

Haaranalyse in der Umweltmedizin

Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes

1 Einleitung

Für das Human-Biomonitoring in der Umweltmedizin sind leicht zugängliche Probenmaterialien, die eine durchschnittliche Exposition über einen längeren Zeitraum reflektieren, von besonderer Bedeutung. Vor diesem Hintergrund werden Kopfhare zur Überwachung der inneren Belastung gegenüber Metallen bzw. Metalloiden z. B. in epidemiologischen und in Fallstudien eingesetzt. Neben einigen klinisch-chemischen Laboratorien, bieten auch Apotheken, hauptsächlich jedoch kommerzielle Haaranalyse-Institute umfassende Untersuchungen der Mineral- und Spurenelementgehalte in Haaren an (bekannt auch als Ernährungs- und Mineralstoffanalysen). Diese werden typischerweise mittels Massenspektroskopie (ICP-MS) durchgeführt, sodass eine Simultanmessung von bis zu 60 Elementen in den Haarproben prinzipiell möglich ist. Die Interpretation der Untersuchungsergebnisse beschränkt sich i. d. R. nicht nur auf die Diagnose von Belastungs- und Mangelzuständen, sondern es werden auch Schlüsse zu Krankheitsursachen gezogen und Therapieempfehlungen gegeben.

Obwohl die Aussagekraft der Haaranalyse zur Quantifizierung von Schadstoffbelastungen begrenzt ist, wie dies bereits in mehreren Übersichtsarbeiten dargelegt wurde [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], werden Haaranalysen auch weiterhin häufig durchgeführt. Die Kommission hat sich daher mit der Problematik von Haaranalysen nochmals eingehend befasst und legt dazu folgende Stellungnahme vor.

2 Anwendungsgebiete der Haaranalyse

Grundsätzlich sind folgende Anwendungen der Haaranalyse zu unterscheiden:

- Nachweis von Arznei- und Suchtstoffen bei rechtsmedizinischen Fragestellungen,
- Nachweis von Giften in der klinischen und forensischen Toxikologie,
- historische Untersuchungen,
- Erfassung des Versorgungszustandes mit Spurenelementen und Mineralstoffen,
- Abschätzung der inneren Exposition gegenüber Schadstoffen.

Die Bestimmung von Arznei- und Suchtstoffen in Kopfharen, ggf. auch in Achsel- oder Schamhaaren, ist ein anerkanntes Verfahren, mit dem Substanzen wie Cannabisinhaltsstoffe, Kokain, Ecstasy, Heroin oder Dopingmittel wie Nandrolon und Anabolika auch längere Zeit nach Einnahme zuverlässig nachgewiesen werden können. Bei der Haarbildung werden im Blut vorhandene Wirkstoffe in das Haar eingelagert und können auch durch Haarbehandlung wie Waschen und Tönen nicht vollständig entfernt werden. Unter Berücksichtigung der Wachstumsgeschwindigkeit von Kopfharen (ca. 1 cm/Monat) lässt sich je nach Haarlänge auch ein länger zurückliegender Drogenkonsum feststellen [8].

Der Einsatz der Haaranalyse zum Nachweis von Vergiftungen z. B. durch Arsen, Selen oder Thallium erfolgt heute in der klinischen und forensischen Toxikologie nur noch selten. In Einzelfällen kann es sinnvoll sein, die Haaranalyse als zusätz-

liches Verfahren einzusetzen, z. B. um durch Analyse von Haarabschnitten Informationen über den zeitlichen Verlauf von Vergiftungen zu erhalten [9].

Spezielle und anerkannte Anwendung findet die Haaranalyse bei historischen Fragestellungen wie der Arsenvergiftung Napoleons, der Bleivergiftung Heinrich Heines und der Teilnehmer der Arktisexpedition 1845, verursacht durch bleihaltige Konserven, oder bei der Untersuchung von möglichem Drogenkonsum der Ägypter anhand von Haarproben von Mumien. Auch der Nachweis, dass „Ötzi“ sich offenbar primär vegetarisch ernährte, beruht auf einer Haaranalyse [10].

Während die wiederholte Analyse des Spurenelementgehaltes in Haaren unter gut standardisierten Bedingungen geeignet ist, Veränderungen der Zufuhr von bestimmten Spurenelementen mit der Nahrung nachzuweisen, ist eine einzelne derartige Untersuchung ungeeignet, Aussagen über den Versorgungszustand zu treffen oder sogar evtl. vorliegende Stoffwechselstörungen oder Ursachen von Mangelkrankungen aufzudecken [4, 11]. Die Ableitung von Therapie- oder Diätvorschlägen aus Haaranalysen ist daher grundsätzlich abzulehnen [6].

