

Manfred Anke und Ralf Müller

**Das Widerspiegelungsvermögen des Mengen-,
Spuren- und Ultraspurenelementstatus durch
Hautderivate bei Mensch und Tier in Abhängigkeit
von Unterversorgung bzw. Intoxikation**

Berichte aus der Biomechatronik
Herausgegeben von Prof. Dr. Hartmut Witte
Fachgebiet Biomechatronik an der TU Ilmenau

Band 7

**Das Widerspiegelungsvermögen
des Mengen-, Spuren- und
Ultraspurenelementstatus durch
Hautderivate bei Mensch und
Tier in Abhängigkeit von
Unterversorgung bzw. Intoxikation**

Manfred Anke und Ralf Müller



Universitätsverlag Ilmenau
2011

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

Universitätsverlag Ilmenau

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag

Herstellung und Auslieferung

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

www.mv-verlag.de

ISBN 978-3-86360-002-0 (Druckausgabe)

ISSN 1865-9136 (Druckausgabe)

urn:nbn:de:gbv:ilm1-2011100031

Titelfoto: Dipl.-Biol. Helga Schulze | Bochum

Prof. em. Dr. agrar. habil. Drs. h.c.

Manfred Anke

Institut für Ernährung und Umwelt der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Ordentl. Hochschuldozent Dr. rer. nat. habil.

Ralf Müller

Gesellschaft für Ökologie und Umweltchemie mbH Erfurt

Geleitwort

Biomechatronik ist die Entwicklung und Verbesserung mechatronischer Systeme unter Nutzung biologischen und medizinischen Wissens. Sei es für die Medizintechnik oder bei der Entwicklung von BioMEMS (Bio-mikro-elektromechanischen Systemen), immer spielt über die Biokompatibilität auch die Chemie, insbesondere die Biochemie, die Chemie der Naturstoffe und der Spurenelemente eine Rolle. Es war für uns ein Glücksfall, dass wir seit Gründung des Fachgebietes Biomechatronik an der Technischen Universität Ilmenau im Jahre 2002 auf dem kurzen Wege unter fachlicher „Übersetzung“ durch den unermüdlichen Kollegen Herrn o. HD. Dr. rer. nat. habil. Ralf Müller Zugang zu dem enzyklopädischen Wissensfundus seines akademischen Lehrers und Freundes Prof. em. Dr. agrar. habil. Drs. h.c. Manfred Anke gewinnen konnten. Auch und gerade bei den „kleinen“ Fragen zum natürlichen Vorkommen und zur Humanverträglichkeit von Substanzen war es eine Beruhigung, sich auf die Kenntnisse eines der weltweit renommiertesten Fachleute abstützen zu können – und aufgrund der beispielhaften Publikationsaktivität von Prof. Anke auch jederzeitigen Zugriff auf die dazugehörigen wissenschaftlichen Belege zu haben. Deswegen mischte sich in die Trauer bei Eintreffen der Nachricht über den Tod von Herrn Prof. Anke das Erstaunen darüber, dass ein letztes fragmentarisches Übersichtswerk aus seiner Feder noch keine Veröffentlichung erfahren hatte. Gerne und dankbar bieten wir daher die Gelegenheit, der Nachwelt dieses komprimierte Wissen des verehrten Kollegen in Form eines Bandes der „Schriften aus der Biomechatronik“ zu erhalten. Die Hauptredaktion lag dabei in den Händen von Herrn o. HD. Dr. rer. nat. habil. Ralf Müller, gestalterisch unterstützt von Frau Dipl.-Biol. Danja Voges. Wir alle sind in entscheidenden Lebensphasen von der Alma mater Ienensis geprägt worden, so dass wir mit dem vorgelegten Buche nicht nur einen großen Kollegen, sondern auch seine wichtigste Schaffensstätte ehren möchten. Möge sich der freie Geist des Manfred Anke auch in einer Zeit des staatlich hingenommenen Bildungsverlustes seinen Platz in der Wissenschaft bewahren – sein Werk jedenfalls wird ohne Zweifel unabhängig von den Zeitläuften Bestand haben. Wissenschaftler setzen sich in Form ihrer Publikationen ihre Denkmäler selber.

Hartmut Witte

Cornelius Schilling



Zum Gedenken an Prof. Dr. agrar. habil. Drs. h.c. Manfred Anke

Am 27.12.2010 verstarb nach langer Krankheit unser hochverehrter Freund und Kollege, akademischer Lehrer und Wissenschaftler von internationalem Rang Manfred Anke, Erstautor vorliegender Schrift.

Reich ist das geistige Erbe, dass Prof. agrar. habil. Drs. h.c. Manfred Anke als Tierernährungsschemiker, Ernährungswissenschaftler, Toxikologe und Ökologe hinterlassen hat. Aus vielen wissenschaftlichen Publikationen und Monographien über Jahrzehnte hinweg zeigt sich seine komplexe, wissenschaftliche Denkweise, die er immer wieder auf den wissenschaftlichen Nachwuchs zu übertragen vermochte.

Der bisher vorliegende wissenschaftliche Fundus Manfred Ankes und seine lebendige Ausstrahlungskraft als akademischer Lehrer enthält Gedanken zur Auffindung von Gesetzen und Gesetzmäßigkeiten im Wechselspiel der unbelebten und belebten Natur, sowie der Experimentalmethodik. Manfred Anke beherrschte in vorbildlicher Weise die „Kunst“ der Organisation und die Rolle des Organisators in der Wissenschaft, die er stets an seine akademischen „Schüler“ weiterzugeben bemüht war. In der Zeit seines Wirkens initiierte er die Bildung wissenschaftlicher Schulen in der Ernährungswissenschaft, Ökologie und Toxikologie in vielen Ländern der Welt und markierte Zukunftsaufgaben der Wissenschaft in genannten Bereichen.

Wissenschaftliche und technische Leistungen der Gegenwart sind undenkbar ohne wissenschaftliche und technische Leistungen der Vergangenheit, die er immanent aufnahm. Die Wirkung seiner Wissenschaftlerpersönlichkeit hinterließ deutliche Spuren bei seinen akademischen Schülern und anderen ihm nahe

stehenden Personen. Seine wissenschaftliche Wirkung auf den Gebieten der Ernährungswissenschaft, Toxikologie und Ökologie prägten unsere Zeit. Die großen und umfangreichen Arbeiten von Manfred Anke können in ihren bleibenden Leistungen nicht hoch genug eingeschätzt werden.

Die sehr umfangreiche wissenschaftliche Produktivität bis zu seinem Tod zeigte sich in der aktiven Teilnahme mit Plenarvorträgen auf einer Vielzahl internationaler Kongresse in vielen Staaten der Welt wie z. B. in den USA, Kanada, Großbritannien, Polen, Ungarn, Japan, Slowakei, Tschechien, Griechenland, Rumänien und Österreich, um nur einige zu nennen.

Die große internationale Wertschätzung von Manfred Anke zeigt sich in einer Vielzahl von Ehrungen, wie z. B. der Ehrendoktorwürde der Universitäten von Timisovara (Rumänien), Ceské Budejovice (Tschechien) und Brno (Tschechien), der Ehrenmitgliedschaft der Königlichen Spanischen Akademie für Pharmazie (Madrid) und der rumänischen Akademie der Wissenschaften.

Ein erfülltes Leben eines bedeutenden Wissenschaftlers, akademischen Lehrers, großen Menschen und Freundes hat sich vollendet.

Wir werden sein Leben und Werk bewahren und uns bemühen, ihm als Vorbild nachzueifern.

o. HD. Dr. rer. nat. habil. Ralf Müller

Summary

The knowledge about the fundamentals of growth and age of hair is vital for the utilization of mineral concentration in hair as an indicator of the major-, trace- and ultra-trace element status of fauna and humans.

The major-, trace- and ultra-trace element status of anagen hair shows the previous nutrition (supply days ... weeks ... months). Thus, it can be of particular importance for the identification of malnutrition, excess exposure, gene defects affecting absorption and/or excretion as well as the various interactions of elements which can appear pathogenic, such as interaction of nickel and zinc, magnesium or manganese.

The element concentration found in hair is of major importance for the early diagnosis of a multitude of diseases which correlate to the supply of major- and trace elements as well as diseases induced by an excessive supply of ultra-trace elements. Due to the long lifetime of anagen hair it is intensely involved in the element metabolism, proven to be element specific by various isotope studies.

The indication capability of the major-, trace- and ultra-trace element status in hair has to be evaluated by element specific tests to determine deficiency and excessive supply in comparison to other body parts, including blood, urine and milk.

For many ultra-trace elements, whose concentration has been determined in the scalp hair, this comparison has not yet taken place. The determination of the indication capability for certain elements in the scalp hair compared to other parts of the body has been carried out mainly for animals. In addition, the utilization of radioactive isotopes for the evaluation of the path and absorption of elements into hair and other body parts is prohibited for humans. Only stable isotopes (e. g. Mg) may be used. Findings from animal test series can be transferred to humans by the appropriate expertise.

The usability of human scalp hair as an indicator for major-, trace- and ultra-trace element supply and/or excess exposure has to be evaluated employing animal experiments carried out over long periods of time under deficiency and excess exposure conditions in comparison to miscellaneous organs, body fluids and tissues. Several isotopes of the elements (radioactive and stable) have been

used. The investigation concluded that, while not all elements have been tested in this regard, anagen hair takes part in element metabolism and, as in other tissues, absorption and desorption takes place at varying rates. Some elements (e.g. Al, K, P) can be found in nature, foods and in the human body in very large concentrations. This abundance of the elements superimposes the supply and absorption processes and therefore hinders the statistical evidence about the usability of these elements as indicators. For the majority of evaluated elements, the usability of As, Pb, Cd, Cr, Fe, I, Li, Mn, Mo, Ni, Se and Zn is proven.

These elements can be used for the determination of long-term major-, trace- and ultra-trace element supply, if the element specific peculiarities and varying influences of sex and age are taken into consideration. The analysis preparation (cleaning, incineration) and analysis itself have to be carried out appropriately and professionally. Additionally, the characteristics of the different hair types and the hair growth cycle have to be considered. Detractors of 'hair analysis' often neglect these influences and dependencies and subsequently deny this opportunity of long term determination of disease causes induced by deficiency and excess exposure conditions. If all rules are observed, the concentration of major-, trace- and ultra-trace element supply in human scalp hair is thoroughly suitable for the early diagnosis of emerging health problems.

The daily mineral uptake is not represented, however the long-term uptake over weeks and months is reliably analyzable.

Danksagung

Allen denen, die der Entwicklung und Entstehung der Schrift „Das Widerspiegungsvermögen des Mengen-, Spuren- und Ultraspurenelementstaus durch Hautderivate bei Mensch und Tier in Abhängigkeit von Unter- versorgung bzw. Intoxikation“ mitgewirkt und mitgeholfen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Vor allem sollen die Mitarbeiter des FG Biomechatronik, Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau/Thüringen Herrn Dr. rer. nat. Cornelius Schilling, Frau Dipl.-Biol. Danja Voges, Herrn Dipl. Betriebswirt Wolfgang Kempf und Herrn Dipl.-Ing. Mike Stubenrauch für die Gestaltung der Grafiken, Tabellen und die wertvollen Ideen bei der Gestaltung der Schrift hervorgehoben werden.

Herrn Univ. Prof. Dipl.- Ing. Dr. med. habil. Hartmut F. Witte sei für die stets große tatkräftige Unterstützung und sein fachliches Interesse sowie seine eingebrachten Ideen, dass er unserem Vorhaben entgegenbrachte, herzlich gedankt.

o. HD. Dr. rer. nat. habil. Ralf Müller

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	6
Zum Gedenken an Prof. Dr. agrar. habil. Drs. h.c. Manfred Anke	7
Summary	9
Danksagung	11
1 Einleitung	13
2 Arsen	21
3 Blei	26
4 Cadmium	34
5 Calcium	47
6 Chrom	53
7 Eisen	61
8 Jod	66
9 Kalium	71
10 Kupfer	74
11 Lithium	82
12 Magnesium	88
13 Mangan	94
14 Molybdän	103
15 Natrium	110
16 Nickel	115
17 Phosphor	122
18 Quecksilber	129
19 Selen	132
20 Vanadium	140
21 Zink	145
22 Zusammenfassende Wertung der Möglichkeiten und Grenzen der Haaranalyse	153
Literaturverzeichnis	158

1 Einleitung

Nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand übernahm im Laufe der Jahrtausende während ihrer Passage die Majorität der anorganischen Nahrungs- und Körperbestandteile durch den Körper vielfältige neue Aufgaben: als Bestandteil von Proteinen, Hormonen bzw. anderer essentieller Körperbestandteile oder als Aktivatoren dieser Stoffgruppen. Andererseits können die lebensnotwendigen Mengen-, Spuren- und Ultraspurenelemente in grösseren Mengen aufgenommen toxisch wirken, indem sie essentielle Substanzen blockieren, zu Interaktionen mit anderen lebensnotwendigen Elementen führen oder die Umverteilung dieser Stoffe einleiten und damit Krankheiten auslösen (Anke et al. 2008).

Bei der anthropogenen Stofftransformation, ganz gleich, ob die Elemente bzw. ihre Verbindungen synthetisch, halbsynthetisch oder direkt aus der Natur gewonnen werden, ist ihre Aufnahme durch Pflanze, Tier und Mensch nicht ausgeschlossen und damit auch eine Intoxikation möglich.

Die Stoffaufnahme erfolgt dabei durch Inhalation, durch die Haut (vor allem die Schleimhäute), oral (z.B. durch die Nahrung oder das Wasser) und in Sonderfällen durch Injektion. Besonders bedeutsam für die Toxizität der Stoffe sind das Ausmaß der Exposition, die toxischen Eigenschaften der Stoffe selbst, die Art und Weise des Eindringens des Toxins in den Organismus, ihre Giftwirkung auf bestimmte Organsysteme (ZNS, bestimmte Zielorgane) sowie ihre relativen Grenzwerte der Giftigkeit und notwendige Unterschreitungen derselben (Sicherheitsabstände). Aufgenommene Toxine können im Organismus metabolisiert, akkumuliert (Leber, Knochen, ZNS, u.a.) bzw. als Metabolite ausgeschieden werden (Müller, R.; Betz, I.; Anke, M. 2009). Bei der Wirkung toxischer Substanzen ist die von PARACELTUS (1493 - 1541), dem Begründer der Toxikologie, entdeckte "Dosis-Wirkungsbeziehung" von außerordentlicher Bedeutung.

Grundsätzlich muss man davon ausgehen, dass in der Welt Luft-, Wasser- und Bodenkontaminationen durch Schwermetallstäube (vor allem ihre Oxide, Hydroxide, Carbonate, Silikate, Sulfate, Phosphate und andere) sowie ihre Ablagerungen in Deponien zugenommen haben. Ihre weltweite Verfrachtung ist allgegenwärtig.

In Deutschland haben die Luftverunreinigungen in den letzten 25 Jahren deutlich abgenommen. Trotzdem betragen die Staub-Emissionen in den Städten durchschnittlich bis zu 100 µg/m³ im Jahresmittel und 500 µg/m³ im Tagesmittel in Abhängigkeit von der Jahreszeit, der Verkehrs- und Industriedichte und anderen Einflussfaktoren (Müller, R.; Anke, M.; Zerull, J.; Staudigel, G.; Schilling, C. 2007; Müller, R.; Anke, M. et al. 2009).

Anorganische Nahrungs- und Körperbestandteile - so auch die Schwermetalle Cu, Mn, Fe, Co, Ni, Pb, Cd, Cu, Zn, Sn, Hg u.a. - sind einerseits in Abhängigkeit von der Konzentration hoch toxisch, andererseits integrative Teile von Proteinen, Hormonen oder Aktivatoren lebensnotwendiger Stoffgruppen.

Werden sie in großen Mengen aufgenommen, wirken sie toxisch, d.h., sie blockieren essentielle Substanzen, führen zu Interaktionen mit anderen lebensnotwendigen Stoffen oder durch Umverteilung lebensnotwendiger Stoffe zu Krankheiten. Man teilt die anorganischen Lebensmittel- und Körperbestandteile in Mengen-, Spuren- und Ultrapurenelemente ein.

Mengenelemente werden vom Menschen in großem Umfang aufgenommen (> 100 mg/Tag) und bilden mehr als 99 % der vom Menschen aufgenommenen Mineralstoffe ("verzehrte Asche"). Die Spurenelemente sind essentielle Nahrungsbestandteile, die bei zu hohem Angebot auch toxisch wirken. Eine Mangelversorgung mit den Elementen Mn, Mo und Ni wurde bei Menschen mit normaler Ernährung nicht nachgewiesen. Dagegen ist bei parenteraler Ernährung oder bei Gendefekten ein Mangel an Mn, Mo und Ni festgestellt worden (Merian et al. 1991).

Ultrapurenelemente sind als toxische Nahrungsbestandteile bekannt, aber auch ihre Essentialität wurde durch semisynthetische Fütterung im Tierversuch nachgewiesen (Merian et al. 1991). Bisher sind aber ihre spezifischen Funktionen in lebensnotwendigen Körperbestandteilen kaum bekannt. Nach gegenwärtiger Erkenntnis decken die in Lebensmitteln vorkommenden Ultrapurenelemente den Bedarf des Menschen, daher sind bei normaler Ernährung keine Mangelerscheinungen bekannt.

Der Schwermetallverzehr Erwachsener in Deutschland wurde bei einer Vielzahl von Frauen und Männern systematisch untersucht (Müller, R.; Anke, M.; Betz, I.; Schilling, C. 2010).

Der Eisen- und Zinkkonsum nahm von 1988 bis 1996 kontinuierlich ab, während die Manganaufnahme etwa gleich blieb und der Kupferverzehr anstieg. Das Eisen-, Zink- und Kupferangebot ist individuell zu verbessern. Der Mangan-, Molybdän- und Nickelbedarf Erwachsener wurde in jedem Einzelfall befriedigt, wobei das Molybdänangebot von 1988 bis 1996 sich ebenso signifikant erhöhte wie sich der Nickelverzehr verminderte. Die Gefahr des Auftretens einer Nickelallergie bei nickelsensitiven Frauen ist gegeben.

Erfreulicherweise nahm der Verzehr von Chrom, Blei, Cadmium und Quecksilber der Mischköstler von 1988 bis 1996 statistisch gesichert ab und ist heute auf einem ungefährlichen Niveau. Chromsensitive Personen (vor allem Männer) können dennoch an Chromallergie leiden. Auch der Vanadium- und Uranverzehr nahm signifikant zu. Die letztgenannten zwei Elemente erreichen über die Getränke den Menschen (Bier, Trinkwasser, Tee, Kaffee). In belasteten Lebensräumen werden die toxischen Ultrapurenelemente über in Hausgärten angebaute Küchenkräuter und verschiedene Gemüsearten in die Haushalte gebracht. Der Einkauf im Supermarkt nivelliert das Schwermetallangebot. Die geologische Herkunft, der Lebensraum des Menschen (Anke, M., Arnhold, W., Hoppe, C., Müller, R., Schäfer, U., Seifert, M. 2008), technologische Prozesse bei der Lebensmittelerzeugung und das Amalgam der Zahnfüllungen (Quecksilber) variieren die Spuren- und Ultrapurenelementaufnahme des Menschen.

Das „Haar“ ist ein Abkömmling der Epidermis. Es besteht hauptsächlich aus Keratin. Die verschiedenen Haar- bzw. Keratinarten des Körpers unterscheiden sich hinsichtlich ihres Wachstums, ihres Aufbaues, ihres Haarwechsels, ihrer Funktion und ihrer Zusammensetzung, so dass die Angabe der Haar- bzw. Keratinart, die untersucht wurde, in jedem Fall notwendig ist.

Die Kenntnis der Gesetzmäßigkeiten des Wachstums, Alterns und Absterbens z.B. des Haares sind die Grundlage für die Nutzung des Mineralstoffgehaltes

im Haar als Indikator des Mengen-, Spuren- und Ultrapurenelementstatus der Fauna und des Menschen (Müller et al. 2009, 2007, 2006).

