

## **Expertisen an biologischen Spuren**

### **Bestandsaufnahme, zukünftige Trends**

**B. Brinkmann**

Institut für Rechtsmedizin der Universität Münster, von-Esmarch-Straße 86, D-4400 Münster, Bundesrepublik Deutschland

### **Expertise in the Area of Biological Stains**

#### **Review and Discussions on Future Trends**

**Summary.** In this paper an attempt is made to critically review the literature, with special emphasis on bloodstain analysis. One essential aim is the integration of this field into casework. Three basic components in skilful assessment of stains are described: (1) analysis of stain morphology, (2) discriminating and attributing analyses, (3) individualization. Regarding the first, the analysis of stain morphology is based upon the extensive experimental literature published since 1895 – mainly in continental Europe. Since 1971 there have also been publications in the American literature. The large family of stain forms and their dependency on multiple variables are described, especially regarding the modes of formation, the energy of impact, and the physical properties of the substrate. The essential elements for reconstruction of the crime are described. The areas of application are arranged in case groups. Since in case work the stain pattern is complicated by many artifacts and overlaps, forensic pathologists are considered the ideal experts for the analysis of bloodstain patterns, as they have a profound knowledge of the type and sequence of injuries. If this is not the case, the forensic pathologist should at least be integrated into the investigating team. In practical application, the stain form is not always adequately analysed. The education and training of pathologists should be improved to achieve this standard. Analysis of the stain morphology and a subsequent selection of stains are also essential prerequisites for meaningful further investigations. By the use of discriminating and attributing analyses, one can as a rule arrive at a definite answer by using only one test. This is true for basic questions such as the identification of blood type, as well as proof of exclusion. One can distinguish between traditional methods, the new field of immunochemistry and rarely used methods. Immunochemistry has permitted success in recent

years in determination of the blood group from hair. It is recommended that reference laboratories be established for training in these rare methods. Individualization analyses are subdivided into two large fields: non-DNA individualization and DNA individualization. It is postulated that in the future stain laboratory both areas will coexist. In non-DNA individualization, essential progress has been made. The detection of protein polymorphisms by blotting and subsequent visualization by antibody-linked enzyme/substrate reactions has led to a considerable increase in sensitivity and specificity. By a combination of the classical methods and protein polymorphisms, the discrimination index in the non-DNA field is now  $1 \cdot 10^{-6}$ . This discrimination index can be achieved with very small traces of blood. DNA individualization has made considerable progress. It is not yet clear which types of systems can be reliably used for stain analysis in the future (highly polymorphic systems or medium polymorphic systems). Both group systems have their advantages and disadvantages. Considerable work is necessary to achieve a standardization of methods, and this is also true for future developments of methods and for the necessary increase in sensitivity. With regard to quality assurance, it is recommended that definite safety measures be observed to avoid mistakes. When introducing new systems into routine practice, a multiphase procedure should be adopted.

**Key words:** Blood stains – Blood stain patterns – Discriminating methods – Individualization – Genetic markers

**Zusammenfassung.** Das Referat unternimmt den Versuch einer kritischen Bestandsaufnahme mit besonderer Betonung der Blutspuren-Analyse. Die Integration in die Praxis ist hierbei ein wesentliches Ziel. Als Grundbestandteile der Spurenexpertise werden beschrieben: (1) Analyse der Spurenform, (2) Diskriminierende und zuordnende Analysen, (3) Individualisierende Analysen. Zu 1: Die Analyse der Spurenform basiert auf einem umfangreichen experimentellen Schrifttum seit 1895 im wesentlichen im kontinental-europäischen Bereich. Seit 1971 finden sich auch Publikationen im amerikanischen Schrifttum. – Die große Familie der Formspuren und deren Abhängigkeit von zahlreichen Variablen wird beschrieben. Besonders gilt dies für die Entstehungsmodalitäten, für die Aufprallenergie, für die physikalischen Eigenschaften der Spurenträger. Die wesentlichen Elemente für die Tatrekonstruktion werden genannt. Einige Bereiche der Anwendung werden fallgruppenartig skizziert. Da in der Praxis das Spurenbild durch zahlreiche Artefakte und Überlagerungen kompliziert ist, wird es für notwendig gehalten, daß der forensische Pathologe, welcher die Arten und Reihenfolgen der Verletzungen kennt, der ideale Experte auch für die Analyse des Spurenbildes sei. In der praktischen Anwendung wird die Analyse der Spurenform nicht immer in der erforderlichen Qualität durchgeführt. Die Fortbildung und Weiterbildung der Obduzenten in diesem Punkt sollte verbessert werden. Eine gezielte Analyse der Spurenform ist auch eine wesentliche Voraussetzung für sinnvolle weitergehende Untersuchungen. Zu 2: Durch die dis-

kriminierenden und zuordnenden Analysen werden in der Regel mit einem Test entscheidende Antworten erzielt. Dies gilt sowohl für grundlegende Fragen wie den Blutnachweis usw. als auch für den Ausschlußbeweis. Zu unterscheiden ist zwischen klassischen Methoden, dem neuen Bereich der Immunchemie und den sog. seltenen Methoden. Durch den Einsatz der Immunchemie ist es in den letzten Jahren möglich geworden, die Blutgruppenprägung von Haaren sicher zu bestimmen. Sog. seltene Methoden werden u. a. deswegen in der Praxis selten angewendet, weil das erforderliche ständige Training fehlt. Es wird hierzu empfohlen, Referenz-Laboratorien einzurichten. Zu 3: Die individualisierenden Analysen untergliedern sich in 2 große Unterbereiche: Non-DNA-Individualisierung und DNA-Individualisierung. Es wird postuliert, daß beide Bereiche im zukünftigen Spurenlabor nebeneinander Bestand haben werden. In der Non-DNA-Individualisierung sind wesentliche Fortschritte dadurch erzielt worden, daß der Nachweis der Proteinpolymorphismen durch Blot-Verfahren mit nachfolgender Visualisierung durch Enzym-Substratreaktionen zu erheblicher Empfindlichkeitssteigerung und Spezifitätssteigerung geführt hat. Unter Berücksichtigung auch der klassischen Nachweismethoden beträgt im Non-DNA-Bereich der Discrimination-Index nunmehr  $1 \times 10^{-6}$ . Dieser Discrimination-Index ist mit sehr kleinen Spurenmengen erreichbar. – Die DNA-Individualisierung hat erhebliche Fortschritte gemacht. Offen ist z. Zt. noch, welche Systeme – hochpolymorphe Systeme oder mittelpolymorphe Systeme – in der fernerer Zukunft in die Spurenanalytik einbezogen werden. Beide Systemgruppen haben ihre Vor- und Nachteile. Erhebliche Arbeit muß noch bei der Standardisierung der Methoden geleistet werden. Dies gilt auch für zukünftige Methodenentwicklungen und für die erforderliche Steigerung der Empfindlichkeit. Ein letzter Abschnitt ist der Qualitätssicherung gewidmet. Hier wird empfohlen, daß zur Vermeidung von Fehlern bestimmte Sicherheitsvorkehrungen eingehalten werden. Bei der Einführung neuer Systeme sollte ein mehrphasiges Verfahren angestrebt werden.