3 Haaranalyse zur Beurteilung der inneren Exposition gegenüber Schadstoffen

3.1 Allgemeines

Eine umfassende kritische Bewertung der Haaranalyse als Verfahren zur Beurteilung der Schadstoffexposition wurde von

Wilhelm und Idel [2] vorgenommen. Erst kürzlich hat auch die U.S. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) eine Stellungnahme im Rahmen eines Expertengesprächs zur Haaranalyse erarbeitet [6]. Mit Ausnahme von Methylquecksilber ist eine Haaranalyse danach nicht geeignet, die individuelle Schadstoffbelastung zu erfassen.

Zunächst ist zu klären, für welche Stoffe überhaupt zuverlässige Analyseverfahren in Haaren vorliegen.

Für organische Stoffe stehen außer für Methylquecksilber sowie die oben erwähnten Arznei- und Suchtmittel keine erprobten und validierten Verfahren zur Verfügung. Ansätze, organische Schadstoffe aus der äußeren Lipidschicht der Haare zu extrahieren und daraus eine Abschätzung der äußeren Belastung ähnlich wie bei der Verwendung von Passivsammlern zur Erfassung der individuellen Exposition gegenüber Luftschadstoffen (personal monitoring) vorzunehmen, wurden nicht weiter validiert. Von Interesse ist, dass auch Nikotin und Cotinin in Kopfharen zuverlässig analysiert werden können. Deren Gehalte in Kopfharen können zur Abschätzung der Tabakrauchexposition herangezogen werden [12].

Empfindliche Analyseverfahren stehen zur Bestimmung von Metall- und Metalloidgehalten in Haaren zur Verfügung. Von umweltmedizinischem Interesse sind dabei Arsen, Blei und Quecksilber.

Es steht außer Zweifel, dass Metall-/Metalloidgehalte in Kopfharen grundsätzlich eine erhöhte Exposition anzeigen können. In vielen Studien wurden im Vergleich zu Kontrollgruppen erhöhte Elementgehalte bei entsprechend exponierten Personen festgestellt [2]. Auch bei geringen Belastungen lassen sich, wie die Düsseldorfer Verkehrsimmissionsstudie zeigte, in Haaren noch erhöhte Gehalte an Blei beobachten, während die Blutblei-gehalte bei Kindern aus 3 Regionen mit unterschiedlicher Verkehrsdichte sich nicht (mehr) voneinander unterscheiden [13].

Jedoch ist die Aussagekraft der Haaranalyse auf individueller Basis aus folgenden Gründen erheblich eingeschränkt:

- schwierige Differenzierung zwischen endogenem und exogenem Anteil eines Stoffes im Haar,

- lückenhafte Datenlage über Umfang und Mechanismus des Einbaus verschiedener Elemente während der Wachstumsphase des Haares vom Blut in die Haarmatrix,
- Mängel in der Qualitätssicherung,
- schwache bis fehlende Korrelationen zwischen Elementgehalten in Haaren und denen in Blut/Urin oder in Zielorganen,
- fehlende Informationen über Zusammenhänge zwischen Elementgehalten in Haaren und adversen Effekten,
- diverse Confounder wie Haarewaschen, Kosmetika, Shampoos, Schwitzen, Haarfarbe, Haartyp können die Elementgehalte in Haaren stark verändern.

Das Problem der Differenzierung zwischen endogenem und exogenem Anteil eines Stoffes im Haar konnte trotz intensiver Bemühungen, z. B. durch verschiedene Haarreinigungsverfahren, bisher nicht gelöst werden und scheint auch aus grundsätzlichen Überlegungen heraus nicht lösbar zu sein [14]. Dies gilt für alle Substanzen, für die eine äußere Kontamination der Haare über Luft, Kosmetika und Wasser (z. B. Leitungswasser zur Haarpflege, Badewasser, Regenwasser, Badebeckenwasser) prinzipiell vorkommen kann. Eine Ausnahme hierzu ist die Abschätzung der Exposition gegenüber Methylquecksilber, die fast ausschließlich über den Verzehr von Fisch und Fischprodukten erfolgt. Methylquecksilber wird zu einem nachweisbaren Anteil in die Haare eingebaut [15]. Ein zukunftsweisender Ansatz, das Problem der Differenzierung zwischen exogenen und endogenen Stoffanteilen in Haaren zu bewältigen, liegt in der Speziesanalytik. So gelang es Mandal et al. [16] kürzlich, anorganische Arsenverbindungen und methylierte Arsenmetabolite getrennt in Haaren zu analysieren.

Zur Klärung der Frage des Einbaus von Elementen vom Blut in die Haarmatrix wurden zwar verschiedene Untersuchungen durchgeführt [2], aber unser Wissen über den Mechanismus und vor allem über das Ausmaß, in welchem Stoffe in das Haar inkorporiert werden, ist noch immer gering.