Die Entwicklung des Haares erfolgt in drei Phasen. Die Anagenphase (Wachstumsphase) des menschlichen Kopfhaares dauert zwei bis sechs Jahre, die Katagenphase (Involutionenphase) zwei Wochen und die Telogenphase (Ruhephase) ohne Teilnahme am Stoffwechsel drei bis vier Monate. Normalerweise befinden sich 85 % bis 90 % des menschlichen Kopfhaares in der Anagenphase, 1 % in der Katagenphase und 9 % in der Telogenphase. Das Kolbenhaar der Telogenphase hat einen anderen Mineralbestand als das lebende am Stoffwechsel teilnehmende Anagenhaar.

Neben der Haarart beeinflussen verschiedene andere Gegebenheiten die Inhaltsstoffe des Haares (und Gefieders). Zu diesen zählen das Geschlecht des Haarbesitzers, dessen Alter und natürliche Haarfarbe. Der Aschegehalt des Kopfhaares der Mädchen und Jungen und der Frauen und Männer wird durch drei Faktoren variiert (Abb. 1).

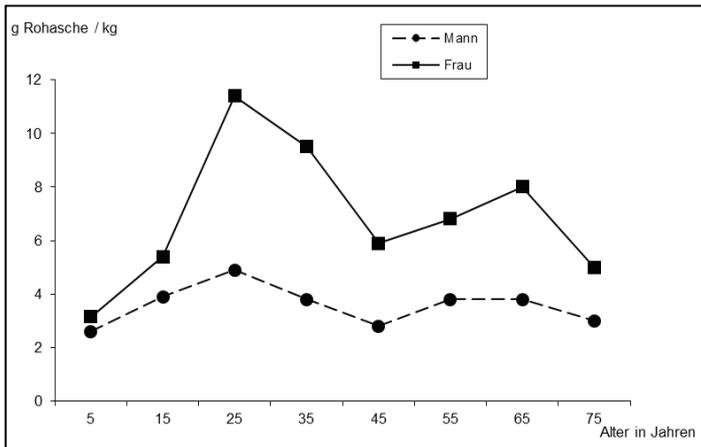


Abb. 1: Der Aschegehalt des Kopfhaares von Mann und Frau in Abhängigkeit vom Alter (Anke und Schneider 1966)

Abbildung 1 demonstriert den Einfluss des Geschlechtes auf den Aschegehalt des Mädchen- bzw. Frauenkopfhaares und des Jungen- bzw. Männerkopfhaares. Von der Geburt bis zum Lebensende enthält das Kopfhair der Frau im

Mittel mehr Asche, die von bestimmten Elementen gebildet wird, als das des Mannes. Das bedeutet nicht, dass das Kopfhaar der Frau generell mehr an allen Elementen speichert. Das Männerhaar baut auch einzelne Elemente bevorzugt in das Kopfhaar ein. Andere Mengen-, Spuren- und Ultraspurenelemente werden nicht geschlechtsspezifisch, sondern ausschließlich angebotsbedingt inkorporiert. Dies bedeutet, dass bei jedem Element geprüft werden muss, ob eine geschlechtsspezifische Auswertung notwendig ist.

Das gleiche gilt für den Alterseinfluss auf den Mineralbestand des Kopfhaares. Abbildung 1 zeigt, dass der Aschegehalt des Kopfhaares endogen bedingt im Mittel von der Geburt bis etwa zum 25. Lebensjahr steigt, um sich anschließend bis zum 45. Lebensjahr wieder zu vermindern und sich danach wieder bis zum 65. Lebensjahr erhöht. Diese Zweigipfeligkeit des Mineralbestandes im Kopfhaar ist bei der Frau ausgeprägter als beim Mann und verursacht bei beiden Geschlechtern einen großen „Normalbereich“ für die einzelnen Elemente, der elementspezifisch das Doppelte bis Zehnfache des normalen Minimalwertes erreichen kann. Der Alterseinfluss auf den Mineralgehalt des Kopfhaares lässt sich auf das „Kindesalter“ von der Geburt bis zum Ende des „Körperwachstums“ (im Alter von 16 - 20 Jahren) und das sich anschließende Erwachsenenalter reduzieren, wobei in der Regel kein signifikanter Unterschied des Kopfhaargehaltes bei den Spuren- und Ultraspurenelementen, wohl aber bei den Mengenelementen existiert. Die natürliche Haarfarbe des Kopfhaares variiert den Elementbestand nur in Ausnahmefällen und kann im Gegensatz zu Geschlecht und Alter fast vernachlässigt werden.

Geschlecht, Alter und natürliche Haarfarbe variieren nur den Bestand einzelner Elemente des Kopfhaares. Das Anzeigevermögen des Mengen-, Spuren- und Ultraspurenelementstatus durch das Haar muss elementspezifisch im Mangel bzw. Überschuss im Vergleich zu anderen Körperteilen bzw. Blut, Harn und Milch geprüft werden. Bei vielen Ultraspurenelementen, deren Gehalt im Kopfhaar ermittelt wurde, ist das nicht geschehen. Die Prüfung des Widerspiegelungsvermögens der einzelnen Elemente durch das Kopfhaar im Vergleich zu anderen Körperteilen erfolgte hauptsächlich, wenn überhaupt, beim Tier. Auch der Einsatz radioaktiver Isotope zur Prüfung des Weges und Einbaues der Elemente in das Haar und andere Körperteile verbietet sich beim Mensch und ist auf stabile Isotope (z.B. Magnesium) begrenzt. Die im Tierver-

sich erhaltenen Befunde sind mit entsprechender Sachkenntnis auf den Menschen übertragbar.

Der Vergleich des Mengen-, Spuren- und Ultraspurenelement-Status des Haars einerseits und andererseits der des Blutes, des Harns und der Milch lässt mit Sicherheit erwarten, dass diese Körperflüssigkeiten den augenblicklichen Status sehr gut widerspiegeln. Dieser resultiert aus der Absorption der Elemente, dem Transport zu den Organen und der Wiederausscheidung durch die Nieren, dem Einbau in die Milch als essentieller Bestandteil der Säuglingsnahrung und der Ausscheidung überschüssiger Mengen, nachdem die renale Exkretion nicht mehr ausreicht, um den Überschuss zu beseitigen (z.B. Jod, Molybdän).

Der Mengen-, Spuren- und Ultraspurenelementgehalt des Anagenhaares demonstriert die vorangegangene Versorgung über Monate und ist deshalb von besonderer Bedeutung für die Identifikation eines Mangels, einer Belastung, eines Gendefektes, der die Absorption und/oder die Wiederausscheidung beeinflusst, oder die mannigfaltigen Interaktionen der Elemente, die „krankmachend“ in Erscheinung treten (z.B. Interaktionen des Nickels mit Zink, Magnesium, Mangan).

Der durch das Haar wiedergespiegelte Elementgehalt ist für die Früherkennung von einer Vielzahl von Erkrankungen, die mit dem Mengen- und Spurenelementangebot in Verbindung stehen bzw. durch ein Überangebot von Ultraspurenelementen ausgelöst werden, von ganz besonderer Bedeutung. Das Anagenhaar mit seiner langen Lebenszeit nimmt intensiv am Stoffwechsel teil, wie in zahlreichen Isotopenstudien elementspezifisch gezeigt werden konnte. Das Telogenhaar ist tot, steckt nur noch im Haarbalg, kommt im Kopfhaar zu etwa 10 % vor und inkorporiert nur noch exogene Verunreinigungen, die nicht mehr metabolisiert werden können. Das Kopfhaar des Menschen wechselt das Telogenhaar kontinuierlich, während das Deckhaar des Tieres periodisch im Frühjahr gewechselt wird. Die Zeit des Haarwechsels ist für die Haaranalyse ungeeignet.

Von entscheidender Bedeutung für die Aussagekraft der Haardiagnose ist neben dem elementspezifischen Anzeigevermögen die richtige Entnahme des Haarmaterials, die qualifizierte Reinigung des Haares, die sachgerechte Matrixfreimachung (Veraschung), die fehlerarme Analyse und die fachgerechte Interpretation der Ergebnisse. Besondere Bedeutung hat die sachgerechte Reini-

gung des Haares. Diese erfolgt durch die Entfernung des Haartalges, in dem sich exogene Partikel befinden mittels Extraktion mit Äther oder anderen organischen Lösungsmitteln und nachträglicher Spülung mit bidestilliertem Wasser gespült. Die Verwendung von Tensiden ist umstritten.

Die Analyse der Mengen-, Spuren- und Ultraspurenelemente ist heute mit vielfältiger Technik ziemlich genau möglich. Die Ergebnisse sollten durch Referenzmaterial gesichert werden. Die zahlreichen Einzelheiten der Probenvorbereitung und Analyse sind hier nicht Gegenstand der Betrachtung. Sie können bei Anke und Risch (1979) nachgelesen werden.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass das Haar und Gefieder intensiv am Stoffwechsel der Mengen-, Spuren- und Ultraspurenelemente teilnimmt, wobei viele Faktoren das Widerspiegelungsvermögen der Hautanhänge beeinflussen. Der Phosphorgehalt des Haares wird zum Beispiel durch die großen Phosphatmengen des Skelettes auch bei ausgeprägtem Phosphormangel immer wieder ergänzt und verändert sich nicht signifikant.

Der Haartest wird ebenso wie die Blutanalyse bei verschiedenen Elementen durch bessere Widerspiegelungsverfahren, die sicherere Ergebnisse liefern, ergänzt. Dazu zählen z.B. die Natrium- und Jodbestimmung im Tagesharn und die Hämoglobinanalyse des Blutes.

In den folgenden Abschnitten soll die Eignung des Kopfhaares beim Menschen für die Ermittlung des Mengen-, Spuren und Ultraspurenelementstatus des Menschen in Abhängigkeit von Geschlecht, Alter und endogenen Einflüssen elementspezifisch dargestellt werden.

Die der Literatur entnommenen Elementkonzentrationen mussten als arithmetisches Mittel, geometrischer Mittelwert oder Medianwerte übernommen werden und sind als diese angegeben. Dazu gab es keine Alternative. Wenn möglich, wurde das arithmetische Mittel angegeben, das auch die „Ausreißer“ enthält, welche sowohl im Mangel als auch im Überschuss bei genauer Einzeldaten-Analyse besonders aussagekräftig sind (aber zumeist leider nicht verfügbar sind). (Merian et al. 1991)

Folgende **Abkürzungen** werden im Text verwendet:

KGD = Kleinste Grenzdifferenz,

TM = Trockenmasse

p = Signifikanzniveau beim t-Test nach Student,

Fp = Signifikanzniveau bei der einfaktoriellen oder einfach-mehrfaktoriellen Varianzanalyse,

n = Anzahl der Proben (n;n = weibl., männl.),

x = Arithmetischer Mittelwert,

s = Standardabweichung.

Im Interesse der Authentizität wurden die experimentellen Daten in den von Prof. Anke entworfenen Tabellen und Abbildungen nicht in SI-Einheiten konvertiert.

2 Arsen

Arsen und Arsenverbindungen zeigen dem Betrachter einen Januskopf, der in der Vergangenheit hauptsächlich die toxische Wirkung und die leistungsfördernden Effekte des Arsens in den Mittelpunkt stellte, während derzeit auch die möglicherweise gegebene Essentialität mehr in den Mittelpunkt rückt (Anke 1986, Anke et al. 1996, 1997, 2005). Der Verzehr von $35 \mu\text{g As/kg}$ Futter-trockenmasse führt bei der Ziege zu vermindertem Wachstum, verschlechterten Reproduktionsleistungen, gedrosselter Milchproduktion, und erhöhter Mortalität der Lämmer und ihrer Mütter, die zumeist in der 2. Laktation versterben (Anke et al. 1976, 1977, 1980, 1983, 1985, 1986, 1987, 1990, Nielsen 1980, 1985, Krause 1987).

Das Arsen wird bei begrenzter wie überschüssiger Aufnahme rasch in das Haar und Gefieder von Säugetieren und Geflügel inkorporiert (Hoffmann et al. 1980, 1981, 1983, Anke et al. 1982) (Abb. 2, Abb. 3).

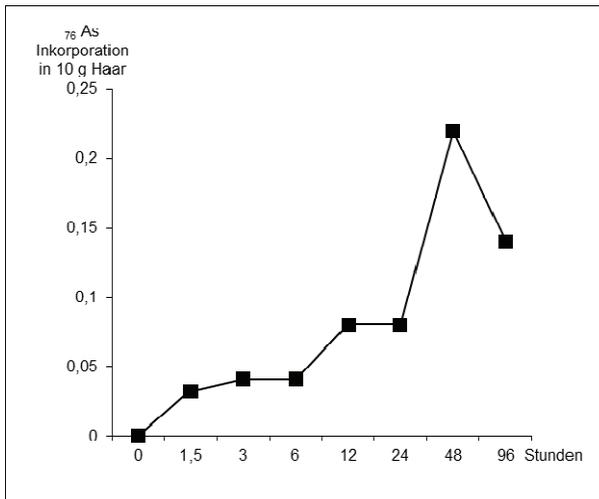


Abbildung 2: Die Inkorporation von ^{76}As in Abhängigkeit von der Zeit nach der Gabe in den Pansen der Ziege (Hoffmann et al. 1980, 1981, 1983)

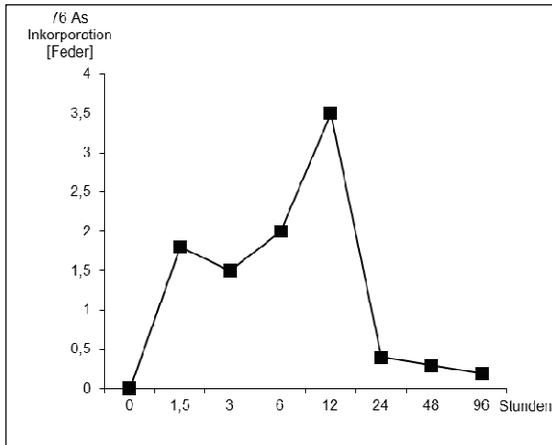


Abbildung 3: Der Einbau des ⁷⁶As in Abhängigkeit von der Zeit nach der Applikation in den Kropf (Anke et al. 1982)

Der ⁷⁶As-Einbau in das Deckhaar der Ziege dauert auf Grund mikrobieller Abbauvorgänge im Pansen etwa 24 Stunden länger als die Inkorporation des ⁷⁶As in die Daunen des Huhnes. Der Wiederausbau des ⁷⁶As aus den Hautanhängen beginnt nach 24 bzw. 48 Stunden und stellt den ⁷⁶Arsengehalt anschließend auf ein Plateau ein, wie es sich bei den Daunenfedern bereits nach 3 Tagen andeutet.

Die nutritive Verabreichung von ⁷⁶As an Ziegen demonstriert den Einbau des Arsen-Isotopes bei beiden Ernährungsformen mit 350 und 35 µg As/kg Futtertrockenmasse (Tab. 1). Die Arsen-Mangelziegen bauten im Trend nur in Milz, Lunge und Herzmuskel mehr ⁷⁶As ein als die Kontrolltiere. Die Hauptmenge des ⁷⁶As wurde zu gleichen Teilen in Skelettmuskulatur, Skelett, Leber bzw. in Haut und Haaren, die nicht getrennt werden konnten, inkorporiert. Alle anderen Organe speicherten < 10 bzw. < 1% der per os verabreichten ⁷⁶As-Menge. Haut und Gefieder inkorporieren reichlich Arsen und spiegeln den Arsenstatus signifikant wider.

Tabelle 1: Der Arsengehalt verschiedener Organe der Kontroll- und Arsenmangelziegen in Prozent der inkorporierten ⁷⁶Arsenmengen (Anke et al. 1982)

Organ	Kontrolle (Ziegen)		As-Mangel (Ziegen)		p	%
	s	x	x	s		
Skelettmuskulatur	11	38	37	7	> 0,05	97
Skelett	6	16	17	7	> 0,05	106
Leber	4	15	14	3	> 0,05	93
Haut, Haar	3	14	11	3	> 0,05	79
Blut	1	7	7	0,4	> 0,05	100
Lunge	0,2	4	7	5	> 0,05	175
Nieren	1	3	3	0,6	> 0,05	100
Herz	0,2	0,8	1,0	0,3	> 0,05	138
Milz	0,1	0,5	0,9	0,5	> 0,05	180
Großhirn	0,2	0,5	0,5	0,2	> 0,05	100
Summe	99		101		-	

Weltweit schwankt der Arsengehalt des Kopfhaares des hier ausgewerteten Probandenteams mit Ausnahme von 3 Gruppen aus Indien, USA und Russland (Tab. 2 und 3) zwischen 20 und 450 µg/kg TM. Das Geschlecht beeinflusst bei Erwachsenen den Arsengehalt nicht. Die direkt vergleichbaren Probandengruppen der Frauen bzw. Mädchen inkorporierten 346 bzw. 364, die Männer und Jungen speicherten 373 und 367 µg As/kg Kopfhaaertrockenmasse. Auch das Alter (Kinder, Erwachsene) variierte den Arsengehalt des Kopfhaares nicht. Im Mittel aller ausgewerteten Probanden speicherte das Haupthaar des Menschen etwa 300 µg/kg TM, wobei das Kinderhaar im Mittel etwas arsenreicher als das Erwachsenenhaar war.

Die Ursachen für die größere Arseninkorporation in das Kopfhhaar der 3 Populationen mit > 450 µg As/kg Kopfhaaertrockenmasse aus den USA, Russland und Indien können nur im Fall der Nenzen, einem Volksstamm im Polarkreis, versucht werden zu erklären. Sie dürften mehr Fisch und damit mehr Arsenbetain aufgenommen haben, das extrem rasch absorbiert und renal wieder ausgeschieden wird. Bei der indischen Population könnte ihr Trinkwasser extrem arsenreich gewesen sein, was auf dem indischen Subkontinent häufiger vorkommt.

Der Einfluss der Haarfarbe auf den Arsenbestand des Kopfhaares wurde nicht systematisch untersucht.

Tabelle 2: Der Arsengehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor/-en	Jahr
Indien	0,61		255	Tagaki et al.	1986
Lettland	0,38	0,52	87; 30	Skalny; Demidov	2003
Russland, Tschernobyl	-	0,4	324	Skalny et al.	1999
Russland	0,38	-	25 (50-80 Jahre)	Skalnaya; Semikopenko	2003
Mazedonien	0,19	0,52	281; 126	Skalny; Demidov	2003
Kroatien	0,31	0,37	456; 122	Skalny; Demidov	2003
Litauen	0,36	0,3	392; 177	Skalny; Demidov	2003
Ukraine	0,29	0,29	635; 308	Skalny; Demidov	2003
Russland	0,24	0,31	2805; 2756	Skalny; Demidov	2003
Bjelorussland	0,27	0,3	194; 58	Skalny; Demidov	2003
Indien	0,1		89	Bhat et al.	1982
Indien	0,083		242	Arunachalam et al.	1979
Schweiz	0,07		1257	Horsch; Schurgast	2006
Japan	0,053		457	Tagaki et al.	1986
Polen	0,022		46	Tagaki et al.	1986
USA	0,019		55	Tagaki et al.	1986
Kanada	0,016		92	Tagaki et al.	1986

Tabelle 3: Der Arsengehalt des Kopfhaares der Kinder (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor/-en	Jahr
USA	1,241	1,05	9-12 J	139;184	Ely et al.	1981
Russland, Nensen	0,8	0,9	7-17 J	19;23	Savchenko et al.	2000
Russland	0,43		2-6 J	56	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Petersburg	0,341	0,507	10-14 J	57;36	Grabeklis; Skalny	2003
Malaysia	0,37		4.-6. Klasse	85	Sarmani	1987
Russland	0,36		Vorschulkinder	222	Lobanova et al.	2003
Russland, Moskau	0,25	0,383	10-14 J	43;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Tula	0,32	0,314	10-14 J	59;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	0,333	0,299	10-14 J	913;708	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Nowosibirsk	0,303	0,324	10-14 J	304;251	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	0,293	0,292	10-14 J	2212;1676	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	0,29		4-10 J	1185	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	0,27		10-14 J	2181	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Moskau	0,26		2-6 J	535	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	0,26		2-6 J	2806	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	0,33	0,16	7-15 J	2173;1857	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Moskau	0,22	0,25	7-15 J	443;402	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Nowosibirsk	0,22		2-6 J	107	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Iwanova	0,2		2-6 J	83	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Iwanova	0,17	0,21	7-15 J	36;43	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Nowosibirsk	0,18	0,19	7-15 J	151;121	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Irkutsk	0,191	0,172	10-14 J	38;42	Grabeklis; Skalny	2003
Mazedonien, Veles	0,16		10-14 J	59	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Irkutsk	0,14		2-6 J	43	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	0,11		2-6 J	4030	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Irkutsk	0,12	0,09	7-15 J	4548	Skalny; Skalnaya	1999
Mazedonien, Ivankovci	0,1		4-10 J	10	Skalny; Skalnaya	2003

Mit Hilfe des Haartestes erscheint es möglich, sowohl das natürliche Arsenangebot als auch eine industrielle Arsenemission zu erfassen (Risch 1980).