**Schlüsselwörter:** Blutspuren – Blutspurenmuster – Diskriminierende Analyse – Individualisierende Analyse – Genetische Merkmalsysteme

## Einleitung

Die Expertise über biologische Spuren hat im letzten halben Jahrhundert eine doppelte Änderung vollzogen: Von einem überwiegend morphologisch ausgerichteten Arbeitsbereich hin zur Molekularbiologie und von einem „Nebenbereich“ des rechtsmedizinischen Labors zu einem höchst differenzierten Speziallabor der forensischen Wissenschaften. Diese rasante Entwicklung hat Spuren hinterlassen. Die Zahl der rechtsmedizinischen Experten, welche diesen Spezialbereich noch beherrschen und daher in die wissenschaftliche und praktische Arbeit integrieren können, hat deutlich abgenommen. Ähnliche Aspekte gelten für Angehörige der Ermittlungsorgane und der Strafrechtspflege, welche die hierdurch gegebenen Möglichkeiten zur Verbrechensaufklärung nicht ken-

nen und daher nicht nutzen. Dies führt dazu, daß die Aufklärung der Wahrheit leidet. Die manchmal zu rasche Akquisition neuer Methoden und neuer Systeme hat mancherorts zu einer Vernachlässigung des Instrumentariums der Qualitätssicherung mit erkennbaren Schwächen in der Beweissicherheit geführt. Der nachfolgende Artikel will im Sinne einer kritischen Bestandsaufnahme einige wesentlich erscheinende Arbeitsrichtungen der Spurenexpertise untersuchen, zukünftige Entwicklungen aufzeigen und Bedingungen für eine erforderliche Konsolidierung nennen. – Die Analyse der biologischen Spur – der nachfolgende Aufsatz behandelt im wesentlichen die Blutspur – gliedert sich in 3 Unterbereiche: Untersuchung der Spurenform, diskriminierende und zuordnende Analysen und individualisierende Untersuchungen. Allen drei Bereichen ist die Qualitätssicherung als eigenes Element zugehörig.

### **Die Analyse der Spurenform**

Dieser Unterbereich wird in seiner Wertigkeit zumeist falsch eingeschätzt. Dabei ist er in seinen systematischen Grundlagen 100 Jahre alt und wissenschaftlich ein integraler Bestandteil der Rechtsmedizin. Entscheidender Unterschied im Vergleich zu den individualisierenden Analysen ist der Umstand, daß die morphologische Analyse der Spurenform eine Beziehung zum Tatgeschehen herstellen kann, die Individualisierung eine solche zum Verursacher. Damit ist die Spurenformanalyse ein wesentliches rekonstruktives Element rechtsmedizinischer Tätigkeit. Einige entscheidende Bausteine unseres derzeitigen Wissensgebäudes seien kurz skizziert:

Piotrowski (1895) hat erstmals systematisch tierexperimentell Schlagspritzspuren verursacht und untersucht. Schmidtman (1905) geht bereits ausführlich auf Rekonstruktionsmöglichkeiten aus der Spurenformanalyse ein. Ziehmke (1914) empfiehlt die photographische Dokumentation und hält bei Rückschlüssen auf den Entstehungsmechanismus das Vorliegen mehrerer Spuren für erforderlich. Er beschreibt die Nebentropfen und deren Abhängigkeit von der Fallhöhe und von anderen Einflüssen; besonders auch die Entstehung der Ausrufezeichen und ihre differentialdiagnostischen Abgrenzungen. – Lochte (1933) untersucht u. a. stroboskopisch die Entstehungsmodi der Sekundärtröpfchen, ihre Flughöhen und Flugweiten, auch in Abhängigkeit von der Rauigkeit des Spurenrägers. Balthazard et al. (1939) definieren die Beziehung zwischen dem Längen-Breiten-Quotienten einer Einzelspur und dem Aufprallwinkel. Mueller und Schleyer (1975) nennen einige weitere Aspekte: Schaumförmige Blutspuren beim Aushusten, Entstehung und Kreuzung von Blutstraßen. Der Amerikaner Mac Donell (1971), welcher im Vorwort seines Buches der Meinung ist, sich als erster dieses Wissenschaftsgebietes angenommen zu haben, nennt weitere Elemente: Rekonstruktionsmöglichkeiten aus den Abschleuderspuren, Beziehungen zwischen Geschwindigkeiten und Flugweiten der Spuren, Spezialformen wie Schußspuren. Pizzola et al. (1986a und b) untersuchen insbesondere systematisch die exakten physikalischen Bedingungen der Blutspurenentstehung. In eigenen Untersuchungen wurden einige weitere Besonderheiten beschrieben: Besonderheiten der Morphologie bei Mikrospuren, bei Spuren auf

Textilgewebe, bei Schlagspritzspuren (Rand et al. 1985; Rand et al. 1986a; Brinkmann et al. 1985; Brinkmann et al. 1986b).

Durch die vorstehenden Untersuchungen entstand ein umfangreiches, überwiegend empirisches Wissensgebäude, dessen monographische Darstellung noch aussteht. Wir kennen in der Familie der Formspuren in Abhängigkeit von der Entstehung Tropfspuren, Abrinnspuren, Abschleuderspuren, Schlagspritzspuren, Schlagaderspritzspuren, ausgehustete Spuren; in Abhängigkeit von dem Tropfenvolumen weitere Variationen in der Morphologie; extreme Unterschiede in der Zerlegungsbereitschaft des Primärtropfens, u. a. aufgrund der Aufprallenergie und der Beschaffenheit des Spurenträgers; Spezialformen der Spuren auf Textilgewebe. Diese und weitere Einflußgrößen führen zu Tausenden von gerichteten Variationen, deren naturwissenschaftliche Systematik noch aussteht.

### *Möglichkeiten und Bedingungen der praktischen Anwendung*

In der Praxis entspricht nie ein Spurenbild dem anderen vollständig. Selbstverständlich gibt es Ähnlichkeiten. Die Untersuchungsstrategien müssen daher auf den Einzelfall abgestellt werden. Einige Aspekte gelten jedoch für alle Spurenfälle, andere für bestimmte Fallgruppen. Diese sollen kurz skizziert werden.

