenen Assays zu unterscheiden. Bei homogenen Assays findet die Antigen-Antikörper-Reaktion ebenso wie die Signalverstärkung und Signaldetektion in einem Reaktionsgefäß statt. Bei inhomogenen Assays reagieren dagegen die Analyten mit immobilisierten Antikörpern. Störsubstanzen aus der Untersuchungsprobe werden sodann ausgewaschen. Anschließend kommt es zur Nachweisreaktion und Detektion.

Für Blutuntersuchungen werden meist inhomogene Assays verwendet, für Urinuntersuchungen homogene. Für forensisch-toxikologische Analysen sind im Urin insbesondere Assays auf folgende Substanzen (S) bzw. Substanzgruppen (G) relevant:

Opiate	(G)
Cannabis	(S)
Amfetamine	(G)
Benzodiazepine	(G)
Methadon	(S)
Cocain	(S)
Barbitursäurederivate	(G)
LSD	(S)

Bei Cocain und Methadon kann es zum Nachweis der Körperpassage sinnvoll sein, wenn die Assays die Metaboliten Benzoyllecgonin bzw. EDDP erfassen. Bei Cannabis ist es essentiell, einen Antikörper gegen den Tetrahydrocannabinol-Metaboliten 11-Nor- $\Delta$ -9-THC-9-Carbonsäure einzusetzen, da dieser Metabolit praktisch ausschließlich im Urin erscheint. Für Blutuntersuchungen können die gleichen Substanzen bzw. Substanzgruppen erfasst werden. Allerdings muss z. B. der Methadontest das Methadon selbst erfassen, da EDDP im Blut allenfalls in Spuren vorkommt. Hinsichtlich Cocain und Cannabis ist es zielführend, insbesondere die Wirksubstanzen Cocain und Tetrahydrocannabinol zu erfassen.

Immunoassays liefern im Prinzip ein quantitatives Resultat, welches in der Praxis auf eine Positiv-Negativ-Entscheidung („Cut off“) reduziert wird. Als praktikabel haben die sich in Tabelle 19.3 aufgeführten Cut-off-Werte bewährt.

**Tabelle 19.3.** Cut-off-Werte, immunchemische Verfahren bei Untersuchung von Urin und Blut (ng/mL)

Analyten	Urin	Blut
Opiate	200	35
Methadon	200	10
Benzodiazepine	200	10
Amfetamine	200	20
Cocain/Benzoyllecgonin	200	30
Cannabinoide	20	10
LSD	0,5	0,25

Die unterschiedlichen Cut-off-Werte tragen der Tatsache Rechnung, dass in Urin üblicherweise wesentlich höhere Konzentrationen als im Blut/Serum vorliegen.

### **19.5.1 Interpretation/Weiteres Vorgehen**

Bei „positiv“ bewerteten Analysenergebnissen erfolgt immer eine chromatographische Bestätigungsanalyse. Korrekt dürfte nur von einer Zweitanalyse gesprochen werden, um zu verdeutlichen, dass es sich um eine ergebnisoffene Untersuchung handelt. Eine ausschließliche Bestätigung des Erstbefundes mit einem anderen Immunoassay ist für forensische Fragestellungen unzulässig. Rechtlich relevant ist letztlich nur das Ergebnis der Chromatographie.

Bei „negativ“ bewerteten Analysenergebnissen ist dagegen die Untersuchung hinsichtlich dieser Substanzklasse abgeschlossen. Zwar ist zu berücksichtigen, dass Immunoassays sowohl falsch positiv als auch falsch negativ ausfallen können, jedoch wird jemand z. B. als Verkehrsteilnehmer durch ein (falsch) negatives Ergebnis hinsichtlich Cocainkonsums nicht belastet. Er würde nur durch ein (falsch) positives Ergebnis belastet werden können. Daher ist die chromatographische Analyse bei positivem Immunoassay essentiell.

### **19.5.2 Chromatographische Screenings**

Besonders bewährt haben sich hier flüssigkeitschromatographische Untersuchungen, da bei diesen Analysen eine sehr große Anzahl verschiedener Wirksubstanzen nachgewiesen bzw. ausgeschlossen werden kann, sofern die gewählten Extraktionsbedingungen eine Extraktion im Einzelfall gestatten. Untersuchungen mittels des Diodenarraydetektors (DAD) oder eines anderen scannenden UV-Detektors, durch welche die Spektren der interessierenden Substanzen aufgezeichnet und mit einer Spektrenbibliothek verglichen werden können, sind in der Praxis gut geeignet. Gaschromatographisch-massenspektrometrische Screenings haben noch bessere Nachweisempfindlichkeiten, sie sind allerdings in der Interpretation schwieriger. Die Kombination Flüssigkeitschromatographie-Massenspektrometrie (LC-MS) steht bislang nur wenigen Laboratorien zur Verfügung.