3 Blei

Blei ist hauptsächlich als toxisches Element bekannt. Im Jahre 2001 betrug die Weltproduktion an Blei 6 500 000 Tonnen, wovon 2 075 000 t in Europa zu bleiorganischen Verbindungen $[\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4]$ bzw. $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ als Antiklopfmittel verarbeitet und dem Benzin zugesetzt wurden. 2005 waren weltweit $\sim 79\%$ des Benzins unverbleit (Gerhardsson, 2004). Andererseits ist nicht auszuschließen, dass kleinste Mengen an Blei für die Fauna essentiell sind (Kirchgessner, Reichlmayer-Lais, 1981).

Die Widerspiegelung des Bleistatus durch verschiedene Körperteile wurde systematisch beim Kalb ohne und mit 0,38 mg Pb/kg Körpergewicht Bleigaben über 105 Tage untersucht (Grün 1983, Grün et al., 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1988, Anke et al., 2004) (Tab. 4).

Tabelle 4: Der Bleigehalt verschiedener Gewebe männlicher Kälber ohne und mit Bleigaben (0,38 mg Pb/kg Körpergewicht (n: 107)) (Grün, 1983)

Gewebe	(n:n)	Kontrollkälber		0,38 mg Pb/kg Körpergewicht		p	Vervielfachung
		s	x	x	s		
Nieren	(6;6)	0,22	0,91	35	16	<0,001	38
Rippen	(6;6)	1,6	3,5	80	31	<0,001	23
Deckhaar	(6;6)	0,37	0,9	15	14	<0,001	17
Fäzes	(6;6)	2,3	5,8	87	27	<0,001	15
Leber	(6;6)	0,37	0,91	11	4,4	<0,001	12
Großhirn	(6;6)	0,18	0,56	4	1	<0,001	7,1
Blut (µg/l)	(6;5)	16	87	430	63	<0,001	4,9
Milz	(6;6)	0,32	0,78	2,7	0,92	<0,05	3,5
Muskel	(6;6)	0,26	0,34	0,93	0,38	>0,05	2,7

Dabei zeigte sich bei Kälbern mit 0,38 mg Pb/kg Körpergewicht über 105 Tage ihren Bleibestand von Nieren, Rippen und Deckhaar um das 38-, 23- und 17-Fache erhöhten. Auch die Fäzes erwiesen sich als ein signifikanter Indikator der Bleibelastung (Tab. 4).

Das pigmentierte Deckhaar von Jungrindern, die von einer bleiarmeren auf eine stark bleibelastete Weide umgestellt wurden, versechzigfachen den Bleibestand ihres Deckhaares (Tab. 5).

Tabelle 5: Der Bleigehalt des pigmentierten Deckhaares von Jungrindern, die aus einem Kontrollgebiet in ein Bleiemissionsgebiet umgesetzt wurden (mg Pb/kg Trockenmasse) (Grün et al. 1982)

Parameter	vor der Umsetzung		42 Tage nach der Umsetzung		P	Vervielfachung
	s	x	x	s		
Deckhaar, (10;10)	0,41	0,87	54	14	<0,001	62

Die systematische Prüfung der Auswirkungen einer Bleibelastung erfolgte bei Rindern (Tab. 6) in den industriell bleibelasteten Lebensräumen Freiberg, Ilseburg und Helbra (Mansfeld).

Tabelle 6: Der Bleigehalt des Rinderdeckhaares in Abhängigkeit vom Standort (mg Pb/kg Trockenmasse) (Anke et al., 2004)

Standort	Pb - Gehalt		(n)
	x	s	
Gneis, Freiburg	4,2	1,3	10
Löß, Veckenstedt	3,8	1,1	10
Granit, Niederbobritzsch	3,1	1,2	9
Löß, Helbra	2,5	0,52	9
Keuper	1,7	0,58	10
Schiefer	1,7	0,34	39
Phyllit	1,5	0,26	18
Rotliegendes	1,5	0,34	10
Löß, außer Helbra und Veckenstedt	1,5	0,56	75
Syenit	1,5	0,36	19
Diluvialer Sand	1,4	0,49	115
Granit, außer Niederbobritzsch	13	0,36	41
Geschiebelehm	1,2	0,43	119
Buntsandstein	1,2	0,23	20
Alluviale Ablagerung	1,2	0,48	40
Moor	0,98	0,29	7
Rieselfelder	0,97	0,41	30
Gesamt	1,5	0,75	581

In diesen Lebensräumen wurden > 2,0 mg Pb/kg TM im Deckhaar gefunden. Die geologische Abhängigkeit des Bleigehaltes im Haar der Kühe wurde von der Bleiemission durch die Fahrzeuge überdeckt und nivelliert ihren Bleigehalt auf 1 bis 2 mg/kg Deckhaartrockensubstanz (Grün et al. 1979).

Auch die Wolle des Schafes wurde hinsichtlich ihrer Eignung als Indikator einer Bleibelastung systematisch geprüft. Grün et al. (1982) konnte zeigen, dass sie gleichermaßen am Bleistoffwechsel teilnimmt (Tab. 7).

Die Ergänzung des Schaffutters mit 50 mg Blei/kg Trockenmasse über 584 Tage verzwanzigfachte ihren Bleibestand. Nieren und Skelett spiegeln die Bleibelastung besser wider, stehen aber beim lebenden Tier nicht zur Verfügung.

Tabelle 7: Der Bleigehalt verschiedener Körperteile weiblicher Schafe mit Kontrollfutter (2mg/kg Trockenfutter) und mit 250 mg Pb/kg Futtertrockenmasse über 584 Tage (Grün et al. 1982).

Körperteil		Kontrolle (Schafe)		250 mg/kg		p	Vervielfachung
				Futter	TM		
		s	x	x	s		
Nieren	mg/kg TM	0,43	1,1	161	160	<0,01	146
Rippen	mg/kg TM	0,89	2,5	174	68	<0,05	110
Femur	mg/kg TM	1,2	3,2	182	27	<0,05	76
Großhirn	mg/kg TM	0,4	0,57	15	3	<0,05	26
Leber	mg/kg TM	0,45	1,4	35	14	<0,05	25
Wolle	mg/kg TM	0,69	1,1	23	27	<0,05	21

Der Bleigehalt des Kopfhaares Erwachsener variiert zwischen ~ 1 und ~ 30mg/kg TM (Tab. 8, 9). Die Frauen und Männer aus umfangreich mit Blei belasteten Lebensräumen speichern in der Regel > 6,00 mg Pb/kg Kopfhaar. Diese Aussage gilt auch für die Mädchen und Jungen (Tab. 10, 11), welche gleichermaßen aus industriell bleikontaminierten Gebieten kommen, die sich auf Indien, Pakistan, den USA, Deutschland, Großbritannien, Russland, Dänemark, Holland und Ägypten konzentrieren. Testpopulationen mit 3 bis 6 mg/kg Kopfhaartrockenmasse sind auch noch mit Blei belastet, während die < 3,0 mg/kg ,welche die Mehrheit bilden, nicht unter Bleiemissionen leiden.

Tabelle 8: Der Bleigehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)
(Anke et al., 2004)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor/-en	Jahr
Panama	24,5	34,6	242;184	Klevay	1973
Bangladesh	26,4	-	41	Jamall; Allen	1990
U.S.A	24,1	26,7	19	Eads; Lambdin	1973
U.S.A	11,1	30	130;109	Medeiros ; Pelum	1985
Neuseeland	12,07	13,6	117; 133	Reeves et al.	1975
Pakistan	14,3	9,4	110;100	Ashraff et al.	1995b
Deutschland	-	5,17	13	Günther et al.	1992
Polen	4,32	5,7	136;130	Nowak	1998
Russland, Ufa	3,7	-	30	Skalny et al.	1999
Griechenland	3,27	3,9	69;75	Leotsinidis; Kordakis	1990
Belorussland	0,82	5,82	194;58	Skalny; Demidov	2003
U.S.A	1,77	2,76	47;82	Schroeder; Nason.	1969
Deutschland	0,7	4,4	32;29	Wilhelm et al.	1994
Russland,	-	2,3	324	Skalny et al.	1999
Russland, Moskau	2,2	-	89	Skalny et al.	1999
Ukraine	0,98	3,01	635;308	Skalny; Demidov	2003
Lettland	1,19	2,2	87;30	Skalny; Demidov	2003
Mazedonien	1,07	2,21	281;126	Skalny; Demidov	2003
Russland	1,59	-	14802	Skalny et al.	2002
Deutschland	1,36	1,4	126	Langeneckhardt	1999
Russland	1,28	1,7	2865;2756	Skalny; Demidov	2003
Kroatien	1,09	1,49	456;122	Skalny; Demidov	2003
Russland	0,95	-	25 (50-80 Jährige)	Skalny; Semikopenko	2003
Litauen	0,57	1,28	392;177	Skalny; Demidov	2003

Tabelle 9: Der Bleigehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)
(Anke et al., 2004)

Land	Frauen	Männer	(n)	Autor/-en	Jahr
Indien	13,2		255	Takagi et al.	1986
USA	12,21		207	Creason et al.	1975
Indien	8,55		121	Sukumar et al.	1992
Indien	8,5		27	Shresta; Schrauzer	1989
USA	6,3		20	Shresta; Schrauzer	1989
Sudan	6		23	Elayeb; v. Griechen	1990
Großbritannien	5,6		261	Barlow et al.	1985
Kanada	5,38		92	Takagi et al.	1986
USA	5,35		55	Takagi et al.	1986
Saudi-Arabien	5,2		22	Ahmed; Elmubarak	1990
Italien	4,6		83	Srikumar et al.	1992
Bangladesh	4,18		85	Husain et al.	1980
Japan	3,62		457	Takagi et al.	1986
Schweden	3		47	Srikumar et al.	1992
Russland	2,72		105	Revich	1994
Deutschland, Leipzig	2,67		59	Krause et al.	1996
Pakistan	2,6		42	Jamall Allen	1990
Polen	2,52		46	Takagi et al.	1986
USA	2,44		332	Paschal et al.	1989
Italien, Rom	1,92		40	Wolfsperger et al.	1994
Deutschland, Halle	1,81		50	Krause et al.	1996
Deutschland	1,72		41	Wilhelm et al.	1990
Österreich, Wien	1,72		39	Wolfsperger et al.	1994
Deutschland	1,44		1360	Krause et al.	1989
Deutschland	0,96		3817	Krause et al.	1996

Eine Bleibelastung kann neben verschiedenen anderen Methoden auch durch den Bleigehalt des Haares erfasst werden, wobei zwischen mäßig oder gar nicht belastet im Bereich 1 bis 3 mg/kg Kopfhaaartrockenmasse, wenig belastet 3 bis 3 mg/kg Kopfhaaartrockenmasse und bleibelastet unterschieden werden kann.

Das Geschlecht nimmt auf den Bleigehalt Einfluss. Frauen (1,68 mg/kg) und Männer (2,95 mg/kg) mit < 6 mg Pb/kg TM unterschieden sich im Mittel im Bleigehalt des Haares um 76 %, wenn man die Frauen gleich 100 % setzt (Tab. 8). Mädchen (2,18 mg/kg Haartrockenmasse) und Jungen (3,4 mg/kg), gleichermaßen selektiert wie Frauen und Männer (Grenzwert 6,0 mg Pb/kg Haartrockenmasse), differierten im Bleigehalt um 56 % (Tab. 10). Es empfiehlt sich in Zukunft das Geschlecht der Probanden bei der Interpretation des Bleigehaltes im Haar zu beachten.

Tabelle 10: Der Bleigehalt des Kopfhaares der Kinder (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor/-en	Jahr
Panama	34,6	24,5		242; 184	Kievay	1973
U.S.A	15,4	14,3	9 - 12 J.	139; 184	Ely et al.	1981
Neuseeland	12	13,6		117; 133	Reeves et al.	1975
Spanien	10,54	6,65	Schüler	242; 236	Schuhmacher et al.	1991
Deutschland	2,2	3,8	5 - 9 J.	47	Wilhelm et al.	1994
Deutschland	5	5,7		342; 368	Prucha	1987
Deutschland	4,56	4,75	10 J.	1233; 1257	Prucha	1988
Deutschland	4,2	4,3		357; 358	Prucha	1987
Russland, Novosibirsk	4,27	3,71	7 -15 J.	151; 121	Skalny; Skalnaya	1999
Deutschland	3,2	4,1	2 - 16 J.	324; 523	Wilbrand et al.	1991
Russland, Tula	1,471	4,386	10 - 14 J.	59;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	2,29	3,45	7 - 15 J.	2173; 1857	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	1,707	2,851	10 - 14 J.	304; 251	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Irkutsk	1,224	3,305	10 - 14 J.	38; 42	Grabeklis; Skalny	1999
Russland, Nenzen	2,4	1,4	7 - 17 J.	18; 33	Savchenko et al.	2003
Russland, Irkutsk	1,15	2,49	7 - 15 J.	45; 48	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	1,162	2,279	10 - 14 J.	2212;1676	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau, R.	1,041	2,193	10 - 14 J.	43;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Petersburg	0,898	1,736	10 - 14 J.	57;36	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	0,78	1,81	7 - 15 J.	443; 402	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	0,825	1,625	10 - 14 J.	913;708	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Ivanovo	0,84	0,71	7 - 15 J.	36; 43	Skalny; Skalnaya	1999

Tabelle 11: Der Bleigehalt des Kopfhaares Kinder (mg/kg Trockenmasse)

Land	Kinder	Alter	(n)	Autor/-en	Jahr
Deutschland	73	2 - 14 Jahre	400	Rosmanith et al.	1975
Schottland	57,7		35	Dale et al..	
England	290		44	Capel et al.	1981
Russland	19,9	Neugeborener	30	Skalny; Skalnaya	1999
Ägypten	14,6	10 Jahre, Industrie	100	Faris et al.	1991
USA	13,47	0 - 15 Jahre	284	Creason et al.	1975
Holland	12,7	4 - 5 Jahre	277	Wibowo et al.	1986
Sudan	10,3	6 - 16 Jahre	11	Eltayeb; v. Grieken	1990
Ägypten	9,2	10 Jahre, Stadt	100	Faris et al.	1991
Dänemark	6,9	10 Jahre	20	Hansen et al.	1980
Mazedonien, Veles	5,62	4 – 10 Jahre	59	Skalny; Skalnaya	2003
Deutschland	4,5	2 - 14 Jahre	1680	Manuwald et al.	1991
Russland	4,42	Schulkinder	236	Revich	1994
Ägypten	3,1	10 Jahre	100	Faris et al.	1991
Russland, Moskau	2,8	Neugeborene	89	Skalny et al.	1999
Russland	2,77	Vorschulkinder	222	Lobanova et al.	2003
Deutschland	2,7	3 - 7 Jahre	474	Wilhelm et al.	1989
Russland	2,38	2 – 6 Jahre	56	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	2,34	4 – 10 Jahre	2181	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Yamal	1,8	Neugeborene	25	Skalny et al.	1999
Russland, Moaksu	1,8	4 – 10 Jahre	1185	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	1,78	2 – 6 Jahre	2806	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	1,55	<14 Jahre	5608	Skalnaya et al.	2002
Mazedonien, Ivancovci	1,49	4 – 10 Jahre	10	Skalny; Skalnaya	2003
USA	1,44	12 Jahre	199	Paschal et al.	1989
Russland	1,16	2 – 6 Jahre	4030	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Irkutsk	1,13	2 – 6 Jahre	43	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	1,05	2 – 6 Jahre	107	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Moskau	0,99	2 – 6 Jahre	535	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Ivancovci	0,87	2 – 6 Jahre	83	Skalny; Skalnaya	1999
Deutschland, Münster	0,78		89	Krause et al.	1996

4 Cadmium

Cadmium zählt zu den besonders toxischen Ultrapurelementen, obwohl es auch Belege für seine möglicherweise gegebene Essentialität gibt (Anke 1977, Schwarz und Spallholz 1977, Anke et al. 2000, 2005, 2009). Der Cadmiumbedarf von Tier und Mensch, falls seine Essentialität belegt wird, ist so niedrig, dass kein Cadmiummangel bei der Fauna und dem Menschen zu erwarten ist. Die Identifizierung einer Cadmiumbelastung bereitet bis in die Gegenwart Schwierigkeiten. Die Eignung des Haares und Gefieders als Indikator des Cadmiumstatus erfolgte zunächst bei Ziegen mit 20, 500 und 800 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Futtertrockenmasse. Dabei zeigte sich, dass die Hauptmenge des aufgenommenen Cd von den Nieren inkorporiert wird. Die Vervielfachung ihres Gehaltes wurde gleich 100 gesetzt und der anderen als Körperteile dazu relativiert. Auf diese Weise wurde das Anzeigevermögen der Cadmiumbelastung deutlich gemacht (Tab. 12). Nach den Nieren akkumuliert die Leber die Cadmiumbelastung, wenn auch schon wesentlich eingeschränkt mit der Relativzahl 30 und das Deckhaar mit der Relativzahl 17. Alle anderen untersuchten Körperteile vervielfachen ihren Cadmiumbestand nur in sehr bescheidenem Umfang und sind als Anzeigeeorgane praktisch fast bedeutungslos (Masaoka et al. 1986) (Tab. 12).

Tabelle 12: Das Anzeigevermögen einer Cadmiumbelastung durch verschiedene Körperteile der Ziege (Nieren, n: 100) (Masaoka et al., 1986)

Organ	Relativzahl
Nieren	100
Leber	30
Haar (weiss)	17
Aorta	8,4
Ovar	5,3
Milz	5,2
Lunge	5
Herzmuskel	4,5
Skelettmuskel	3
Hoden	1,6
Rippen	1,3
Karpalknochen	1,1
Blutserum	1,1
Knochenmark	1,2
Großhirn	0,6

Tabelle 13: Der Cadmiumeinbau in verschiedene Körperteile weiblicher (n: 23) und männlicher (n: 28) Ziegen mit < 20 µg Cd/kg und 500000 µg/kg Futtertrockenmasse (Anke et al., 2009)

Körperteil		weibliche Ziegen				männliche Ziegen			
		Kontrolle (Ziegen)	Cd (Ziegen)	Vervielfachung	Relativzahl	Kontrolle (Ziegenböcke)	Cd (Ziegenböcke)	Vervielfachung	Relativzahl
Nieren	mg/kg TM	0,24	443	1846	100	0,22	853	3877	100
Leber	mg/kg TM	0,06	48	817	44	0,09	84	1071	28
Deckhaar	mg/kg TM	0,02	11	550	30	0,02	8,6	430	11
Aorta	mg/kg TM	0,11	30	273	15	0,13	4,7	362	9,3
Lunge	mg/kg TM	0,11	19	173	9,4	0,15	16	107	2,8

Der Cadmiumeinbau in die Gewebe wird durch das Geschlecht beeinflusst (Tab. 13). Die weiblichen Ziegen inkorporierten bei einer Cadmiumbelastung weniger Cadmium in den Nieren und der Leber als männliche Tiere. Beide Organe speicherten mit Abstand die höchsten Cadmiummengen. Das Deckhaar der wachsenden, weiblichen Tiere akkumulierte mehr Cadmium als das der gleichgehaltenen männlichen Tiere. Dies trifft auch für Milz und Rippen der weiblichen Ziegen zu. Das Geschlecht beeinflusst beim Tier den Umfang der Cadmiuminkorporation (Anke et al. 1976).