Derzeit stehen keine regelmäßigen Ringversuchsprogramme zur externen Qualitätskontrolle von Haaranalysen zur Verfügung. Für eine breitere Anwendung

der Haaranalyse wäre eine externe Qualitätskontrolle aber unabdingbar, da 3 in den letzten Jahren durchgeführte Ringversuche belegen, dass insbesondere die kommerziellen Anbieter von Haarmineralanalysen häufig unzuverlässige Ergebnisse produzieren [4, 7, 17]. Ferner sind bisher keine für alle mit der Haaranalyse befassten Laboratorien verbindliche Vorgaben betreffs der Probenahme und der zu berücksichtigenden Einflussfaktoren (Wohnort, Ernährung, Trinkwasser, Lebensstil, Alter, Geschlecht, Haarfarbe, Haarbehandlungen etc.) entwickelt worden. Rauscher [18] kommt in seiner Arbeit zu dem Schluss, dass unter der Voraussetzung einer sorgfältigen, geeigneten Probenahme zuverlässige, ausreichend reproduzierbare Ergebnisse für die Bestimmung von Elementen in Haaren jedoch durchaus möglich sind.

Aufgrund von toxikokinetischen Überlegungen muss nicht zwingend mit einer engen Korrelation zwischen den Elementgehalten in Haaren und denen in Blut und Urin bzw. denen in kritischen Zielorganen gerechnet werden. Dennoch fällt insgesamt auf, dass für viele Stoffe, auch für solche, für die fundierte Erkenntnisse zur Toxikokinetik vorliegen, keine oder nur schwache Zusammenhänge zwischen den Gehalten in Haaren und in anderen biologischen Materialien gefunden wurden [19]. Eine Ausnahme ist auch hier wieder das Methylquecksilber, für das bei hoch belasteten Personen, z. B. nach dem Konsum von kontaminiertem Rheinfisch, zwischen den Gehalten in Blut und Haaren enge Korrelationen festgestellt wurden [20]. Auch für Blei wurden Assoziationen zwischen Gehalten im Blut und im Kopfhhaar ermittelt [13, 21].

Die auf einer Haaranalyse beruhende Verdachtsdiagnose „Schwermetall-Intoxikation“ kann nicht selten durch eine exogene Kontamination der Haare erklärt werden (Fallbeispiele z. B. s. Wilhelm und Idel [22]).

3.2 Spezielle Aspekte bei einzelnen Stoffen

3.2.1 Methylquecksilber

Basierend auf umfangreichen epidemiologischen Daten, toxikokinetischen Erkenntnissen und unter Berücksichtigung prak-

tischer Gesichtspunkte ist das Haar das beste Indikatormedium zur Beurteilung der individuellen Methylquecksilberbelastung. Bei der Haaranalyse wird üblicherweise nur der Gesamtquecksilbergehalt bestimmt. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass bei erhöhter alimentärer Quecksilberbelastung der Anteil des Methylquecksilbers und anderer organischer Quecksilberverbindungen in Haaren deutlich über 50% liegt [23].

Repräsentative Studien zu Quecksilbergehalten in Haaren für die Bundesrepublik Deutschland fehlen. Für Kinder aus Nordrhein-Westfalen wurden Quecksilbergehalte in Haaren zwischen $<0,03$ und $1,77 \mu\text{g/g}$ (geometrischer Mittelwert $0,18 \mu\text{g/g}$) berichtet [24]. Der sich entwickelnde Organismus reagiert auf die Exposition gegenüber organischem Quecksilber besonders empfindlich. Erste Anzeichen von Entwicklungsstörungen und Verhaltensänderungen bei Kindern wurden bei Quecksilbergehalten im Haar der Mutter von $>5 \mu\text{g/g}$ festgestellt [15, 25]. Unter Anwendung eines Sicherheitsfaktors von 5 wurde daraus die Empfehlung abgeleitet, dass der Gesamtquecksilbergehalt in Haaren von Frauen im gebärfähigen Alter nicht über $1 \mu\text{g/g}$ liegen sollte [26].

Nicht geeignet ist die Haaranalyse zur individuellen Beurteilung der amalgambedingten Quecksilberbelastung, da es sich bei der amalgambedingten Quecksilberbelastung nicht um Methylquecksilber, sondern um anorganische Quecksilberverbindungen handelt.

3.2.2 Blei

In umweltepidemiologischen Studien zur Bleibelastung, insbesondere an Kinderkollektiven, kann die Haaranalyse eingesetzt werden. Von Vorteil ist dabei, dass die Haarproben im Gegensatz zur Blutgewinnung nichtinvasiv gesammelt werden können. Bei Kindern ist auch die Gefahr der Verfälschung der Ergebnisse durch Haarbehandlungsmaßnahmen eher gering. Selbstverständlich müssen auch bei Kindern medizinische Behandlungen der Haare oder der Kopfhaut (z. B. bei Kopfhautekzemen oder bei der Entlausung) berücksichtigt werden. Aus dem Umwelt-Survey 1990/92 liegen repräsentative Daten über die Bleigehalte im Kopfhaut der Bevölkerung in Deutschland vor (s. Kapitel 4).