*Komplexe und defiziente Spurenbilder.* Ein Problem besteht darin, daß Spuren aus unterschiedlichen Verursachungsmechanismen überlappen können: Beispielsweise Schlagspritzspuren mit Abschleuderspuren, mit ausgehusteten Spuren. Eine Entzerrung ist fast immer möglich. Sie setzt jedoch subtile Untersuchungen am Tatort voraus und kann nach unserer Meinung nur von dem Obduzenten bzw. nur bei seiner Einbeziehung geleistet werden. Denn nur dieser kennt die blutenden Quellen, mögliche Spritzrichtungen, Beibringungsgeometrie der Verletzungen, Entstehungsreihenfolge und kann mit diesem Teilwissen wesentlich zur Entflechtung beitragen. Manchmal erfordert dies mehrstündige, bzw. mehrtägige Untersuchungen auch am Tatort. Defiziente Muster sind häufiger. Sie haben vielfache Ursachen: Scheinbare Defizienz, weil ein Spurenträger, wie z. B. Teppichboden, die Spuren farblich und morphologisch maskiert. Natürlich lassen sie sich durch Kunstgriffe dennoch nachweisen (z. B. Infrarot-Photographie). Teildefizienzen entstehen recht häufig durch unvollständige Vernichtung oder Beseitigung. Hierbei werden häufig Mikrospuren übersehen oder Spurenträger unvollständig gereinigt. Wir haben es erlebt, daß 2 Jahre nach einem Tötungsdelikt trotz umfangreicher Reinigungsmaßnahmen ein kleiner Ausschnitt eines ursprünglich wesentlich komplexeren Schlagspritzspuren-musters erhalten geblieben war. Die Spurenträger war schwarz und daher waren die Spuren – es handelte sich überwiegend um Mikrospritzer – der Vernichtung entgangen. Dieser Befund wurde prozeßentscheidend. Auch unvollständige Spurenbilder lassen sich bei Kenntnis der Gesetzmäßigkeiten als Rekonstruktionselemente benutzen. So entstehen scheinbare Defizienzen häufig auch dadurch, daß der Täter einen Teil der abspritzenden Spuren mit seinem Körper abfängt. Ein solcher Befund am Tatort (Teildefizienz im Spurenbild) ist für die Ermittlung wichtig. Teildefiziente Spuren entstehen auch durch nach-

trägliche Verschiebung von Möbeln, hierdurch können gelegentlich neue Spurenbilder vorgetäuscht werden.

*Dokumentation.* Dies ist oft ein wesentlicher Schwachpunkt. Eine noch so gute Photodokumentation ist alleine unzureichend: 1.) erreicht man wegen des Auflösungsvermögens der Photographie längst nicht alle Spuren, besonders gilt dies für Mikrospuren. 2.) vermittelt die Photodokumentation nicht das für die Rekonstruktion erforderliche dreidimensionale Bild. In Ergänzung zur Photodokumentation muß daher der Spurenexperte stets auch den Geschehensort in Augenschein nehmen und das Spurenbild schematisch in eine perspektivische Raumskizze einzeichnen.

*Zytologie.* Ein wesentliches Element, auch zur Entflechtung, besonders jedoch auch zur Rekonstruktion, sind zytologische Untersuchungen. Zellbeimengungen und Sekretbeimengungen können bei Blutungen aus dem Respirationstrakt und aus dem Genitaltrakt wesentlichen Aufschluß geben. Ein Mann erlitt nach mehreren Werkzeugschlägen gegen das Gesicht einen Schädelbasisbruch und starb an den Folgen, u. a. einer Blutaspiration. Blutspuren fanden sich in unterschiedlichen Räumlichkeiten des Neubaus. Entscheidend wurde die Rekonstruktion des Geschehensablaufs nach Erhalt der Schläge. Einige Blutspuren enthielten lediglich Epithelien aus dem Nasen-Rachen-Raum, andere zunehmend bis ausschließlich Zellen aus dem Bronchialbaum, was eine bestimmte Verursachungsfolge der Spuren nahelegte, welche nachher auch durch Geständnis so bestätigt wurde.

*Spurenauswahl.* Ganz wesentliches Ziel einer eingehenden Musteranalyse ist die gezielte Auswahl von Material für weitergehende Untersuchungen. Kein forensisches Labor wird je imstande sein, sämtliche Spuren aus komplexen Spurenbildern, welche manchmal Tausende von Einzelspuren beinhalten, zu untersuchen. Eine Zufallsauswahl kann leicht zu völlig falschen Aussagen führen; denn die weiterführenden Spuren machen manchmal nicht einmal 1% aus dem Gesamtmuster aus. Die Auswahl muß daher gezielt erfolgen. Eine funktionelle Analyse des Spurenbildes ist die Voraussetzung. Nach Tötung einer Frau und ihrer beiden Kinder mit Beilhieben fanden sich Tausende von Blutspuren in verschiedenen Räumlichkeiten der Wohnung. Entscheidend für die Identifizierung oder den Ausschluß des Tatverdächtigen wurde die Tatreihenfolge. Eine gezielte Auswahl von Abschleuderspuren und von Spritzspuren an der Bekleidung ermöglichte in Verbindung mit der serologischen Analyse eine eindeutige Rekonstruktion.

*Ausblick.* Formspuren entstehen bei mehr als der Hälfte aller Tötungsdelikte. Ihre Aussagefähigkeit ist umfangreich. Sie sind ein wesentliches Element der funktionellen Rekonstruktion. In der Praxis sind sie auch das wesentliche Element, bei dessen Einbeziehung aus funktioneller Pathologie – entsprechend der Forensic Pathology der Angelsachsen – gerichtliche Medizin wird. Es handelt sich somit um ein Schlüsselement unseres Faches. Da nur der Obduzent aus der Sache heraus der ideale Experte sein kann, ist dieser Teilbereich ein wesentliches Bindeglied zwischen der Pathologie und dem Spurenlabor.

Es kann allerdings nicht verkannt werden, daß die Anwendung und Auswertung dieses Teilbereichs der Spurenkunde in den letzten Jahrzehnten zunehmend vernachlässigt wurde und kaum noch beherrscht wird. Verständlich ist dieses nicht. Denn die enorme Effizienzsteigerung bei den individualisierenden Untersuchungen macht serologische Auswertungen von Mikrospuren erst heute möglich. Sie macht auch eine gezielte Auswahl aus komplexen Spurenbildern erforderlich. Zur Effektivierung und Reintegration dieses Teilbereichs empfehlen wir:

- Regelhafte Integration in die Weiterbildung des Rechtsmediziners.
- Anlegung systematischer und kasuistischer Spurensammlungen, auch für Vergleichszwecke.
- Regelmäßige Einbeziehung des Rechtsmediziners in die Untersuchungen am Geschehensort. Dies sollte auch für jene Fälle gelten, wo mitgeteilt wird, daß sein Erscheinen nicht erforderlich sei.

