

Die Haarprobe als Untersuchungsmatrix zur toxikologischen Fahreignungsdiagnostik

Fritz Pragst und Hans Sachs

Zusammenfassung

Nach §13 und §14 der Fahrerlaubnisverordnung kann bei Eignungszweifeln wegen Alkoholproblematik oder in Hinblick auf Betäubungsmittel ein ärztliches oder ein medizinisch-psychologisches Gutachten angefordert werden, das u. a. Auskunft darüber geben soll, ob eine Abhängigkeit von Alkohol oder Drogen oder deren Missbrauch (noch) vorliegt. Entsprechend den Begutachtungsleitlinien zur Kraftfahreignung ist nach der Entgiftungs- und Entwöhnungszeit in der Regel eine einjährige Abstinenz nachzuweisen, wobei neben unvorhersehbar anberaumten Laboruntersuchungen auch Haare unter Umständen abschnittsweise einbezogen werden können. Die Idealforderungen an die Haaranalyse sind dabei für harte Drogen (Amphetamine, Cocain, Opiate), für das illegale aber mehr moderat eingestufte Cannabis und für die legale Droge Alkohol unterschiedlich zu sehen.

- Amphetamine, Cocain, Opiate: Nachweis oder Ausschluss jeglichen Konsums, Abstinenznachweis für 12 Monate
- Cannabinoide: Nachweis oder Ausschluss des Konsums, Differenzierung zwischen einmaligem/experimentellem, gelegentlichem und regelmäßigem Konsum
- Alkohol: Abstinenznachweis für 12 Monate, Ausschluss von Missbrauch

Haarproben sind prinzipiell für diesen Zweck besonders geeignet, da sie durch die zeitaufgelöste Speicherung der Drogen, deren Metabolite oder von Alkoholmarkern einen retrospektiven Überblick über einen größeren Zeitraum gestatten. Aus Kostengründen wird die Untersuchung in der Regel auf den 6 cm langen proximalen Haarabschnitt beschränkt, der bei positivem Ergebnis unter Berücksichtigung von telogenen und langsam wachsenden Haaren maximal ein Jahr vor der Probennahme repräsentiert. Modebedingt kürzere Kopfhare überdecken zwar nur einen kürzeren Zeitraum, haben sich aber dennoch als aussagefähig erwiesen.

Eine Korrelation zwischen Drogenkonzentration im Haar und Konsumhäufigkeit als Basis für die quantitative Bewertung existiert nicht. Hier gewinnt die Frage der cut-off-Werte besondere Bedeutung, um bei der ständig steigenden Verbreitung der Drogen einerseits und der steigende Empfindlichkeit der Methoden andererseits äußere Kontamination auszuschließen, andererseits den Missbrauch aber sicher zu erfassen. Der Nachweis von Metaboliten ist nicht bei allen Drogen als Kriterium für die Differenzierung zwischen Konsum und Kontamination möglich.

Eine besondere Herausforderung für die Haaranalyse stellt der Cannabismissbrauch wegen des großen Ausmaßes, des schwierigen Nachweis des Konsums und der gewünschten Aussage zur dessen Häufigkeit dar. Große Fortschritte hat die Analyse der direkten Alkoholmarker Fettsäureethylester und Ethylglucuronid im Haar für die Diagnose von chronischem Alkoholmissbrauch gebracht, deren kombinierte Verwendung sich als besonders aussagefähig erwiesen hat, und die nun auch Eingang in die Fahreignungsprüfung gefunden haben. Wenngleich absolute Abstinenz durch beide Marker nicht beweisbar ist, so wird Alkoholmissbrauch doch mit relativ hoher Sicherheit aufgedeckt.

Insgesamt wird die Haaranalyse den Idealforderungen der Fahreignungsprüfung nur mit Einschränkungen gerecht. Dennoch erweist sich die Haarprobe in diesem Zusammenhang nach wie vor als ein wesentliches und sehr zweckmäßiges Mittel, das durch die weitere Entwicklung der analytischen Techniken, z. B. der Analyse einzelner anagener Haare oder die sicherere Erfassung niedrigkonzentrierter Metabolite, in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen wird.

Einleitung

Die Haaranalyse hat in den letzten Jahren einen wachsenden Stellenwert für die Beurteilung der Fahreignung nach Drogenkonsum erfahren. So werden in Deutschland jährlich zwischen 5.000 und 10.000 Haarproben in diesem Zusammenhang untersucht. Grundsätzlich sind hierbei zwei Anwendungsgebiete zu unterscheiden. Einerseits kann durch die Führerscheinebehörde ein Drogentest gefordert werden, um bei zurückliegender Auffälligkeit des Probanden zu klären, ob ein Konsum vorliegt. Diese Prüfung im Vorfeld der medizinisch-psychologischen Untersuchung ist vor allem bei Cannabinoiden der Fall. Zweitens kann eine Haaranalyse auch durch die Begutachtungsstellen, z. B. des TÜV oder der DEKRA im Rahmen der ärztlichen Begutachtung oder der MPU durchgeführt werden.

Entsprechend den Regelungen der Fahrerlaubnisverordnung und der Begutachtungsleitlinien zur Kraftfahrereignung [1,2] ergeben sich für die Haaranalyse folgende Idealforderungen, wobei zwischen harten Drogen und Cannabinoiden zu unterscheiden ist. Der Vollständigkeit halber wurde der Alkohol mit hinzugefügt:

Amphetamine, Cocain, Opiate

- Nachweis oder Ausschluss jeglichen Konsums
- Abstinenzbeleg für 12 Monate (in Ausnahmefällen 6 Monate)

Cannabinoid

- Nachweis oder Ausschluss des Konsums
- Abstinenzbeleg für 3, 6 oder 12 Monate
- Differenzierung zwischen einmaligem bzw. experimentellem, gelegentlichem und regelmäßigem Konsum

Alkohol

- Abstinenzbeleg für 12 Monate
- Ausschluss von exzessivem Alkoholkonsum (Abhängigkeit oder Missbrauch)

Wir haben hier bewusst den Begriff „Abstinenzbeleg“ gewählt, da ein Abstinenzbeweis weder durch Haaranalyse noch durch monatliche kurzfristig einbestellte Urinteste zu erbringen ist.

