

# „Haarspalterei“ zur Aufklärung von „Drogenkarrieren“

## Nachweis von Gift- und Suchtstoffen in Haaren

Von Harald Schütz, Björn Ahrens, Freidoon Erdmann, Gertrud Rochholz und Günter Weiler

Mit Hilfe der Untersuchung von Körperflüssigkeiten, wie etwa Harn oder Blut, kann man toxikologisch relevante Wirkstoffe, wie beispielsweise Rauschgifte, nur noch wenige Tage nach der letzten Applikation nachweisen. Im Gegensatz hierzu bietet die Untersuchung von Haaren auf Fremdstoffe die Möglichkeit, eine „Drogenkarriere“ über längere Zeiträume zu überprüfen. Am Institut für Rechtsmedizin der Universität Gießen werden neben der forensischen Pathologie, Verkehrsmedizin und Serologie, einschließlich DNA-Techniken, auch Fragen der forensischen Toxikologie intensiv bearbeitet.

Auftraggeber sind vor allem die Universitätskliniken und Ermittlungsbehörden – Polizei, Gerichte und Staatsanwaltschaften. Zu den üblichen Untersuchungsmaterialien zählen Körperflüssigkeiten (Blut, Harn, Mageninhalte) und Organmaterial. Die Art der Gifte ist recht unterschiedlich und umfaßt beispielsweise Medikamente, Drogen, Pestizide, Haushaltschemikalien und zahlreiche andere Fremdstoffe. Manchmal liegen Hinweise auf die Art der Giftstoffe vor, z. B. aufgefundene Tablettenpackungen oder mehr oder weniger typische klinische Symptome, wie etwa enge oder weite Pupillen, häufig fehlen diese jedoch. Dann beginnt das schwierige aber auch reizvolle Gebiet der „Generally-Unknown“-Analyse, und dabei müssen grundsätzlich mehrere Tausend Giftstoffe in Betracht gezogen werden. Neuerdings gewinnt der Nachweis von Wirkstoffen in Haaren an Bedeutung. Das hiesige Institut für Rechtsmedizin beteiligt sich, mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), intensiv an dieser Entwicklung.

### Warum Haare als Untersuchungsmaterial?

Die meisten toxikologisch relevanten Arznei- und Giftstoffe werden vom Organismus so schnell eliminiert, daß ein Nachweis in den Körperflüssigkeiten Harn und Blut häufig schon nach wenigen Tagen nicht mehr möglich ist. Eine Ausnahme stellen lediglich Substanzen mit langer Eliminationshalbwertszeit dar. Einige Daten zur Nachweisbarkeit wichtiger Wirkstoffe sind in der Übersicht 1 zusammengestellt.

Ganz andere Begutachtungsmöglichkeiten bietet dagegen die Haaranalyse: Sehr viele organische und organische Wirkstoffe gelangen mit dem Blut zur Haarwurzel, werden dort in das Haar eingebaut und „wachsen“ dann mit dem Haar weiter (Abb. 3). Untersucht man die Haare abschnittsweise, so lassen sich die ein-

zelnen Längensegmente innerhalb gewisser Grenzen zeitlich zuordnen, und man kann so Einblicke in die „Drogenkarriere“ der betreffenden Person gewinnen. Obwohl im Einzelfall auch höhere Wachstumsraten – bis etwa 30 mm pro Monat – beobachtet worden sein sollen, wird man mit einem Wert von etwa 10 mm pro Monat den Realitäten meist nahekommen (Abb. 1).

Die Übersicht 2 zeigt schematisch, wie Wirkstoffe auf oder in das Haar gelangen können. Für die analytische Praxis ist es wichtig, daß exogene Kontaminationen, z. B. aus der Umgebungsluft, durch Haarpflegemittel oder Kopfschweiß, durch gründliches Waschen der Haare mit Wasser und organischen Lösungsmitteln (z. B. Aceton) vor der eigentlichen Analyse entfernt werden können. Bei den hier beschriebenen und diskutierten forensisch-to-

xikologischen Fragestellungen ist allein die endogene Herkunft der Wirkstoffe von Interesse.

