Die Naturheilkunde
Fachmagazin für komplementäre Medizin
Sonderdruck aus Ausgabe 2/2021

Menschliche Haare als Sensoren des Stoffwechsels und der Umwelt

Dr. rer. nat. Josef Rauscher, Dr. rer. nat. Stefan Neumann

Seit gut 100 Jahren arbeiten Wissenschaftler daran, den Gehalt von Spurenelementen und Schwermetallen im menschlichen Haar zu bestimmen und aus den ermittelten Konzentrationen Rückschlüsse auf die Versorgung mit Spurenelementen und Mineralstoffen bzw. die Belastung mit toxischen Metallen (z. B. Quecksilber, Blei, Cadmium, Aluminium) und die Umweltbelastung zu ziehen.[1] Das menschliche Haar ist dabei ein leicht zugängliches Untersuchungsmaterial, es wächst gleichmäßig (ca. 1 cm/Monat) und einmal in das Haar aufgenommene Elemente sind dort weitgehend dauerhaft gespeichert. Am Beginn der Untersuchung von Haaren auf Metalle standen forensische Fragestellungen. Hier hat man sich den vorteilhaften Umstand zunutze gemacht, dass Haare als *Langzeitgedächtnis* für hochgiftige Elemente wie Arsen, Blei und Thallium wirken können. Wochen und Monate nach Aufnahme in den Körper ist Arsen im Blut nicht mehr nachweisbar, während im Haar noch immer beträchtliche Mengen zu finden sein können. Berücksichtigt man, dass das menschliche Haar im Schnitt pro Monat einen Zentimeter wächst, kann man (wenn man die Haare in kleine Bereiche unterteilt) den Zeitpunkt der Aufnahme in den Körper eingrenzen.

Die menschlichen Haare als Sensoren des Stoffwechsels

Für Statusbestimmungen wird üblicherweise eine Blut- oder Serumanalyse empfohlen. Doch Hektik, Stress, Sport, körperliche Arbeit und natürlich auch die aktuelle Nahrungsaufnahme sorgen für teils beträchtliche Schwankungen. Die Blutuntersuchungen liefern also lediglich Momentaufnahmen. Schon einen Tag früher oder später können die Ergebnisse ganz anders aussehen. In den Haaren jedoch werden die Elemente über längere Zeit fest gespeichert. Über die Haarwurzeln sind Haare in den Stoffwechsel des Körpers eingebettet. Bei der Neubildung von Haarzellen werden kontinuierlich Mineralstoffe, Schwermetalle und Spurenelemente aus dem Blut- und Lymphsystem sowie aus dem Extrazellulärraum in die Haare eingelagert.[2] Verwendet man 3 cm lange Haarproben, die direkt am Kopf entnommen wurden, lassen sich Elementkonzentrationen für einen definierten Zeitraum von etwa drei Monaten ermitteln. Eine Analyse der Mineralstoffe und Spurenelemente in den Haaren spiegelt also den wichtigen Mittelwert der Spurenelement- und Mineralstoff-Konzentrationen (die tagesabhängigen Schwankungen fehlen) wider.

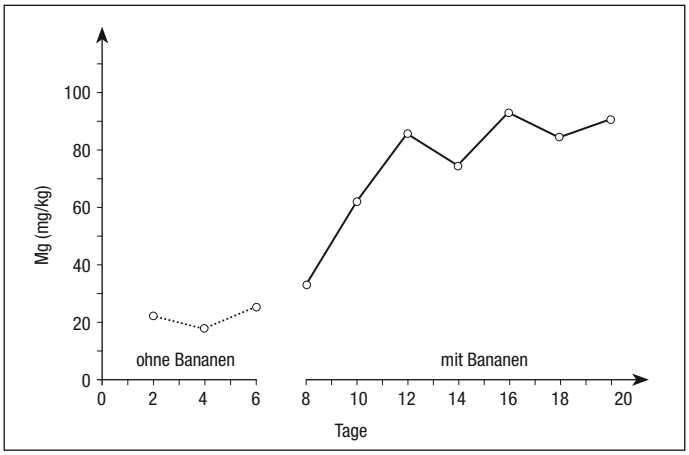

Abb. 1: Mg-Gehalt im Barthaar (2-Tagesmischprobe) eines Probanden vor und nach mehrwöchiger täglicher Aufnahme von 1 kg Bananen (entspricht etwa 300 – 500 mg Mg)