Besondere Eignung und Grenzen von Kopfhhaar zur retrospektiven Prüfung auf Substanzmissbrauch

Kopfhhaare eignen sich besonders zur retrospektiven Prüfung auf Substanzmissbrauch, da sie wegen der dauerhaften Einlagerung in die Haarmatrix ein viel größeres Zeitfenster besitzen als beispielsweise Blut oder Urin, und da sie wegen ihres gleichmäßigen Wachstums auch eine zeitaufgelöste Diagnostik ermöglichen (Übersichten s. [3-5]). Diesen Vorteilen stehen allerdings auch eine Reihe von Nachteilen gegenüber. So resultiert aus der Physiologie des Haarwachstums eine zeitliche Unsicherheit, die sich aus der intra- und interindividuel-

len Variabilität des Haarwachstums, der Anwesenheit katagener und telogener Haare und der möglichen Einlagerung der Substanzen aus Schweiß, Sebum oder umgebenden Geweben ergibt. Weiterhin gibt es keine interindividuelle Dosis-Konzentrations-Relation. Einmaliger Konsum ist in der Regel nicht nachweisbar, und durch die ungeschützte Position der Haare sind äußere Kontamination und Manipulation möglich.

Durchführung und Interpretation der Haaranalyse erfolgen in Deutschland bisher nach keinen einheitlichen Kriterien. Die wachsende Akzeptanz fordert aber dringend eine Gleichbehandlung der Probanden durch die verschiedenen Begutachtungsstellen bezüglich folgender Punkte:

- Anordnung von Einzeltesten oder polytoxikologisches Screening?
- Welche Analyte sind in ein polytoxikologisches Screening einzubeziehen?
- Welche Haarlänge wird untersucht?
- Welche Cut-off-Werte werden für die Interpretation zugrunde gelegt?

Ein einheitliches Vorgehen ist auch wichtig, um potentiellen Probanden im Vorfeld eine klare Auskunft geben zu können, damit sie nicht wertvolle Zeit für die Wiedererlangung des Führerscheins verlieren.

Einzeltest oder polytoxikologisches Screening?

Die Entscheidung ob der Test auf die Drogengruppe beschränkt wird, mit der der Proband auffällig wurde, oder ob die Untersuchung in einem polytoxikologischen Screening auf die wesentlichen missbrauchten Drogen ausgedehnt wird, kann nicht generell getroffen werden. Probanden, die von der Führerscheinstelle aufgefordert werden, ein Drogenscreening in Form einer Haaranalyse durchführen zu lassen, beschränken schon aus finanziellen Gründen die Untersuchung in der Regel auf die Drogengruppe, mit der sie auffällig geworden sind, in der Regel Cannabinoide. Dieses muss durch die Behörde auch akzeptiert werden, da es nach einschlägigen Urteilen nicht naheliegend ist, dass jemand, der Cannabis konsumiert hat, auch anderen Drogen genommen haben muss. Hier liegt die Entscheidung beim Probanden selbst.

Anders ist die Situation bei Haaruntersuchungen im Rahmen der MPU. Hier entscheidet der Gutachter über den Untersuchungsumfang. In der Regel ist ein polytoxikologisches Screening sinnvoll. In diesem Sinne besteht beispielsweise zwischen dem TÜV Süd und dem Forensisch Toxikologischen Centrum München eine klare vertragliche Regelung, die ein polytoxikologisches Screening vorsieht.

Die in ein polytoxikologisches Screening einbezogenen Substanzen hängen einerseits von der Missbrauchsrelevanz und andererseits von den technischen Möglichkeiten der Labors ab. Trotzdem wäre Einheitlichkeit zu fordern. Eine Liste, die sich an die Vereinbarung des FTC München mit dem TÜV Süd anlehnt, ist hier dargestellt:

- Cannabinoide: THC (CBD, CBN)
- Cocaingruppe: Cocain, Benzoylcegonin, Ecgoninmethylester, Cocaethylen, Norcocain, Anhydroecgoninmethylester
- Amphetamingruppe: Amphetamin, Methamphetamin, MDMA, MDE, MDA
- Opiatgruppe: Morphin, 6-Acetylmorphin, Heroin, Codein, Dihydrocodein, Methadon, EDDP, (Tramadol)
- Benzodiazepine (Tranquilizer). Diazepam, Nordazepam, Oxazepam, Flunitrazepam, 7-Aminoflunitrazepam, Bromazepam, Alprazolam, Lor-metazepam

Weitere Substanzen können auf Wunsch hinzugefügt werden. Sicher ist dieses Programm nur sukzessive auf alle anderen Labors übertragbar. Die Bedeutung technischer Grenzen erkennt man aber auch hier, indem Halluzinogene wie LSD oder Psilocybin als besonders die Fahreignung beeinträchtigende Substanzen fehlen.

Die Häufigkeit positiver Befunde für die verschiedenen Wirkstoffe bei diesem polytoxikologischen Screening für das 2. Halbjahr 2006 am FTC München sind in Abb. 1 getrennt nach Privataufträgen und Aufträgen durch die Untersuchungsstellen dargestellt.

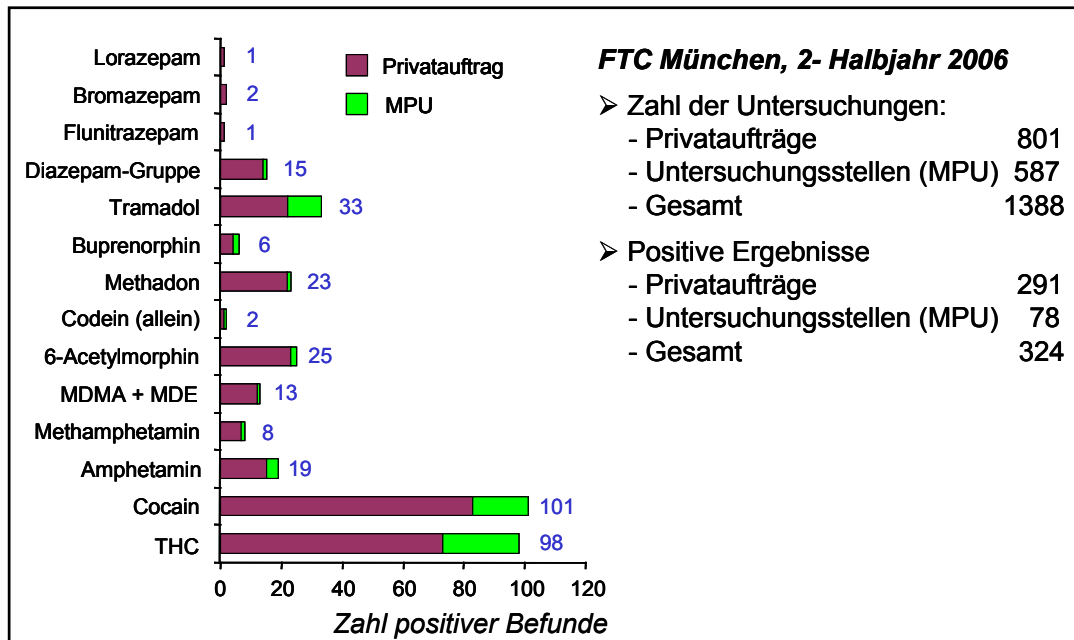


Abb. 1. Häufigkeit positiver Befunde beim polytoxikologischen Screening von Haarproben im Rahmen der Fahreignungsprüfung.