3.2.3 Arsen

Da Arsen sehr rasch aus dem Blut eliminiert wird, ist die Arsenkonzentration im Blut zur Beurteilung der Arsenbelastung bei umweltmedizinischen Fragestellungen nicht geeignet. Auch die Arsengehalte im Urin spiegeln nur die wenige Tage zurückliegende Exposition wider. Dies trifft auch für Arsenspezies (anorganische Arsenverbindungen sowie methylierte Metabolite) im Urin zu. Vor diesem Hintergrund und wegen der ausgeprägten Affinität von Arsen zu schwefelhaltigen Strukturen wie Keratin wurden zur Abschätzung der Exposition gegenüber anorganischen Arsenverbindungen in epidemiologischen Studien Haare, aber auch Nägel als Indikatormedien herangezogen. Dabei zeigen neuere Untersuchungen, dass Nägel (Fingernägel) die innere Belastung besser als Haare reflektieren [16, 27]. Arsengehalte in Nägeln spiegeln im Vergleich zu Konzentrationen von Arsenspezies im Urin die Belastung gegenüber anorganischen Arsenverbindungen mindestens vergleichbar [28] oder auch besser wider [29]. Repräsentative Daten zu Arsen in Haaren in der Bundesrepublik liegen nicht vor. Die Angaben aus der Literatur zum Arsengehalt in Haaren streuen erheblich und liegen in Europa sowie in den USA zwischen $0,01$ und $0,2 \mu\text{g/g}$.

3.2.4 Selen

Die Frage, ob der Selengehalt im Kopfhaut mit den Selenkonzentrationen in Blut, Geweben und Urin korreliert und damit als Indikator eines evtl. bestehenden Selenmangels verwendet werden kann, lässt sich nicht abschließend beantworten, da in der Literatur hierzu widersprüchliche Ergebnisse berichtet werden [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40].

In größeren epidemiologischen Studien sind Selenbestimmungen in Zehennägeln erfolgreich zur Unterscheidung des Selenstatus der untersuchten Kollektive verwendet worden [41, 42, 43], und auch Haare scheinen sich für den Vergleich von Kollektiven zu eignen [30, 32]. Auch wenn ein Zusammenhang zwischen der Selenaufnahme und den Gehalten in Haaren besteht, eignen sich Haaranalysen nicht zur individuellen Diagnostik des Selenstatus [44, 45].

Die Kommission empfiehlt, um einen Anhaltspunkt für den Erfolg einer Supplementierung zu erhalten, den Selengehalt

des Serums/Vollblut nach 1–3 Monaten zu kontrollieren (<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/monitor/pub.htm>).

3.2.5 Nikotin und Cotinin

Nikotin im Kopfhaut hat sich bei verschiedenen umweltepidemiologischen Studien als Indikator des aktiven und passiven Tabakrauchens bewährt. Anhand dieses Parameters lassen sich nicht nur Raucher und Nichtraucher unterscheiden, sondern auch deutliche Unterschiede zwischen keiner, schwacher und starker Passivrauchbelastung erkennen. Cotinin im Haar ist dagegen bei passiv durch Tabakrauch belasteten Nichtrauchern und bei schwachen Rauchern (≤ 10 Zigaretten pro Tag) kaum nachweisbar. Eine Differenzierung zwischen Rauchern und Nichtrauchern kann nicht nur anhand des Nikotingehaltes im Haar, sondern auch anhand des Nikotin- und Cotiningehaltes im Urin vorgenommen werden [12, 46]. Repräsentative Daten für die Bundesrepublik Deutschland stehen zur Verfügung (s. Kapitel 4).

Eine eindeutige Aussage zu der Frage, welche Anteile des im Tabakrauch befindlichen Nikotins exogen und welche endogen in das Haar eingebaut werden, konnte bisher nicht getroffen werden [47, 48, 49].

3.2.6 Trendanalyse

Anwendung findet die Haaranalyse ferner zur Erfassung zeitlicher Verläufe der Metallbelastung großer Populationen. Beispielsweise sanken die Medianwerte der Bleigehalte im Kopfhaut von Studenten aus Halle zwischen 1995 und 2001 von $0,53$ auf $0,15 \mu\text{g/g}$ [50].