Haare reagieren auf den Versorgungsstatus

Grundvoraussetzung für die Eignung der menschlichen Haare als Indikator für den Versorgungsstatus sind erkennbare Konzentrationsänderungen der Zielelemente in den Haaren. Bereits früh haben Aurand und Neumayr[3] demonstriert, wie sich eine gesteigerte Magnesium-Zufuhr auf die Magnesium-Konzentration in den Haaren auswirkt und menschliche Haare deutlich auf die Zufuhränderungen reagieren. In der Abbildung 1 erkennt man zunächst eine bestimmte Mg-Menge in den Haaren, die nach Beginn der Mg-reichen Diät über den Verlauf von 6 Tagen ansteigt und sich dann auf einem hohen Niveau einpendelt, solange die Mg-Diät anhält.

Im zweiten Beispiel (Abb. 2) aus unserem Labor hat ein männlicher Proband (43 J.) nach einer ersten Mineralstoff-Analyse (MA) Magnesium (täglich 900 mg Magnesium als Magnesiumcitrat) eingenommen. In der Folgeanalyse nach 7 Monaten ist ein deutlicher Anstieg des Magnesiumwertes im Haar zu beobachten. Die Ergebnisse für die anderen Elemente (die nicht substituiert wurden) bleiben dagegen nahezu unverändert (Abb. 3).

Haaranalyse auf Elemente: Verfahrensbeschreibung[4]
Die Haarprobe wird mit HNO_3 aufgeschlossen, die Messlösung zerstäubt und in ein Argonplasma (ca. 6.000 °C) geblasen. Dabei werden die Elemente von der Matrix abgetrennt und zum Leuchten angeregt. Das so abgegebene Licht ist elementspezifisch und die Lichtintensität ist proportional dem Elementgehalt in der Messlösung. Reproduzierbarkeit und Genauigkeit werden mittels Haarkontrollproben und Wiederholmessungen überprüft und gewährleistet. Routinemäßig werden knapp 30 Elemente untersucht, einschließlich aller wichtigen Mineralstoffe (z. B. Calcium, Magnesium), Spurenelemente (z. B. Selen, Zink, Eisen, Chrom, Kupfer, Mangan) und der weitverbreiteten Schwermetalle (Blei, Cadmium, Quecksilber, Arsen, Nickel, Aluminium). Bei Bedarf können weitere Elemente wie Thallium, Antimon oder Palladium dazukommen.

Es ergeben sich für die untersuchten Mineralstoffe 3 Kategorien: *niedrig*, *normal*, *hoch*. Die toxischen Elemente werden in die Kategorien *normal* (90-Perzentil), *hoch* und *sehr hoch* eingestuft.

Das zugrunde liegende Probandenkollektiv ist ausreichend repräsentativ für die Allgemeinbevölkerung. Nicht unerwähnt bleiben soll, dass diese statistische Ermittlung von Referenzwerten eine gängige Praxis in der Labormedizin ist. Die Normalbereiche und ihre Unter- und Obergrenzen sind also statistisch begründet (90-Perzentile).

Von der Haarprobe zu aussagekräftigen Ergebnissen

Noch fehlt der Mineralstoff-Analyse die Anerkennung der meisten Schulmediziner. Es lässt sich aber plausibel zeigen, dass unter der Voraussetzung einer sorgfältigen und geeigneten Probenahme sowie einer kontaminationsfreien Präanalytik zuverlässige und ausreichend reproduzierbare Ergebnisse in Haaren möglich sind.[5] Referenzmaterialien (pulverisierte Haarproben) sind mittlerweile kommerziell erhältlich und können arbeitstäglich zur Qualitätssicherung analysiert werden.