### 19.5.3

#### Quantitative Bestimmungsverfahren

Quantitative Wirkstoffnachweise sind insbesondere im Blut oder Serum erforderlich, da entweder rechtsrelevante Grenzwerte existieren oder doch zumindest eine Wirkung am ehesten aus derartigen Konzentrationen abgeschätzt werden kann (Tabelle 19.1),

### 19.5.4

#### Gaschromatographisch-massenspektrometrische Methode

Die GC-MS-Analytik bietet sich insbesondere an, wenn gezielte Untersuchungen – z. B. auf die in § 24a StVG genannten Wirkstoffe – durchgeführt werden müssen und deuterierte Analoge der Analyten zur Verfügung stehen. Deuterierte Substanzen, bei denen mindestens ein Wasserstoff durch Deuterium ausgetauscht ist, verhalten sich chemisch bei der Extraktion und bei einer etwaigen Derivatisierung wie die Analyten, weisen aber entsprechend der Zahl der Deuteriumatome höhere Massen auf. Auch wenn Analyt und deuterierter Standard nicht chromatographisch getrennt werden können, sind sie doch bei massenspektrometrischer Detektion eindeutig zu unterscheiden, da alle Fragmente, die Deuterium enthalten, entsprechend höhere Massen als die Analyten aufweisen. Bei bekannter Konzentration des inneren, deuterierten Standards lässt sich leicht die Analytkonzentration berechnen, sofern die Kalibration im interessierenden Konzentrationsbereich Linearität aufweist. Die Extraktion – von 0,5 mL Serum – erfolgt meist über Festphase nach Zugabe der inneren Standards. Um die schwer flüchtigen Analyten für eine gaschromatographische Analyse ausreichend flüchtig zu machen, erfolgt eine Derivatisierung. An diese schließt man dann die Chromatographie auf einer Kapillarsäule im Temperaturprogramm an.

### 19.5.5

#### Flüssigkeitschromatographie/Spektrophotometrie

HPLC-DAD ist insbesondere für Wirkstoffe geeignet, die auch nach Derivatisierung nicht gut gaschromatographisch analysierbar sind. Sie ist ebenfalls die Methode der Wahl, wenn keine deuterierten Standards verfügbar sind. Als innerer Standard wird vor der Extraktion über Festphase oder flüssig/flüssig eine Substanz gewählt, die dem Analyten chemisch möglichst ähnlich ist, z. B. zum Benzodiazepinnachweis ein therapeutisch nicht genutztes Benzodiazepinderivat.

**Tabelle 19.4.** Nachweis- (NG) und Bestimmungs- (BG) -Grenzen einiger relevanter schwer flüchtiger Wirkstoffe (mg/L)

Analyt	NG	BG
THC	0,0001	0,0003
Amfetamin	0,004	0,021
Cocain	0,0001	0,0004
Benzoylcegonin	0,0003	0,002
Morphin	0,0002	0,0006
Codein	0,0003	0,002
Diazepam	0,002	0,01
Flunitrazepam	0,001	0,003
Amitriptylin	0,004	0,011
Clomipramin	0,009	0,018

Sowohl gaschromatographische als auch flüssigkeitschromatographische quantitative Methoden müssen evaluiert sein und unterliegen einer ständigen internen und externen Qualitätskontrolle. In jeder Analysenserie müssen Richtigkeitskontrollen mitgeführt werden, zudem ist eine regelmäßige erfolgreiche Teilnahme an Ringversuchen erforderlich. Tabelle 19.4 zeigt realistische Nachweis- und Bestimmungsgrenzen derartiger qualitätsgeprüfter Analysenmethoden für einige toxikologisch relevanten Wirkstoffe.

Tabelle 19.4 zeigt, dass mit den genannten Methoden Wirkstoffe, die in der Anlage zu §24a STVG aufgeführt sind, auch noch unterhalb der von der Grenzwertkommission definierten Konzentrationen sicher quantifiziert werden können. Auch weitere Wirkstoffe der Tabelle 19.1 lassen sich bis in subtherapeutische Konzentrationsbereiche nachweisen. Der chromatographische Nachweis für LSD gelingt bisher nur in wenigen speziellen Laboratorien. Weil LSD im forensisch-toxikologischen Untersuchungsgut nur sehr selten analysiert werden muss, entstehen dadurch keine organisatorischen Probleme.