Die insgesamt im Rahmen der Fahreignung analysierten 1388 Proben lieferten 324 positive Befunde, wobei Cocain und THC an der Spitze liegen. Auffällig ist ein beträchtlicher Tramadolmissbrauch in München. Weiterhin ist charakte-

ristisch, dass der Anteil positiver Befunde bei Privataufträgen (purpurfarbene Balken), die mehr im Vorfeld der MPU angesiedelt sind, sehr viel höher ist, als bei den von den Untersuchungsstellen kommenden Proben (grüne Balken), bei denen es um einen Abstinenzbeleg geht.

Zu untersuchende Haarlänge für die Fahreignungsprüfung

Die zu untersuchende Haarlänge resultiert aus der Zeitspanne, über die eine Aussage getroffen werden soll. Dabei begeht man keinen großen Fehler, wenn man von einem Haarwachstum von 1 cm/Monat ausgeht. Für den geforderten Abstinenzbeleg ist dabei der von einem früheren Missbrauch stammende Beitrag der älteren telogenen Haare in der Probe zunächst zu vernachlässigen.

Rahmen der MPU ergeben sich für die verschiedenen Gefährdungsstufen des früheren Drogenkonsums folgende minimale Abstinenz-Zeitspannen und proximale Haarlängen:

- Abhängigkeit, nach Entgiftungs- und Gewöhnungsbehandlung:
mind. 6 Monate = 6 cm, insgesamt aber: 12 Monate Abstinenz = 12 cm
- Fortgeschrittene Drogenproblematik: 12 Monate = 12 cm
- Drogengefährdung (regel- oder gewohnheitsmäßiger Cannabiskonsum):
6 Monate = 6 cm
- Gelegentlicher Cannabiskonsum bei fehlenden Trennvermögen
3 bis 6 Monate = 3-6 cm
- Prüfung, ob Drogenkonsum vorliegt (Eignungsbedenken): 6 Monate = 6 cm

Bei schwach positivem Befund und Einlassung auf einen starken zurückliegenden Konsum kann ein Beitrag telogener Haare durch zusätzliche Segmentierung (9 cm + 3 cm) geklärt werden.

Diese gewünschten Haarlängen sind sicher optimal, entsprechen aber nicht der gegenwärtigen Haarmode der vorwiegend männlichen Probanden. Alternativen wären:

- Monatliche kurzfristig einberufene Urinkontrolle
- Zwei oder drei Haaranalysen nach 6 und 12 Monaten oder nach 4, 8 und 12 Monaten

Bei Eignungsbedenken zeigt die Praxis, dass auch Haare kürzer als 6 cm durchaus gute Ergebnisse liefern können, wie in Abb. 2 für die Prüfung von insgesamt 625 Proben auf THC nach relativ kurzfristiger (1-2 Monate) Anforderung der Führerscheinbehörde gezeigt wird. Unabhängig von der untersuchten Haarlänge ergab sich immer ein Anteil positiver Ergebnisse zwischen 24 und 33 %. Die Annahme, kürzere Kopfhaare als 6 cm seien für die Fahreignungsprüfung irrelevant, gilt also nicht generell.

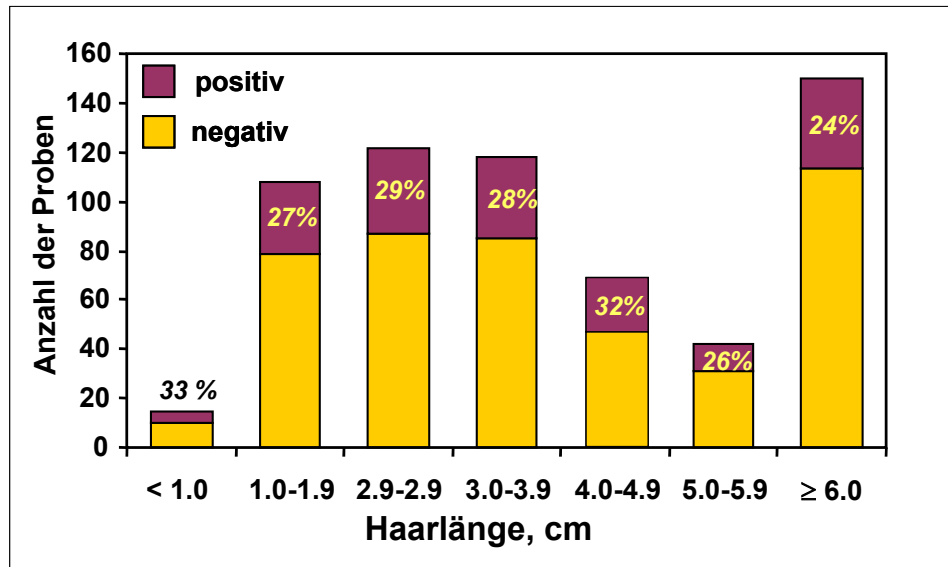


Abb. 2. Anteil positiver Ergebnisse beim Haartest auf THC (insgesamt 625 Proben) im Untersuchungsgut am Institut für Rechtsmedizin der Charité Berlin

Verwendung von Scham-, Achsel- oder Körperhaaren

In gleicher Weise sollte auch die Verwendbarkeit von Scham-, Achsel-, Brust-, Bein- oder Armhaaren wegen ihrer abweichenden Wachstumskinetik nicht generell abgelehnt werden. Diese Haarproben besitzen in der Regel einen Anteil telogener, d. h., nicht wachsender Haare von 40-60 % bei teilweise etwas geringerer Haarwachstumsgeschwindigkeit (Tabelle 1).

Tabelle 1. Wachstum von Nicht-Kopfhaaren. Bei natürlichen Spitzen repräsentiert die Probe den vollen Wachstumszyklus an dieser Körperstelle.

Haarart	Wachstumsgeschwindigkeit mm/Tag	kat. + tel. %	Zyklusdauer Monate	<p>Schnittstelle</p> <p>Natürliche Spitze</p> <p>Schamhaare</p>
Schamhaare	0,3	ca. 50	22-33	
Achselhaare	0,29-0,33	ca. 50	23-35	
Brusthaare	0,27	ca. 50	4-10	
Beinhaare	0,13-0,25	----	3-6	
Armhaare	-----	60	4-6	

Eine Aussage bezüglich der repräsentierten Zeitspanne ist daher aus der Haarlänge nicht zu treffen. An diesen Körperstellen gewonnene Haarproben repräsentieren stattdessen den gesamten Wachstumszyklus, der beispielsweise bei Schamhaaren bis zu drei Jahren und bei Brusthaaren bis zu 10 Monaten reicht.