### Entwicklung und Methodik der Haaranalytik

Bald nach Bekanntwerden der ersten Untersuchungen wurde in der Literatur über den erfolgreichen Nachweis von Amphetaminen (Aufputschmittel), Barbituraten (Schlafmittel), Benzodiazepinen (Schlafmittel und Psychopharmaka), Cannabinoiden (Haschischderivate), Cocain (Psychostimulantien), Methadon, Nicotin, Opiaten, wie z. B. Codein, Heroin oder Morphin, und einigen weniger bekannten Wirkstoffen in Haaren berichtet. Häufig handelt es sich hierbei um illegale Drogen, wenn man einmal von Nicotin und ärztlicherseits verordneten Wirkstoffen absieht.

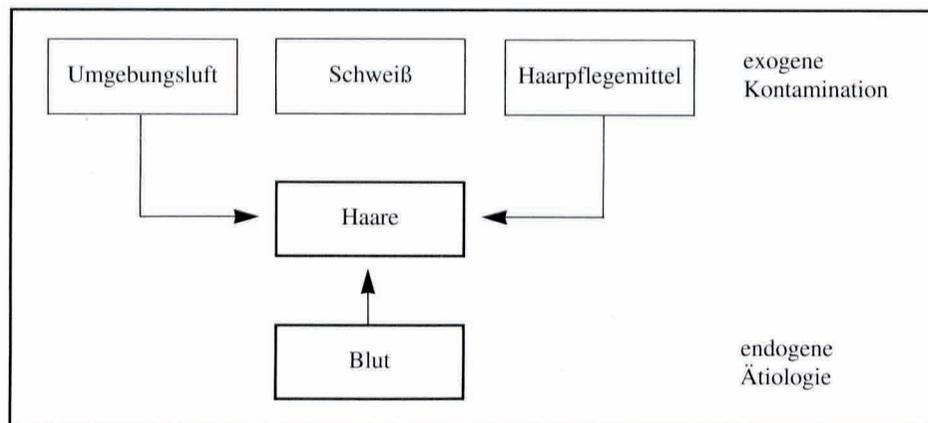
### Aufarbeitsverfahren

Eine ganz besondere Bedeutung kommt im Fall der Haaranalytik den Aufarbeitsverfahren

Übersicht 1: Nachweismöglichkeiten wichtiger Arzneistoffe und Drogen im Harn (beträchtliche Schwankungen möglich)

Substanz	Ungefähre Nachweisbarkeitsdauer (Ausnahmen beobachtet!)
Amphetamine (Aufputschmittel)	etwa 48 Stunden (stark vom pH-Wert des Harnes abhängig)
Barbiturate (Schlafmittel)	24 Stunden (kurz wirksame, z. B. Secobarbital) 2 bis 3 Wochen (lang wirksame)
Benzodiazepine (Schlaf- und Beruhigungsmittel z. B. Valium®)	Klassische Benzodiazepine (z. B. Diazepam) etwa 3 Tage nach therapeutischer Dosis bis zu 4 bis 6 Wochen nach Langzeiteinnahme bei hoher Eliminationshalbwertszeit
Cannabinoiden (Haschisch, Marihuana)	24 bis 36 Stunden (einmaliger Joint) 5 Tage (mäßiger Raucher, 4 x pro Woche) 10 Tage (starker Raucher, täglich) bis zu 20 Tagen bei chronischem Abusus
Kokain	2 bis 4 Tage
Methadon	ca. 3 Tage
Opiate (z. B. Heroin)	ca. 2 bis 3 Tage (stark abhängig von der Dosis u. a. Faktoren)

## Übersicht 2: Wie kommen Fremdstoffe in oder auf die Haare?



fahren zu, die der eigentlichen instrumentellen Analytik vorgeschaltet sein müssen: Häufig werden intensive saure oder alkalische Hydrolysemethoden eingesetzt, um die Haarstruktur zu zerstören und die Wirkstoffe oder deren Metaboliten freizusetzen. Dabei werden allerdings auch viele empfindliche Wirkstoffe selbst hydrolysiert. Daher wird neuerdings auf aggressive präanalytische Verfahren verzichtet, um auch hydrolyseempfindliche Verbindungen zu erfassen. Eine beliebte Variante ist das Pulverisieren der Haarproben, nachdem diese mit flüssigem Stickstoff in einen Bereich erhöhter Sprödigkeit abgekühlt wurden, mit anschließender Extraktion aus neutralem Milieu oder der Aufschluß der Haare mit enzymatischen Methoden.