## Literatur

- Berghaus G (2007) Arzneimittel und Fahrsicherheit. In: Madea B, Mußhoff F, Berghaus G (Hrsg) Verkehrsmedizin. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, S 531–562
- Bonte W (1987) Begleitstoffe alkoholischer Getränke – Biogenese, Vorkommen, Pharmakologie, Physiologie und Begutachtung. Arbeitsmethoden der medizinischen und naturwissenschaftlichen Kriminalistik, Bd 17. Schmidt-Römhild, Lübeck
- Gilg T (2005) Alkoholbedingte Fahruntüchtigkeit – Beurteilung und Begutachtung in der forensischen Praxis, Teil 2. Rechtsmed 15:97–110–115
- Grenzwertkommission (2003) Blutalkohol 40:135

- Iffland R (2000) Zur Analyse des Alkoholmissbrauchs in der Forensik. In: Aderjan R (Hrsg) Marker missbräuchlichen Alkoholkonsums – Klinische und rechtliche Bedeutung. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, S 44–56
- Kijewski H (1993) Die forensische Bedeutung der Mineralstoffgehalte in menschlichen Haaren Schmidt Römhild, Lübeck
- Kijewski H (Hrsg.) (1997) Das Haar als Spur – Spuren in Haaren. Schmidt-Römhild, Lübeck
- Koyuncu A (2000) Die forensische Begleitstoffanalyse – Rechtsmedizinische und juristische Aspekte der Nachtrunk- und Schuldfähigkeitsbeurteilung. Mensch und Buch, Berlin
- Lund VP, Jahn E (1966) Gutachten des Bundesgesundheitsamtes zur Frage Alkohol bei Verkehrsstraftaten. Kirschbaum, Bad Godesberg
- Schulz M, Schmoldt A (2003) Therapeutic and toxic blood concentrations of more than 800 drugs and other xenobiotics. Pharmazie 58:447–474

# Sachverzeichnis

- § 261 StPO 7
- § 75 I StPO 9
  
- Abdruckspur 4, 5, 10
  - textile 21
- Abstammungs- und Identitätsüberprüfung 330
- Adipocire 121, 123
- AFLP (amplified fragment length polymorphism)-Technik 334
- Agarosegele 301
- Ähnlichkeitsmaß 199
- Akzeleration 129, 130
- Algen 26, 44, 193, 194
- Alibiabklärung 193
- Alkohol 411, 412, 414, 415, 417
- Alkoholdehydrogenase 415
- Alkoholdehydrogenaseverfahren 414
- Allelfrequenz 287, 288
- Allelic Drop Out 327
- Altersdiagnostik 125, 135
  - Altersdiagnose, Tier 141
  - histologisch 128
  - morphologisch 125
  - quantitativ 128
  - radiologisch 125
- ancestral haplotype 293
- ancient DNA 306
- Anknüpfungstatsache 9
- Anschmelzspur 18
- Anthropologie 146
  - forensische 12
- Archäologie 124, 133, 137
  - archäologische Methoden 117, 120, 121, 169
- Archäozoologie 12, 136
- Arterkennung 13, 347
  - AFLP 355
  - cpDNA 353
  - ITS-Region 347
  - RAPD 350, 355
  - SSR 350, 355
- Arzneimittelgesetz 44
- Asservatenliste 151
- Aufbereitung von Pollenproben 212
- Aufnahmeentfernung 156
- Augenfarbe 314
- Autolyse 224
  
- Bacillus anthracis* 252, 255, 256
- Bacon 5
- Befundüberprüfung 55
- Befundtatsache 9
- Begleitstoff 415, 416
  - 1-Propanol 415, 416
  - Aceton 416
  - Isobutanol 415, 416
  - Isopropanol 416
  - Methanol 415, 416
- Berauschende Mittel 412
  - Amfetamin 412, 414, 416, 421
  - Benzoylecgonin 414, 421
  - Cocain 412, 414, 416, 421
  - Designeramfetamin 414
  - Heroin 412
  - Methyldioxyamfetamin 412
  - Methylendioxyamfetamin 412
  - Morphin 410, 412, 414, 421
  - Tetrahydrocannabinol 412, 414, 421
- Bestäubungsmodus 207
- Betäubungsmittel 411, 412
- Betäubungsmittelgesetz 355
- Beweisaufnahme 7
- Beweiswürdigung 7, 9
- Binnenstruktur des Knochens 124, 125
  - Osteonenknochen 139
  - plexiformer Knochen 137
- Biodiversität 193
- Bioelement 381
- Bioindikation 193
- Biometrie 363
- Biowaffe 245, 252, 256