### **Zuordnende und diskriminierende Analysen**

Dieser Teilbereich ist heterogen. Insbesondere existieren Überschneidungen zu den individualisierenden Untersuchungen. Er ist dadurch definiert, daß durch eine bestimmte Untersuchung eine Antwort auf eine entscheidende Frage erzielt wird. Weitere Untersuchungen erübrigen sich danach häufig. Beispiele:

- negative Hämoglobinprobe an roter Spur
- Tierblutnachweis statt vermutetem Menschenblut
- Nachweis des männlichen Kerngeschlechts bei Blutspuren an der Bekleidung des Tatverdächtigen – weibliches Opfer
- der Auftraggeber erwartet nur eine Zuordnung zu einer von zwei Personen
- Scheitern einer Zuordnung aufgrund diskrepanter ABH-Gruppen

Nach methodologischen Gesichtspunkten ist eine Untergliederung in zwei oder drei große Gruppen möglich: (1) klassische Methoden, (2) neue Methoden (Immunchemie), (3) seltene Methoden.

Zu (1): Die klassischen Methoden sind Standard vieler Spurenlaboratorien und unterteilen sich in

- morphologische Nachweise, z.B. auf Spermatozoen, Vaginalzellen, Kerngeschlecht (Schwinger 1972), Haarmorphologie (Gaudette and Keeping 1974),
- mikro- und biochemische Nachweise, z.B. Blut, Speichel, Urin (Gaensslen 1983),
- immunologische Nachweise, z.B. Spezies, Organ (Sensabaugh 1978).

Zu (2): Die Immunchemie mit Hilfe monoklonaler Antikörper und nachfolgender Ankopplung enzymbeladener Antikörper und hierauf folgender Visualisierung durch Enzym-Substrat-Reaktion hat aufgrund der hohen Spezifität und Empfindlichkeit zahlreiche neue Nachweismöglichkeiten eröffnet:

- Nachweis der ABH-Prägung von Haaren. Dieser Nachweis ist drei Arbeitsgruppen unabhängig voneinander gelungen (Miyasaka et al. 1984; Pötsch-

Schneider et al. 1986; Nishi et al. 1988). Vorher war die Sicherheit umstritten (Oepen und Noever 1980), so daß Nishi und Mitarbeiter nunmehr eine breite Erprobung empfehlen.

- Nachweis der ABH-Prägung an wenigen Zellen, z. B. Mundschleimhautzellen, Vaginalzellen (Brinkmann et al. 1986a). Da die Nachweise an den Zellen selbst erfolgen, besteht die Abhängigkeit vom Sekretorstatus nicht mehr. Jetzt sind problematische Substrate wie Zigarettenskippen und Abstriche der Glans prinzipiell zugänglich.
- Häufig finden sich bei Kapitaldelikten und Unfällen kleinste, rasch mumifizierende Gewebspartikel. Fechner et al. (1987) gelang mit einer speziellen Präparationsmethode regelmäßig nicht nur die Herkunftsbestimmung (Organ), sondern auch die Spezies- und ABH-Bestimmung.

Die Biochemie und Verteilung der ABH- und Lewis-Antigene hat aufgrund intensiver Forschung während der letzten Jahre umfangreiche Bereicherungen und Veränderungen erfahren. So existieren ABH-Antigene auf sechs unterschiedlichen Kohlenhydratketten, damit existiert eine umfangreiche Familie von Antigenen. Viele monoklonale Antikörper (z. B. Anti-H) sind nur für eine Kette spezifisch. Die Ausstattung der verschiedenen menschlichen Gewebe ist je nach Herkunft (ektodermal, endodermal), topologischer Differenzierung und Reifegrad extrem unterschiedlich (Oriol 1986; Pedal 1984). Einige Gewebe (Haut, Haare, innere Organe) weisen darüber hinaus Mosaizismen der ABH-Prägung auf. Die Expression variiert auch quantitativ in Abhängigkeit vom Sekretorstatus. – Daher sind verschiedene Vorbedingungen bei spurenkundlicher Anwendung der Immunchemie erforderlich: Subtile Kenntnis der ABH-Prägung des Substrats; Untersuchung möglichst mehrerer Zellen (> 20–30) oder Haarquerschnitte; subtile Kenntnis der Spezifität und Empfindlichkeit des Testsystems, welches schwache Expressionsgrade noch erkennen muß – bei klarer Negativität entsprechender Kontrollen. Diese Bedingungen werden nicht immer eingehalten.

Zu (3) – Seltene Methoden. Die Literatur enthält eine Fülle methodischer Mitteilungen, welche hochinteressante, neue Möglichkeiten eröffnen, die Methoden kommen in der Praxis jedoch nur selten zur Anwendung. Dies kann zwei Gründe haben: (1) Die Methode war an der künstlichen Spur brauchbar, an der vielfältig kontaminierten Spur im praktischen Fall versagte sie; (2) die Methode ist kompliziert und, um sie sicher anwenden zu können, muß sie ständig benutzt werden, entsprechende Fragestellungen sind jedoch selten. Beispiele:

- Nachweis des Proteins P 30 (Sensabaugh 1978)
- Nachweis des Antikörperprofils (King et al. 1976)
- Nachweis spezieller Blutherkünfte (Fetalhämoglobin, Menstruationsblut) – (Schleyer und Oepen 1977)
- Nachweis der Rassenzugehörigkeit, etwa über die Gm-Muster (Matsumoto 1977)
- Nachweis des Kerngeschlechts (Schwinger 1972)

Zumindest bei den brauchbaren Methoden sollte erwogen werden, ob diese bei veränderter Strategie häufiger zur Anwendung kommen können. Zu den-



ken ist an Referenzlaboratorien für definierte Untersuchungen. Diese hätten dann überregionalen Zufluß von Aufträgen und die Methode wäre in ständiger Anwendung. Allerdings muß streng darauf geachtet werden, daß das forensische Prinzip der Zweitbegutachtung und der Methodentransparenz gewährleistet ist.