Eine besonders schonende Variante, mit der beispielsweise der extrem hydrolyselabile „Heroinmarker“ 6-Acetylmorphin nachweisbar ist, wurde im hiesigen Institut für Rechtsmedizin kürzlich entwickelt. Die Zusammenhänge sind in einem Biotransformationsschema in Übersicht 3 darstellt.

Führt man einen Opiatnachweis, wie dies häufig geschieht, lediglich über Morphin, so kann man nicht differenzieren, ob Morphin im Verlauf der Biotransformation aus dem legal erhältlichen Hustenmittel Codein entstand oder ob der Beschuldigte das illegale und daher nicht verkehrsfähige Heroin (Diacetylmorphin) applizierte, aus dem im Organismus ebenfalls Morphin gebildet wird. Der Heroinmarker 6-Acetylmorphin kann aber nur aus Heroin entstehen und ist somit allein beweiskräftig für den Heroinabusus.

### Die Nachweismethoden – einige technische Details

Die gegenwärtig empfindlichste und spezifischste Methode zum Nachweis von Wirkstoffen in Haaren – und nicht nur dort – ist die Kapillar-Gaschromatographie/Massenspektrometrie, neuerdings auch in Verbindung mit der Tandem-Massenspektrometrie. Im Hinblick auf die geringen Konzentrationen der

Fremdstoffe im Haarmaterial ist insbesondere nach therapeutischer Dosierung die Einzelionendetektion (Single Ion Monitoring/SIM) als Methode der Wahl anzusehen. Weiterhin sind viele (insbesondere hydroxylierte) Substanzen vorteilhaft nach Derivatisierung (z. B. mit Pentafluorpropionsäureanhydrid) zu analysieren. Die Konzentrationen der gebräuchlichsten Wirkstoffe liegen in der Größenordnung von wenigen ng Fremdstoff pro mg Haarsubstanz (1 ng [Nanogramm] =  $10^{-9}$  Gramm = 0,000000001 Gramm). Zur Analytik werden etwa 50 mg Haare benötigt (Abb. 1 und 2).

### Einige Fälle aus der Praxis

Mit der Haaranalytik können zahlreiche Fälle aufgeklärt werden; über einige soll hier kurz berichtet werden:

#### Fall 1:

In einem ausländischen Hotel wird ein sog. verdeckter Ermittler der Polizei bewußtlos im Bett aufgefunden. Er wird reanimiert und in den im Zusammenhang mit den Notfallmaßnahmen sichergestellten Harn- und Blutproben werden Stoffwechselprodukte des Heroin nachgewiesen. Der Betroffene läßt sich dahingehend ein, daß er niemals zuvor in seinem Leben Heroin appliziert habe; vielmehr sei ihm von Dealern eine letale Menge „gespritzt“ worden, da man ihn als verdeckten Ermittler entlarvt habe und beseitigen wollte. Der inzwischen festgenommene Dealer sagt dagegen aus, daß der verdeckte Ermittler bereits seit Monaten heroinabhängig und sein Stammkunde sei.

Ergebnis: Mit Hilfe der Haaranalytik kann eine längere „Drogenkarriere“ rekonstruiert werden.

#### Fall 2:

In einem Krankenhaus ist ein „ständiger Schwund“ eines Betäubungsmittels zu beklagen. Der Hauptverdächtige befindet sich in einem Überseeurlaub; daher kann keine „aktuelle Harn- oder Blutprobe“ sichergestellt werden.