- Bissspur 42  
 Blütenstaub 205  
 Blei 381  
 Blut 296–298  
 Blutalkohol 409, 412, 413  
 Blutspur 260, 279  
   – Sicherung/Asservierung 265  
 Blutspurenanalyse  
   – Blutnachweis 270  
   – Einordnung von Blutspuren 88, 260  
   – Kontakt- und Tropfspuren 94  
   – morphologische 87, 89, 268  
   – Textilien als Spureträger 93, 94  
   – Ursprungsort (Rekonstruktion) 95  
   – Winkel  
     – Auftreffwinkel  $\alpha$  95–97  
     – Richtungswinkel  $\gamma$  95–97  
 Bluttropfen 89, 90  
   – Durchmesser 91–93  
   – Fallhöhe 89, 90, 92, 93  
   – Form 89, 90  
   – Oszillation 97  
 Bodenspur 22, 35  
 Brandleiche 134, 135  
 Breed-Assignment-Methode 328  
*Brucella* 253  
 Brushit 123  
 Buckelfliege 230  
*Burkholderia mallei* 253  
  
*Ceteris-Paribus*-Klausel 6  
 Chelex 296  
 Chlorose 10  
 CITES 119, 134, 136  
*Clostridium botulinum* 253, 257  
*Clostridium perfringens* 253, 258  
*Coxiella burnetii* 253  
 crossing point 303  
 CTAB 300  
 Cytochrom-b-(Cytb-)Region 294, 333  
 Cytochrom-C-Oxidase-1-Untereinheit (COX1) 333  
  
 Daktyloskopie 101  
   – anatomisches Merkmal 111  
 Datenbank 315  
*Deep UV-Raman Spectroscopy* (DUVRS) 246  
 Dekomposition 120–122, 134, 141  
 Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) 249  
  
 Diatomeen 44, 197  
 Diatomeenanalyse 197  
 Differentialdiagnose 268  
 Differentielle Lyse 298  
 Differenzthermoanalyse 37  
 Diodenarraydetektor (DAD) 419, 420  
   – Spektren 419  
   – Spektrenbibliothek 419  
 Diskriminanzanalyse 129, 133  
 Displacement-loop (d-loop) 331  
 DNA 280  
   – Autosome 283  
   – Basen 281  
   – Doppelstrang 281  
   – Gonosome 283  
   – Haplotyp 282  
   – Komplementarität 281  
   – mitochondriale 282, 283  
   – nukleare 283  
   – Quantifizierung 300  
   – Spuren 260  
   – Wasserstoffbrücke 281  
 DNA-Analyse 5, 124, 128, 130, 139  
 DNA-Analysedatei 286, 288, 309  
 DNA-Extraktion 295, 345  
   – automatisierte 298  
   – Inhibitor 295  
 DNA-Marker 343  
   – AFLP 343, 346  
   – Chloroplast 343, 345, 349  
   – cpSSR-Marker 352  
   – Fingerprint 343  
   – Kern 343  
   – Mikrosatelliten (SSR) 346  
   – PCR 345  
   – RAPD 343, 346, 349  
   – trnH-psbA spacer 347  
 DNA-Microarray 249  
 DNA-Quantifizierung  
   – Fluoreszenzfarbstoff 301  
 DNA-Spuren 275  
   – Bewertung von 275  
   – Mischspur 276  
   – Reinspur 276  
 Drogen 410–413  
 DTT 299  
  
 Ebolavirus 253  
 Echte Fliege 231  
 EDTA 300  
 Eindrucksur 10

- Einmaloverall 20
- Elektropherogramm 313
- Elektrophorese 312
  - Elektropherogramm 313
  - Fluoreszenzfarbstoff 312
  - Kapillargelelektrophorese 312
  - Plattenelektrophorese 312
- Elongationstemperatur 307, 308
- Empirismus 6
- entomologische Spur 236
  - Auffinden 237
  - Begleitende Datenaufnahme 239
  - Sicherung 237
- Entomotoxikologie
  - Einfluss von Drogen auf die Entwicklung nekrophager Insekten 235
- Epigenetik 130
- Epithelzelle 298
- Epithelzellspuren 261
  - Erythrosin 272
  - Sicherung/Asservierung 266
- Erbgang 282
- Erhängen
  - Dekapitation 56, 71, 72, 77, 80, 82
  - Halswirbelsäule- (HWS-) Verletzung 76
    - *hangman's fracture* 63, 77-80
  - Knöcherne Verletzung 63, 67
  - Spurenanalyse Kehlskeletts 75
  - Strangmarke 60, 68-71, 80
  - Strangwerkzeug 56, 58, 59, 69, 70, 72, 75, 77, 80
  - Weichteilverletzung 63, 70
- Ertrinken 197, 198
- Ertrinkungsdiagnostik 193
- Erzählung 2-4
- European Association for Forensic Entomology 223
- Expertise
  - rechtsmedizinische 55
- Extremverletzung 55, 76, 77
  