Dabei muss auf die Anwesenheit natürlicher Spitzen geprüft werden, um eine zwischendurch erfolgte Rasur auszuschließen.

Bei fehlenden Kopfhaaren sind diese Proben sehr gut geeignet, um eine Drogeneinnahme im Vorfeld der MPU zu klären oder eine behauptete mehrjährige Abstinenz zu überprüfen. Sie sind nicht geeignet zur Abgrenzung einer bestimmten Zeitspanne.

Schamhaare liefern häufig höhere Konzentrationen als Kopfhaare, wie in Abb. 3 an zwei Beispielen für THC und Cocain gezeigt wird. Das gleiche trifft für andere Körperhaare zu. Ursache ist vor allem die größere repräsentierte Zeitspanne, so dass mehrmonatige Abstinenz bei kurzen Kopfhaaren bereits zum negativen Befund führt, während gleichlange Körperhaare noch einen stark positiven Befund ergeben.

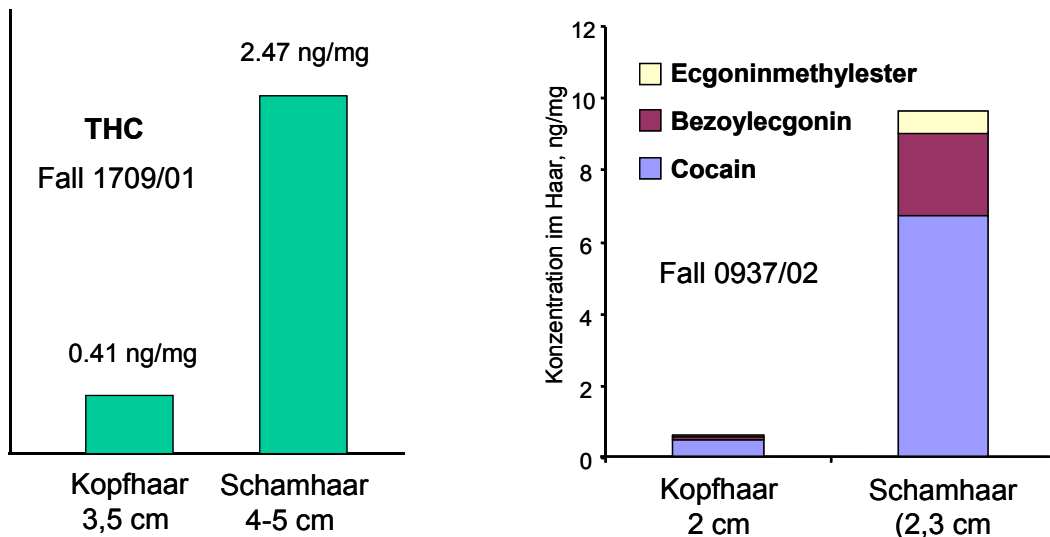


Abb. 3. Vergleich von zum gleichen Zeitpunkt entnommenen Kopf- und Schamhaaren in zwei forensischen Fällen. Scham- Achsel- und Brusthaare überstreichen eine längere Zeitspanne als gleichlange Kopfhaare. Der Drogentest fällt daher auch nach mehrmonatiger Abstinenz häufig stärker positiv aus.

Cut-off Werte in der Haaranalyse

Cut-off-Werte werden allgemein in zweierlei Hinsicht verwendet. Einerseits zum Ausschluss analytisch unsicherer Ergebnisse, d. h., zur Vermeidung falsch positiver Resultate. In diesem Sinne werden bei chromatographisch-spektroskopischen Verfahren Nachweis- oder Bestimmungsgrenzen verwendet. Zweitens dienen sie bei sicher nachgewiesener Konzentration zur Abgrenzung von für die Fragestellung irrelevanten Werten, z. B. durch einmaligen oder Probierkonsum. Bislang gibt es keine gesicherte statistische Analyse für die Festlegung geeigneter Cut-off-Werte für Drogen im Haar. Es gibt aber Empfehlungen der

Society of Hair Testing [6], der GTFCh [7] und der Französischen Toxikologischen Gesellschaft SFTA [8], die alle aus dem Jahre 2004 stammen und an verschiedenen Stellen Unterschiede aufweisen (Tabelle 2). Für THC wird hier einheitlich 0,1 ng/mg empfohlen.

Tabelle 2. Empfehlungen von Fachgesellschaften zu Cut-off-Werten in der Haaranalyse, ohne spezifisches Anwendungsgebiet [6-8]

Drug or metabolite	SoHT (2004) <i>Cut-off or LOQ, ng/mg</i>	GTFCh (2004) <i>Cut-off or LOI, ng/mg</i>	SFTA (2004) <i>Lower limit, ng/mg</i>
Opiates: 6-Acetylmorphine Morphine	IC: 0.2 CH: ≤ 0.2 for 6-AM, MOR and others	IC: 0.2 CH: ≤ 0.2 for 6-AM, MOR and others	0.5 for MOR, COD, 6-AM and others
Cocaine Metabolites (Met.)	IC: 0.5 CH: ≤ 0.5 for COC ≤ 0.05 for Met.	IC: 0.2 CH: ≤ 0.2 COC ≤ 0.1 Met	0.5 for COC, BE and CE
Amphetamines: A, MA, MDMA, MDE, MDA	IC: 0.2 CH: ≤ 0.2	IC: 0.2 CH: ≤ 0.2	0.5 for A, MA, MDMA, MDE, MDA
Cannabinoids	IC: 0.1 THC CH: ≤ 0.1 THC ≤ 0.2 pg/mg for THC-COOH	IC: 0.1 THC CH: ≤ 0.1 THC ≤ 0.05 pg/mg for THC-COOH	0.1 for THC, CBD

Es leuchtet ein, dass Cut-off-Werte nicht allgemein gültig sein können sondern dem jeweiligen Anwendungszweck angepasst sein müssen. So wäre ein Cut-off-Wert für einen Abstinenzbeleg deutlich niedriger anzusetzen als für den Ausschluss von regelmäßigem Missbrauch.