Tabelle 14: Der Cadmiumeinbau in verschiedene Körperteile von Ziegenböcken ohne bzw. mit einer einmaligen Injektion von 0,8 mg Cd/kg Körpergewicht in die Hoden (Anke et al., 2000)

Organe	2 Tage nach der Injektion				14 Monate nach der Injektion			
	Kontrolle Ziegenböcke	Cd-Ziegenböcke	Vervielfachung	Relativzahl	Kontrolle Ziegenböcke	Cd-Ziegenböcke	Vervielfachung	Relativzahl
Hoden	0,05	683	13660	100	0,12	22	183	24
Leber	0,05	78	1560	11	0,09	7,3	81	19
Nieren	0,06	67	1117	8,1	0,22	93	423	100
Milz	0,05	16	320	2,3	0,15	2,3	15	3,5
Lunge	0,1	8,9	89	0,65	0,14	3,7	26	6,1
Herz	0,06	3,7	62	0,45	0,9	3,1	40	9,5
Muskel	0,06	2,8	47	0,34	0,06	1,4	23	9,8
Rückenmark	0,05	2,2	44	0,32	0,18	2,1	12	2,8
Rippe	0,02	0,51	43	0,31	0,05	0,56	9	2,1
Deckhaar	0,02	0,14	14	0,1	0,02	0,85	43	10
Aorta	0,07	0,65	9	0,007	0,13	0,45	4	0,9
Karpalmuskel	0,03	0,18	6	0,004	0,02	0,12	6	1,4
Großhirn	0,09	0,53	6	0,004	0,1	0,37	4	0,09

Die einmalige Injektion von 0,8 mg Cd/kg Körpergewicht in die Hoden wachsender Ziegenböcke demonstrierte die Verteilung des Cadmiums im Körper über lange Zeiträume (14 Monate) (Tab. 14). Zwei Tage nach der Injektion speicherten die Hoden mit Abstand am meisten Cadmium, die Leber vervielfachte ihren Cadmiumbestand, das Deckhaar vergrößerte ihn völlig unbedeutend. 14 Monate später war bei den Ziegenböcken die alte Reihenfolge der Cadmiuminkorporation wieder hergestellt (Tab. 14). Die Nieren (Relativzahl 100) speicherten am meisten Cadmium, Leber und Deckhaar folgten mit Relativzahlen 19 und 10. Der Cadmiumstatus des Deckhaares ist als Marker einer langfristigen Cadmiumbelastung geeignet. Das Cadmium wird innerhalb 96 Stunden nach oraler Verabreichung in Haar und Gefieder (Daunen) rasch ein- und auch teilweise wieder ausgebaut (Abb. 4). Versuche mit ^{115m}Cadmium bei Hennen, Zwergschweinen und Rhesusaffen zeigten, dass 4,5 und 20 % des inkorporierten ^{115m}Cadmiums in Daunen, Borste und Deckhaar vorkamen (Tab. 15). Die reichliche Cadmiuminkorporation im Deckhaar verdient Beachtung.

Die untersuchten Tierarten speicherten in Abhängigkeit von Alter und Art zwischen ~ 1 und ~ 110 mg Cd/kg TM in den Nieren, wobei Pferde auf Grund ihres hohen Alters am meisten Cadmium in den Nieren akkumulierten (Tab. 16).

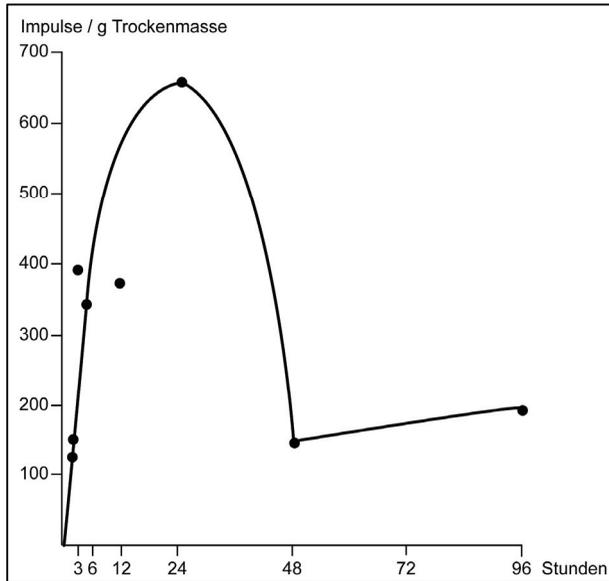


Abbildung 4: Der ^{115}m Cd-Einbau in weiße Daunen der Henne nach einer einmaligen oralen Gabe (Anke et al. 1977)

Tabelle 15: Die ^{115}m Cadmiuminkorporation verschiedener Gewebe von Hennen, Zwergschweinen und Rhesusaffen in Prozent des Gesamteinbaues im Körper vier Tage nach der oralen Aufnahme (Masaoka et al. 1986)

Art	Leber	Nieren	Deckhaar, Borsten, Daunen	Skelett	Muskel	%
Huhn	50	27	5	8	7	97
Zwergschwein	45	29	4	8	12	98
Rhesusaffe	38	32	20	3	5	98

Die Leber der verschiedenen Arten speicherte zwischen $\sim 0,2$ und 14 mg Cd/kg TM und das Deckhaar bzw. die Borsten von Tieren ohne Cadmiumbelastung inkorporierten 10 bis $124 \text{ }\mu\text{g Cd/kg TM}$, wobei das Deckhaar der Pferde, wie auch deren Nieren und Leber, die höchste Cadmiumkonzentration aufwiesen. Tiere aus cadmiumbelasteten Lebensräumen verdoppelten bis verdreifachten ihren Cadmiumbestand im Haar.

Tabelle 16: Der Cadmiumgehalt verschiedener Organe von Wildwiederkäuern und landwirtschaftlichen Nutztieren ohne wesentliche Cadmiumbelastung in mg/kg Trockenmasse (Anke et al., 2009)

Organ	Rottier (n= 40)	Damtier (n= 18)	Ricken (n= 65)	Muffelschaf (n= 14)	Schaf (n= 73,28)	Kuh (n= 329,125)	Pferd (n= 50)	Schwein (n= 75)	F
Nieren	9,3	9,7	14	2,6	2,6	5,5	124	0,94	<0,001
Leber	0,51	1	1,2	0,65	0,55	0,78	14	0,18	<0,001
Deckhaar, normal	0,11	0,05	0,05	0,08	0,04	0,034	0,124	0,01	<0,001
Deckhaar, belastet	-	-	0,39	1,04		0,12	0,208	-	<0,001
Vervielfachung Haars	-	-	7,8	13	28	3,5	1,7	-	-

Patra et al. (2006) untersuchten das Schwanzhaar von Kühen und fanden Cadmiumkonzentrationen von 200 bis 5720 µg/kg TM in diesen, wobei die Höchstwerte aus stark cadmiumbelasteten Gebieten stammen. Das Blut zeigt die Cadmiumbelastung wesentlich schlechter als das Schwanzhaar der Kühe.

Tabelle 17: Der Cadmiumbestand verschiedener Organe des Rhesusaffen (*Macacus mulatus*) und des Menschen im Alter >10 und 50 Jahren in mg/kg Trockenmasse (Anke et al., 1978)

Organ	Rhesusaffen		Mann		p	%
	s	x	x	s		
Nieren	130	209	70	35	<0,01	33
Leber	12	14	10	13	>0,05	71
Haar	0,51	1,1	0,43	0,28	>0,05	39

Beim Pferd korrelierte der Cadmiumgehalt der Nieren, der Leber und des Deckhaares hochsignifikant mit $r = 0,44$, der Leber und des Deckhaares mit $r = 0,62$ und des Haares mit dem Großhirn mit $r = 0,60$ (Kosla 1988).

Erstaunlicherweise speichern Rhesusaffen im Mittel mehr Cadmium in Nieren, Leber und Deckhaar als in den gleichen Organen und im Kopfhhaar des Menschen gefunden wurde (Tab. 17).

Das Kopfhhaar des Menschen (Tab. 18) enthält höhere Cadmiumkonzentrationen als das Deckhaar und die Daunen von Tieren ohne Cadmiumbelastungen. Die Ursache dafür dürfte zum einen die umfangreiche Belastung im Haushalt und am Arbeitsplatz mit dem Gebrauchsmetall Cadmium sein.

Zum anderen könnte auch eine Rolle spielen, dass das Deckhaar der dargestellten Tierarten jährlich gewechselt wird, während das Kopfhaar des Menschen ähnlich dem Schopf- bzw. Schwanzhaar des Rindes oder dem Mähnen- bzw. Schwanzhaar des Pferdes kontinuierlich erneuert wird. Beide Haararten sind als Indikator der Cadmiumbelastung geeignet (Kosla 1988, Patra et al. 2006).

Der Cadmiumgehalt des menschlichen Kopfhaares wurde in Vergleich zum Cadmiumgehalt der Nieren und Leber systematisch untersucht (Anke und Schneider 1971, Anke et al. 1977). Dabei zeigte sich, dass das Geschlecht den Cadmiumgehalt des Kopfhaares signifikant beeinflusst (Tab. 18). Männerhaar enthält etwa 50 % mehr Cadmium als Frauenhaar. Das Kopfhaar der Mädchen und Jungen unterscheidet sich im Cadmiumgehalt nur insignifikant. Im hohen Alter (nach der Pensionierung) ist der Cadmiumgehalt niedriger als während des Arbeitslebens.

Berufsgruppen, die sich mit der Zinkverhüttung und -verarbeitung beschäftigen und somit Spuren von Cadmium aufnehmen und Bewohner von Lebensräumen mit Cadmiumemissionen der Buntmetallindustrie inkorporieren ein Vielfaches der Cadmiummengen, die im Kopfhaar unbelasteter Gebiete (Jena) gefunden wurden (Tab. 19). Die Beschäftigten einer Zinkhütte speicherten zum Teil die ~ 700fache Cadmiumkonzentration im Kopfhaar als die Bewohner unbelasteter Lebensräume. Selbst das Management der Zinkhütte akkumulierte noch die 28fache Cadmiummenge des Normalen im Kopfhaar. Die Beschäftigten der zinkverarbeitenden Industrie verdoppelten bis ver Hundertfachen den Cadmiumanteil ihres Kopfhaares, während die Mitarbeiter eines kühlerbauenden Betriebes ohne Cadmium in ihren Werkstoffen normale Cadmiummengen in ihrem Kopfhaar besaßen. In der Tabelle 20 wird das Anzeigevermögen der Cadmiumbelastung von Kopfhaar, Blut und Urin der gleichen Personen gegenüber gestellt und verglichen. Der Cadmiumgehalt von Blut und Urin zeigt stärker als das Haar die augenblickliche kurzfristige Cadmiumbelastung. Das Kopfhaar reicherte sich langfristig mit Cadmium an und speicherte die 165fache Cadmiummenge des Normalen, der Urin die 18fache und das Blut die fünffache. Die Eignung des Kopfhaares als Indikator der Cadmiumbelastung wird bei diesem Vergleich deutlich.

Tabelle 18: Der Cadmiumgehalt des menschlichen Kopfhaares in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht in mg/kg (n: 200) (Anke et al. 1978)

Alter	Frauen		Männer		Geschlecht Fp
	s	x	x	s	
0-5	0,14	0,34	0,49	0,25	<0,01
6-10	0,3	0,31	0,3	0,14	
11-20	0,21	0,31	0,4	0,26	
21-30	0,23	0,28	0,37	0,37	
31-40	0,3	0,32	0,58	0,37	
41-50	0,33	0,34	0,47	0,19	
51-60	0,18	0,22	0,51	0,3	
61-70	0,17	0,21	0,41	0,38	
71-80	0,11	0,28	0,34	0,22	
81-90	0,11	0,14	0,16	0,15	
Alter Fp		<0,05			-
Mittel 0-80	0,23	0,29	0,43	0,28	

Tabelle 19: Der Cadmiumgehalt des Kopfhaares verschiedener Gruppen Beschäftigter in mg/kg (n: 271) (Anke et al. 1987)

Ort, Betrieb	Beruf	(n)	x	s	Vervielfachung
Jena, Frauen		90	0,29	0,23	
Jena, Männer		90	0,43	0,28	1
Zinkhütte	Anlagenfahrer	9	293	155	681
	Pneumatiker	6	277	239	644
	Schlosser	4	150	76	409
	Laugenreiniger	6	26	23	60
	Schlosser, Heizer	5	15	13	35
	Leitung	9	12	1323	28
Zinkverarbeitung	Schweißer	3	46	25	107
	Schmelzer	11	24	3,9	56
	Löter	3	3,2	5	7,4
	Leitung	3	7,3	5	17
Zinkverarbeitung	Schmelzer	5	4,8	3,5	11
	Legierer	3	17	18	40
	Sonstige	12	1	0,7	2,3
Kühlerbau	Belegschaft	12	0,5	0,31	1,2

Tabelle 20: Vergleich des Cadmiumgehaltes von Kopfhaar, Blut und Urin unterschiedlich mit Kadmium belasteter Mitarbeiter (mg/kg Trockenmasse (Anke et al., 1987)

Körperteil bzw. Exkret (n)	Arbeitsplatz				Kontrollgebiet	Fp	Vervielfachung ¹
		1	2	3			
Kopfhaar (164)	x	711	200	48	6,4	0,43	165
	s	637	194	53	8,1	0,28	
Blut (87)	x	0,358	0,072	0,036	0,061	0,068	5
	s	0,835	0,044	0,050	0,028	0,045	
Urin (51)	x	2,550	0,830	0,833	0,410	0,14	18
	s	1,870	0,750	0,266	0,110	0,04	

Der Cadmiumgehalt des Kopfhaares der Frauen und Männer wird im Mittel der ausgewerteten Testpopulation, wo man zwischen den Geschlechtern unterschied, deutlich (Tab. 21). Das Männerhaar speicherte im Mittel ~ 700, das Frauenhaar 365 µg Cd/kg TM, damit enthielt ersteres ~ 50 % mehr Cadmium

als das der Frauen. Dieser signifikant große Cadmiumbestand im Männerhaar kann einerseits mit einer umfangreicheren beruflichen Cadmiumbelastung zusammenhängen. Andererseits steht er mit dem größeren Cadmiumbestand von Nieren und Leber des Mannes, im Vergleich zu dem der Frau, in Einklang (Anke et al. 1977a, 1977b, Masaoka 1986). Der Cadmiumgehalt des Kopfhaares sollte in Zukunft geschlechtsabhängig ausgewertet werden. Die in Tabelle 21 und 22 dargestellten Cadmiumkonzentrationen von $> 1000 \mu\text{g}/\text{kg}$ Kopfhhaar stammen von Bewohnern nachweislich cadmiumbelasteter Lebensräume in den USA und in Indien. Auch die Personen mit 500 bis $1000 \mu\text{g}/\text{kg}$ Kopfhhaar kommen aus Indien, USA und Polen, das über eine umfangreiche Zinkindustrie verfügt, aus Italien und Kanada mit entsprechenden Industriebelastungen.

Erwachsene mit $500 \text{ mg}/\text{kg}$ Trockenmasse und weniger Cadmiumgehalt im Kopfhhaar können als normal mit Cadmium versorgt angesehen werden (Tab. 23) (Müller et al. 1994), wobei eine weitere Minimierung des Cadmiumgehaltes anzustreben und auch möglich ist.

Tabelle 21: Der Cadmiumgehalt des Kopfhaares Erwachsener ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor/-en	Jahr
U.S.A	1,77	2,76	(47;82)	Schroeder; Nason	1969
U.S.A	1,6	2,2	19	Eads; Lambdin	1973
Indien		1,4	44	Chattopadhyay et al.	1990
U.S.A	1,09	1,56	(130;109)	Medeiros et al.	1985
Indien		0,8	27	Chattopadhyay et al.	1990
Polen	0,44	0,79	(136;130)	Nowak	1998
Deutschland, Kühlerbau		0,5	12	Anke et al.	1980
Russland, Yamal	0,4		25	Skalny et al.	1999
Russland, Tschernobyl	0,4		34	Skalny et al.	1999
Russland	0,37		100	Bustueva et al.	1994
Deutschland, Jena	0,29	0,43	(100;100)	Anke et al.	1976
Russland	0,29		105	Bustueva et al.	1994
Frankreich	0,15	0,39	(127;123)	Frey et al.	1993
Russland	0,23		89	Skalny et al.	1999
Belorussland	0,14	0,31	(194;58)	Skalny; Demidov	2003
Ukraine	0,17	0,28	(635;308)	Skalny; Demidov	2003
Russland	0,19	0,23	(2865;2756)	Skalny; Demidov	2003
Griechenland	0,17	0,25	(69;75)	Leotsinidis; Kordakis	1990
Lettland	0,1	0,21	(87;30)	Skalny; Demidov	2003
Mazedonien	0,1	0,22	(281;126)	Skalny; Demidov	2003
Kroatien	0,12	0,14	(456;122)	Skalny; Demidov	2003
Russland	0,13		25 (50-80 jähr. Frauen)	Skalny; Semikopenko	2003
Litauen	0,09	0,12	(392;177)	Skalny; Demidov	2003
Russland, Ufa	0,1		30	Skalny et al.	1999
Deutschland	0,049	0,088	(34;30)	Wilhelm et al.	1994
Slowenien	0,015		245 (20jähr. Frauen)	Erzen	2003

Tabelle 22: Der Cadmiumgehalt des Kopfhaares Erwachsener ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n)	Autor/-en	Jahr
Indien	1,38		34	Arunachalam et al.	1979
U.S.A	0,97		55	Takagi et al.	1986
Indien	0,86		99	Bhat et al.	1982
U.S.A	0,76		201	Creason et al.	1975
Indien	0,7		27	Shresta; Schrauzer	1989
Italien	0,6		83	Srikumar et al.	1992
Kanada	0,503		92	Takagi et al..	1986
U.S.A	0,5		20	Shresta; Schrauzer	1989
Indien	0,32		255	Takagi et al.	1986
Polen	0,31		46	Takagi et al.	1986
Schweden	0,3		47	Srikumar et al.	1992
Japan	0,28		457	Takagi et al.	1986
Großbritannien	0,22		261	Barlow et al.	1985
Deutschland	0,18		13	Günther et al.	1992
Saudi-Arabien	0,16		22	Ahmed; Elmubarak	1990
U.S.A	0,14		332	Paschal et al.	1989
Deutschland	0,105		59	Krause et al.	1989
Deutschland	0,098		1341	Krause et al.	1989
Deutschland	0,085		41	Wilhelm et al.	1990
Deutschland	0,091		50	Krause et al.	1989
Deutschland	0,056		89	Krause et al.	1989
Schweiz	0,05		1257	Horsch; Schurgast	2006
Italien	0,051		40	Wolfsperger et al.	1994
Deutschland	0,046		3725	Krause et al.	1989
Österreich	0,041		39	Wolfsperger et al.	1994

Der Cadmiumbestand des Kopfhaares der Mädchen und Jungen unterscheidet sich im Mittel der Testpopulation mit ~ 350 (Mädchen) und ~ 300 (Jungen) nur insignifikant um $\sim 10\%$. Ihr Cadmiumgehalt im Kopfhaar entspricht dem Erwachsenen (Tab. 24, 25).