4 Datenlage aus dem Umwelt-Survey 1990/92

Als Vergleichswerte für epidemiologische Untersuchungen, nicht aber zur Beurteilung individueller Befunde, stehen in Deutschland aus dem Umwelt-Survey 1990/92 repräsentative Daten zu Elementgehalten in Haaren zur Verfügung [21, 46]. Wichtige Stoffe wie anorganisches Arsen und Methylquecksilber wurden darin nicht berücksichtigt, da die vorhandenen Problemengungen nicht für weitere Aufschlüsse ausreichte. Da der Umwelt-Survey 1998 [51] und der Kinder-Umwelt-Survey

Tabelle 1

Blei, Nikotin und Cotinin in Kopfharen ($\mu\text{g/g}$) von Erwachsenen (25–69 Jahre) und Kindern (6–14 Jahre) gemäß Umwelt-Survey 1990/92 [46]

Parameter	Populationsgruppe	N	n<BG	Bereich	P 50	P 90	P 95
Blei	Frauen	1952	10	<0,1–76,4	0,7	2,3	3,6
	Männer	1865	4	<0,1–584	1,2	5,4	8,5
	Mädchen	345	0	0,1–12,8	0,7	2,1	3,4
	Jungen	366	2	<0,1–26,9	1,3	4,6	6,2
Nikotin	Erwachsene Nichtraucher	861	120	<0,1–135	1,0	9,4	14,1
	Erwachsene Raucher	428	9	<0,1–441	10,9	61,8	73,6
	Kinder	255	113	<0,1–21,8	0,2	2,6	5,6
Cotinin	Erwachsene Nichtraucher	872	794	<0,2–11,0	<0,2	<0,2	0,3
	Erwachsene Raucher	419	218	<0,2–8,2	<0,2	1,9	2,8
	Kinder	255	242	<0,2–0,5	<0,2	<0,2	0,2

N Stichprobenumfang; n<BG Anzahl der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG); P 50, P 90, P 95 Stichprobenperzentil; Werte <BG wurden mit BG/2 berücksichtigt.

2003/06 [52] keine Haaranalyse beinhalten, ist nicht damit zu rechnen, dass zukünftig für Deutschland geeignete Vergleichswerte zur Verfügung stehen werden.

Die im Umwelt-Survey 1990/92 angewandten Methoden (Stichprobenziehung, Analytik, Statistik etc.) und erzielten Ergebnisse sind in den Publikationen von Krause et al. [21, 46] ausführlich dargestellt. Im Folgenden werden die wesentlichen Angaben und Ergebnisse zusammenfassend beschrieben. Im Umwelt-Survey 1990/92 wurde in Kopfhhaarproben von 4021 Erwachsenen (Alter 25–69 Jahre) und 736 Kindern (Alter 6–14 Jahre) eine Reihe von Elementen und Verbindungen bestimmt. Die Kopfhhaarproben mit möglichst 200 mg Probengewicht wurden mit einer Titanitridsche am Hinterkopf (occipital) entnommen und der kopfhhautnahe (proximale) Haarabschnitt von 4 cm Länge in einem Pergamentpapierumschlag verschlossen bis zur Analyse aufbewahrt. Die Proben wurden zunächst der IAEA-Waschprozedur unterzogen, d. h. Waschen mit Aceton und Wasser. Für die Spurenelementanalytik wurden die Proben plasmaverascht und mit der ICP-MS auf die Stoffe Al, Ba, Cd, Ca, Cr, Cu, Mg, Pb, P, Sr und Z analysiert. In Haarproben mit mehr als 200 mg Einwaage wurden nach alkalischem Aufschluss Nikotin und Cotinin mit der HPLC bestimmt. Die Ergebnisse für Blei, Nikotin und Cotinin in den Kopfhhaarproben der Erwachsenen und Kinder sind in **Tabelle 1** wiedergegeben.

Für die Bleigehalte in Kopfhhaar der Erwachsenen wurden im Umwelt-Survey bei einer Varianzaufklärung von insgesamt 22,7% folgende Einflussgrößen – hier in der Reihenfolge der Bedeutung angegeben – identifiziert: Geschlecht, Bleigehalt im häuslichen Trinkwasser, Aufenthalt außerhalb geschlossener Räume, Tageshöchsttemperatur, Haarwuchs, Alter des Wohnhauses, Anzahl der gerauchten Zigaretten. In den Kopfhhaar der Kinder (Varianzaufklärung 24,9%) waren es: Geschlecht, Alter des Wohnhauses, Lebensalter, körperliche Betätigung im Freien, Bleigehalt im häuslichen Trinkwasser, Jahreszeit und Bleiniederschlag in der Außenluft [53].

Für die Nikotin- und Cotiningehalte im Haar sind vor allem der Rauchstatus und die Anzahl der gerauchten Zigaretten signifikante Merkmale. Anhand der Nikotiningehalte im Haar lassen sich 3 Gruppen von Nichtrauchern signifikant unterscheiden: keine/schwache/starke Passivrauchexposition [12, 46].