### **Individualisierende Untersuchungen**

Wegen der außerordentlich rasanten Entwicklung ist eine Bestimmung des derzeitigen Standortes und der zukünftigen Entwicklung problembehaftet. Vor zwei Jahrzehnten war für den ABH-Nachweis nach Holzer noch ein 1 cm<sup>2</sup> großer Blutfleck erforderlich, und dies war vielerorts auch das einzige, aus Spuren nachgewiesene Merkmalssystem. Dieselbe Menge ist heutzutage zum Nachweis von etwa 15 Merkmalssystemen ausreichend. Voraussetzung für diesen gewaltigen Schritt war die Entwicklung einer großen Reihe neuer Methoden, so daß man in methodischer Sicht jetzt eine Zweigleisigkeit im Serologielabor feststellen kann: klassische Methoden für die Hämogenetik, spurenorientierte Methoden. Die in der gleichen Zeit entstandene Methodenvielfalt kennt zahlreiche publizierte und unpublizierte Varianten in jeder Methode, so daß es wohl kaum noch zwei Laboratorien mit identischem Methoden-Repertoire gibt. Dies macht die Entwicklung und Definition allgemein gültiger Qualitätsstandards erforderlich.

Ziel der individualisierenden Untersuchung ist ein Höchstmaß an Individualität der Blutformel, Schlagwort ist das „fingerprinting“. Hier scheinen sich zwei Wege abzuzeichnen, welche sowohl in der jetzigen Entwicklung als auch in der fernen Zukunft nebeneinander Bestand haben dürften: (1) Klassische Individualisierung (Non-DNA-fingerprinting), (2) DNA-fingerprinting. Nach den bisherigen Erfahrungen vieler Laboratorien (z. B. Bär et al. 1988) scheint der DNA-Nachweis nicht bei jeder Spur erfolgversprechend. Denn bei bakterieller Besiedlung der Spur kann recht häufig bereits vor der Extraktion eine unkontrollierte Zerlegung der Spuren-DNA durch bakterielle Endonukleasen vorliegen. Hinzu kommt das Problem, daß man erst nach Extraktion der Spur und DNA-Elektrophorese die Güte des Substrats beurteilen kann. Hierdurch wurden gleichzeitig zahlreiche, nachweisbare Merkmale im Non-DNA-Bereich irreversibel vernichtet. Es muß daher stets eine flexible Alternative vorliegen. Auch gilt es, strategische Brücken zwischen beiden Bereichen (Non-DNA und DNA-Individualisierung) zu etablieren.

#### *Zu (1) – Klassische Individualisierung (Non-DNA)*

Nach methodischen und pragmatischen Gesichtspunkten lassen sich drei Methodengruppen differenzieren (Tabelle 1–3).

Das *klassische Repertoire* wird von allen Laboratorien beherrscht. Allerdings differieren die Methoden stark. Für den ABH-Nachweis aus Blutspuren hat sich allgemein die Absorptions-Elutions-Technik durchgesetzt, allerdings in

**Tabelle 1.** Klassisches Repertoire

System	NDI <sup>a</sup>
AB0	0,374
Gm (1, 2, 4, 10)	0,331
Km (1, 3)	0,742
PGM-Sub	0,254
SEP	0,311
EsD (IEF)	0,636
Total	0,005
DI <sup>b</sup> = 0,995	

<sup>a</sup> NDI – Non Discrimination Index<sup>b</sup> DI – Discrimination Index**Tabelle 2.** Ergänzungs-Repertoire

System	NDI <sup>a</sup>
Rhesus	0,208
Kidd	0,375
Duffy	0,370
Kell	0,858
ADA	0,775
AK	0,870
PGD	0,916
GLO	0,387
DI <sup>b</sup> = 0,994	

<sup>a</sup> NDI – Non Discrimination Index<sup>b</sup> DI – Discrimination Index

zahlreichen Variationen (z. B. Kind 1960, Howard und Martin 1969). Zusätzlich kommen empfindlichere Methoden zum Einsatz, z. B. ELISA (Takatori und Tsutsbuchu 1986). Die Gm- und Km-Nachweise benötigen relativ viel Spurenmaterial im klassischen Ansatz. Durch Mikrotiterplatten und spurenorientierte Kontrollen lassen sich Effizienz und Sicherheit ganz erheblich erhöhen (Kloosterman und Pieron 1988). Zum Nachweis der Enzyme aus Spuren haben sich ganz allgemein fokussierende Methoden auch dort durchgesetzt, wo keine Subtypen existieren. Die hierdurch erzielte Bandenfokussierung führt besonders bei dünneren Spurenextrakten zu Empfindlichkeitssteigerung. Weitere methodische Varianten sind: keilförmige Gele, Applikation der Extrakte über spezielle Enzymaktivatoren, Behandlung mit SH-Reagenzien, Dialyse der Spurenextrakte (Pflug 1985; Rand et al. 1986b). Hierdurch lassen sich ebenfalls beträchtliche Steigerungen der Empfindlichkeit erzielen, so daß heute für die gesamte Gruppe des klassischen Repertoires (Tabelle 1) eine Spurenmenge ausreicht,

**Tabelle 3.** Proteinpolymorphismen

Immuno-Chemo-Phorese		Serumkonzentr. (mg/100 ml Plasma)	max. Verd. <sup>c</sup>	Spuren- alter <sup>d</sup> (Monate)
System	NDI <sup>a</sup>			
Gc	0,259	30– 75	800	18
Tf	0,406	200–320	64	6
PLG	0,388	10– 15	5	6
$\alpha$ 2HS	0,395	60	*	6
F XIII A	0,416	} 1	16	*
F XIII B	0,408		32	6
Pi	0,368	200–400	8	6
Hp	0,228	25–200	*	24
Total	0,0002			
DI <sup>b</sup> = 0,9998				

<sup>a</sup> NDI – Non Discrimination Index<sup>b</sup> DI – Discrimination Index<sup>c</sup> maximal mögliche Verdünnung des Spurextrakts<sup>d</sup> Lagerung bei Raumtemperatur

\* – noch in Untersuchung

welche durch etwa 10  $\mu$ l Blut verursacht wurde. Als Ausdruck der Effizienz in der forensischen Praxis wurde der DI (Discrimination Index) oder der NDI (Non Discrimination Index) etabliert (Gaensslen 1983). Letzterer gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, daß zwei zufällig ausgewählte Personen dieselbe Blutformel haben. Im klassischen Repertoire beträgt diese Wahrscheinlichkeit im Mittel 1:200.