Ergebnis: Nach der Rückkehr verläuft die Analyse der Körperflüssigkeiten negativ. In den Haarproben kann jedoch das vermutete Betäubungsmittel sicher nachgewiesen werden.

#### Fall 3:

Eine Frau tötet ihren Mann mit dem Pflanzenschutzmittel Parathion (E 605). Anschließend verbringt sie längere Zeit in der Untersuchungshaft, wo ihr auch bromhaltige Beruhigungsmittel verabreicht werden. Anlässlich der Hauptverhandlung behauptet der Verteidiger, daß seine Mandantin auch zum Tatzeitpunkt

### Übersicht 3: Biotransformation von Diamorphin (= Heroin) und Codein

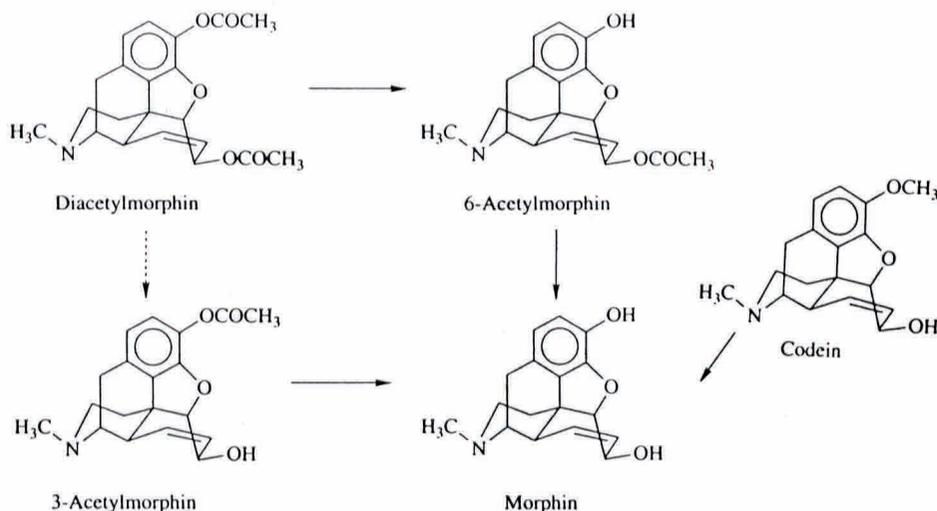




Abb. 1: Sehr gute Voraussetzungen für die Haaranalyse. Foto: Schütt

ein negatives Ergebnis erbracht hatte und das Schwurgericht daran zweifelte.

Zum Ablauf des Geschehens: Ein im August 1988 geborenes Mädchen wurde von Anfang März bis Ende April 1990 mehrfach mit Krämpfen in die dortige Kinderklinik eingeliefert. Man vermutete einen seltenen Stoffwechseldefekt. Direkt nach dem letzten Krankenhausaufenthalt verstarb das Kind, und die Leiche wurde nach einer pathologischen Sektion zur Bestattung freigegeben. Nach über einem Jahr tauchte der erste Vergiftungsverdacht auf, da auch die Geschwister Vergiftungserscheinungen zeigten. Daraufhin wurde die Kindesleiche im Juli 1991 exhumiert. Es waren jedoch keine Körperflüssigkeiten und Organe für einen Giftnachweis mehr vorhanden. Die Mutter stritt jegliche Giftbeibringung ab.

Ergebnis: Im Haar der exhumierten Leiche wurde das Psychopharmakon Clozapin mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie nachgewiesen. Bei Clozapin handelt es sich um ein stark wirksames Psychopharmakon, das restriktiven Verschreibungsmodalitäten unterworfen ist und nur bei ärztlich besonders begründeter Indikation direkt vom Hersteller bezogen werden darf. Bei Kindern darf dieses Mittel generell nicht eingesetzt werden.