- Fäulnis 224
- Fahndungsaufruf 166
- Fahndungsbild 159
- Fahrsicherheit/Fahrtüchtigkeit 412
- Fahrunsicherheit 413
- Familienlinie 282, 290, 293
  - Matrilinie 293
  - Patrilinie 290
- Farbmessung
  - mikrospektralphotometrische 31
- Faserüberkreuzung 18
  - gegenseitige 18
- Federn 41
- Festphasenextraktion 297
- Fetus 124, 130
  - Fetenknochen 137
  - Fetus, Tier 141
- Fingerabdruck 101, 366
- Fingierte Spur 10
- Flechten 26, 43
- Fleischfliege 230
- Fliege 222
- Flora 177
- Fluoreszenz 303
- Fluoreszenzfarbstoff 301, 302, 312
- Fluorometrie 302
- Formspur 10
- Forstvermehrungsgutgesetz 357
  - Klontifizierung 357
- Fourier-transform Infrarot-(FTIR-) Spektroskopie 249
- Fraßspuren 122, 141
  - Madenfraß 116
  - Termitenfraß 134
- Francisella tularensis* 253, 256
- Fruchtfliege 231
  
- Ganzkörperverletzung 81
- GC-MS-Analytik 420
  - Deuterierte Substanzen 420
  - massenspektrometrische Detektion 420
- GeDNAP 314
- gefährliche Körperverletzung 411
- genetischer Fingerabdruck 283, 313
  - Elektropherogramm 313
  - RFLP-Analyse 284
  - STRs 284
  - VNTRs 283
- genetisches Phantombild 314
  - Aussehen 284
  - Aussehen einer Person 314
  - Ethnie 284
  - Rechtslage 314
  - SNPs 314
- Genotypisierung 348
- Geoelement 381
- Geschlechtsdiagnostik 128
  - Geschlechtsdiagnose, Tier 141
  - morphognostisch 128, 129, 135

- osteometrisch 129, 135
- Gesichtserkennung 375
- Gesichtsoberfläche 150
- Gesichtsprüfung 164
- Gesichtsproportionen 157
- Gesichtstopografie 164
- Gesichtsweichteilrekonstruktion (GWR) 145
- dreidimensionale 164
- Gewässerkunde 193
- Gewebe 392
- Haare 396
- Keratin 396
- Knochen 393
- Knochen-Kollagen 394
- Nägel 396
- Primärdentin 392
- Zahnschmelz 392
- Gewebebildungszeit 392
- Gewebeumbaurate 392
- Goldalge 196, 201
- Chrysophyta 196
- Gutachtertätigkeit 9, 48
- Hämoglobin 296
- Haare 261, 280, 296, 297
- Morphologische Begutachtung 273
- Sicherung/Asservierung 267
- Haarfarbe 314
- Handzeichnung 157
- Haplotyp 290, 292, 331
- mitochondrial 292
- X-Chromosom 291
- Y-Chromosom 290
- Hautabriebspur 280
- Hautoberfläche 162
- Hautschuppchen 296
- Headspace-Gaschromatographie 414
- Heterozygotenrate 286
- Histeridae 231
- Histologie 134, 137, 139
- Altersbestimmung 125
- Artbestimmung 124
- Knochenhistologie 124
- Zahnhistologie 128, 135
- Holz 26, 43, 44, 350
- Hunde-Bissattacke 326
- hypervariable Regionen 293
- Familienlinie 290, 293
- Identifikation 165, 166, 283
- abgeleitete 283
- Allelfrequenz 288
- Aussehen 284
- Cytochrom-Oxidase 233
- Ethnie 284
- genetischer Fingerabdruck 283
- Massenunglück 280
- molekularbiologische Artbestimmung 233
- morphologische Bestimmung 233
- nekrophage Insekten 232
- Opfer 279
- PCR-RFLP 233
- Spurenarten 279
- Täter 279
- Tiere 294
- unbekannter Toter 166
- Verwandtschaft 283
- Immunoassays 417, 419
- Amfetamine 418
- Barbitursäurederivate 418
- Benzodiazepine 418
- Benzoyllecgonin 418
- Cannabis 418
- Cocain 418
- LSD 418
- Methadon 418
- Opiate 418
- Indikatorkeim 247, 251
- Individualalter 125, 130
- Biologisches Alter 125
- Kalendarisches Alter 125
- Inhibition 303
- Inhibitor 295, 296, 299, 305
- Huminstoff 296
- Insekten 227
- Insektensukzession 230
- Iris 373
- Isotope 381, 382, 386
- Isotopengutachten 386
- Isotopensignaturen 381
- Jagdbiologie 13
- Käsefliege 231
- Körperhöhe 128–130, 132, 314
- Körperhöhe, Tier 142
- Körperhöhenrekonstruktion 130, 135
- Körperproportionen 132
- Proportionsanalyse 142
- Proportionsverschiebung 130