Zur Abschätzung eines sinnvollen Cut-off-Wertes für THC im Haar sollte ein statistischer Vergleich der und der in Haarproben festgestellten Verteilung der THC-Konzentrationen hilfreich sein [9]. Aus einem im Internet veröffentlichten Bericht der Landeskoordinierungsstelle Suchtvorbeugung NRW aus dem Jahre 2000 [10] geht die in Abb. 4a dargestellte Verteilung der Konsumhäufigkeit hervor, die sich in die Gruppen Probierer (1-5 x/Jahr), gelegentliche Konsumenten (6-200 x/Jahr) und regelmäßige Konsumenten (> 200 x Jahr) unterteilen lassen. Geht man davon aus, dass die mit Cannabis auffällig gewordenen und bei uns durch Haaranalyse untersuchten 625 Probanden eine ähnliche Verteilung der Konsumhäufigkeit aufweisen, sollte ein statistischer Vergleich möglich sein Abb. 4b. Daraus wird ersichtlich, dass bei einem Cut-off von 0,1 ng/mg im wesentlichen nur die regelmäßigen und die äußerste Spitze der gelegentlichen Konsumenten erfasst werden. Der zur Zeit von uns und im München angewendete Wert 0,05 ng/mg führt zu einer deutlichen Verbesserung, ist aber ebenfalls nicht ausreichend. Es wäre hiernach günstiger, die Bestimmungsgrenze der in Berlin gehandhabten Methode von 0,02 ng/mg oder gar 0,01 ng/mg zu verwenden.

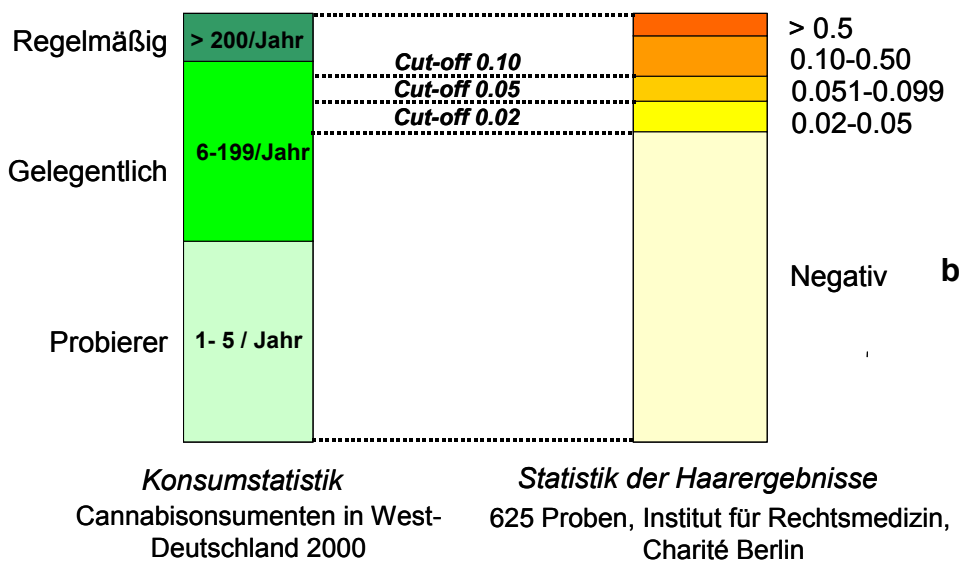
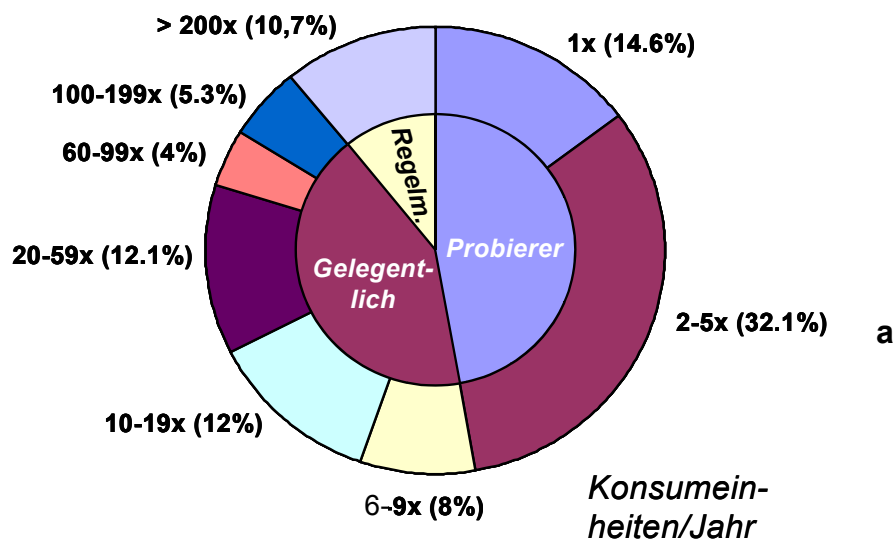


Abb. 4. Vergleich der Statistik von Konsumhäufigkeit und THC-Konzentrationen im Haar von Cannabiskonsumanten [9]. a) Statistik der Konsumhäufigkeit nach Angaben Landeskoordinierungsstelle Suchtvorbeugung NRW aus dem Jahre 2000 [10]. b) THC-Konzentrationsverteilung in Haaren von 625 Probanden mit Cannabisvorgeschichte am Institut für Rechtsmedizin der Charité.

In Abb. 5 sind einige GC-MS-Kurven von THC-positiven Haarproben im unteren Bereich für die in unserem Institut laufende Methode [11] dargestellt. Wie die im unteren Teil des Bildes herausgezogenen Quantifierspuren zeigen, sind die heute zur Verfügung stehenden Techniken selbst bei Anwendung einfacher GC-MS in der Lage sind, Nachweisgrenzen von 0,01 ng/mg zu erreichen.