Tabelle 23: Cadmiumgehalte von Urin und Haar cadmiumexponierte Werktätiger ($\mu\text{g}/\text{l}$ bzw. $\mu\text{g}/\text{kg}$ TS), $p < 0,05$ (Scheffe – Test)(Müller et al. 1994)

	Normalwerte	Leicht belastet	mittelbelastet	Schwer belastet
Vollblut	0,2...1,0...3,0	$1,88 \pm 1,65$	$3,27 \pm 3,31$	$10,43 \pm 7,63$
Urin	0,1...0,5...2,0	$0,13 \pm 0,02$	$0,96 \pm 0,82$	$6,29 \pm 4,84$
Kopfhaar	100...500...1200	502 ± 251	560 ± 421	2092 ± 874

Tabelle 24: Der Cadmiumgehalt des Kopfhaares der Kinder ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor/-en	Jahr
U.S.A	1,07	0,97	9 –13 Jahre	(139; 184)	Elyt et al.	1981
Deutschland (hohe Luftverschmutzung)	0,85	0,62		(342; 368)	Prucha	1987
Russland	0,98	0,27	7 –15 Jahre	(2173; 1857)	Skalny, Skalnaya	1999
Deutschland	0,71	0,53	10 Jahre	(1231; 1259)	Prucha	1987
Deutschland (geringe Luftverschmutzung)	0,6	0,5		(357; 358)	Prucha	1987
Kanada	0,243	0,454	Schulkinder	122	Moon et al.	1986
Russland	0,346	0,29	7 –15 Jahre	(151; 121)	Skalny, Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	0,289	0,259	10 –14 Jahre	(304; 251)	Grabeklis, Skalny	2003
Spanien	0,296	0,181	6 –14 Jahre	(115; 111)	Boeque et al.	1991
Russland, Tula	0,169	0,244	10 –14 Jahre	(59;40)	Grabeklis, Skalny	2003
Deutschland	0,19	0,22	2–16 Jahre	(324; 523)	Wilbrand et al.	1986
Russland, Region Moskau	0,122	0,261	10 – 14 Jahre	(43;40)	Grabeklis, Skalny	2003
Russland, Ivanovo	0,17	0,19	7 –15 Jahre	(36; 43)	Skalny, Skalnaya	1999
Russland	0,165	0,191	10 –14 Jahre	(2212; 1676)	Grabeklis, Skalny	2003
Russland, Moskau	0,15	0,2	7 –15 Jahre	(443; 402)	Skalny, Skalnaya	1999
Russland, Irkutsk	0,17	0,17	7 –15 Jahre	(45; 48)	Skalny, Skalnaya	1999
Russland, Moskau	0,134	0,164	10 – 14 Jahre	(913;708)	Grabeklis, Skalny	2003
Russland, Irkutsk	0,12	0,131	10 – 14 Jahre	(38;42)	Grabeklis, Skalny	2003
Russland, Petersburg	0,114	0,136	10 – 14 Jahre	(57;36)	Grabeklis, Skalny	2003
Deutschland	0,1	0,11	5 –9 Jahre	47	Wilhelm et al.	1994

Wiederum entstammen die Haarproben mit $> 500 \mu\text{g}/\text{kg}$ TM von Kindern aus luftverunreinigten Gebieten Deutschlands, den USA, Holland und Russland, sodass der Grenzwert von $500 \mu\text{g}/\text{kg}$ Haartrockensubstanz auch bei Kindern angenommen werden kann.

Tabelle 25: Der Cadmiumgehalt des Kopfhaares der Kinder ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n)	Autor/-en	Jahr
Deutschland	0,176			400	Rosmanith et al.	1975
U.S.A	0,88		0 –15 Jahre	281	Creason et al.	1975
Holland	0,78		4 –5 Jahre	228	Wibowo et al.	1986
Russland, Moskau	0,4		Neugeborene	89	Skalny et al.	1999
Russland, Novosibirsk	0,36		2 –6 Jahre	207	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	0,32		2 –6 Jahre	4080	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Yamal	0,3		Neugeborene	25	Skalny et al.	1999
Russland	0,27		4 –10 Jahre	2181	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	0,26		2 –6 Jahre	56	Skalny; Skalnaya	1999
Mazedonien, Veles	0,25		4 –10 Jahre	59	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Moskau	0,25		2 –6 Jahre	535	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	0,25		2 –6 Jahre	2806	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Ivanovo	0,25		2 –6 Jahre	83	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Moskau	0,24		4 –10 Jahre	1185	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	0,23		Vorschulkinder	222	Lobanova et al.	2003
Russland, Irkutsk	0,22		2 –6 Jahre	43	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Ufa	200		Neugeborene	30	Skalny et al.	1999
Deutschland	0,18		Schulkinder	27	Günther et al.	1992
U.S.A	0,16		12 Jahre	199	Paschal et al.	1989
Mazedonien, Ivanovci	0,12		4 –10 Jahre	10	Skalny; Skalnaya	2003
England	0,1		11 –15 Jahre	44	Capel et al.	1981
Deutschland	0,09		3–7 Jahre	474	Wilhelm et al.	1991

Die natürliche Farbe des menschlichen Kopfhaares nimmt keinen statistisch gesicherten Einfluss auf seinen Cadmiumgehalt. Im Trend war rotes Kopfhair cadmiumreicher als dunkelblondes und schwarzes (Anke und Risch 1979).

5 Calcium

Extrazelluläres Calcium ist zur Skelettbildung, zur Transmission von Nervenimpulsen, zur Muskel- und Herzmuskelkontraktion, zur Blutgerinnung, zur Eierschalenbildung und Milchbildung erforderlich. Intrazelluläres Calcium ist an der Aktivität der verschiedenen Enzyme beteiligt und dient als ein „second messenger“ zur Weitergabe von Informationen von der Zelloberfläche in das Zellinnere. Etwa 98% des Calciums bildet zusammen mit Phosphor das Skelett der Wirbeltiere und Menschen. Die restlichen 2% des Calciumbestandes sind hauptsächlich in den extrazellulären Flüssigkeiten des Körpers inkorporiert (Plasma 90-110 mg Ca/l). Das Kopfhhaar des Menschen speichert 200 bis 2500 mg Ca/kg Trockenmasse und variiert unter dem Einfluss von Geschlecht, Alter, Jahreszeit, Haarart, Haarfarbe und nicht zuletzt Calciumaufnahme über die Nahrung erheblich (Müller, R., Anke, M., Zerull, J. 2008).

Die Zulage von 24 g Ca/Tag und Kuh über 112 Tage bei gedecktem Calciumbedarf steigerte den Calciumgehalt des schwarzen Deckhaares in den ersten 56 Tagen um 217 und während der 112 Versuchstage um 562 mg/kg Trockenmasse signifikant (Abb. 5).

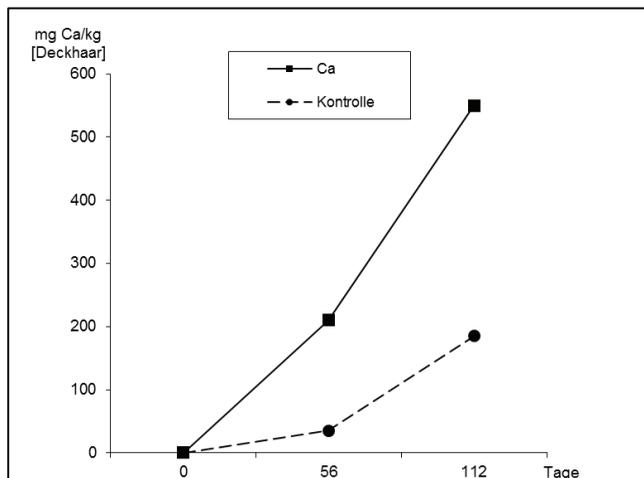


Abbildung 5: Die Veränderungen des Calciumgehaltes im schwarzen Deckhaar der Kuh

Auch bei bedarfsdeckender Calciumversorgung reagierte das Haar auf eine Calciumsupplementation mit erhöhten Calciumkonzentrationen (Anke 1966a). Auch das gelbe, rote und braune Deckhaar der Simmentaler Kühe mit 118 bzw. 220 g Ca/Tag (n 7;8) zeigte das unterschiedliche Calciumangebot und speicherte 930 bzw. 1540 mg Ca/kg Deckhaartrockenmasse (Hennig et al. 1961/62).

Der Calciumgehalt des menschlichen Kopfhaares schwankt unter dem Einfluss von Geschlecht, Alter (Kinder, Erwachsene), Haarfarbe und Calciumverzehr zwischen 170 und 1200 bzw. ~2500 mg/kg Trockenmasse. Der normative Calciumbedarf der Frau von <500 mg/Tag bzw. des Mannes von 600 mg/Tag wird in Deutschland im Mittel befriedigt, aber etwa ein Drittel beider Geschlechter verzehrt individuell zu wenig Calcium. Die empfohlene Calciumaufnahme von 1000 mg/Tag wurde nur in extrem begrenztem Umfang verzehrt (Anke 2004, 2007).

Das Kopfhhaar Erwachsener enthält im Mittel der ausgewerteten Populationen zwischen ~250 und ~2500 mg Ca/kg Trockenmasse (Tab. 26).

Tabelle 26: Der Calciumgehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Pakistan	2600	2591	(42;43)	Ashraf et al..	1995
Taiwan	2208	-	45	Wang et al.	2005
Großbritannien	1843		261	Barlow et al.	1985
Russland, Moskau	1842	-	89	Skalny et al.	2000
Russland	1502	-	59	Tkachev; Skalny	2002
Mazedonien	1520	905	(281;126)	Skalny; Demidov	2003
Russland, Nenzen	1445	-	25	Skalny et al.	2000
Lettland	1847	845	(87;30)	Skalny; Demidov	2003
Kroatien	1877	808	(456;122)	Skalny; Demidov	2003
Ukraine	1539	949	(635;308)	Skalny; Demidov	2003
Russland	1332	-	25	Skalnaya; Semikopenko	2003
Litauen	1635	708	(392;177)	Skalny; Demidov	2003
Schweden	1290	-	43 (alk. Wasser)	Rosberg et al.	2003
Polen	1139		(22;24)	Takagi et al.	1986
Belorussland	1385	745	(194;58)	Skalny; Demidov	2003
Russland	1109	807	(2865;2756)	Skalny; Demidov	2003
Schweiz	1007		1257	Horsch; Schurgast	2006
Indien	926		27	Shresta; Schrauzer	1989
Indien	895		(155;100)	Takagi et al.	1986
Deutschland	887	-	135	Schneider und Anke	1970
Russland, Ufa	814	-	30	Skalny et al.	2000
USA	813		332	Paschal. et al.	1989
Polen	1002	618	(132;112)	Nowak	1998
Japan	834		19	Sasaki et al.	1981
USA	783		20	Shresta; Schrauzer	1989
Saudi-Arabien	766		22	Ahmed; Elmubarak	
Russland	-	766	918	Skalny et al.	1999
Japan	700		(229;228)	Takagi et al.	1986
Bangladesh	652		102	Husain et al.	1980
Deutschland	887	390	(135;147)	Anke; Schneider	1966
Papua Neuguinea	603		19	Sasaki et al.	1981
Deutschland	496		3778	Krause et al.	1996
USA	479		(28;27)	Takagi et al.	1986
Kanada	452		(34;58)	Takagi et al.	1986
Deutschland	306		1340	Krause et al.	1989
Schweden	283	-	47 (saurer Wasser)	Rosberg et al.	2003
Kanada	264		42	Ryan et al.	1978

Die Darstellung der gefundenen Calciumkonzentrationen im Kopfhair beider Geschlechter verbietet sich, da das Kopfhair der Frauen im Mittel der untersuchten Populationen mit ~1500 mg Ca/kg signifikant mehr von diesem Erdalkalielelement speichert als das Männerhaar, welches im Mittel nur ~700 mg Ca/kg TM akkumuliert. Das Männerhaar inkorporiert nur etwa die Hälfte der im Frauenhaar gefundenen Calciummenge.

Das Kinderhaar unterscheidet sich hinsichtlich seines Calciumbestandes gleichermaßen. Das Kopfhair der Mädchen enthielt im Mittel ~850, das der Jungen speicherte nur ~500 mg/kg Trockenmasse oder etwa 60% der bei ersteren gefundenen Calciummenge (Tab. 27).

Tabelle 27: Der Calciumgehalt des Kopfhaires der Kinder (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter (n)	(n;n)	Autor/en	Jahr
Russland, Ufa	1230		Neugeborene	30	Skalny et al	1999
Russland, Nenzen	1500	860	7-17 Jahre	27;41	Savchenko et al	
Russland, Nenzen	1147		Neugeborene	25	Skalny et al	1999
Russland, Tula	1117	719	10-14 Jahre	40;59	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Novosibirsk	1303	465	10-14 Jahre	251;304	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	831		Neugeborene	89	Skalny et al	1999
Mexiko	766		1-6 Jahre	23	Weber et al	1990
Russland, Moskau Region	700	728	10-14 Jahre	43;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	812	525	10-14 Jahre	913;708	Grabeklis; Skalny	2003
Japan	708	354	Schulkinder	184;158	Morita et al	1986
Russland	488		4-10 Jahre	2181	Skalny; Skalnaya	2003
Deutschland	643	326	2-16 Jahre	324;523	Wilbrand et al	1991
Russland, Irkutsk	544	418	10-14 Jahre	34;42	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	424		4-10 Jahre	1185	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	410		Vorschulkinder	222	Lobanova et al	2003
Russland, St. Petersburg	467	327	10-14 Jahre	36;57	Grabeklis; Skalny	2003
England	380		11-15 Jahre	44	Capel et al	1981
Russland, Moskau	334		2-6 Jahre	2806	Skalny; Skalnaya	2000
Mazedonien, Ivancorci	333		4-10 Jahre	10	Skalny; Skalnaya	2003
Mazedonien, Veles	322		4-10 Jahre	59	Skalny; Skalnaya	2003
USA	172		12 Jahre	1999	Paschal et al	1989

Die Zusammenfassung der Calciumkonzentrationen beider Geschlechter verbietet sich auf Grund dieser Gegebenheit. Die Schwankungsbreite des Calciumgehaltes im Frauen- bzw. Mädchenhaar und Männer- und Jungenhaar reduziert sich im Mittel um die Hälfte bei Betrachtung dieser Gesetzmäßigkeit. Auch das Alter (Kinder, Erwachsene) variiert den Calciumgehalt des Kopfhaares (Tabelle 26, 27) (Anke und Schneider 1966). Mädchen speicherten 850, Frauen 1500 mg Ca/kg TM in diesem. Jungen inkorporierten im Mittel etwa 500, Männer 700 mg Ca/kg TM. Die Unterschiede sind statistisch gesichert und verlangen getrennte Auswertung. Neugeborene scheinen im Trend bei den Kindern die höchsten Calciumkonzentrationen im Kopfhair zu besitzen. Der Pigmentierungsgrad des Haares variiert den Calciumbestand zusätzlich. Weißes Deckhaar speicherte 772 ± 219 mg Ca/kg TM, schwarzes inkorporierte 1595 ± 350 . Auch zwischen rotem und rotbraunem Deckhaar von Schwarzbunten und Simmentaler Kühen bestanden unter absolut gleichen Haltungs- und Fütterungsbedingungen signifikante Unterschiede (Abb.6).

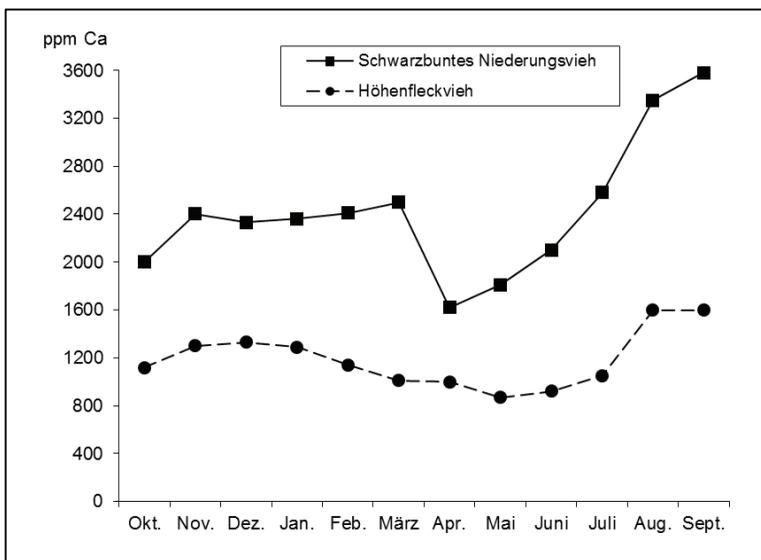


Abbildung 6: Der Calciumgehalt des schwarzen und rotbraunen Deckhaares von Milchkühen

Beim Menschen beeinflusst die natürliche Kopfhhaarfarbe nur im Trend den Calciumgehalt. Blondes Haar erwies sich bei beiden Geschlechtern im Trend calciumärmer als dunkelblondes oder schwarzes. Graues Kopfhhaar älterer Probanden speicherte ähnliche Calciummengen wie das schwarze (Anke und Schneider 1966). Der Calciumgehalt und pH-Wert des Wassers beeinflusst den Calciumanteil des Kopfhhaares positiv (Rosberg et al. 2003).

Generell ist davon auszugehen, dass Mädchen im Mittel 400 bis 800 und Jungen 300 bis 700 mg Ca/kg TM in Kopfhhaar enthalten und damit normale Calciummengen speichern. Frauenkopfhhaar enthält normalerweise 600 bis 1200 mg Calcium/kg TM, Männerhaar 400 bis 800 mg Ca/kg TM.

6 Chrom

Bei einer Reihe von Tierarten konnten nach chromarmer Ernährung, wobei die verzehrte Chrommenge unbekannt blieb, eine verminderte Glukosetoleranz ermittelt werden. Außerdem wurden erhöhte Serumcholesterolwerte und Plaquebildungen bei der Ratte registriert. Die postulierten Hornhautschäden bei isolierten Rattenlinsen repräsentieren wahrscheinlich nur einen Artefakt und haben keine praktische Aussagekraft. Die möglicherweise gegebene Essentialität des Chroms kann von den frühen Labortierversuchen ohne synthetische Rationen mit niedrigem Chromangebot nur schwierig abgeleitet werden. Die Chrommangelversuche mit Ratten, Mäusen und Meerschweinchen deuten aber an, dass ein Chromdefizit den Futterverzehr drosselt, das Wachstum verlangsamt und die Lebenserwartung vermindert, wobei genaue Angaben über den Chromgehalt der verwendeten Rationen fehlen.

Beim Mensch wurden drei Fälle von Chrommangel bei parenteraler Ernährung ohne Chromergänzung beschrieben, deren Symptome durch Chromsupplementierung ($250 \mu\text{g Cr}$ als CrCl_3) zum täglichen Infusat behoben wurden. Die Glukosetoleranz und die neurologischen Funktionen normalisierten sich innerhalb von zwei Wochen. Eine normale Glukosetoleranz war bei einer Aufnahme von $20 \mu\text{g Cr/Tag}$ gegeben. Es ist dringend geboten auch den normativen Bedarf des Tieres und insbesondere der landwirtschaftlichen Nutztiere und der Haustiere (Hund, Katzen) zu ermitteln. Für den erwachsenen Menschen gelten $< 20 \mu\text{g Cr/ Tag}$ als basaler Bedarf, so dass $30 \mu\text{g/Tag}$ als normativer Bedarf angenommen werden können. Die WHO empfiehlt den Verzehr von $30 \mu\text{g / Tag}$ (Anke et al. 2002, 2005ab).

Chrommangel ist in Deutschland und Mexiko bei Mensch und Tier nicht zu erwarten. Mit Chromallergie muss bei belasteten Berufsgruppen gerechnet werden (Zementekzem). Die scheinbare Absorption des Chroms aus der verzehrten Nahrung durch Mischkötter erreicht 19 % bis 44 % und ist damit extrem umfangreich, wie auch Tierversuche mit $^{51}\text{Chrom}$ bei Hennen und laktierenden Ziegen zeigten. Sowohl das Haar der Ziege als auch das Gefieder der Hennen nimmt am Chromstoffwechsel teil. Das $^{51}\text{Chrom}$ wird rasch und umfangreich in das Haar ein- und zudem auch schnell wieder ausgebaut. Das

gleiche gilt für das Gefieder (Daunen) (Abb. 7 und 8) (Anke et al. 1971, Hennig et al. 1971). Es nimmt ebenso wie das Haar am Chromstoffwechsel teil.

Bei wachsenden Ziegenböcken im Alter > 100 Tagen bis zu Alter von 24 Monaten drosselte ein Chromgehalt von < 310 bis 355 µg/kg Futterrockenmasse den Futterverzehr, die Glukosetoleranz und minderte deren Wachstum im Vergleich zu den Kontrolltieren mit 1400 µg Cr/kg Futterrockensubstanz (Franke et al. 2000). Die chromarm ernährten Ziegenböcke produzierten Ejakulate mit signifikant verminderter Beweglichkeit der Spermien. Ihre Libido sexualis war eingeschränkt. Die chromarm ernährten Ziegenböcke litten unter einer Dermatitis (Anke et al. 2005, Franke et al. 2000).