- Kapillargelelektrophorese 312  
Katzenhaare 329  
Kernsystem 286, 288  
Kernumwandlung 383  
Kieselalgen 193, 195–197  
– Artenzahl 194, 197  
– Bacillariophyceae 194  
– Diatomeen 194  
– Lebensgemeinschaft 198  
– Neophyt 202  
– Opfer 199  
Kieselalgenproben 198, 200, 202  
Kieselgur 195  
– Diatomit 195  
Klebefolie 19  
Knochen 116, 262, 297, 298  
– Artefakte 115, 134  
– Binnenstruktur 124, 125  
– isolierte Funde 117, 119, 139  
– Kinderknochen 129  
– Mineral 123, 135  
– Schmelztemperatur 118  
– Sicherung/Asservierung 267  
– Skelett 115–117, 120  
– Tierknochen 116  
Kohlenstoff 381  
Konstitutionstyp 154  
Kontamination 398  
Kontaminationsprävention 306  
Kontextualisierung 5  
– einer Spur 8  
Kopfschuppen 296  
Korngrößenanalytik 35  
Kotspuren 261, 280  
– Sicherung/Asservierung 267  
Kriminalistik 193  
Kriminaltechnisches Institut 16  
Kunstfaser 32
- Lagerungsmilieu 398  
Lassavirus 253  
Lebensgemeinschaften 199  
Lebensmittelgesetz 356  
– GMO 356  
Lebensmittelskandale 329  
Leichenbeseitigung 116–118, 120  
Leichenbrand 118, 134, 135  
Leitfaser 33, 34  
Liegezeit 119, 122, 123, 133, 140, 151,  
225, 227  
low copy number 306
- Maden-Therapie 236  
Mageninhalt 43, 45  
Magnetische Partikel 297  
Makrospur 30  
– textile 18  
MALDI-TOF 311  
Marburgvirus 253  
Massenfraktionierungen 382  
Massengrab 120, 121  
Massenunglück 280  
Materialsipur 10  
Medikamente 411–413  
– Amitriptylin 410, 421  
– Clomipramin 410, 421  
– Codein 410, 421  
– Diazepam 410, 421  
– Flunitrazepam 410, 421  
– Imipramin 410  
– Lorazepam 410  
– Paracetamol 410  
– Zolpidem 410  
Microarray 257  
Mikroben  
– mesophile 46  
– thermophile 46  
Mikroskopphotometer 31  
Mikrospur 30, 279  
– textile 19  
Milzbrand 255  
miniSTR 311  
Mischspur 298  
mitochondriale DNA 325  
– ancestral haplotype 293  
– Heteroplasmie 293  
– Mosaikmuster 293  
– Mutationsrate 293  
– nukleare Insertion 293  
– Qualitätssicherung 314  
– Ringversuch 314  
Modelliermaterial 160, 161  
Moor-Leiche 185  
Mord 411  
Mosaikmuster 293  
Most Probable Number (MPN) 250  
Multiplex-Kit 284, 289, 300, 310, 311  
Mumifikation 116, 121, 132  
Mundschleimhautzelle 327  
Mutternuklide 383
- Nahrungswechsel 385  
Naturfaser 32