Besonders gut geeignet: Quecksilber
Quecksilber, insbesondere die organischen Verbindungen, waren in den ersten Jahren ein Schwerpunkt der Haaranalysen. Drasch hat aus dem Grenzwert der amerikanischen Umweltbehörde US EPA für die Belastung mit Methylquecksilber im Haar einen NOAEL *(No Observed Adverse Effect Level)* von 1,1 µg/g, für die Belastung mit Quecksilberdampf (aus Amalgam) einen „Grenzwert“ von 1 µg/g postuliert, wobei hier der NOAEL wesentlich niedriger zu vermuten ist und im Bereich der Hintergrundbelastung liegen dürfte.[6]

Intoxikation versus Exposition
Zweifelsfrei können erhöhte Metallkonzentrationen in Haaren eine erhöhte Exposition anzeigen.[7] Für das bereits erwähnte Methylquecksilber wird bei hoch belasteten Personen sogar eine enge Korrelation zwischen den Gehalten im Blut und Haaren gefunden.[8] Zumindest für Blei wurden von mehreren Arbeitsgruppen Assoziationen zwischen Gehalten im Blut und Kopfhaaren ermittelt.[9]

Die bisweilen fehlende Korrelation zwischen Elementgehalten in Haaren und denen in den Zielorganen oder im Blut erfordert aber eine vorsichtige Bewertung der Ergebnisse. Die Schwermetallanalytik aus Haaren erlaubt keine pauschalen Verdachtsdiagnosen wie „akute Schwermetallintoxikation“ etc. Individualaussagen, in der Schulmedizin erwünscht, sind mit der MA daher nur bedingt möglich, obwohl Ergebnisse und Normbereiche statistisch abgesichert sind. Individuelle Schwermetall-Expositionen hingegen sind feststellbar, verbunden mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für entsprechenden Erkrankungen und Beschwerden des Probanden.

Bei Rückschlüssen auf Krankheitsursachen oder der Erstellung von Therapieempfehlungen allein aus der Haaranalyse ist ein gewisses Maß an Zurückhaltung geboten. Den Therapeuten muss immer bewusst bleiben, dass es sich bei den Normbereichen um statistische Größen handelt (90-Perzentile), die nicht toxikologisch definiert sind.

Mineralstoffe / Spurenelemente	Normalbereich	Ergebnis		tief	normal	hoch
Calcium	220 – 1600	1080,0				
Magnesium	20 – 130	61,4				
Phosphor	134 – 240	214,6				
Zink	142 – 248	139,0	niedrig			
Chrom	0,011 – 0,6	0,057				
Mangan	0,07 – 1	0,085	!			
Molybdän	0,02 – 1	0,060				
Kupfer	5,48 – 40	14,1				
Eisen	5,46 – 13,7	6,23				
Selen	0,2 – 5,46	0,859				

Abb. 2: Das Ergebnis der Mineralstoff-Analyse (MA) vor der Substitution mit Magnesium

Mineralstoffe / Spurenelemente	Normalbereich	Ergebnis		tief	normal	hoch
Calcium	220 – 1600	1092				
Magnesium	20 – 130	151,7	hoch			
Phosphor	134 – 240	190,6				
Zink	142 – 248	148,0	!			
Chrom	0,011 – 0,6	0,055				
Mangan	0,07 – 1	0,085				
Molybdän	0,02 – 1	0,077				
Kupfer	5,48 – 40	20,3				
Eisen	5,46 – 13,7	7,04				
Selen	0,2 – 5,46	0,650				

Abb. 3: Ergebnis der Mineralstoff-Analyse des gleichen Probanden nach einer mehrmonatigen Substitution mit Magnesium (TORRE Umweltanalytik, 2015/2016)