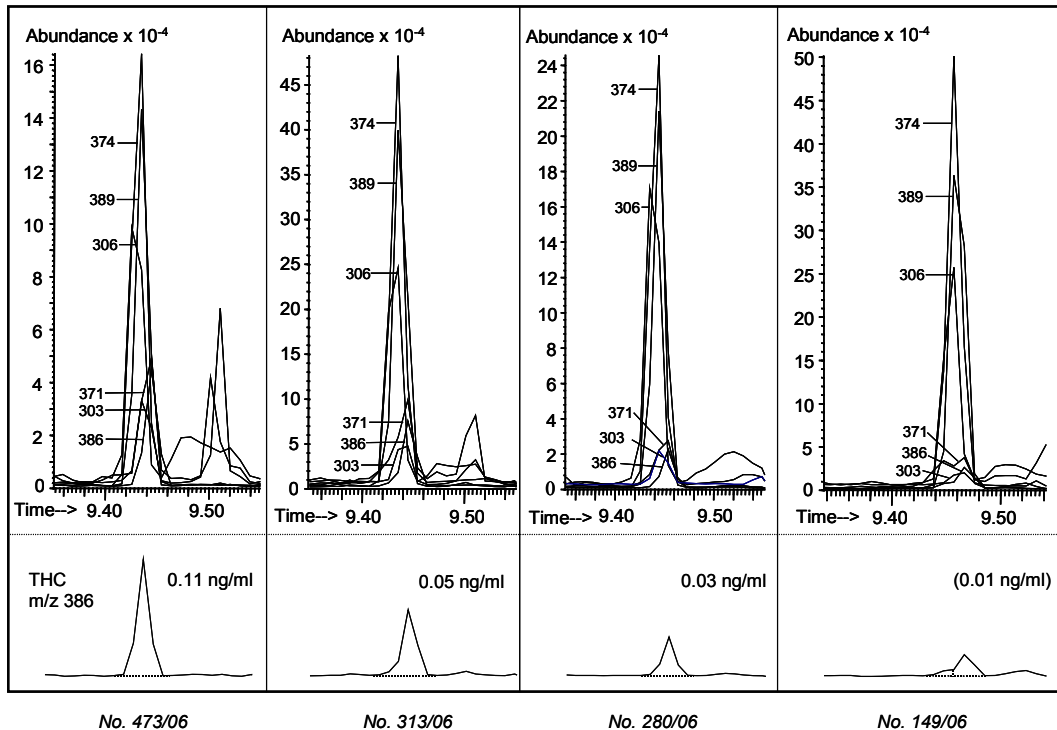


Abb. 5. THC-Bestimmung im Haar durch derivative HS-SPME/GC-MS [11].

Die zur Zeit zwischen TÜV Süd und dem FTC vereinbarten Cut-off-Werte zur Fahreignungsprüfung betragen 0,1 ng/mg für die Leitsubstanzen der harten Drogen und 0,05 ng/mg für THC, wobei eine weitere Erniedrigung für THC angestrebt wird. Aus parallelen Haar- und Urinuntersuchungen in München geht hervor, dass bei einem Cut-off von 0,01 ng/mg THC keine negativen Haarbefunde bei positivem Urinbefund mehr auftreten.

Für Metabolite wurde kein Cut-off festgelegt, sie werden aber bei eindeutigem Nachweis im Befundbericht angegeben und unterstützen die Plausibilität des Ergebnisses.

Unterscheidung zwischen Konsum und Kontamination

Eine häufige Einrede der Probanden ist die Kontamination von außen als Quelle für den positiven Befund. Analytisch ist das insofern problematisch, dass der Nachweis der Droge oder von durch Hydrolyse entstehenden Metaboliten diese Kontamination nicht ausschließen. Ein positiver THC-Befund kann daher zunächst nur als „Umgang mit der Droge“ interpretiert werden. Der eindeutige Beweis für die systemische Herkunft sind mit gewissen Abstrichen nicht hydrolytisch gebildete Metabolite wie Normorphin, Norcocain, Amphetamin bei über-

schüssigem Methamphetamin, MDA nach Ecstasy-Konsum und THC-COOH. Typische Konzentrationsverhältnisse, z. B. Benzoyllecgonin: Cocain können auch bei hydrolytischen Metaboliten die systemische Herkunft stützen. Die Untersuchung der Waschflüssigkeit ist nur bei kurzzeitig zurückliegender Kontamination sinnvoll.

Befundbericht zur Haaranalyse bei Fahreignungsprüfung

Die Befundberichte von verschiedenen Labors unterscheiden sich ebenfalls beträchtlich. Wesentliche Angaben sind in Abb. 6 zusammengestellt. Sie sollten eine eindeutige und nachvollziehbare Beschreibung der Schritte der Haaranalyse von der Identifizierung des Probanden bis zum Ergebnis enthalten. Ein negatives Ergebnis sollte hinsichtlich der erfassten Zeitspanne und der Grenzen des Abstinenzbelegs eindeutig interpretiert werden. Ein positives Ergebnis sollte Umgang oder Konsum als bewiesen darstellen, die Konzentration im Rahmen der Gesamtstatistik des Labors bewerten und wiederum aus der Haarlänge die Zeitspanne im Sinne von minimal/maximal abstecken.

- Identifizierung der Person: Name, Vorname, Geb.-Datum, PA- oder Reisepaß-Nr., identifiziert durch Lichtbildvergleich
- Zielstellung der Untersuchung
- Datum und Bedingungen der Probennahme
- Charakterisierung der Haarprobe: Gewicht, Länge, Farbe, Anzeichen von kosmetischer Behandlung
- Angewendete Analysenmethode und geprüfte Substanzen
- Ergebnis: Konzentration der festgestellten Substanzen
- Interpretation:
 - negatives Ergebnis: zeitliche Aussage, einmaliger oder sehr seltener Konsum nicht ausgeschlossen
 - positives Ergebnis: Umgang oder Konsum
Bewertung der Konzentration in
Gesamtstatistik des Labors,
zeitliche Aussage (minimal/maximal)

Abb. 6. Wichtige Angaben, die im Haargutachten enthalten sein sollten.

Alkoholmarker im Haar zur Fahreignungsprüfung

Erhebliche Fortschritte wurden erfreulicherweise in den letzten Jahren bezüglich Alkoholmarker im Haar erreicht (Abb. 7), so dass hier erste Erfahrungen in der Anwendung für die Fahreignungsprüfung vorliegen [12]. Ethylglucuronid wird bei Alkoholkonsum in der Leber gebildet, über den Blutkreislauf oder den Schweiß ins Haar eingelagert, und kann entweder mit GC-

NCI-MS oder mit LC-MS-MS sehr empfindlich bestimmt werden. Bisherige Erfahrungen zeigen, dass für Abstinenzler <7 pg/mg, für Normaltrinker < 25 pg/mg und für Alkoholmissbrauch > 25 ng/mg typisch sind. Fettsäureethylester werden in allen Geweben gebildet, vor allem über das Sebum ins Haar eingelagert und lassen sich mit Headspace-Festphasenmikroextraktion und GC-MS relativ einfach und empfindlich bestimmen. Als Grenzwerte für Abstinenzler und Normaltrinker wurden hier 0,2 bzw. 0,5 ng/mg festgestellt. Während bei Ethylglucuronid Ursachen für falsch positive Werte bislang nicht bekannt sind, führt die regelmäßige Anwendung alkoholhaltiger Haarwässer zu falsch positiven Fettsäureethylesterbefunden. Falsch negative Befunde können bei dem stark hydrophilen Ethylglucuronid durch häufige und intensive Haarwäsche und bei den hydrolyseempfindlichen Fettsäureethylestern durch aggressive Haarkosmetik auftreten.