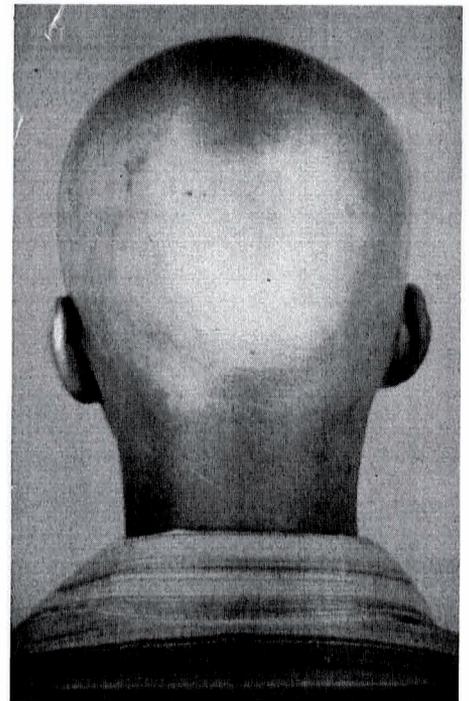


Abb. 2: Extrem schlechte Voraussetzungen für die Haaranalytik. Foto: Dr. Hoting/Hautklinik Eppendorf

unter dem Einfluß dieser Medikamente gestanden habe und wegen des „Bromismus“ von einer Schuldunfähigkeit ausgegangen werden müsse.

Ergebnis: In der Harnprobe, die im zeitlichen Zusammenhang mit der Gerichtsverhandlung gewonnen wurde, konnte Bromid nachgewiesen werden, da in der Untersuchungshaft ja entsprechende Mittel appliziert wurden. Die Untersuchungen der Haare ergaben jedoch, daß zum Tatzeitpunkt keine Bromidbeeinflussung nachzuweisen war. Genauere Analyseergebnisse siehe Übersicht 4.

Fall 4:

Im Zusammenhang mit diesem Fall wurde von unserem Institut kürzlich ein Obergutachten erstattet, nachdem die Erstuntersuchung des zuständigen Instituts im norddeutschen Raum

Nach Kenntnis unseres Gutachtens legte die Mutter ein Geständnis ab. Bei der Beweisaufnahme ergab sich folgender Hintergrund: Die Angeklagte hatte sich das Medikament bei ihrer schizophrenen Schwägerin besorgt, die regelmäßig das Wochenende bei ihr verbrachte und der von der Anstaltsleitung stets ein Tablettenvorrat ausgehändigt wurde. Nachdem die Angeklagte die Wirkung des Arzneimittels bei der Schwägerin wiederholt in eindrucksvoller Weise beobachten konnte, verabreichte sie dem später verstorbenen Kind das Medikament über einen längeren Zeitraum hinweg – daher die Möglichkeit der Nachweisbarkeit in den exhumierten Haaren – in ständig steigender Dosierung, um einen längeren Krankenhausaufenthalt des Kindes zu erreichen, damit dieses das häusliche Elend nicht mit ansehen müsse.

Übersicht 4: Untersuchungsergebnisse im Fall 3

Probenmaterial	Bromidgehalt	
Urin	stark positiv	
Haaransatz	Probe 1 (Haarlänge 2 cm)	60 mg/kg
	Probe 2 (Haarlänge 2 cm)	9 mg/kg
	Probe 3 (Haarlänge 2 cm)	negativ
	Probe 4 (Haarlänge 2 cm)	negativ
	Probe 5 (Haarlänge 2 cm)	negativ
	Probe 6 (Haarlänge 2 cm)	negativ
Haarspitze	Probe 7 (Haarlänge 3 cm)	negativ

Ausblick

Die Nachweisbarkeit von Wirkstoffen in Haaren und die damit verbundene langzeitige Zuordnung eröffnet ständig neue Einsatzgebiete der Methode: So ist es beispielsweise möglich, nach einer Fehlgeburt oder Fruchtschädigung anhand einer Haaruntersuchung der Mutter festzustellen, ob während der Schwangerschaft bestimmte Stoffe, wie beispielsweise Rauschgifte, zeitweise appliziert wurden oder nicht.