Etablierte Anwendungen in Schulmedizin und Forschung

Spurenelemente

Im Hinblick auf das Schlüsselelement Magnesium hat Behrmann die weitgehend übereinstimmenden Publikationen zusammengefasst. Demnach kann ein niedriger Magnesium-Haarspiegel ein Indiz für einen Mangel des Körpers darstellen.[10] Insbesondere stellen auch *„sehr niedrige Zink-Haarspiegel (unter 80 ppm) generell einen Hinweis auf einen Zink-Mangel des Organismus' dar"*. Schon früh folgerten andere Autoren aus ihren Arbeiten, dass Haarzinkwerte erste Hinweise auf einen Zinkmangel geben können. Auch ein Anstieg der Haarwerte nach Zink-Substitution oder einer Ernährungsumstellung auf Zink-reichere Kost wurde beschrieben.[10] Kanadische Mediziner an der University of British Columbia (Vancouver) haben umfangreiche Studien an Vorschulkindern durchgeführt und kommen zum klaren Fazit: Haaranalysen sind – im Gegensatz zu Serumanalysen – in der Lage, auch geringere Zinkmangel-Situation zu erkennen.[11]

Angesichts der enormen Bedeutung des Zinks für viele langwierige bzw. chronische Erkrankungen steht dieses Element weiterhin im Mittelpunkt vieler aktueller Forschungsarbeiten. So befasste sich eine Arbeitsgruppe an der Universität Ulm mit der Rolle des Zinks beim Phelan McDermid-Syndrom (PMDS), einer kindlichen Entwicklungsstörung, bei der sich niedrige Zinkwerte vor allem durch geistige Behinderung, autistische Verhaltensweisen und Muskelschwäche bemerkbar machen.[12] Nach Zink-Supplementierung zeigt sich ein starker Anstieg des Zinkgehalts in den Haaren (siehe Abb. 4). Wurde die Zink-Gabe beendet, fielen die Zinkwerte auf das Ursprungsniveau zurück, wie aufgrund der begrenzten Zink-Speicherfähigkeit zu erwarten ist. Zum selben Thema liefert eine japanische Arbeitsgruppe ähnliche Ergebnisse.[13]

Zu Selen liegen verschiedene Publikationen aus den Jahren bis 2003 vor, mit teils widersprüchlichen Ergebnissen. Ein Zusammenhang zwischen Selenaufnahme und dem Selen in Haaren besteht. Ob der Selenstatus zweifelsfrei aus der MA hervorgehen kann, sollte noch intensiver erforscht werden.[14]

Schwermetalle

Selbst bei geringen chronischen Expositionen können sich etwa Blei, Cadmium, Quecksilber und Arsen im Körper anreichern und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Nach J. Mutter kann Blei gesundheitliche Schäden bereits weit unterhalb der anerkannten Grenzwerte für Blut auslösen.[15]

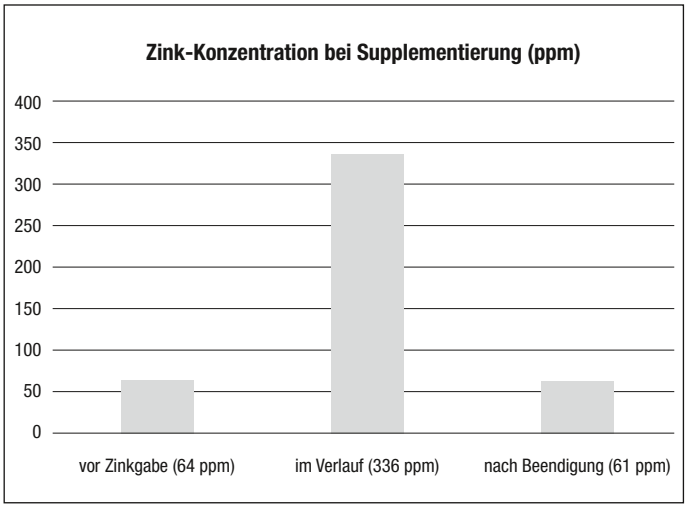

Abb. 4: Die Zink-Haarkonzentration vor, im Verlauf und nach Abschluss einer Zink-Substitution (nach Pfänder et al.[12])