Beim Menschen wurden bei parenteraler Ernährung drei Fälle von Chrommangel ohne Chromergänzung beschrieben, deren Symptome durch Chromsupplementierung mit 250 µg Cr zum täglichen Infusat behandelt wurden. Die Glukosetoleranz und die neurologischen Funktionen normalisierten sich innerhalb von 2 Wochen. Eine normale Glukosetoleranz war bei Aufnahme von 20 µg Cr/Tag gegeben (Jeejeeboy et al. 1977, Freund et al., 1979, Brown et al. 1986). Für den erwachsenen Menschen gelten < 20 µg Cr/Tag als basaler Bedarf, sodass 30 µg Cr/Tag als normaler Bedarf angenommen werden können (Anke et al. 2005). Die WHO (Anonymus 1996) empfiehlt den Verzehr von 30 µg Cr/Tag, der in Deutschland und Mexiko gegeben ist (Anke et al. 2002, 2005).

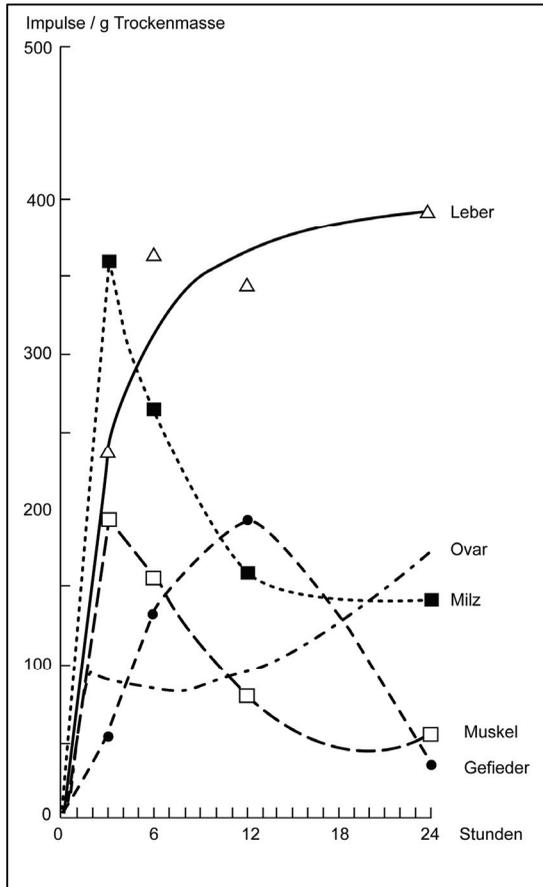


Abbildung 7: Der ^{51}Cr -Gehalt von Blut, Milch und Haar je g Trockenmasse in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt nach der Applikation (Anke et al. 1971)

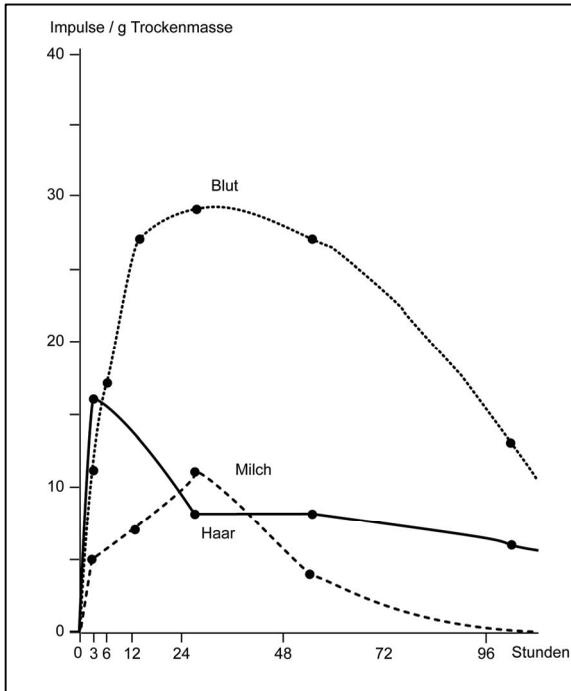


Abbildung 8: Die ⁵¹Cr-Konzentration je g Trockenmasse von Leber, Ovar, Milz, Muskel und Gefieder in Abhängigkeit von der Zeit (Hennig et al. 1971b)

Tabelle 28: Der Chromgehalt verschiedener Organe von Kontroll- und Chrommangel-ziegenböcken (µg/kg Trockenmasse) (Anke et al., 2005a)

Organ, Gewebe	(n;n)	Kontrolle		Cr-Mangel (Ziegenböcke)		p	%
		s	x	x	s		
Deckhaar	(9;6)	27	90	52	10	<0,01	58
Rückenmark	(8;5)	550	1037	634	253	>0,05	62
Blinddarm	(7;5)	372	536	363	82	>0,05	68
Herz	(8;5)	731	906	625	115	>0,05	69
Pansen	(8;4)	296	651	492	281	>0,05	76
Nieren	(7;5)	376	678	580	75	>0,05	86
Muskel	(8;5)	260	568	498	79	>0,05	88
Schilddrüse	(8;5)	1738	1729	1540	1104	>0,05	89
Zehenknochen	(7;3)	387	2493	2228	201	>0,05	89
Aorta	(7;5)	120	242	222	120	>0,05	92
Haut	(7;4)	132	235	225	91	>0,05	96
Kleinhirn	(7;5)	784	1097	1053	616	>0,05	96
Rippe	(8;5)	535	3937	3975	461	>0,05	101
Leber	(8;5)	163	488	511	168	>0,05	105

Bei Ziegenböcken mit < 310 bis $355 \mu\text{g Cr/kg}$ Futtertrockenmasse $1400 \mu\text{g Cr/kg FTM}$ wurde das Anzeigevermögen des Chromstatus durch verschiedene Körperteile geprüft (Anke et al. 2005a). Es zeigte sich, dass das Haar dazu besonders gut geeignet ist, während die anderen untersuchten Gewebe die unterschiedliche Chromaufnahme nur insignifikant zeigten (Tab. 28).

Der Chromgehalt des untersuchten Kopfhaares der Kinder und Erwachsenen schwankte in Abhängigkeit von der Chromaufnahme außerordentlich von $\sim 20 \mu\text{g}$ bis $17400 \mu\text{g/kg}$ Kopfhhaar TM (Tab. 29, 30). Die extrem große Schwankungsbreite des Chromgehaltes wird im Wesentlichen durch die unterschiedliche Chromaufnahme verursacht. Der hohe Chrombestand ($17400 \mu\text{g/kg}$ TM) der Beschäftigten einer Gerberei wird durch das Chrom des zum Gerben verwendeten Alauns verursacht. Kontrollpersonen ohne Chrombelastung speicherten in der Türkei $559 \mu\text{g/kg}$ im Kopfhhaar.

Schwangere des gleichen Landes inkorporierten in den einzelnen Trimestern 191 ; 164 und $141 \mu\text{g/kg}$ imKopfhhaar (Saner 1981, Saner et al. 1982). Lässt man den Chromgehalt des Kopfhaares der Gerber (Tab. 30) und der Neuzen Kinder jenseits des Polarkreises (Tab. 29) aus der Durchschnittsberechnung heraus, dann speichert das Kinderhaar im Mittel $\sim 820 \mu\text{g/kg}$ imKopfhhaar und das Erwachsenenhaar $\sim 620 \mu\text{g/kg}$ Kopfhhaar. Die Differenz des Chromgehaltes von Kinder- und Erwachsenenhaar ist nicht gesichert, repräsentiert aber einen Trend, der für eine Unterscheidung des Chromgehaltes im Kopfhhaar von Kindern und Erwachsenen tendiert. Die Differenz zwischen beiden Mittelwerten erreicht immerhin ein Drittel. Das Kopfhhaar der Mädchen enthielt im Mittel der vorhandenen Probanden $725 \mu\text{g Cr/kg}$, das der Jungen $775 \mu\text{g Cr/kg}$. Letzteres speichert 7% mehr Chrom als das der Mädchen. Die Differenz ist zufällig. Frauen und Männerhaar inkorporierten 1055 bzw. $1162 \mu\text{g Cr/kg TM}$, womit die Männer 10% mehr Chrom im Kopfhhaar akkumulierten. Auch dieser Unterschied ist nicht statistisch gesichert.

Tabelle 29: Der Chromgehalt des Kopffaars der Kinder ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor/-en	Jahr
Russland, Nenzen	5,4	5,6	7 – 17 Jahre	(18; 16)	Savchenko et al.	2000
Russland	0,99	1,85	7 – 15 Jahre	(2173; 1857)	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Irkutsk	1,1	1,27	7 – 15 Jahre	(45; 48)	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	1,16		2 – 6 Jahre	4030	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Irkutsk	1,13		2 – 6 Jahre	43	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	1,04	1,08	7 – 15 Jahre	(151; 121)	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	1,05		2 – 6 Jahre	107	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Region Moskau	0,711	1,35	10 – 14 Jahre	(43;40)	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Irkutsk	0,806	1,204	10 – 14 Jahre	(38; 42)	Grabeklis; Skalny	2003
U.S.A.	1,017		12 Monate	212	Vorbecky et al.	1974
Russland	1		4 – 10 Jahre	2181	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	0,99		2 – 6 Jahre	2806	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Moskau	0,99		2 – 6 Jahre	535	Skalny; Skalnaya	1999
U.S.A.	0,97		Neugeborene	20	Hambidge; Baum	1974
Russland, Moskau	0,9	1,03	7 – 15 Jahre	(443; 402)	Skalny; Skalnaya	1999
Spanien	0,96		6 – 15 Jahre	188	Schuhmacher et al.	1993
Russland, Moskau	0,95		4 – 10 Jahre	1185	Skalny; Skalnaya	1999
Mazedonien, Ivancovci	0,92		4 – 10 Jahre	10	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Immunstation	0,87		2 – 6 Jahre	56	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Ivanova	0,87		6 Jahre	83	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	0,811	0,918	10 – 14 Jahre	(304; 251)	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	0,85		Vorschulkinder	222	Lobanova et al.	2003
Russland	0,786	0,861	10 – 14 Jahre	(2212; 1676)	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Tula	0,719	0,906	10 – 14 Jahre	(59;40)	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Ivanova	0,83	0,78	7 – 15 Jahre	(36;43)	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Moskau	0,82	0,781	10 – 14 Jahre	(913;708)	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	0,735	0,815	10 – 14 Jahre	(57;36)	Grabeklis; Skalny	2003
Spanien	0,66		6 – 15 Jahre	174	Schuhmacher et	1993
Mazedonien, Veles	0,6		4 – 10 Jahre	10	Skalny; Skalnaya	2003
U.S.A.	0,56		0 – 15 Jahre	261	Creason et al.	1975
Tschechien	-	0,209	10 Jahre	163	Bencko et al.	1986
Deutschland	0,18	0,2	2 – 16 Jahre	(324; 523)	Wilbrand et al.	1991
Deutschland	0,19		Schulkinder	27	Günther et al.	1992
Deutschland	0,088		6 – 14 Jahre	641	Krause et al.	1996
U.S.A	0,022		12 Jahre	332	Paschal et al.	1989

Tabelle 30: Der Chromgehalt des Kopfhaares Erwachsener ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor/-en	Jahr
Türkei	-	17,400	17 (Arbeiter Gerberei)	Saner et al.	1984
Bangladesh	2,450		324	Husaim et al.	1980
Russland, Tschernobyl	1,200	-	324	Skalny et al.	1999
Indien	1,020		255	Takagi et al.	1986
Russland	0,960	0,970	(2865;2756)	Skalny; Demidov	2003
Russland	0,930	-	2854	Tkachov; Skalny;	2002
Kroatien	0,870	0,930	(456;122)	Skalny; Demidov	2003
Ukraine	0,880	0,870	(635;308)	Skalny; Demidov	2003
Lettland	0,700	1,000	(87;30)	Skalny; Demidov	2003
Österreich, Wien	0,840		39	Wolfsperger et al.	1994
Belorusland	0,680	0,990	(194;58)	Skalny; Demidov	2003
U.S.A	0,960	0,690	(5;63)	Schroeder; Nason.	1969
Mazedonien	0,730	0,820	(281;126)	Skalny; Demidov	2003
Russland	0,750	-	25	Skalny; Semikopenko	2003
Litauen	0,630	0,800	(392;177)	Skalny; Demidov	2003
Italien, Rom	0,680		40	Wolfsperger et al.	1994
Indien	0,630		104	Bhat et al.	1982
Polen	0,730	0,440	(132;111)	Nowak	1998
Großbritannien	0,570		261	Barlow et al.	1985
Schweden	-	0,570	30	Muramatsu; Parr	1988
U.S.A	0,560		281	Creason et al.	1975
Türkei	-	0,559	11	Saner et al.	1984
Griechenland	0,470	0,500	(69;75)	Leotsinidis; Kordakis	1990
Indien	0,460		239	Arunachalam et al.	1979
Russland	0,370	0,520	(913;774)	Batzewch	1999
Deutschland, halle	0,414		50	Krause et al.	1996
Kanada	0,350		92	Takagi et al.	1986
Deutschland, Leipzig	0,311		89	Krause et al.	1996
Deutschland, Münster	0,306		50	Krause et al.	1996
Polen	0,270		46	Takagi et al.	1986
U.S.A.	0,234		55	Takagi et al.	1986
Japan	0,230		457	Takagi et al.	1986
Türkei	0,191	-	16 (Schwangere)	Saner et al.	1981
Deutschland	-	0,180	13	Günther et al.	1992
Saudi-Arabien	-	0,120	22	Ahmed; Elmubarak	1990
Deutschland, Münster	0,114		3317	Krause et al.	1996
Schweiz	0,060		1257	Horsch; Schurgast	2007
USA	0,048		332	Paschal et al.	

Der Einfluss der Haarfarbe und der Haarart auf den Chromgehalt des Haares ist nicht systematisch untersucht. Er bedarf weiterer Bestimmung.

Die Schwangerschaft vermindert den Chrombestand des Haupthaares von Trimester zu Trimester von 191 im ersten auf 141 μ g Cr/kg TM im dritten ($p < 0,001$) (Saner 1981).

7 Eisen

Die Lebensnotwendigkeit des Eisens ist seit dem Mittelalter bekannt. Seine Toxizität wurde langezeit nicht akzeptiert, ist jetzt aber in wissenschaftlichen Bereichen anerkannt (Ettle et al. 2007, Schumann und Elsenhaus 2004, Müller, R., Betz, I., Anke, M. 2009). Zur Identifikation eines Eisenmangels ist das Blut und sein Hämoglobinspiegel besonders geeignet, der Eisengehalt des Haares ist dafür weniger prädestiniert, obwohl sein Eisengehalt auch in Beziehung zur Eisenversorgung von Tier und Mensch steht. Eine langfristige Eisenbelastung wird durch das Haar widergespiegelt. Kälber mit einem begrenzten Eisenangebot speicherten ungeachtet der allgemeinen Aussage signifikant weniger Eisen im pigmentierten Deckhaar als die Kontrollkälber. Die eisenärmer ernährten Kälber bildeten noch die gleiche Menge Körpermasse wie die Kontrolltiere (Tab. 31).

Tabelle 31: Der Eisengehalt verschiedener Körperteile des Kalbes nach 140 Tagen mit bedarfsdeckender und eisenarmer Ernährung (mg/kg Trockenmasse bzw. mg/l) (Anke 1966b)

Körperteil	(n;n)	Kontrolle 104 mg/Tag	Fe-Mangel 58 mg/Tag	p	%
Muskel	8;3	62	34	<0,05	55
Deckhaar	8;3	51	34	<0,05	67
Rippe	8;3	36	25	<0,05	69
Milz	8;3	619	465	>0,05	75
Nieren	8;3	222	179	>0,05	81
Blut	8;3	2001	1785	<0,05	89
Leber	8;3	163	177	>0,05	109

Der Eisengehalt von Muskel und Skelett reagierte gleichermaßen wie das Deckhaar auf die eisenarme Versorgung. Der Eisengehalt des Blutes zeigt den Eisenstatus gleichermaßen. Die Leber der Eisenmangelkälber speichert sogar 10% mehr Eisen als die der Kontrollkälber. Eine Eisenbelastung des Schafes mit 1000 und 1750 mg Fe, die dem Futterverzehr und ihr Wachstum drosselten, führte zu einem erhöhten Eisengehalt von Milz, Leber, Nieren, Rippen

und Wolle (Tab. 32), wobei sich der Eisengehalt der Wolle nur insignifikant erhöhte.

Tabelle 32: Der Eisengehalt der Wolle und verschiedener anderer Körperteile des Schafes mit reichlicher Eisenversorgung (Grün et al. (1978))

Körperteil	Eisengehalt des Kraftfutters (mg/kg Trockenmasse)				
	250	1000	1750	KGD	Vervielfachung
Milz	978	2088	3660	1612	3,74
Leber	127	224	439	218	3,46
Nieren	213	242	461	121	2,16
Rippen	112	174	205	85	1,83
Wolle	25	30	42	-	1,68

Das Kopfhaar von Arbeitern einer Stahlfabrik reagierte auf die umfangreiche Eisenaufnahme mit einem ~vierfachen Eisengehalt (Tab. 33). Die Differenz zu den Kontrollpersonen ist signifikant.

Tabelle 33: Der Eisengehalt des Kopfhaares von Stahlarbeitern (mg/kg Trockenmasse) (Jarnall; Jaffer 1987)

Haarart (n)	s	x	x	s	p	%
Kopfhaar (26)	8,3	24	91	39	<0,01	379

Der Eisengehalt des Kopfhaares erwachsener Mischkötler schwankt zwischen <10 und 100 mg/kg Trockenmasse (Tab. 31). Erwachsene aus Indien, Malaysia, Taiwan, Pakistan, den USA und Deutschland speicherten mit 40 bis 100 mg Fe/kg am meisten Eisen im Kopfhaar. Die Majorität der untersuchten Populationen akkumulierten 10 bis 30 mg Fe/kg im Kopfhaar. Diese Testpersonen kamen im Wesentlichen aus Europa, Kanada, den USA und Japan. (Tab. 34).

Tabelle 34: Der Eisengehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor/-en	Jahr
Korea	152		44	Kim et al.	1985
Indien	102		96	Bhat et al.	1982
Malaysia	70		85	Sarmani	1987
USA	65	87	16;11	Deeming et al.	1978
Indien	60		252	Arunachal.am et al.	1979
Pakistan	51		105	Qureshi et al.	1982
Polen	49	42	130;130	Nowak	1998
Taiwan	44	-	75	Wong et al.	2005
Belgien	40		28	Tomza; Maenhaut	1984
Deutschland	37	43	135;147	Anke; Schneider	1966
Indien	36		255	Takagi et al.	1986
Japan	35		300	Takeuchi et al.	1979
Deutschland	34	38	100;100	Schneider; Anke	1981
Bangladesh	30		101	Husain et al.	1980
Lettland	29	28	87;30	Skalny; Demidov	2003
Deutschland	28	32	8;25	Groppel et al.	1982
Russland	24	-	25	Skalnaya; Semikopenko	2003
Ukraine	25	26	635;308	Skalny; Demidov	2003
Mazedonien	23	32	281;120	Skalny; Demidov	2003
Litauen	22	30	392;177	Skalny; Demidov	2003
Polen	22		46	Takegi et al.	1986
USA	22		202	Creason et al.	1975
Kroatien	21	26	456;122	Skalny; Demidov	2003
Belorussland	21	24	194;58	Skalny; Demidov	2003
Russland	20	25	2865;2756	Skalny; Demidov	2003
Kanada	19		92	Takagi et al.	1986
Russland	18	-	2854	Tkachev; Skal.ny	2002
Japan	15		457	Takagi et al.	1986
Schweden	12		30	Muramatsu; Parr	1988
Japan	8	8,6	35;37	Tada et al.	1986
Schweiz	7,7		1257	Horsch; Schurgast	2006

Das Geschlecht nahm keinen signifikanten Einfluss auf den Eisenbestand des Kopfhaares. Im Mittel aller Testpopulationen speicherte das Frauenhaar 30 und das Männerhaar 40 mg Fe/kg. Der im Trend niedrigere Eisenbestand des Frauenhaares findet seine Erklärung durch die menstrualen Eisenverluste. Im Mittel aller untersuchten und registrierten Eisenwerte enthielt das Kopfhaar Erwachsener 35 mg Fe/kg Trockenmasse. Es unterscheid sich damit nur insignifikant vom Kinderhaar (Tab. 35), welches im Mittel aller Testpopulationen ~40 mg/kg Trockenmasse inkorporierte. Mädchen akkumulierten im Mittel 48 und Jungens 43 mg Fe/kg Trockenmasse. Die größten Eisenmengen

enthielt das Kopfhhaar der „Nenzenkinder“ jenseits des Polarkreises. Die Majorität der Kinder speicherte zwischen 15 und 30 mg Fe/kg Trockenmasse.