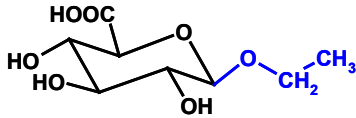
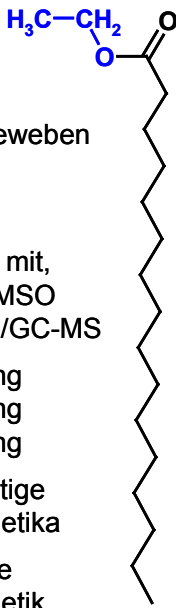
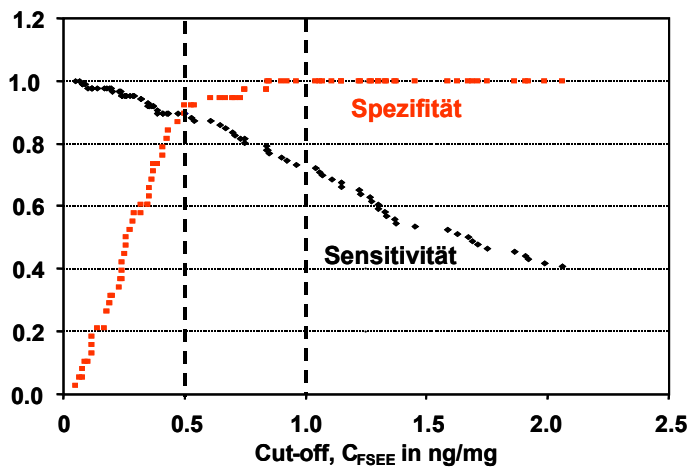
	<i>Ethylglucuronid</i>	<i>Fettsäureethylester</i>
		
Bildung:	in der Leber	in allen Geweben
Einlagerung ins Haar aus:	Schweiß oder Blutkreislauf (ungeklärt)	Sebum
Analyse:	Extraktion mit H ₂ O, SPE/GC-NCI-MS oder LC-MS-MS	Extraktion mit, Heptan/DMSO HS-SPME/GC-MS
Abstinenzler:	< 7 pg/mg	< 0,2 ng/mg
Normaltrinker:	< 25 pg/mg	< 0,5 ng/mg
Alkoholmissbrauch:	> 25 pg/mg	> 0,5 ng/mg
Falsch positive:	Bislang unbekannt	alkoholhaltige Haarkosmetika
Falsch negative:	häufige und intensive Haarwäsche	Aggressive Haarkosmetik

Abb. 7. Direkte Alkoholmarker im Haar.

Die Anwendung der Fettsäureethylester wurde in Studien mit Abstinenzlern, Normatrinkern und Patienten in der Alkoholentzugsbehandlung überprüft (Abb. 8). Die ROC-Analyse ergab für die Differenzierung von Abstinenzlern und mäßigen Normaltrinkern auf der einen Seite und Alkoholmissbrauch auf der anderen einen Cut-off-Wert von 0,5 ng/mg als Optimum zwischen Spezifität und Sensitivität.



ROC-Analyse

Cut-off = 1.0 ng/mg

- Keine falsch positiven
- 25 % falsch negative

Cut-off = 0.5 ng/mg

- 10 % falsch positive
- 10 % falsch negative

In Fahreignungsfällen sollte 0.5 ng/mg angewendet werden

Abb. 8. Evaluation von C_{FAEE} als Marker für exzessiven Alkoholkonsum. Spezifität und Sensitivität in Abhängigkeit vom gewählten Cut-off für Unterscheidung zwischen Abstinenz oder moderatem Trinken einerseits und chronischem Alkoholmissbrauch andererseits.

Zu beachten ist bei den Fettsäureethylestern weiterhin, dass durch die ständige Einlagerung aus dem Sebum eine Akkumulation im Haar stattfindet, so dass von proximal nach distal auch bei konstantem Trinkverhalten eine Konzentrationszunahme sichtbar wird (Abb.9). Sehr kurze Haarproben haben daher deutlich niedrigere Werte als längere. Für vergleichbare und interpretierbare Werte wird daher ein einheitliche Haarlänge von 6 cm untersucht.

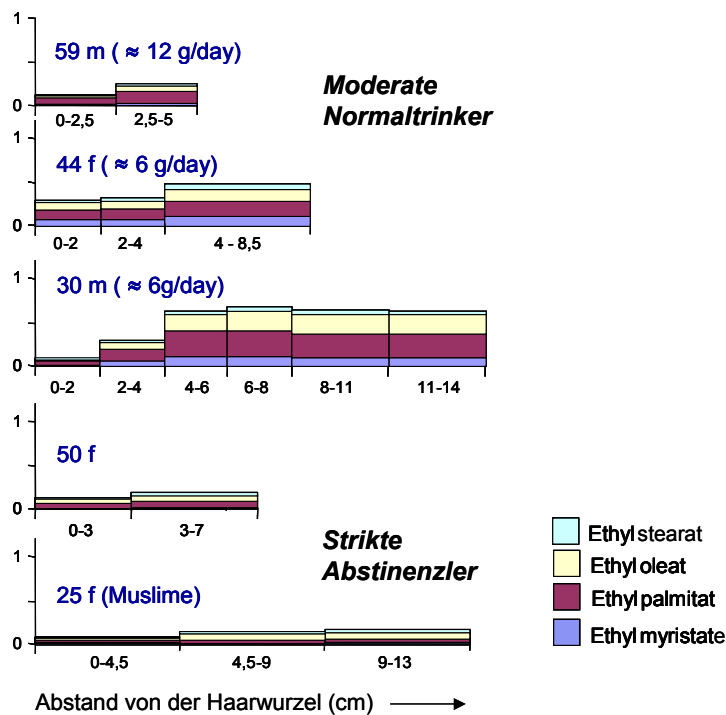


Abb. 9. FAEE-Konzentrationen in Haarsegmenten bei gleichmäßigem Trinkverhalte. Von proximal nach distal findet eine Akkumulation statt so dass längere Haare höhere Werte liefern.

In Zusammenarbeit mit M. Yegles aus Luxemburg und R. Volmerhaus aus Bremen sowie einigen anderen Fahreignungsbegutachtungsstellen haben wir eine größere Zahl von Haarproben sowohl auf Ethylglucuronid als auch auf Fettsäureethylester analysiert [13]. Die Ergebnisse sind in Abb. 10 nach steigenden EtG-Werten geordnet einander gegenübergestellt. Die Grenzen für Abstinenzler für Alkoholmissbrauch sind eingezeichnet. Man erkennt, dass der überwiegende Teil der negativen Befunde durch beide Methoden einheitlich wiedergegeben wird. Positive EtG-Befunde spiegeln sich aber nur teilweise in hohen FSEE-Werten wider und umgekehrt.