Auch auf versicherungsrechtlichem Gebiet eröffnen sich neue Möglichkeiten, z. B. im Zusammenhang mit Nicotinmißbrauch. Viele Lebensversicherungen in den USA streben bereits beim Vertragsabschluß Klarheit über die Rauchgewohnheiten ihrer potentiellen Kunden an. Nun kann man als Antragsteller den Untersuchungstermin für einen bestimmten Zeitpunkt vereinbaren und – obwohl dies im Einzelfall schwerfallen mag – für einige Tage das Rauchen einstellen. Man würde unter diesen Umständen im Harn möglicherweise auch kein Nicotin mehr nachweisen können, da dessen Eliminationshalbwertszeit mit etwa 25 bis 60 Minuten sehr kurz ist, die Ausscheidung aus dem Organismus also rasch erfolgt. Eine Analyse der Haare ergibt in diesen Fällen jedoch eine sichere Zuordnungsmöglichkeit, da neben Nicotin auch dessen Hauptstoffwechselprodukt Cotinin mit einer wesentlich längeren Halbwertszeit in die Haare aufgenommen wird.

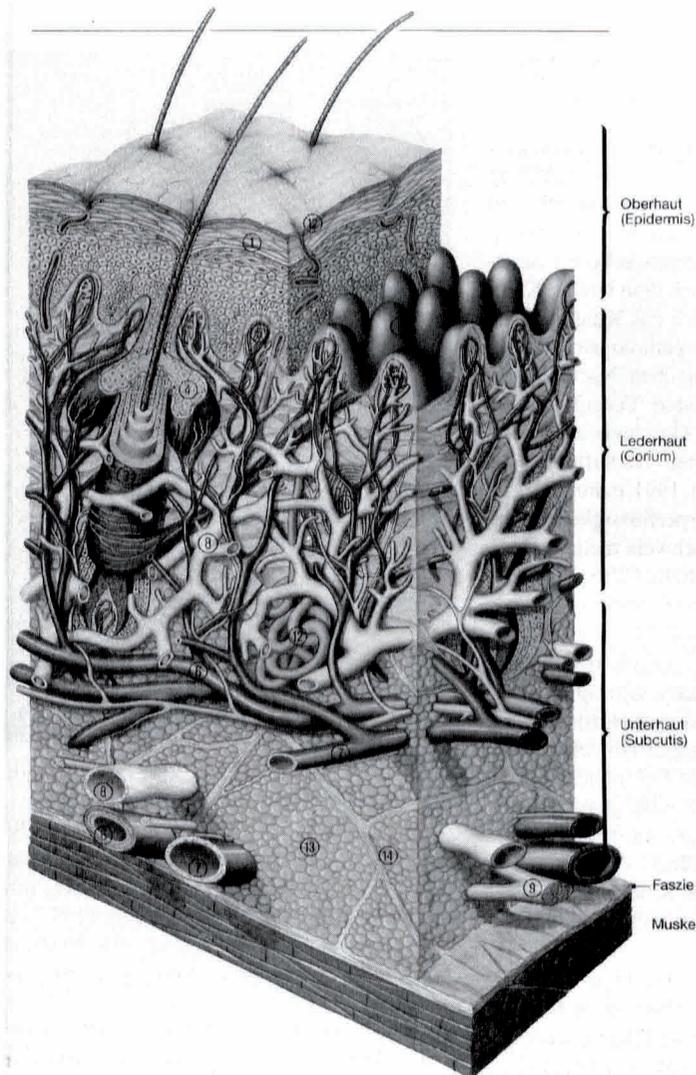


Abb. 3: Übersichts-  
schema Haut:

1. Hornschicht  
(Stratum corneum)
2. Coriumpapillen
3. Haarfollikel
4. Talgdrüse
5. Kapilarschlinge  
mit initialem  
Lymphgefäß
6. Arterie bzw. Arte-  
riole
7. Vene bzw. Venole
8. Lymphgefäß
9. Nerv
10. Vater-Pacini-Tast-  
körperchen
11. Meißnersches  
Tastkörperchen
12. Schweißdrüse mit  
Ausführgang
13. Subkutanes Fettge-  
webe, kissenförmig  
zwischen Bindege-  
websträngen ein-  
gelagert
14. Bindegewebestränge  
(Retinacula cutis)

Grafik:

Fa. Beiersdorf/HH

Die Anwendungsmöglichkeiten der Analytik von Fremdstoffen in Haaren sind damit sicher nicht erschöpft: Auch unter umweltanalytischen und arbeitsmedizinischen Gesichtspunkten sind neue Einsatzgebiete zu erwarten. Man denke in diesem Zusammenhang nur an die zeitliche Zuordnung einer Schadstoffbelastung. Um valide Aussagen treffen zu können, bedarf es einer erweiterten intensiven Forschung.