Das *Ergänzungs-Repertoire* (Tabelle 2) repräsentiert eine Mischung von Methoden, welche entweder nur wenige Laboratorien beherrschen, weil die Reagenzien selten sind (Seren mit hoher Avidität) oder welche wegen ungünstiger DI zu geringe Effizienz haben. Immerhin ist die diskriminierende Kraft dieser Methodengruppe ähnlich groß wie die des klassischen Repertoires. Wir haben dennoch den Eindruck, daß diese Methodengruppe in weiterer Zukunft an Bedeutung verlieren wird, da günstigere Alternativen zur Verfügung stehen. Eine Ausnahme könnte man sich für solche Fälle vorstellen, wo seltene Enzymtypen (z. B. AK 2–1) als starke Diskriminatoren bekannt sind.

*Elektrophoretische Proteinpolymorphismen* (Tabelle 3). Hier hat sich eine entscheidende Wandlung vollzogen. Bis vor wenigen Jahren war der Nachweis nahezu aller Proteine aus Spuren problematisch: Das Fehlen spezifischer Nachweise, die Entstehung von Ladungs- und Konformationsänderungen, Bindungen an weitere Proteine, hoher Spurenverbrauch sind einige Stichworte. Die Entwicklung einer neuen Methodengeneration (Immuno-Chemo-Phoresen), welche die Fokussierung in ultradünnen Gelen, nachfolgenden Protein-Transfer in entsprechende Membranen und den spezifischen Proteinnachweis über

Antikörper mit Enzymkopplung miteinander kombinieren, hat zu einer umfangreichen Veränderung geführt (Pflug 1986; Rand et al. 1987):

- hohe Empfindlichkeitssteigerung, insbesondere durch die Enzym-Substrat-Reaktion in der Größenordnung von  $10^2$  bis  $10^3$ .
- hohe Spezifität durch Verwendung spezifischer Antikörper
- Artefakt-Unanfälligkeit durch vorhergehende spezifische Präparation der Spurenextrakte (z. B. Abspaltung des Aktin-Komplexes)
- extrem hohe zeitliche Nachweisgrenzen (z. T. über Jahre) (Pflug 1986).

Bisher ist der Nachweis von 8 Proteinpolymorphismen gelungen (Rand et al. 1988). Trotz deutlicher Unterschiede in den Serumkonzentrationen – bei in der Größenordnung vergleichbaren Molekulargewichten – folgen die Empfindlichkeiten nicht ausschließlich diesem Kriterium, so daß möglicherweise die unterschiedliche Avidität der Antikörper die entscheidende Ursache ist (Tabelle 3). Mehrere Systeme ließen sich bisher länger als ein Jahr aus gelagerten Spuren (Raumtemperatur) nachweisen. Ähnliches gilt wahrscheinlich für weitere, nicht aufgelistete Proteinsysteme (z. B. aus der Komplementreihe). Der hiermit erzielte NDI beträgt 0,0002, ist also mehr als eine Zehnerpotenz höher als der des klassischen Repertoires. Bei etwa gleichem Spurenmaterialverbrauch wie für das klassische Repertoire dürfte sich diese Methodengruppe daher zu einer flexiblen Alternative entwickeln. Die Kombination des klassischen Repertoires (Tabelle 1) mit der Proteingruppe (Tabelle 3) erreicht bereits jetzt einen DI von  $1 \times 10^{-6}$ , was einem Non-DNA-fingerprint gleichkommt. Der hierfür erforderliche Spurenverbrauch entspricht einem halben Blutstropfen.

### *Zu (2) – DNA fingerprinting*

Durch die Entdeckung zahlreicher Polymorphismen auf dem DNA-Level (restriction fragment length polymorphism = RFLP) ist eine extrem hohe Individualisierung einer Blutprobe technisch kein Problem (Wyman and White 1980; Jeffreys et al. 1985). In der praktischen Anwendung für die Spurenexpertise existieren einige Probleme, welche z. Zt. intensiv bearbeitet werden. Zunächst muß berücksichtigt werden, daß verschiedene Grundtypen dieser Polymorphismen existieren: (1) hochpolymorphe Systeme – „tandem repeats“ –, bei welchen die durch eine DNA-Sonde erkannte Sequenz über mehrere oder viele Bereiche des menschlichen Genoms verteilt ist. Extreme Beispiele sind beschrieben: Jeffreys et al. 1985; Jarman et al. 1986. Einige dieser Polymorphismen repräsentieren für sich allein ein „fingerprinting“ (Jeffreys et al. 1986; Ali et al. 1986). (2) Mit einer wesentlich umfangreicheren Zahl verschiedenster Sonden, – im wesentlichen handelt es sich um „single copy probes“ –, lassen sich zahlreiche nieder- und mittelpolymorphe RFLP's nachweisen. Sie werden durch eine definierte Anzahl von Allelen geprägt. Das genetische Modell ist bekannt oder durch Familienuntersuchungen aufklärbar (Ito et al. 1985). Ein einziger dieser Polymorphismen repräsentiert für sich allein kein fingerprinting, wohl aber die Kombination mehrerer (Baird et al. 1986).

Die Perspektiven der praktischen Anwendung sind vielschichtig: Bei den hochpolymorphen Systemen besteht ein Problem darin, daß zwischen einigen

Banden nur extrem geringe Wanderungsunterschiede bestehen. Dies macht zur Identifizierung einen parallelen Lauf der Spuren-DNA und „Verursacher“-DNA erforderlich. Ein anderes Problem besteht darin, daß nur solche Spuren verwendet werden können, bei denen hochmolekulare DNA – fehlender Abbau durch bakterielle Endonukleasen bzw. fehlende Zerstörung aus anderen Ursachen – vorliegt. Dies macht nach entsprechender Extraktion eine gesonderte elektrophoretische Überprüfung erforderlich. Wenn man diese Prüfung unterläßt, können Veränderungen der DNA übersehen werden, welche im Autoradiogramm im Auftreten zusätzlicher Banden oder Fehlen ursprünglicher Banden resultieren (Gill et al. 1987). Diese Fehlerquelle läßt sich bei niedropolymorphen Systemen leichter erkennen, als bei hochpolymorphen. Auch zahlreiche andere Sicherheitsstandards bezüglich der Aufarbeitung müssen streng eingehalten werden. Eine interessante Variante der Individualisierung besteht darin, daß man die Membran mit der aufgetrennten DNA nacheinander mit verschiedenen DNA-Sonden hybridisiert und durch Kombination mehrerer Polymorphismen ebenfalls in den Bereich des fingerprinting kommt. Die DNA-Individualisierung verspricht besonders große Erfolge bei solchen Spuren, welche durch traditionelle Systeme nur begrenzt individualisierbar sind (Sperma, Gewebe). Eine ebenfalls faszinierende Möglichkeit besteht darin, daß man bei Vorliegen begrenzter DNA-Mengen eine Vermehrung über Bakterienkulturen erreichen kann (Higuchi et al. 1988). Allerdings beschränkt sich diese Möglichkeit auf kurze DNA-Fragmente. Derzeitige Bemühungen sind darauf gerichtet, die Nachweisempfindlichkeit der Methoden zu steigern. Durch intensivere radioaktive Markierung wurde bereits eine erhebliche Steigerung erzielt. Z. Zt. bestehen erfolgversprechende Bemühungen mehrerer Laboratorien, die autoradiographische Visualisierung der Banden durch Farbreaktionen zu ersetzen (z. B. Boehringer Mannheim). Insgesamt ist bereits jetzt nicht mehr zu bezweifeln, daß zukünftig die DNA-Individualisierung einen festen Platz im Repertoire des Spurenlabors einnehmen wird.