Tabelle 35: Der Eisengehalt des Kopfhhaares von Kindern (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland, Nenzen	140	73	7-17 Jahre	27;41	Savchenko et al.	2000
Deutschland	69	73	10 Jahre	357;358	Krause; Chutsch	1987
Deutschland	68	65	10 Jahre	368;342	Krause; Chutsch	1987
Russland	44		Neugeborene	89	Moskau; Skalny et al	2000
Russland	27		7 Jahre	222	Lobanova et al	2003
Russland	26	37	7-15 Jahre	2173;1857	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Irkutsk	22	31	7-15 Jahre	45;48	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	27	29	7-15 Jahre	151;121	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Yamal	27		Neugeborene	25	Skalny et al	2000
Russland, Ufa	22		Neugeborene	30	Skalny et al	2000
USA	21			282	Creason et al	1975
Russland, Moskau	17	23	7-15 Jahre	443;402	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Iwanavo	15	15	7-15 Jahre	36;43	Skalny; Skalnaya	1999

Die Neugeborenen besaßen Kopfhhaar, auch das der Nenzen, mit 20 bis 40 mg Fe/kg zur Welt, was sich im Eisengehalt nicht von dem älterer Kinder unterschied. Das Alter der Kinder und Erwachsenen nimmt auf den Eisengehalt des Kopfhhaares keinen Einfluss (Tab. 36).

Tabelle 36: Der Eisengehalt des Kopfhhaares in Abhängigkeit vom Alter (mg/kg Trockenmasse) (n: 282) (Anke und Schneider 1966)

	Alter								p	%
	5	15	25	35	45	55	65	75		
x	32	43	47	36	29	42	44	33	>0,05	62
s	21	26	42	32	19	31	24	14		

Der Eisengehalt des Kopfhhaares der Kinder und Erwachsenen schwankte im Mittel der Jahrzehnte zwischen 39 und 47 mg/kg Trockenmasse. Die Unterschiede sind zufällig.

Die Haarfarbe variiert den Eisengehalt des Haares nicht (Tab. 37).

Tabelle 37: Der Einfluss der Haarfarbe auf den Eisengehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse) (Anke und Schneider 1966)

	Haarfarbe						p	%
	Rot (n: 4)	Blond (n: 64)	Dunkelblond (n: 118)	Schwarz (n: 48)	Grau (n: 38)	Weiß (n: 7)		
x	57 ^{..}	34 [.]	42	40	44	34 [.]	>0,05	60
s	54	24	35	30	26	9		

Die gefundenen Unterschiede sind zufällig. Eisen ist offenbar nur ein begrenzter Bestandteil des Melanins. Auch beim Tier beeinflusst die Pigmentierung den Eisengehalt der Haare nicht. Weißes Rinderdeckhaar speicherte 58 mg/kg TM, schwarzes 70 und rotes 62 mg/kg TM (Anke 1965b).

Die Haarart variiert beim Tier (Deckhaar, Schopfhaar, Mähnenhaar, Schwanzhaar) deren Eisenbestand gesichert, Anke 1965b, Kosla 1988).

Verschiedene Krankheiten bei Mensch und Tier beeinflussen den Eisengehalt unterschiedlich. Die Schizophrenie variierte den Eisengehalt des Kopfhaares nicht (Tada et al. 1986).

8 Jod

Jodmangelerscheinungen sind der Menschheit ebenso wie die Befriedigung des Jodbedarfs durch Meeresfrüchte seit etwa 4500 Jahren bekannt, so dass die Identifizierung seines Jodstatus ein lange bekanntes Problem darstellt. Aufgrund der nahezu 100igen Jodabsorption durch den Menschen und der etwa 85%igen renalen Ausscheidung ist natürlich der Jodgehalt des Urins der scheinbar beste Indikator des Jodstatus, wobei die Sammlung des Tagesurins (24 Stunden) durchaus ein Problem repräsentiert (Anke 2007; Müller, R.; Anke, M.; Fröbus, K. 2003). Im Gegensatz zu verschiedenen anderen Elementen spiegeln nahezu alle unterschiedlichen Körperteile den Jodstatus wider. Auch der Jodgehalt des Haares vermindert sich bei einer nicht bedarfsdeckenden Jodaufnahme auf ein Viertel bis ein Drittel der bei Kontrollindividuen mit bedarfsdeckender Jodaufnahme gefundenen Jodmengen (Tab. 38). Der Jodgehalt des Haares reagiert rasch und umfangreich auf ein Joddefizit.

Tabelle 38: Der Jodgehalt verschiedener Organe und Körperteile weiblicher Ziegen bei unterschiedlicher Jodversorgung ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TS bzw. l) (n: 18;19) (Groppe und Anke 1983)

Parameter	Kontrollgruppe		J-Mangelgruppe		p	%
	s	x	x	s		
Reife Milch (56. Tag)	71	247	6	1	<0,001	2
Kolostrum	15	319	18	7	<0,001	6
Lunge	248	374	36	26	<0,001	10
Pankreas	272	344	51	22	<0,05	15
Leber	84	180	37	12	<0,001	21
Milz	279	300	70	45	<0,01	23
Blutserum	28	64	15	5	<0,001	23
Nieren	138	261	64	37	<0,001	25
Herzmuskel	66	135	46	17	<0,001	34
Deckhaar	90	192	68	33	<0,001	35
Skelettmuskel	210	202	108	59	>0,05	53
Großhirn	38	80	50	23	<0,05	62

Die Verminderung seines Jodbestandes ist so umfangreich, dass sichere Aussagen über den Jodstatus möglich sind (Abb. 9), wobei in der Vergangenheit die Jodanalyse große Schwierigkeiten machten, die derzeit überwunden erscheinen.

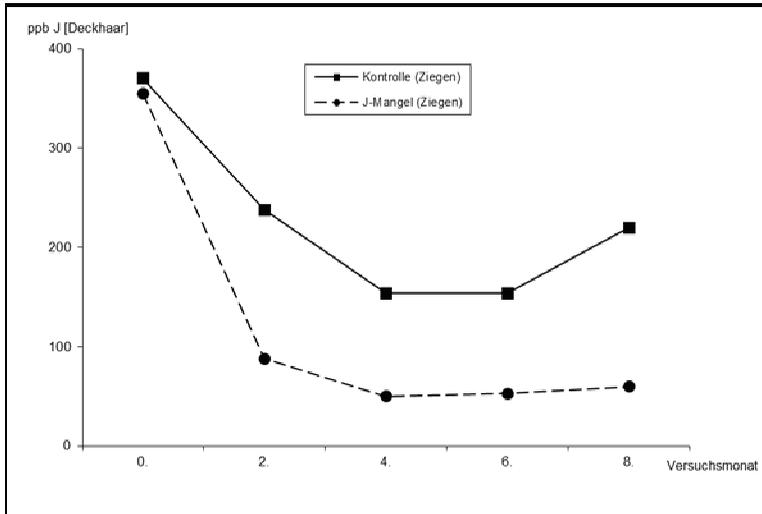


Abb.9: Der Jodgehalt des weißen Deckhaares weiblicher Kontroll- und Jod-Mangelziegen (<50 ppb J) (Anke und Risch, 1979), (Groppel, 1982)

Sowohl das weiße Ziegenhaar als auch das schwarze Kuhhaar spiegelt den Jodstatus bei einem nicht bedarfsdeckenden Jodangebot von 60 µg/kg Futtertrockenmasse bei der Ziege bzw. 90 mg/kg Futtertrockenmasse signifikant wider (Tabelle 39 bzw. 40). Das Ziegenhaar verminderte bei der Aufnahme von 60 µg J/kg Futtertrockenmasse seinen Jodbedarf auf ~30% seines Ausgangsbestandes innerhalb 40 Tagen. Auch das Angebot von 110 mg J/kg Futtertrockenmasse verringerte die Jodkonzentration ihres Haares auf ~40% (Tab. 39) (Groppel et al. 1986).

Tabelle 39: Der Jodgehalt des weißen Deckhaares der Ziege bei unterschiedlichem Jodangebot (mg/kg Trockenmasse) (n: 73) (Groppel et al. 1996)

Jodgehalt		Versuchstag				Fp	%
		1.	50.	225.	334.		
0,63 mg J/kg Futter TM		563	540	599	668	>0,05	119
0,11 mg J/kg Futter TM		562	229	255	258	<0,001	46
0,06 mg J/kg Futter TM		552	165	170	197	<0,001	36
Fp		>0,05	<0,01	<0,01	<0,01	-	
Prozent	0,63 : 0,11	100	42	43	37		
	0,63 : 0,06	98	31	28	29		

Auch das schwarze Kuhhaar spiegelt den Jodstatus gleichermaßen gut wider (Tab. 40). Innerhalb 56 Tagen verminderte sich sein Jodgehalt bei einem Angebot von 90 µg/kg Futter TM auf ~25% der im Haar der Kontrollkühe gefundenen Menge.

Der Vergleich des Widerspiegelungsvermögens des Jodstatus durch Deckhaar und Blutserum der Kuh demonstriert, dass das Haar ein steigendes Jodangebot umfangreicher anzeigt als das Blutserum (Tab. 40).

Tabelle 40: Der Jodgehalt des schwarzen Deckhaares und Blutserums von wachsenden Rindern mit unterschiedlichem Jodangebot (µg/kg Trockenmasse bzw. µg/l) (Groppel et al. 1986)

Parameter		70 µg	150 µg	230 µg	390 µg	710 µg	p	Vervielfachung
Schwarzes Deckhaar	Beginn	95	81	64	95	92	>0,05	0
	Ende	151	316	458	1080	1665	<0,001	18
Vervielfachung		1,6	3,9	7,2	11	18	-	-
Blutserum µg/100 ml	Beginn	1,1	0,8	1,2	1,4	1	>0,05	0
	Ende	1,1	5,7	5,3	6,8	8,5	<0,001	7,7
Vervielfachung		0	7,1	4,4	4,9	8,5	-	-

Das Angebot von 70 bis 710 µg Jod/kg Futtertrockenmasse verachtzehnfachte den Jodbestand des Haares, während das Blutserum seinen Jodgehalt nur etwa verachtachte. Auch die Borsten des Zwergschweins reflektierten ein Joddefizit und verminderten ihre Jodkonzentration auf 20% (Tab. 41).

Tabelle 41: Der Jodgehalt schwarzer Borsten von Kontrollzwergschweinen und Jodmangel-Zwergschweinen in mg/kg Trockenmasse (Anke und Risch 1979)

Parameter, (n;n)	Kontrolle (Sauen)		J-Mangel (Sauen)		p	% ¹⁾
	s	x	x	s		
Zwergschwein - Borsten (5;11)	0,81	3,28	0,646	0,173	<0,001	20

1) Kontrolle(Sauen) = 100%, J-Mangel (Sauen) = x%

Das Kopfhair des Menschen wurde im Vergleich zu anderen Spurenelementen nur selten untersucht. Das lag an erheblichen Schwierigkeiten bei der Jod-Analyse nach dem katalytischen Verfahren von Sandell und Kolthoff (1937) und führte möglicherweise bei frühen Analysen zu Unsicherheiten und extrem hohen Jod-Werten (Gibson und De Wolfe 1979, 14,5 mg/kg Haartrockensubstanz). Weber et al. 1990 ermittelten bei mexikanischen Vorschulkindern noch höhere Jodkonzentrationen. Andererseits ist es denkbar, dass in beiden Ländern die Supplementierung des Speisesalzes mit 20 mg J/kg zu dieser Jodanreicherung führt (Gonzales et al. 1999). Gegen diese Meinungen spricht, dass Ryan et al. (1978) normale Jodmengen im Kopfhair kanadischer Erwachsener fanden (Tab. 42).

Tabelle 42: Der Jodgehalt des Kopfhaires von Kindern und Erwachsenen (mg/kg Trockenmasse)

Land	weiblich	männlich	Alter	n	Autor /-en	Jahr
Indien	3,27			149	Arunachalam et al	1979
Indien	2,2			80	Bhat et al	1982
Südafrika	1		1-4 Jahre	20	Burger et al	1982
Russland	0,422			22	Chabarovsk, Grabeklis et al	2002
Kanada	0,422			42	Ryan et al	1978
Russland, Perm	0,344			29	Grabeklis et al	2002
Russland	0,273	0,32	1-6 Jahre	8	Grabeklis et al	2002
Russland, Moskau	0,308			80	Grabeklis et al	2002
Russland	0,283	0,274	7-17 Jahre	13	Grabeklis et al	2002

Die vorhandenen Jodanalysen zeigen einen Jodgehalt von 0,280 bis 3,27 mg/kg TM, wobei nur die indischen Untersuchungen einen Jodgehalt von >1,0 mg J/kg ausweisen. Die umfangreichen Untersuchungen des Haares von Tieren durch Groppel (1986) zeigen eindrucksvoll, dass niedrigere Jodwerte „normaler“ erscheinen.

9 Kalium

Der Kalium-Bedarf der landwirtschaftlichen Nutztiere variiert zwischen 2 und 20 g/kg Futtertrockenmasse (Anke 1982, McDowell 2003). Wiederkäuer benötigen weniger Kalium als Nichtwiederkäuer. Stress, auch Hitzestress erhöhen den Kaliumbedarf des Tieres. Der normale Kaliumbedarf der Frau beträgt < 1200 bis 1500 mg/Tag, der des Mannes < 1500 bis 1800 mg/Tag. Der Kaliumbedarf und die empfohlene Aufnahme von 2,0 g/Tag durch Erwachsene wird in Deutschland und Europa ohne Supplementierung befriedigt (Anke 2004). Das Widerspiegelungsvermögen des Kaliumstatus durch das Haar wurde bisher nicht systematisch untersucht, sodass keine Angaben über die Eignung des Kaliumgehaltes im Haar gemacht werden können. Der Kaliumgehalt des Urins spiegelt die gegenwärtige Kaliumversorgung gut wider, da 85 % des Kaliums den Mischkötler renal verlassen (Anke 2004).

Das Geschlecht beeinflusst, ähnlich wie beim Natrium, den Kaliumgehalt des menschlichen Kopfhaares signifikant. Das Mädchenkopfhaar inkorporierte bei den ausgewerteten Populationen 245 mg/kg TM, das der Jungen 568 mg/kg TM. Der Unterschied ist hochsignifikant (Tab. 43). Das Frauenhaar ist mit 159 mg/kg TM ebenso kaliumärmer als das Männerkopfhaar (275 mg/kg TM). Der Kaliumgehalt des Haares muss auf jeden Fall geschlechtsspezifisch dargestellt werden.

Tabelle 43: Der Kaliumgehalt des Kopfhaares der Kinder (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n; n)	Autor /-en	Jahr
Russland, Moskau	1136		2 – 6 Jahre	2806	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	1020		Vorschulkinder	222	Lobanova et al.	2003
Russland, Moskau	843			1185	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	826			2181	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	500	1000		(19;27)	Skalny et al.	1999
Russland, Moskau Region	222	746	10 – 14 Jahre	(43;40)	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Tula	314	567	10 – 14 Jahre	(59;40)	Grabeklis; Skalny	2003
Mazedonien, Veles	438			59	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Novosibirsk	182	501	10 – 14 Jahre	(304;251)	Grabeklis; Skalny	2003
Mazedonien, Ivancovci	336			10	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Irkutsk	145	441	10 – 14 Jahre	(38;42)	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	180	380	10 – 14 Jahre	(913;708)	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Petersburg	169	343	10 – 14 Jahre	(57;36)	Grabeklis; Skalny	2003
Indien	42			104	Bhat et al.	1982
Indien	17			260	Arunachalam et al.	1979

Das Alter der Kinder und Erwachsenen beeinflusst den Kaliumbestand des Kopfhaares ebenso wie das Geschlecht. Der Kaliumgehalt des Kopfhaares der Kinder variiert zwischen ~ 20 und ~ 1000 mg/kg TM (Tab. 43), wobei wiederum die aus Indien stammenden Kinder Kaliumkonzentrationen im Kopfhhaar von 42 und 17 mg K/kg besaßen, die extrem niedrig sind. Im Mittel enthielten das Kopfhaar der Kinder bei den gegebenen Populationen etwa ~ 450 mg K/kg TM., das der Erwachsenen speicherte im Mittel nur die Hälfte der bei Kindern ermittelten Kaliumkonzentration im Kopfhaar (Tab. 44). Auch bei den Erwachsenen fällt auf und kann ursächlich nicht erklärt werden, dass die von Takagi et al. (1986) publizierten Kaliumkonzentrationen des Kopfhaares mit Ausnahme der indischen Werte besonders niedrig sind und von denen in Europa und Bangladesh gefundenen Werten gewaltig abweichen. Unabhängig von der Interpretation muss der Kaliumgehalt des Kopfhaares geschlechts- und altersspezifisch dargestellt werden.

Die Haarfarbe beeinflusst den Kaliumgehalt beim Tier statistisch gesichert. Schwarzes Rinderdeckhaar enthielt 50% mehr Kalium als weißes (Anke 1965b). Auch gelbes, braunes und rotes Deckhaar des Rindes erwies sich im Mittel als kaliumärmer als schwarzes (Anke 1966), ähnliches zeigte sich beim Pferdehaar (Kosla 1988).

Der Kaliumgehalt des menschlichen Kopfhaares wird durch seine natürliche Farbe nicht signifikant beeinflusst (Anke und Schneider 1966).

Das menschliche Schamhaar erwies sich als kaliumreicher als das Kopfhaar, ohne dass sich der Unterschied sichern ließ (Anke et al. 1966).

Tabelle 44: Der Kaliumgehalt des Kopfhaares Erwachsener
(mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor	Jahr
Russland	-	323	918	Skalny et al.	1999
Kroatien	285	327	456;122	Skalny; Demidov	2003
Deutschland	150	408	22;22	Anke; Schneider	1962
Ukraine	208	345	635;308	Skalny; Demidov	2003
Mazedonien	140	328	281;126	Skalny; Demidov	2003
Russland	232		25	Skalny; Skalnaya	2003
Lettland	168	278	87;30	Skalny; Demidov	2003
Belorussland	136	302	194;58	Skalny; Demidov	2003
Russland	128	289	2865;2756	Skalny; Demidov	2003
Deutschland	121	190	135;147	Anke; Schneider	1966
Litauen	84	218	392;177	Skalny; Demidov	2003
Indien	140		155;100	Takagi et al.	1986
Russland	94	-	59	Tkachev; Skalny	2002
Polen	75	68	132;112	Nowak	1998
Bangladesh	48		77	Husain et al.	1980
Japan	13		229;228	Takagi et al.	1986
Kanada	10		34;58	Takagi et al.	1986
U.S.A	4,8		28;27	Takagi et al.	1986
Polen	1,5		22;24	Takagi et al.	1986

10 Kupfer

Kupfermangelerscheinungen wurden von Neal et al. bereits 1931 als „salt sick“ der Rinder in Florida beschrieben. Zwei Jahre später zeigte Sjollem (1933/1937), dass die Lecksucht von Rind und Schaf auf einem Kupferdefizit beruhen kann und Marston und Lee (1948) zeigten schließlich, dass die „steely wool“ des Schafes in Australien durch Kupfermangel verursacht wird (Underwood 1962). Diese Kupfermangelerscheinungen wurden bei Kalb und Schaf-lamm durch 2,8 mg Cu/kg Futtertrockenmasse experimentell ausgelöst, durch Leber, Blut und Deckhaar widergespiegelt und später in Mitteleuropa bei Rind und Schaf massenhaft als primärer bzw. sekundärer Kupfermangel registriert und durch Kupferergänzung geheilt (Anke 1967, 1973, 1974).