## Literatur:

AHRENS, B., ERDMANN, F., ROCHHOLZ, G., SCHÜTZ, H.: Detection of Morphine and Monoacetylmorphine (MAM) in Human Hair. Fresenius' Z. Anal. Chem. 344, 559-560 (1992)

SCHÜTZ, H.: Benzodiazepines – A Handbook. Basic Data, Analytical Methods, Pharmacokinetics and Comprehensive Literature. Vol. I (1982), Vol. II (1989). Berlin, Heidelberg, New York

SCHÜTZ, H.: Alkohol im Blut – Nachweis und Bestimmung, Umwandlung, Berechnung. Weinheim, Deerfield Beach (Florida), Basel, 1983

## Zu den Autoren:

**Prof. Dr. Harald Schütz**, Jahrgang 1942, studierte Chemie an den Universitäten Mainz, Gießen und Marburg. 1965 begann die Tätigkeit am Institut für Rechtsmedizin der



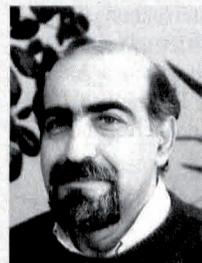
Universität Gießen mit einer Anstellung als wiss. Hilfskraft. 1977 Promotion, 1978 Tätigkeit am Public Health Research Institute Bangkok/Thailand, 1981 DAAD-Stipendium am Institut für gerichtliche Medizin der Universität Wien. Die Habilitation für das Fach „Toxikologische Analytik“ erfolgte 1982. Weitere Stationen: 1985 Ludwig-Schunk-Preis, seit 1986 Vorsitzender der Arbeitsgruppe Analytik der Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft für klinisch-toxikologische Analytik. Arbeitsschwerpunkte: Benzodiazepine, Ethanol, andere psychotrop wirkende Stoffe, Pestizide. Entwicklung neuer Verfahren zum Screening und Nachweis von toxikologisch relevanten Wirkstoffen in biologischem Material.



**Dipl.-Chem. Björn Ahrens**, Jahrgang 1965, studierte Chemie an der Universität Gießen und bearbeitete unter der Leitung von Prof. Schütz in seiner Diplomarbeit das Thema „Nachweis von Giftstoffen in Haaren“.



**Dipl.-Chem. Gertrud Rochholz**, Jahrgang 1964, studierte Chemie an der Universität Gießen. Seit 1990 promoviert sie unter der Leitung von Prof. Schütz über das „Screening toxikologisch relevanter Substanzen unter schwierigen Matrixbedingungen“.



„Screening und Identifizierung von Pestiziden unter besonderer Berücksichtigung moderner DC-Scanner (HPTLC)“.

**Dr. Freidoon Erdmann**, Jahrgang 1949, studierte Petrochemie in Teheran/Iran, danach Chemie in Gießen. Seit 1988 arbeitet er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Rechtsmedizin und promovierte über



**Prof. Dr. Günter Weiler**, Jahrgang 1942, studierte Medizin an den Universitäten Mainz und Düsseldorf. Die Promotion erfolgte 1968, die Habilitation für das Fach Rechtsmedizin an der Medizinischen Fakultät der Universität Essen 1978. Seit 1982 Professor, 1989 Berufung auf die Professur für Rechtsmedizin der Universität Gießen. Präsident des Berufsverbandes Deutscher Rechtsmediziner. Arbeitsschwerpunkte: Forensische Morphologie, insbesondere plötzlicher Kindstod und akuter Herztod, Alkoholologie, forensische DNA-Technologie.