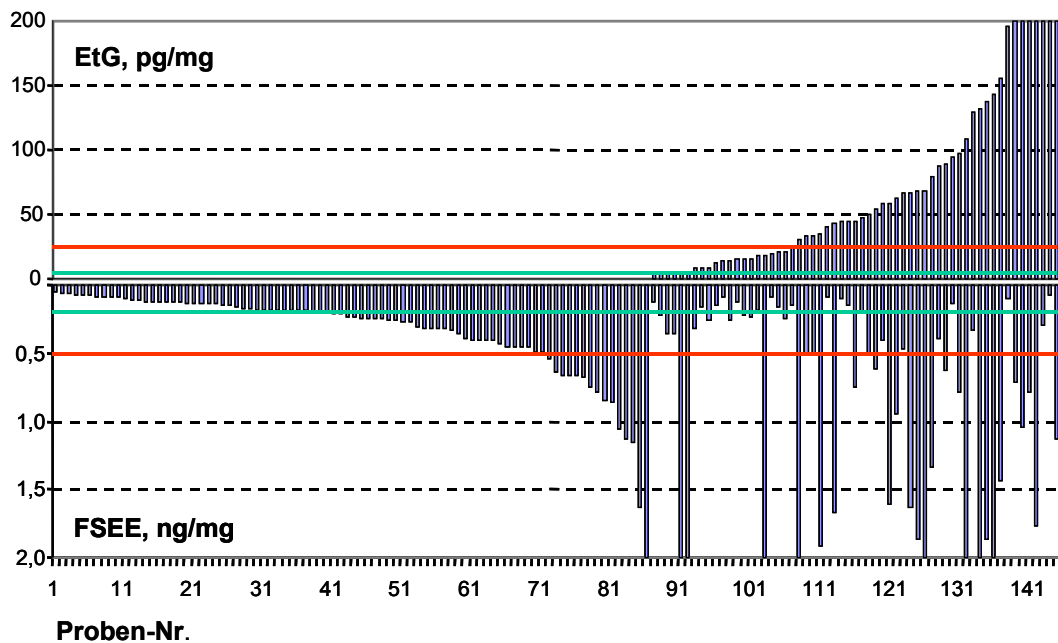


Abb. 10. Kombinierte Anwendung von EtG und FAEE im Haar bei 145 Fahreignungsproben. Grenzwerte für positive Befunde sind 25 pg/mg (EtG) und 0,5 ng/mg (FAEE).

Die Ergebniskombinationen beider Methoden sind für die 145 Proben in Abb. 11 dargestellt. Für 85 Proben fallen beide Teste negativ aus, das heißt, es gibt keinen Hinweis auf Alkoholmissbrauch. Bei 26 Proben fallen hingegen beide Teste positiv aus, so dass von Alkoholmissbrauch ausgegangen werden muss. Für die 16 EtG-positiven und FSEE-negativen Proben ist nach bisheriger Erkenntnis Abstinenz sicher ausgeschlossen, und für die verbleibenden 18 FSEE-positiven und EtG-negativen Proben ist Abstinenz unwahrscheinlich. Neben dieser Plus/Minus-Betrachtung müssen natürlich auch die absoluten Werte ins Kalkül gezogen werden.

	FAEE		
	negativ	positiv	
Kein Hinweis für Alkohol- missbrauch	85	18	Abstinenz unwahr- scheinlich
			negativ
			EtG
			positiv
Abstinenz ausgeschlossen	16	26	Alkohol- missbrauch

Abb. 11. Kombinierte Anwendung von EtG und FAEE im Haar bei 145 Fahreignungsproben.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Haarprobe als Untersuchungsmatrix sich fest in der Fahreignungsprüfung etabliert hat. Es besteht dringender Bedarf nach einheitlichen Kriterien bezüglich:

- Untersuchter Haarlänge/Segmente
- Geprüfter Wirkstoffe/Metabolite
- Angewendeter Cut-off-Werte
- Richtlinien für die Interpretation

Dabei ist zu bemerken, dass abgesehen von der Haarlänge dieser Klärungsbedarf auch für Urinproben gilt. Mit der Bestimmung von Ethylglucuronid und Fettsäureethylestern im Haar stehen geeignete Marker zum Nachweis von chronisch exzessivem Alkoholkonsum zur Verfügung, die eine Einbeziehung in das routinemäßige Screening bei Fahreignungsfällen ermöglichen.

Literatur

- [1] V. Kalus: Verwaltungsrecht. In Hettenbach, Kalus, Möller Uhle (Hrsg.): Drogen und Straßenverkehr. Deutscher Anwaltverlag, Bonn 2005, S. 149-261.
- [2] K. Krell: Verwaltungsrecht. In B. Madea, F. Mußhoff, G. Berghaus: Verkehrsmedizin, Deutscher Ärzteverlag, Köln 2007, S. 68-87.
- [3] B. Madea und F. Mußhoff (Hrsg.): Haaranalytik - Technik und Interpretation in Medizin und Recht. Deutscher Ärzte-Verlag Köln, 2004.
- [4] P. Kintz (Hrsg.): Analytical and Practical Aspects of Drug Testing in Hair, CRC Taylor & Francis, Boca Raton, FL, 2006.
- [5] F. Pragst, M. A. Balikova: State of the art in hair analysis for detection of drug and alcohol abuse. Clin. Chim. Acta 370 (2006) 17-49.

- [6] Society of Hair Testing. Recommendations for hair testing in forensic cases. *Forensic Sci Int* 2004; 145: 83-84
- [7] Mußhoff F, Sachs H, Thieme D. Anlagen zu den Richtlinien der GTFCh bei forensisch-toxikologischen Untersuchungen. Anhang B: Qualitätsstandards für spezielle Analyte. 2. Untersuchung von Haarproben. *Toxichem + Krimtech* 2004; 71: 140-145.
- [8] Consensus Société Française de Toxicologie Analytique décembre 2004. Restitution du permis de conduire examens biologiques à partir de cheveux. <http://www.sfta.org>.
- [9] F. Pragst, T. Nadulski: Cut-off for THC in hair in context of driving ability. *Annales de Toxicologie Analytique* 17(2005) 237-241
- [10] Landeskoordinierungsstelle Suchtvorbeugung NRW: Zahlen zu Cannabis, http://www.ginko-ev.de/zahlen/zahlen_cannabis.aspx. September 20, 2005.
- [11] Nadulski T, Pragst F. Simple and sensitive determination of Delta(9)-tetrahydrocannabinol, cannabidiol and cannabinol in hair by combined silylation, headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *J Chromatogr B* 846 (2007) 78-85.
- [12] F. Pragst, M. Yegles: Alcohol Markers in Hair. In: P. Kintz (Ed.): *Analytical and Practical Aspects of Drug Testing in Hair*, CRC Taylor & Francis, Boca Raton, FL, 2006, pp. 287-323.
- [13] F. Pragst, M. Yegles, R. Volmerhaus, unveröffentlichte Ergebnisse.

Prof. Dr. Fritz Pragst
Institut für Rechtsmedizin
Charité - Universitätsmedizin Berlin
Hittorfstraße 18
14195 Berlin
fritz.pragst@charite.de

Dr. Hans Sachs
Forensisch-Toxikologisches Zentrum
Bayerstr. 53
80335 München
sachs.blaustein@t-online.de