Nach aktuellem Wissenstand muss Ähnliches für Quecksilber und andere Schwermetalle vermutet werden. Eine Haaranalyse kann wertvolle Hinweise über arbeitsplatz-, umwelt- oder verhaltensbedingte Schwermetallexpositionen liefern,[16] selbst wenn mittels einer Haaranalyse nicht immer zwischen endogener und exogener Belastung unterschieden werden kann. Häufig haben unterschiedliche Ergebnisse in Haar- und Blutergebnissen ihre einfache Ursache in der Kinetik der Schadstoffe. Viele giftige und bedrohliche Stoffe werden vom Körper rasch aus dem Blutkreislauf entfernt, neben der Ausscheidung z. B. auch durch irreversiblen Einbau in bestimmte Organe und Kompartimente (z. B. Cadmium in den Nieren, Blei in Knochen, Quecksilber in Fettgewebe).

Die Mineralstoff-Analyse in der geschichtlichen Forschung

Das Potenzial der Haare, Informationen über Ernährung und Lebensweise zu sammeln und zu speichern, zeigen eindrucksvoll die Untersuchungen am Ötzi. Die Erkenntnis, dass sich der Gletschermann vor 5.000 Jahren primär vegetarisch ernährt hat, basiert hauptsächlich auf Ergebnissen von Haaranalysen.[17] Auch über Lebensweise und Krankengeschichte von historischen Persönlichkeiten wie Beethoven und Napoleon können uns deren Haare viel erzählen.

Die Mineralstoff-Analyse im Human-Biomonitoring

Für das umweltmedizinische Human-Biomonitoring sind leicht zugängliche Probenmaterialien, die eine durchschnittliche Exposition über einen längeren Zeitraum reflektieren, von besonderer Bedeutung. Deshalb werden zur Überwachung der inneren (!) Belastung gegenüber Metallen bevorzugt Kopfhaare eingesetzt, und zwar sowohl bei epidemiologischen Studien als auch in Fallstudien.[13] Die Analyse einzelner Haarsegmente erlaubt Rückschlüsse auf den zeitlichen Verlauf von Expositionen.

Die Mineralstoff-Analyse in der Prävention

Gerade für die Prävention, insbesondere bei Aufspüren von Belastungen des Trinkwassers, ist die MA wertvoll. Oft veranlassen erst die Ergebnisse von Haaranalysen (auffällige Bleikonzentrationen im Haar) eine Überprüfung des Trinkwassers (alte Bleileitungen im Haus). Ähnlich verhält es sich bei Testpersonen mit beruflichem Umgang mit Schwermetallen, etwa Lackierern. Hohe Cadmiummengen im Haar können die Betroffenen für die Belastung und entsprechende Schutzmaßnahmen sensibilisieren. Der Nachweis hoher Antimon-Konzentrationen in den Haaren von Feuerwehrleuten – das krebserregende Antimon wird aus deren Schutzanzügen freigesetzt – sei ebenfalls erwähnt, selbst wenn die Antimonkonzentrationen im Urin unauffällig blieben.[18]

Fazit

Haaranalysen auf chemische Elemente (Mineralstoff-Analysen; MA) gewinnen in der Medizin und Prävention zunehmend an Bedeutung. Für und Wider jeweils abgewogen, ergeben sich mit der MA viele spannende Möglichkeiten bei der Ermittlung von Vorgängen rund um die Mineralstoff- und Spurenelementkonzentrationen beim Menschen. Dient die Blutanalytik eher der quantitativen Erfassung von Vergiftungen mit Schwermetallen, so liegt die Stärke der Mineralstoffanalyse in der Erfassung möglicher niedrigschwelliger Expositionen der schädlichen Elemente.

Die Haaranalyse liefert reproduzierbare und zuverlässige Ergebnisse, wenn alle Arbeitsschritte von der Probennahme bis zur Ergebnisinterpretation in gut ausgebildeten analytischen und heilberuflichen Händen liegen. An einigen Stellen ist Zurückhaltung geboten und es sind weitere Anstrengungen in der Erforschung der Zusammenhänge notwendig. Gegenwärtig liefern nur wenige Labore die Analysen-Qualität, die notwendig ist, um die schulmedizinische Anerkennung weiter zu steigern.