Eine Korrelation zwischen den Substanzgehalten von Pb, Cd, Cu, Cr, Cotinin, Nikotin, Ca, Mg und P im Kopfhhaar und den entsprechenden Gehalten in Blut, Serum oder Urin ergab sich nur für die Bleigehalte in Haar und Blut sowie für Nikotin und Cotinin in Haar und Urin.

5 Evaluierung von Referenzwerten

Die Kommission sieht es nicht für sinnvoll an, Referenzwerte für Schadstoffe in Kopf-

haaren abzuleiten. Außer der Tatsache, dass derzeit keine standardisierten Analyseverfahren einschließlich Probenahme, Waschprozedur, Aufschluss und Messverfahren sowie keine externe Qualitätskontrolle zur Verfügung stehen, sieht die Kommission die Haaranalyse als nicht geeignet an, auf individueller Ebene diagnostische Aussagen zu treffen.

6 Zur Frage von HBM-Werten

Umweltmedizinisch-toxikologisch begründete Werte (HBM-Werte) lassen sich aus Schadstoffgehalten in Haaren nicht ableiten, da außer für Methylquecksilber keine Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen Stoffgehalten in Haaren und adversen Effekten bekannt sind. Basierend auf Kohortenstudien auf den Färöer- und Seychellen-Inseln wurde als niedrigster Effekt-Level für neurotoxische Wirkungen im Fötus ein Gesamtquecksilbergehalt im Haar der Mütter von 5 $\mu\text{g/g}$ gefunden. Die Kommission hat, basierend auf diesen Ergebnissen, die HBM-Werte für Quecksilber im Blut abgeleitet [15]. Ein HBM-Wert für Quecksilber in Haaren wird von der Kommission nicht abgeleitet, da derzeit zur Bestimmung von Gesamtquecksilber bzw. Methylquecksilber in Haaren kein standardisiertes Analyseverfahren einschließlich Probenahme, Waschprozedur, Aufschluss- und Messverfahren sowie externe Qualitätskontrollen zur Verfügung stehen [15].

7 Zusammenfassung und Ausblick

Mit Ausnahme von Methylquecksilber ist die Haaranalyse nicht zur Beurteilung der individuellen Schwermetallbelastung und nicht als diagnostisches Verfahren zur Feststellung oder zum Ausschluss von erhöhten Schwermetallbelastungen geeignet. Aussagen zur gesundheitlichen Relevanz der Ergebnisse derartiger Untersuchungen sind daher nicht zulässig.

Haaranalysen eignen sich auch nicht zur Beurteilung des individuellen Versorgungsstatus mit Spurenelementen und Mineralstoffen. Die Ableitung von Therapie- oder Diätvorschlägen aus den Ergebnissen von Haaranalysen auf Mineralstoffe und Spurenelemente wie dies von Apotheken, Naturheilpraxen oder kommerziellen Haaranalyseinstituten vorgenommen

wird, ist aus Sicht der Kommission grundsätzlich abzulehnen.

Bei ausreichend großen Populationen und auf Gruppenbasis kann die Haaranalyse als Screeningverfahren zur Beurteilung der Belastung durch Nikotin, anorganische Arsenverbindungen oder Blei herangezogen werden. Da erhöhte Schadstoffgehalte in Haaren sowohl aus interner Einlagerung über den Pfad Blut → Haar matrix als auch über externe Kontamination aus Quellen wie Luft, Kosmetika oder Wasser stammen können, kann anhand der Haaranalyse i. d. R. jedoch nicht auf die Quelle der Exposition geschlossen werden.

Um die Haaranalyse als Verfahren zur Abschätzung der Schadstoffexposition besser beurteilen und einsetzen zu können, sollten weitere Untersuchungen insbesondere auf folgende Aspekte abzielen:

- Entwicklung standardisierter Analyseverfahren einschließlich Probenahme; Waschprozedur, Aufschluss- und Messverfahren und Qualitätssicherung,
- Untersuchung der Toxikokinetik und der Mechanismen des Schadstofftransfers vom Blut in die Haar matrix,
- Ermittlung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen,
- Identifizierung von Metaboliten im Haar.