### **Qualitätssicherung**

Qualitätssicherung im Spurenlabor hat selbstverständlich mehrere Dimensionen (Pereira 1985). Man muß sich vergegenwärtigen, daß ein gutes Spurenlabor z. Zt. etwa 40–50 Methoden, zu welchen hochkomplizierte Methoden gehören, beherrschen muß. In sämtlichen genetischen Systemen bestehen darüber hinaus seltene Varianten, welche mit Artefakten interferieren können. Günstig ist daher die Kombination von Spurenlabor und Paternitätsserologie. Ein zusätzliches Problem besteht darin, daß komplizierte Methoden erfahrungsgemäß nur dann funktionieren, wenn sie ständig benutzt werden. Für diese ständige Methodenpflege bietet sich bei den genetischen Merkmalssystemen die zweite Untersuchung bei Paternitätsgutachten an. Man kann aus den Blutproben künstliche Spuren anlegen und hat mit dieser zweiten Untersuchung in einem Spurennachweisverfahren gleichzeitig ein echtes unabhängiges Kontrollverfahren.

Die wichtigste Voraussetzung ist ein extrem hoher Sicherheitsgrad. Dies wird mehr und mehr zum wichtigsten Punkt der Spurexpertise. In jedem Sy-

stem muß ein Sicherheitsgrad von praktisch 100% als Voraussetzung der praktischen Anwendung erreicht sein. Eine Fehlerhäufigkeit von nur 1% in jedem einzelnen System würde bei Anwendung von 15 Systemen zu einer unakzeptablen Anhäufung von Fehlern führen.

Die verschiedenen Ebenen der Fehlerentstehung sind: (1) methodische Fehler. Das angewendete Untersuchungssystem muß eine 100%ige Reproduzierbarkeit gewährleisten. Artefakte können insbesondere dadurch erkannt werden, daß man lange Erprobungsphasen an unterschiedlich alten und unterschiedlich gelagerten Spuren der praktischen Anwendung vorausschickt. (2) Die Interpretationsfehler haben ihre Ursache in mangelnder Kenntnis über das System, auch über seltene Varianten. (3) Am häufigsten sind die Ablese- und Übertragungsfehler, gegen welche man durch doppelte Ablesungen und ggfs. auch den Doppelversuch geschützt ist.

Bei der Einführung neuer Systeme in die Spurenkunde bietet sich ein mehrstufiges Verfahren an: (1) zunächst Akquisition der Methode und Durchführung einer kontrollierten Laborstudie, d.h. Erprobung der Methode an Blutproben mit bekannten Phänotypen. Diese Trainingsphase ermöglicht eine sofortige Rückkopplung mit den wahren Werten. (2) Interne Qualitätskontrolle. Im Blindverfahren sollten wenigstens etwa 100 künstlich angelegte Spuren fehlerfrei ausgewertet worden sein. (3) Praxisnahe Erprobung. Nach erfolgreichem Abschluß der Phase 2 sollten über einen längeren Zeitraum von wenigstens etwa einem Jahr künstlich angelegte Spuren unterschiedlichen Alters und nach unterschiedlichen Lagerungseinflüssen untersucht werden. Nach erfolgreichem Abschluß dieser Phase kann mit der praktischen Anwendung begonnen werden. (4) Parallel zur praktischen Anwendung sollten regelmäßig externe Qualitätskontrollen durchgeführt werden.

*Danksagung.* Ich danke Herrn Dipl. Biol. St. Rand für die kritische und konstruktive Unterstützung bei der Erstellung des Manuskripts.

## Literatur

- Ali S, Müller CR and Epplen JT (1986) DNA fingerprinting by oligonucleotide probes specific for simple repeats. *Hum Genet* 74:239–243
- Baird M, Kanter E, Shaler R, Balazs I (1986) Application of DNA polymorphisms to the forensic examination of dried blood stains. Eds: Brinkmann B, Henningsen K. Springer, Berlin Heidelberg New York. *Adv For Haem* 1:351–355
- Balthazard V, Piédelièvre R, Desoille H, Dérobert L (1939) Etude des gouttes de sang projeté. *Ann Med Leg* 19:265
- Bär W, Kratzer A, Machler M, Schmid W (1988) Studies on the postmortem stability of DNA in various tissues for use in DNA-fingerprinting. Ed: Mayr W. Springer, Berlin Heidelberg New York. *Adv For Haem* 2
- Boehringer Mannheim (1988) Firma Mitt. DNA Labeling and Detection Kit Nonradioactive
- Brinkmann B, Kernbach G, Rand S (1986a) Cytochemical detection of ABH antigens in human body fluids. *Z Rechtsmed* 96:111–117
- Brinkmann B, Madea B, Rand S (1985) Kasuistischer Beitrag zur Analyse von Mikroblutspuren. *Arch Kriminol* 176:163–170
- Brinkmann B, Madea B, Rand S (1986b) Zu den Einflußfaktoren auf die Morphologie der Blutspur. *Beitr Gerichtl Med XLIV*:67–73