Autoren:
Dr. rer. nat. Josef Rauscher, Diplom-Chemiker
E-Mail: josef.rauscher@torre.de

Dr. rer. nat. Stefan Neumann, Diplom-Chemiker
E-Mail: stefan.neumann@torre.de

TORRE GmbH
Neunhofer Hauptstraße 78, 90427 Nürnberg
www.torre.de

Quellen

1 Krause C, Chutsch M (Hrsg.): Haaranalyse in Medizin und Umwelt, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York, 1987

2 Kempson IM, Lombi E: Hair Analysis as a Biomonitor für Toxicology, Disease and Health, Chem. Soc. Rev. 40 (2011), 3915-3940

3 Aurand K, Neumayr V: Ernährungsbedingte Veränderungen im Haarspurenelementgehalt, in: C. Krause und M. Chutsch (Hrsg.), Haaranalyse in Medizin und Umwelt, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York, 1987

4 TORRE Umweltanalytik GmbH, 2020

5 Rauscher J: Qualitätssicherung in der Haarmineralstoff- und Schwermetallanalyse, Z Umweltmed 11(3) (2003) 142-144, und: Rauscher J: Moderne und umfassende Qualitätssicherung in der Haarmineralstoffanalytik, in: M. Rükgauer (Hrsg.), Signalwirkung von Mineralstoffen und Spurenelementen, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart

6 Drasch G: Grenzwerte für die Quecksilberkonzentration im Haar, TORRE-Symposium, Zirndorf 2007

7 Wilhelm M, Idel H. Int. J. Hyg. Environ Health 198 (1996) 485-501

8 Schweinsberg F, Kroiher A: Quecksilberbelastung durch Fischkonsum bei Rheinfischern, Zbl. Hyg. 195 (1994), 529 – 543

9 Wilhelm M, Pesch A, Rostek U: Concentrations of lead in blood, hair and saliva of German children living in three different areas of traffic densitiy, Sci. Total Environ. 297 (2002) 109-118; C. Krause, W. Babisch, K. Becker et al., Umwelt-Survey 19907)"; WaBoLu-Hefte 1/96, Umweltbundesamt Berlin

10 Behrmann I: Aussagewert von Haaranalysen zur Mengen- und Spurenelementversorgung beim Sportler, Inaugural-Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 1999

11 Vaghri Z et al.: Age-Based Differences in Hair Zinc of Vancouver Preschoolers, Biol Trace Elem Res (2008) 126 (Suppl 1):S21–S30

12 Pfänder S, Inst. für Anatomie und Zellbiologie, Univ. Ulm: Zinc deficiency and low enterocyte zinc transporter expression in human patients with autism…, Sci. Rep. 2017(7), 45190 (publ. Online 2017 March 27)

13 Yasuda H et al.: Infantile zinc deficiency: Association with autism spectrum disorders, Sci. Rep 2011(1), 129

14 Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes: Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz (2005) 48, 246 – 250, Springer Medizin Verlag; und in: Umweltmed Forsch Prax 11(2) 114-120 (2006)

15 Mutter J et al.: Amalgam: Eine Risikobewertung unter Berücksichtigung der neuen Literatur bis 2005, Gesundheitswesen 2005; 67, 204-216

16 Wilhelm M, Idel H: Review „Hair Analysis in Environmental Medicine" (Übersichtsartikel: Haaranalyse in der Umweltmedizin), Zbl. Hyg. 198 (1996) 485 - 501., Bencko V: Use of human hair as a biomarker in the assessment of exposure to pollutants in occupational and environmental settings. Toxicology (1995) 101, 29-39; Foo SC et al: Metals in hair as biological indices for exposure. Int. Arch. Occup Environ health (1993) 65, 83-86]

17 Macko SA et al.: The ice man's diet by the stable nitrogen and carbogen isotopic composition of his hair, FASEB J., 13, 559-562 (1999)

18 Fabian D, Baumgartner MR: Swiss Medical Forum (2016) 16(22), 466-471