Literatur

1. Chutsch M, Krause C (1987) Zusammenfassende Bewertung von Haaranalysen. In: Krause C, Chutsch M (Hrsg) Haaranalyse in Medizin und Umwelt. Gustav Fischer, Stuttgart New York
2. Wilhelm M, Idel H (1996) Hair analysis in environmental medicine. *Zbl Hyg (jetzt: Int J Hyg Environ Health)* 198:485–501
3. Wilhelm M (2001) Haaranalyse. In: Böse-O'Reilly, Kammerer, Mersch-Sundermann, Wilhelm (Hrsg) Leitfaden Umweltmedizin, 2. Aufl. Urban & Fischer, München, S 85–86
4. Drasch G, Roeder G (2002) Assessment of hair mineral analysis commercially offered in Germany. *J Trace Elem Med Biol* 16:27–31
5. Drexler H, Schaller KH (2002) Haaranalysen in der klinischen Umweltmedizin. *Dtsch Arztebl* 99:A 3026–3029 [Heft 45]
6. Harkins DK, Susten AS (2003) Hair analysis: exploring the state of science. *Environ Health Perspect* 111:576–578
7. Seidel S, Kreutzer R, Smith D et al. (2001) Assessment of commercial laboratories performing hair mineral analysis. *JAMA* 285:67–72
8. Sachs H (2003) Haaruntersuchungen auf Arznei- und Suchtstoffe. In: Madea B, Brinkmann B (Hrsg) Handbuch gerichtliche Medizin, Bd. 2. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 177–183
9. Drasch G (2003) Metalle und Verbindungen. In: Madea B, Brinkmann B (Hrsg) Handbuch gerichtliche Medizin, Bd 2. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 198–237
10. Macko SA, Lubec G, Teschler-Nicola M et al. (1999) The ice man's diet reflected by the stable nitrogen and carbon isotopic composition of his hair. *FASEB J* 13:559–562
11. Kruse-Jarres JD (1997) Interpretation von Haaranalysen. Rückschlüsse auf den Stoffwechsel unmöglich. *Dtsch Arztebl* 94 A:2180 [Heft 34–35]
12. Seiwert M, Merkel G, Krause C, Schwabe R (1995) Determination of nicotine and cotinine in urine and hair of the general population of Germany. Annual Conference of the ISEE and the ISEA. *Epidemiology July 1995*; 6: Number 4 Supplement
13. Wilhelm M, Pesch A, Rostek U et al. (2002) Concentrations of lead in blood, hair and saliva of German children living in three different areas of traffic density. *Sci Total Environ* 297:109–118
14. Kijewski H (1993) Die forensische Bedeutung der Mineralstoffgehalte in menschlichen Kopfharen. Schmidt-Römhild, Lübeck
15. Kommission Human-Biomonitoring (1999) Stoffmonographie Quecksilber – Referenz- und Human-Biomonitoring-(HBM)-Werte. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitschutz 42 522–532
16. Mandal BK, Ogra Y, Suzuki KT (2003) Speciation of arsenic in human nail and hair from arsenic-affected area by HPLC-inductively coupled argon plasma mass spectrometry. *Toxicol Appl Pharmacol* 189:73–83
17. Hamilton T, Schweinsberg F (2003) Ergebnisse eines Ringversuches mit Haarproben eines gesunden Probanden – ein Beitrag zur kritischen Bewertung der Haarmineral-Analyse. *Umweltmed Forsch Prax* 8:123–130
18. Rauscher J (2003) Qualitätssicherung in der Haarmineralstoff- und Schwermetallanalyse. *Z Umweltmed* 11(3):142–144
19. Drasch G, Wanghofer E, Roeder G (1997) Are blood, urine, hair and muscle valid biomarkers for the internal burden of men with the heavy metals mercury, lead and cadmium? *Trace Elem Electrolytes* 14:116–123
20. Schweinsberg F, Kroihner A (1994) Quecksilberbelastung durch Fischkonsum bei Rheinfischern. *Zbl Hyg* 195:529–543
21. Krause C, Babisch W, Becker K et al. (1996) Umwelt-Survey 1990/92 Band Ia: Studienbeschreibung und Human-Biomonitoring. Deskription der Spurenelementgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland. *WaBoLu Hefte* 1/96, Umweltbundesamt, Berlin
22. Wilhelm M, Idel H (1997) Ausgewählte Fallstudien zur „Haaranalyse.“ *Umweltmed Forsch Prax* 2:247–249
23. Barbosa AC, Jardim W, Dórea JG et al. (2001) Hair mercury speciation as a function of gender, age, and body mass index in inhabitants of the Negro River, Amazon, Brazil. *Arch Environ Contam Toxicol* 40:439–444
24. Pesch A, Wilhelm M, Rostek U et al. (2002) Mercury concentrations in urine, scalp hair, and saliva in children from Germany. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 12:252–258
25. Grandjean P, Weihe P, White RF et al. (1997) Cognitive deficit in 7-year-old children with prenatal exposure to methylmercury. *Neurotoxicol Teratol* 19:417–428
26. UNEP (United Nations Environment Programme) (2002) Global mercury assessment. UNEP Chemicals, Geneva, Switzerland
27. Hinwood AL, Sim MR, Jolley D et al. (2003) Hair and toenail arsenic concentrations of residents living in areas with high environmental arsenic concentrations. *Environ Health Perspect* 111:187–193