- Fechner G, Petkovits Th, Brinkmann B (1987) Zur Identifizierung mumifizierter Gewebspartikel. *Zbl Rechtsmed* 30(6):479
- Gaensslen RE (1983) Sourcebook in Forensic Serology, Immunology und Biochemistry. N.I.J.: US Government Printing Office Washington DC 20402
- Gaudette BD, Keeping ES (1974) An attempt at determining probabilities in human scalp hair comparison. *J Forensic Sci* 19:599–606
- Gill P, Lygo JE, Fowler SJ, Werrett DJ (1987) An evaluation of DNA fingerprinting for forensic purposes. *Electrophoresis* 8:38–44
- Higuchi RG, von Beroldingen CH, Sensabaugh GF, Erlich HA (1988) HLA typing on single human hairs: DNA probes to enzymatically amplified genes. Ed: Mayr W. Springer, Berlin Heidelberg New York. *Adv For Haem* 2
- Howard HD, Martin PM (1969) An improved method for ABO and MN grouping of dried bloodstains using cellulose acetate sheets. *J Forensic Sci Soc* 9:28–30
- Ito H, Yasuda N, Matsumoto H (1985) The probability of parentage exclusion based on restriction fragment length polymorphisms. *Jpn J Human Genet* 30:261–269
- Jarman AP, Nicholls RD, Weatherall DJ, Clegg JB, Higgs DR (1986) Molecular characterisation of a hypervariable region downstream of the human  $\alpha$ -globin gene cluster. *EMBO. J.* 5:1857–1863
- Jeffreys AJ, Wilson V, Thein SL (1985) Hypervariable “minisatellite” regions in human DNA. *Nature* 314:67–73
- Jeffreys AJ, Wilson V, Thein SL, Weatherall DJ, Ponder BAJ (1986) DNA “fingerprints” and segregation analysis of multiple markers in human pedigree. *Am J Hum Genet* 39:11–24
- Kind SS (1960) Absorption-elution grouping of dried bloodstains on fabrics. *Nature* 187:789–790
- King LA, Werrett DJ, Whitehead PH (1976) Antibody profiling of bloodstains. *Forensic Sci* 8:151–154
- Kloosterman A, Pieron C (1988) The application und reliability of immunoglobulin allotyping in forensic stain analysis. Ed: Mayr W. Springer, Berlin Heidelberg New York. *Adv For Haem* 2
- Lochte Th (1933) Über die Kronenbildung des auffallenden Blutropfens und ihre Beziehungen zu sekundären Blutspritzern. *Dtsch Z ges Gerichtl Med* 22:387–396
- MacDonell H (1971) Flight characteristics and stain patterns of human blood. *Nile and C J PR* 71–74
- Matsumoto H (1977) Application of the Gm-system to population genetics and anthropology. *J Anthropol Soc Nippon* 85 4:265–280
- Miyasaka S, Yoshino M, Sato H, Mukoyama H, Seta S (1984) Immunohistochemical investigation on the ABO blood grouping of a minute sample from human scalp hair. *Rep Natl Res Inst Pol Sci* 37:27–35
- Mueller B, Schleyer F (1975) In: Mueller B (Hrsg) *Gerichtliche Medizin*, Bd 1. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 107–112
- Nishi K, Rand S, Brinkmann B (1988) Immunochemical detection of ABH antigens in hairs. Ed: Mayr W. Springer, Berlin Heidelberg New York. *Adv For Haem* 2
- Oepen HJ und Noever H (1980) Zur ABO Blutgruppenprägung des menschlichen Haares. *Z Rechtsmed* 85:205–209
- Oriol R, Le Pendu J, Mollicone R (1986) Genetics of ABO, H, Lewis X and related antigens. *Vox Sang* 51:161–171
- Pedal J, Hülle J (1984) Immunenzymatische Bestimmung des ABO- und Sekretorstatus an paraffineingebettetem Autopsiematerial. *Z Rechtsmed* 93:289–300
- Pereira M (1985) Quality Assurance in Forensic Science. *Forensic Sci Int* 28:1–6
- Pflug W (1985) Wedge-shaped ultrathin polyacrylamide and agarose gels for isoelectric focusing: A new method for typing phosphoglucomutase (PGM<sub>1</sub>) in semen stains and vaginal swabs. *Electrophoresis* 6:19–22
- Pflug W (1986) Isoelectric focusing of Gc subtypes on reuseable immobilized pH-gradient gels followed by detection with antibody conjugated alkaline phosphatase. Eds: Brinkmann B, Henningsen K. Springer, Berlin Heidelberg New York. *Adv For Haem* 1:372–377

- Piotrowski E (1895) Über die Entstehung der Blutspuren nach Hieb- und Stichwunden des Kopfes. Virchows Jahresber I: 449
- Pizzola PA, Roth S, De Forest PR (1986a) Blood droplet dynamics – I. J Forensic Sci 31: 36–49
- Pizzola PA, Roth S, De Forest PR (1986b) Blood droplet dynamics – II. J Forensic Sci 31: 50–64
- Pötsch-Schneider L, Penzes L, Lorenz K (1986) Immunenzy-matische ABO-Blutgruppenbestimmung am Einzelhaar. Z Rechtsmed 97: 251–258
- Rand S, Madea B, Brinkmann B (1985) Zur Morphologie von Blutspuren. Beitr Gerichtl Med XLIII: 259–264
- Rand S, Madea B, Brinkmann B (1986a) Zur Systematik des Spurenbildes bei Schlagspritzspuren. Beitr Gerichtl Med XLIV: 75–80
- Rand S, Ritter P, Kohfahl A, Brinkmann B (1988) An approach to individualisation of micro-bloodstains using immunochemophoresis. Ed: Mayr W. Springer, Berlin Heidelberg New York. Adv For Haem 2
- Rand S, Ritter P, Kohfahl A, Brinkmann B (1987) A comparative study of immunoblotting techniques for the detection of Gc subtypes after isoelectric focusing on agarose and polyacrylamide gels. Z Rechtsmed 98: 175–180
- Rand S, Winkelbauer, Brinkmann B (1986b) Investigations on PGM activity and electrophoretic patterns from ejaculates and seminal stains. Eds: Brinkmann B, Henningsen K. Springer, Berlin Heidelberg New York. Adv For Haem 1: 368–371
- Schleyer F, Oepen I (1977) Leitfaden der gerichtlich-medizinischen Blutspuren-Untersuchung. Max Schmidt-Römhild, Lübeck
- Schmidtman (1905) Handbuch der gerichtlichen Medizin. Band 1, § 148: 758. Hirschwald, Berlin
- Schwinger E (1972) Geschlechtsbestimmung aus Blutspuren Z Rechtsmed 70: 157–162
- Sensabaugh GF (1978) Isolation and characterisation of a semen-specific protein from human seminal plasma: A potential new marker for semen identification. J Forensic Sci 23: 106–115
- Takatori T, Tsutsubuchi Y (1986) An ELISA using avidin-biotin complex for the determination of ABH group from saliva. For Sci Int 31(1): 61–68
- Wyman AR, White R (1980) A highly polymorphic locus in human DNA. Proc Natl Acad Sci 77: 6754–6758
- Ziemke E (1914) Die Untersuchung von Blutspuren. In: Th Lochte v (Hrsg) Gerichtsärztliche und polizeiärztliche Technik. Bergmann, Wiesbaden

Eingegangen am 17. März 1988