- Neugeborene 118
  - neonate Tiere 141
  - Neonaten 124
- Neutralität 7
  - bei Spurenbewertung 7
- Nonidet P40 300
- Obduktion 58–60, 65, 152
- Obduktionsbericht 151
- Oberflächenspur 117, 133, 134, 140, 141
- Oberflächenveränderung
  - durch Säureeinwirkung 134
  - Erosion 141
  - Folgen durch Herstellungsprozess 134
  - Termitenfraß 134
  - Wurzelwachstum 141
- Öffentlichkeitsfahndung 165
- Organische Extraktion 296
- Ortsbestimmung durch Pollenanalyse 213
- Ortswechsel 385
- Osteometrie 129, 133
- Osteonenknochen 125
- Paläolimnologie 193
- Parsimonität 7
- Patentrecht 355
- pathogen 247, 249–251, 253, 256
- Pathogenitätsfaktor 253
- PCR 255–257, 300, 304
  - ancient DNA 306
  - Artefakte 305
  - Effizienz 305
  - Grenzbereiche 304
  - Kontaminationsprävention 306
  - low copy number 306
  - Reaktionsparameter 306
  - Zyklenzahlen 305
- Personalbeweis 9
- Pferde 182
- Pflanze 169, 295, 343
  - Allergiepflanzen 181
  - Ausbreitung 184
  - Bast 172, 174
  - Bestimmungsliteratur 171
  - Biotop 180, 184
  - Blätter 172, 173
  - Blüten 172
  - Diasporen 170, 172
  - Drogen 172, 176, 178
  - Eibe 177, 181, 182
  - Eisenhut 178, 181
  - Elaiosom 184
  - Fingerhut 177
  - Flora 184
  - Früchte 170, 172
  - Gewürze 175
  - Giftpflanzen 177, 181
  - Giftpilze 181
  - Haschisch 180
  - Herbar 171
  - Holz 171, 172, 187
  - Holzkohle 175
  - Makroreste 169, 170, 183
  - Moor 172
  - Mutterkorn 182
  - Naturschutz 187
  - Phänologie 186
  - psychoaktive 43
  - Samen 170, 172
  - Schierling 180
  - Tee 172, 176
  - Tollkirsche 177, 181
  - Torf 172
  - Vegetation 179
  - Wasserpflanzen 185
- Pflanzendiebstahl 25
- pH-Wert 117, 123
- Phantombildsoftware 159
- Photometrie 302
- Pilzen 26
- Plattenelektrophorese 312
- Polarisationsmikroskopie 36
- Pollen 44, 205, 206
- Pollenanalyse 205, 209, 211
- Pollengehalt der Luft 208
- Polymerase Chain Reaction (PCR) 249, 304
- Polymerasekettenreaktion 249, 304
- power of discrimination 286
- Primer 289, 308
  - Multiplex-Kits 310
  - Spezifität 308
- probability of random match 286, 287
- Proteinase K 299
- Random Amplified Polymorphism DNA (RAPD) 249, 334
- Rassezuordnung 328
- Reaktionseffizienz 305, 308
- Reaktionsoptimum 300
- Reaktionsparameter 306

- Real-Time-PCR 251, 255, 256, 303  
 Rechtsmedizin 193  
 Referenzdatenbank 328  
 Referenzmaterial 280  
 Rekonstruktion 145  
   – computerbasierend 164  
   – plastische 159  
   – zeichnerische 157, 159, 165  
 Reproduzierbarkeitskriterium 6  
 Restriction Fragment Length  
   Polymorphism (RFLP) 249, 334  
 Reverse Transkriptase-PCR (RT-PCR)  
   250  
 Ringversuch 314  
  
 Sachverständiger 9  
 Sauerstoff 381  
 Schädel 152  
 Scheidensekrete 260  
   – Erscheinungsbild 260  
   – Lugol'sche Lösung 272  
   – Sicherung/Asservierung 265  
 Schlafmohnkapsel 43  
 Schmeißfliege 225  
   – *Calliphora vicina* 228  
   – Entwicklungszyklus 225  
   – geographische Variabilität 230  
   – *Lucilia sericata* 229  
   – Schwellenwerte 226  
   – Temperaturmenge 226  
 Schutzkleidung 20  
 Schwefel 381  
 Schweretrennung 212  
 SDS 299  
 Sekretspuren 260  
 Sekundärfaser 33  
 Selbstentzündung  
   – biologische 46  
 Sequenzierung 350  
   – *trnL*-Region 350  
 Sequenzpolymorphismus 292  
 Sexualdimorphismus 128  
 shadow bands 305  
 Short Tandem Repeat *siehe* STRs  
 Sichtverfahren 8  
 Signifikant 3  
 Signifikat 3  
 Silica-Säulen 297  
 Silphidae 231  
 Single Nucleotide Polymorphism (SNP)  
   249, 325  
 Situationsspur 10  
   slippage 307  
   Slot-Blot 302  
   SNPs 314  
   Speichel 296  
   Speichelspuren 260, 280  
     – Erscheinungsbild 260  
     – Sicherung/Asservierung 265  
     – Vortest 271  
   Sperma 296–298  
   Spermaspur 260, 280  
     – Erscheinungsbild 260  
     – Nachweis 271  
     – Sicherung/Asservierung 265  
   Speziesbestimmung 13, 119, 124, 137,  
     139  
   Spur 1–3, 8, 10  
     – Abdruck- 10  
     – daktyloskopische 101  
     – Eindruck- 10  
     – erkenntnistheoretisch 3  
     – Fingerte- 10  
     – Form- 10  
     – Kontextualisierung 2  
     – Material- 10  
     – materielle 3  
     – Mehrfacheigenschaft 11  
     – Situations- 10  
     – Theorie der 2  
     – Tier 12  
     – Trug- 10  
   Spuren 279, 294  
     – Liste von 11  
   Spurenart 279, 295  
     – Blut 279  
     – Haare 280  
     – Hautabrieb 280  
     – Kot 280  
     – Speichel 280  
     – Sperma 280  
     – Vaginalepithelzellen 280  
   Spurenbild 21, 33  
   Spurenelemente 385  
   Spurenleger 9  
   Spurenlesen 3  
   SRY-Geschlechtsbestimmung 329  
   Staphylinidae 231  
   Stickstoff 381  
   STR-Marker 329  
   Strontium 381  
   STRs 284, 314