28. Wilhelm M, Pesch B, Wittsiepe J et al. (2004) Comparison of arsenic levels in fingernails with urinary As species as biomarkers of arsenic exposure in residents living close to a coal-burning power plant in Prievidza District, Slovakia. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, Advanced Online Publication 2004 Mar 17, doi:10.1038/sj.jea.7500350
29. Karagas MR, Stukel TA, Tosteson TD (2002) Assessment of cancer risk and environmental levels of arsenic in New Hampshire. *Int J Hyg. Environ Health* 205:85–94
30. Al-Kunani AS, Knight R, Haswell SJ et al. (2001) The selenium status of women with a history of recurrent miscarriage. *Br J Obstet Gynecol* 108:1094–1097
31. Steindel SJ, Howanitz PJ (2001) The uncertainty of hair analysis for trace elements. *JAMA* 285:83–85
32. Zhang WH, Neve J, Xu JP et al. (2001) Selenium, iodine and fungal contamination in Yulin District endemic for Kashin-Beck disease. *Int Orthopaed* 25:188–190
33. Frisch M, Schwartz BS (2002) The pitfalls of hair analysis for toxicants in clinical practice. *Environ Health Perspect* 110:433–436
34. Guvenc M, Guvenc H, Karatas F et al. (2002) Low I levels of selenium in miscarriage. *J Trace Elem Exp Med* 15:97–101
35. Hac E, Krechniak J, Szyszko M (2002) Selenium in human plasma and hair in northern Poland. *Biol Trace Elem Res* 85:277–285
36. Morley N, Ford RPK (2002) Hair-element analysis – still on the fringe. *Child Care Health Develop* 28 [Suppl 1]:31–34
37. Morton J, Carolan VA, Gardiner PHE (2002) Removal of exogenously bound elements from human hair by various washing procedures and determination by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal Chim Acta* 455:23–34
38. Fang WX, Wu PW, Hu RH, Huang ZY (2003) Environmental Se-Mo-B deficiency and its possible effects on crops and Keshan-Beck disease (KBD) in the Chou-sang area, Yao county, Shaanxi Province, China. *Environ Geochem Health* 25:267–280
39. Krechniak J, Szyszko M, Krzyanowski M (2003) Selenium concentrations in human renal cortex, liver and hair in northern Poland. *Biol Trace Elem Res* 92:213–220
40. Kvicala J, Zamrazil V, Jiranek V (2003) Selenium status of inhabitants of region Jablonec, Czech Republic. *Trace Elem Electro* 20:83–88
41. Allen NE, Morris JS, Ngwenyama RA, Key TJ (2004) A case-control study of selenium in nails and prostate cancer risk in British men. *Br J Cancer* 90:1392–1396
42. Rayman MP, Bode P, Redman CW (2003) Low selenium status is associated with the occurrence of the pregnancy disease preeclampsia in women from the United Kingdom. *Am J Obstet Gynecol* 189:1343–1349
43. Zhuo H, Smith AH, Steinmaus C (2004) Selenium and lung cancer: a quantitative analysis of heterogeneity in the current epidemiological literature. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 13:771–778
44. Shamberger RJ (2002) Validity of hair mineral testing. *Biol Trace Elem Res* 87:1–28
45. Klevay LM, Christopherson DM, Shuler TR (2004) Hair as a biopsychic material: trace element data on one man over two decades. *Eur J Clin Nutr* 7
46. Krause C, Schulz C, Becker K et al. (1996) Umwelt-Survey 1990/92 Band Ib: Human Biomonitoring. Deskription der Spurenelementgehalte im Haar der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland. *WaBoLu Hefte* 2/96, Umweltbundesamt, Berlin
47. Harley NJ, Hoffmann D (1985) Analysis for nicotine and cotinine in hair to determine cigarette smoker status. *Clin Chem* 31:1598–1600
48. Zahlens K, Nilsen OG (1990) Gas chromatographic analysis of nicotine in hair. *Environ Technol* 11:353–364
49. Nilsen T, Zahlens K, Nilsen OG (1994) Uptake of nicotine in hair during controlled environmental air exposure to nicotine vapour: evidence for a major contribution of environmental nicotine to the overall nicotine found in hair from smokers and non-smokers. *Pharmacol Toxicol* 75:136–142
50. Umweltprobenbank für Human-Organproben Münster. ISUBP 3.30 Analyseausswertung, Gesamt-Kollektive, generiert am 29.5.2002
51. Krause C, Seifert B, Schulz C (1998) Umwelt-Survey 1997/98. *Gesundheitswesen* 60 [Sonderheft 2]:577–582
52. Schulz C, Becker K, Seiwert M (2002) Kinder-Umwelt-Survey. *Gesundheitswesen* 64 [Sonderheft 1]:569–579
53. Bernigau W, Becker K, Hoffmann K et al. (1999) Umwelt-Survey 1990/92. Band X: Blei – Zusammenhangsanalyse. *WaBoLu-Hefte* 7/99, Umweltbundesamt, Berlin