- Allel 286
- Allelfrequenz 287
- autosomale 284
- Diskriminierungskraft 286
- Elektropherogramm 313
- Fragmentlänge 313
- Hardy-Weinberg 286
- Heterozygotenrate 286
- Kernsystem 286
- miniSTR 311
- Multiplex-Kits 310
- Nomenklatur 285
- power of discrimination 286
- probability of random match 286
- Qualitätssicherung 314
- Ringversuch 314
- Selektionsdruck 286
- Software 313
- Struktur 285
- Validierung 286
- Y-chromosomale STRs 290
- zufällige Übereinstimmung 286
- stutter 305
- SYBR® Green 301
  
- Täterverifizierung 198
- Tatortabklärung 193
- Tatortsicherung 2
- Tatortverifizierung 198
- Tatsache
  - Anknüpfungs- 9
  - Befund- 9
  - Zusatz- 9
- Teppichmotte 231
- Thermoanalyse 32
- Thermogravimetrie 37
- threshold cycle 303
- Tiere 294
  - Cytochrom b 294
  - Spezies 294
  - STRs 294
- Tierhaare 25, 38, 294
- Tierknochen 136, 137, 139, 140
- Tierspuren 12
- Tochternuklide 383
- Todesursache 411
- Todeszeitbestimmung 223
- Todeszeitpunkt 222
- Toxin 252, 253, 256, 258
- Triton X-100 300
- Tropenholz 344, 353
  
- Trugspur 10
- Turiner Grabtuch 216
- Tween-20 300
  
- Uran 403
- Urin 261
  - Sicherung/Asservierung 267
  
- Vaginalepithelzelle 280
- Variola 253
- Vegetation 25, 43, 169, 179
- Verdinglichung 5
- Vergleichsbodenprobe 24
- Vergleichshaarprobe 26
- Vergleichsmaterial 262
  - Sicherung/Asservierung 268
- Verhalten
  - selbstverletzendes 82, 83
- Verletzungsspur 133, 135
  - Verletzungsflächen 134
  - Verletzungsmuster 133
- Vernachlässigung 236
- Verwesung 224
- Verwesungsgeschwindigkeit 231
- Verwesungsstadium 116, 121
  
- Wasserleiche 197
- Wasserstoff 381
- Weichteildicke 154, 160
- Weichteilmärke 155, 158
- Wiedererkennung 153
- Wildbiologie 13
- Wildunfall 39, 332
  
- X-Chromosom 282
- X-chromosomale STRs 291
  - komplexe Verwandtschaft 292
  - Vater-Tochter 292
  
- Y-Chromosom 282
- Y-chromosomale STRs 290
  - Datenbank 291
  - extended haplotype 291
  - Haplotyp 290
  - Mengenverhältnis 290
  - minimal haplotype 291
  - Sexualdelikt 290
- Yersinia pestis* 253
  
- Zähne 262

- 
- Sicherung/Asservierung 267
  - Zahnstatus 153
  - Zeichen 3
  - Zeitbestimmung durch Pollenanalyse  
215
  - Zeitliche Reihung von Spuren 67, 71, 72
  - Zementochronologie 128
  - Zerfall
    - radioaktiver 383
  - Zungeneinklemmung 72, 73
  - Zusatztatsache 9
  - Zuwachsringe im Zahnzement
    - Zementochronologie 141
  - Zyklenzahl 305, 306