Beim Mensch beschreiben Menkes et al. (1962) einen Gendefekt, der die intrauterine Kupferversorgung eines Embryos gefährdet - „Menkes kinky hair disease“ auslöst, die letztlich zum Tod des Neugeborenen führt. Neben dem Kupfermangel können auch Kupferbelastungen beim Tier (Schaf) und Mensch vorkommen, die der Analyse und Prophylaxe bedürfen (Müller, R. 2006). Ein Kupferangebot von <2 mg/kg Futtertrockenmasse löste bei mehrfach wiederholten Mangelversuchen alle klassischen Kupfermangelsymptome aus (Anke et al. 1973) und verminderte den Kupferbestand des Großhirnes um die Hälfte (Tab. 45).

Tabelle 45: Das Widerspiegelungsvermögen des Kupferstatus durch 16 Körperteile von 35 Kontroll- und 25 Kupfermangel-Ziegen in ppm (Anke und Risch 1979)

Organ	Kontrolle (Ziegen)		Cu-Mangel (Ziegen)		α	% ¹⁾
	s	x	x	s		
Großhirn	4	14	6,4	1,8	<0,001	46
Leber	6,8	10	5,3	2,5	<0,001	52
Blutplasma (mg/l)	0,24	0,67	0,41	0,19	<0,01	61
Deckhaar	1,5	4,7	3	1,4	<0,001	64
Hoden	2,9	6,5	4,5	1,5	<0,05	69
Pankreas	2,6	4,6	3,4	2	>	74
Aorta	2,2	3,7	2,9	1,3	>	78
Rippen	3,2	7,3	6,1	2	>	84
Herzmuskel	3,4	13	11	2,9	<0,01	85
Milz	1,6	4,8	4,1	1,4	>	85
Lunge	2,4	9,3	8	3,1	>	86
Nieren	3,4	11	9,7	3,6	>	88
Skelettmuskel	1,3	3,6	3,2	1,3	>	89
Karpalknochen	2,2	5,4	4,8	2	>	89
Rückenmark	2,8	7,2	7,9	4,2	>	110
Ovar	5,6	10	12	8,7	>	120

1) Kontrolltiere = 100%, Cu-Mangel (Ziegen) = x%

Der Kupfergehalt von Blutplasma und weißen Deckhaar der weiblichen und männlichen Ziegen, die an Kupfermangel sterben, war um mehr als ein Drittel signifikant vermindert. Das Haar nimmt am Kupferstoffwechsel teil (Abb. 10 und 11) und zeigt nach Erschöpfung der Kupfervorräte im Körper den Mangel.

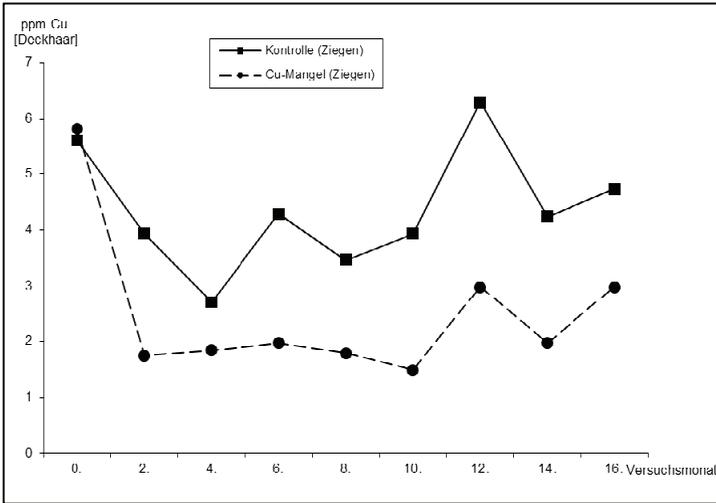


Abbildung 10: Der Cu-Gehalt des Deckhaares weiblicher Kontroll- und Cu-Mangel-Ziegen (<2 ppm Cu) (Anke und Risch, 1979)

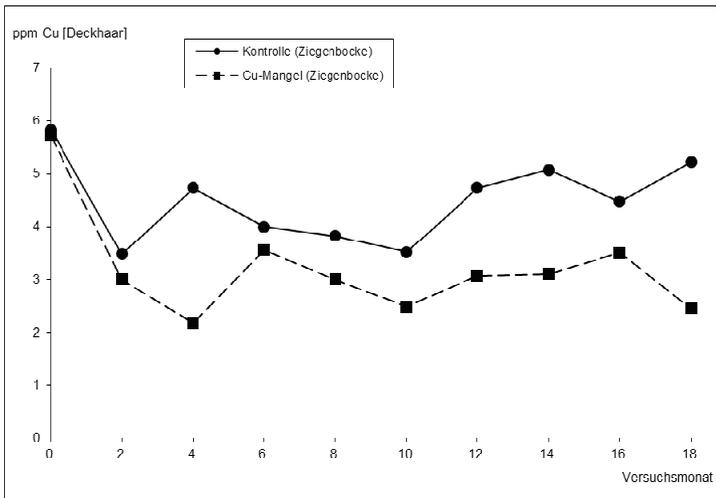


Abbildung 11: Der Cu-gehalt des Deckhaares von Kontroll- und Cu-Mangel-Ziegenböcken (<2 ppm Cu) (Anke und Risch, 1979)

Der Kupfergehalt des menschlichen Kopfhaares variiert in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht signifikant (Tabelle 46), aber nur in bescheidenem Umfang. Zwanzig- bis Neunzigjährige besaßen im Mittel ein Kopfhaar, welches zwischen 10 und 18 mg Cu/kg TM, im Mittel 14 bzw. 15 mg Cu/kg enthielt. Der Kupfergehalt des Kopfhaares steigt von 12 auf 20 mg/kg im Alter von ~10 Jahren oder umweltbedingten Kupferbelastungen, z. B. in metallverarbeitenden Betrieben und wird vom Kopfhaar widergespiegelt.

Tabelle 46: Der Kupfergehalt des Kopfhaares vom Menschen in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht (mg/kg Trockenmasse n: 200) (Anke und Schneider 1966, Anke und Risch 1979, Schroeder und Nason 1969, Klevay 1970)

Alter	Frauen		Männer		Geschlecht	F p
	s	x	x	s		
0 – 5	3	12	12	4	<0,01	
6 – 10	14	21	24	16		
11 – 20	7	15	37	23		
21 – 30	8	16	14	7		
31 – 40	2	10	16	7		
41 – 50	4	10	15	11		
51 – 60	5	13	16	8		
61 – 70	11	16	17	17		
71 – 80	8	18	11	4		
81 – 90	3	12	13	5		
Alter F p	<0,01					
Mittel 21 - 90	7	14	15	9	-	-

Tabelle 47: Der Kupfergehalt des Kopfhaares verschiedener Berufsgruppen in mg/kg Trockenmasse (Anke und Risch 1979)

Arbeitsplatz	Beruf	n	x	s
Zinkhütte	Anlagenfahrer	9	28	30
	Pneumatiker	6	28	16
	Schlosser	4	50	50
	Laugenreiniger	6	136	132
	Schlosser, W. H.	5	22	7
	Leitung	9	29	29
	Schweißer	3	41	29
Zinkverarbeitung	Schmelzer	11	41	22
	Lötter	3	34	26
	Leitung	3	31	19
	Schmelzer	5	26	13
Zinkverarbeitung	Legierer	3	67	39
	Sonstige Belegschaft	12	47	32
Kühlerbau	Belegschaft	12	16	5
Jena, 21-90 Jahre	Frauen	70	14	7
	Männer	70	15	9

Unbelastete Frauen und Männer speicherten mit 14 und 15 mg Cu/kg Trockenmasse im Kopfhair „normale“ Kupfermengen (Tab. 47). Weltweit schwankt die Kupferkonzentration des Kopfhaares (Tab. 48 und 49) im Mittel der untersuchten Populationen zwischen 55 und 8 mg/kg TM bei den Frauen und ~25 und 8 mg bei den Männern. Vernachlässigt man die vier Frauenpopulationen aus den USA, Großbritannien und Deutschland, deren große Kupferanreicherung nicht erklärt wird (nutritive, Umweltbelastungen, analytische Probleme), dann enthält das Kopfhair Erwachsener im Mittel 10 bis 20 mg Cu/kg TM im Mittel 15 mg Cu/kg TM (Tabelle 48).

Tabelle 48: Der Kupfergehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
USA	55,6	16,1	47;79	Schroeder; Nason	1969
USA	47,0	23,0	16;11	Deeming; Weber	1978
Großbritannien	38,5	-	261	Barlow et al	1985
Deutschland	36,7	16,0	21;19	Wilhelm et al	1994
Pakistan	25,3	-	41;42	Jamall; Allen	1990
Italien	24,0	22,0	60;72	Sturaro et al	1994
USA	23,0	22,6	21;21	Eads; Lambdin	1973
Lettland	22,7	19,2	87;30	Skalny; Demidov	2003
Indien	21,0		104	Bhat et al	1980
Schweden	-	20,4	47;83	Srikumar et al	1992
Indien	20,0		155	Takagi et al	1986
Deutschland	21,3	16,7	1952;1865	Krause et al	1997
Pakistan	20,8	20,8	110;110	Askraf et al	1995
USA	-	18,2	204	Creason et al	1976
Japan	18,3	16,0	37;37	Tada et al	1986
Pakistan	17,0	16,2	42;43	Askraf et al	1995
Schweiz	16,4		12;57	Horsch; Schurgast	2006
USA	16,3		332	Paschal et al	1989
Indien	16,2		246	Arunachalam	1979
Italien	-	15,9	107	Folin	1991
Litauen	16,4	14,8	392;177	Skalny; Demidov	2003
Belorussland	16,8	13,4	194;58	Skalny; Demidov	2003
Ukraine	16,8	13,3	635;308	Skalny; Demidov	2003
Deutschland	13,8	14,6	135;147	Anke; Schneider	1966
Deutschland	14,1		1340	Krause; Chutsch	1987
Deutschland	13,1	14,7	22;22	Anke; Schneider	1962
Kroatien	12,5	11,5	456;122	Skalny; Demidov	2003
Mazedonien	12,3	11,6	281;126	Skalny; Demidov	2003
Russland	11,8	-	2854	Tkachev; Skalny	2002
Russland	11,1	13,0	2865;2756	Skalny; Demidov	2003
Japan	10,7		229;228	Takagi et al	1986
Griechenland	10,4	10,2	69;75	Leotsindis et al	1990
Polen	9,4		22;24	Takagi et al	1986
Japan	9,0			Matsubara; Machida	1985
Polen	8,0	7,9	136;130	Nowak	1998
Bangladesh	6,8		102	Husain et al	1980

Es besteht im Mittel der Testpopulationen ein signifikanter Geschlechtsunterschied zwischen Frauen- und Männerhaar von ~20%, der sich auch bei den Kopfhaarwerten in Tabelle 48 andeutet.

In Abhängigkeit von der nutritiven Kupferversorgung beeinflusst das Alter der Probanden den Kupfergehalt des Kopfhaares kontrovers. Neugeborene können in Abhängigkeit von der materialen Kupferversorgung normale Kupfermengen, in der Regel aber niedrigere Kupfermengen neben der Leber im Haar speichern. Die Milch ist grundsätzlich kupferarm. Die Nachkommen akkumulieren bei normaler Ernährung der Mutter das benötigte Kupfer für die Stillzeit während der embryonalen Entwicklung.

Der Kupfergehalt des Kinderhaars zwischen 5 und ~25 mg/kg TM unterscheidet sich grundsätzlich nicht von dem des Haares Erwachsener (Tabelle 49), es fällt aber auf, dass die Majorität der Neugeborenen zwischen 5 und 12 mg Cu/kg im Kopfhaar speichert, Kinder aus Russland, Polen, aber auch Deutschland, USA und Kanada häufig <12 mg Cu/kg TM. Das Kopfhaar neugeborener Neuzug des polaren Bereichs Russlands enthielt besonders wenig Kupfer.

Das Geschlecht beeinflusst den Kupfergehalt nicht oder nur sehr wenig. Der Einfluss der Haarfarbe ist größer. Mit zunehmender Pigmentstärke von blond und grau nimmt der Kupfergehalt im Trend zu, ohne dass er den Kupfergehalt statistisch gesichert beeinflusst (Anke und Schneider 1966, Dorea und Pereira 1983). Beim Tier ist das schwarze Deckhaar ein wenig kupferreicher als das weiße (Werner und Anke 1960, Anke 1965b). Bart- und Schamhaar enthält etwa die gleiche Kupferkonzentration wie das Kopfhaar (Chittleborough and Steel 1980, Dong et al. 1983). Das Kopfhaar des Menschen kann einen Kupfermangel oder eine Kupferbelastung widerspiegeln.

Tabelle 49: Der Kupfergehalt des Kopfhaares von Mädchen und Jungen (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
England	31		11-15 Jahre	44	Capel et al	1981
Kanada	28,5		3 Monate	28	Gibson; De Wolfe	1980
Kanada	24		6 Monate	26	Gibson; De Wolfe	1980
Irland	22,5		5-12 Jahre	35	Corridan	1973
Türkei	20		3 Jahre	94	Donma et al	1990
Russland	20	20	7-17 Jahre	27;41	Savchenko et al	2000
Kanada	19,7		3 Monate	23	MacDonald et al	1982
USA	19,1		13 Jahre	52	Eads and Lambdin	1973
Kanada	19		1 Monat	28	Gibson; De Wolfe	1980
USA	18,8		12 Jahre	199	Paschal et al	1989
Niederlande	17,7		4-5 Jahre	223	Wibovo et al	1986
Spanien	15,6	19,7	6-15 Jahre	174;128	Schumacher et al	1993
Russland	17,2		Neugeborene	20	Skalny et al	1999
Thailand	17,1		1,5-7 Jahre	427	Gershoff et al	1977
USA	15		Neugeborene	15	Strain et al	1966
Deutschland	14,9		6-14 Jahre	711	Krause et al	1997
Mexiko	14,7		1-6 Jahre	23	Weber et al	1990
Taiwan	14,3		15-19 Jahre	75	Wang et al	2004
Kanada	12,7		Neugeborene	82	Gibson; De Wolfe	1979
USA	12,1		>16 Jahre	279	Creason et al	1975
Russland	11,8		7 Jahre	222	Lobanova et al	2003
Russland	11,8	11,3	10-14 Jahre	1676	Grabeklis; Skalny	2003
Kanada	11,2		Neugeborene	38	Gibson	1980
USA	10,9		Neugeborene	50	Baumslag et al	1993
Polen	10,7		9-13 Jahre	412	Zachwieja et al	1993
Deutschland	10,6		3-7 Jahre	474	Wilhelm et al	1991
Russland	10,6	10	2-15 Jahre	2173;1857	Skalny; Skalnaya	1999
Deutschland	9,9	9,8	2-16 Jahre	324;523	Wilberand et al	1991
Russland	8,3		2-6 Jahre	2806	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	7,2		Neugeborene	89	Skalny et al	2000
Russland	5,4		Neugeborene	25	Skalny et al	2000

11 Lithium

Das biologische Interesse am Lithium wuchs, als man seine das Wohlbefinden stimulierende Wirkung und die medizinische Bedeutung bei der Behandlung verschiedener psychiatrischer Erkrankungen erkannte (Birch 1995, Schäfer 1997, 1998, 2000, 2004) und seine mögliche Lebensnotwendigkeit bei verschiedenen Tierarten nachgewiesen wurde (Anke et al. 1981a,b, 1983, 1984, 1985, 1987, 1991, 1997, Pickett und O'Dell 1992, Szilagyi et al. 1989, Anonymous 2005, Ono et al. 1992). Die medizinische Nutzung des Lithiums förderte auch das Interesse an der Ermittlung des Lithiumstatus sowohl beim Tier als auch beim Menschen (Müller, R., Anke, M., Betz, I. 2010).

Der Lithiumgehalt des Deckhaares verschiedener Wiederkäuerarten wird in Tabelle 50 gezeigt und der Art- und Standorteinfluss demonstriert (Arnhold und Anke 1987, Kosla et al. 2000).

Tabelle 50: Der Lithiumgehalt des Deckhaares verschiedener Wiederkäuerarten (mg/kg Trockenmasse) (Arnhold, Anke, 1987; Kosla et al., 2000)

Parameter	Rottier	Damtier	Ricke	Muffelschaf	Schaf	Kuh	Wisent	Fp Art
	(n:18)	(n:10)	(n:13)	(n:13)	(n:56)	(n:168)	(n:10)	
x	1,8	4,6	4,1	3,9	1,1	5	0,75	<0,05
s	1,6	3,6	3	4,1	0,9	7,7	0,71	
Fp Standort	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	< 0,001	> 0,05	-

In Ungarn gehaltene Nutztierarten speicherten in Mähnen und Deckhaar weniger Lithium als die in Deutschland gehaltenen Arten (Tab. 51). Der Lithiumgehalt der Schafwolle beider Länder unterschied sich nur insignifikant (Regius et al. 1987).

Tabelle 51: Der Lithiumgehalt verschiedener Haararten von Schaf, Pferd und Rind (mg/kg Trockenmasse) (Régius-Möcsényi et al., 1987)

Parameter Haarart (n;n)	Deutschland		Ungarn		p	%
	s	x	x	s		
Wolle, Schaf (12;44)	0,8	1,1	1,2	0,9	> 0,05	109
Mähnenhaar, Pferd (52;27)	1,8	1,9	1,4	1,4	< 0,05	74
Deckhaar pigmentiert, Kuh (34;73)	2,5	4,1	3,4	3,2	< 0,05	83

Bei der Ziege konnte das Anzeigevermögen der verschiedenen Körperteile bei den Kontrolltieren mit 10 mg Li/kg Trockenmasse, bei den Lithiummangelziegen mit < 1,7 mg Li/kg Futtertrockenmasse bestimmt werden (Anke et al. 2005) (Tab. 52). Dabei zeigte sich, dass das Blutserum den Lithiummangel der erwachsenen, alten Ziegen am besten widerspiegelt. Das weiße Deckhaar der Ziegen reflektiert das Lithiumdefizit gleichermaßen und verminderte seinen Lithiumbestand auf ein Drittel der bei den Kontrollziegen gefundenen Lithiummenge (Anke et al. 2005). Verschiedene andere Gewebe (Lunge, Milz, Karpalknochen, Rippen, Ovar) zeigten den Lithiumstatus gleichermaßen. Der Herzmuskel veränderte seinen Lithiumbestand auch bei Lithiummangel nicht.

Tabelle 52: Das Anzeigevermögen des Lithiumstatus verschiedener Körperteile der Ziegen mit 10 bzw. < 1,7 mg Li/kg Futtertrockenmasse, (mg Trockenmasse) (Anke et al., 2005)

Organ (n;n)	Kontrolle (Ziegen)		Li-Mangel (Ziegen)		p	%
	s	x	x	s		
Blutserum (32;11)	2	4	0,76	0,43	< 0,001	19
Deckhaar (22;13)	2,3	4,6	1,4	0,9	< 0,001	30
Lunge (17;13)	15	18	5,5	3,8	< 0,01	30
Milz (19;10)	13	25	9,9	10	< 0,01	40
Karpalknochen (16;11)	11	20	8	5,5	< 0,01	40
Rippen (18;11)	22	24	10	4,6	< 0,05	42
Ovar (11;7)	63	56	25	16	> 0,05	45
Leber (19;9)	13	23	11	11	< 0,05	48
Nieren (18;9)	25	35	17	17	> 0,05	49
Uterus (10;6)	25	32	17	14	> 0,05	53
Aorta (17;11)	25	29	18	12	> 0,05	62
Großhirn (18;10)	24	26	18	6,9	> 0,05	69
Skelettmuskel (21;11)	11	17	13	6,7	> 0,05	76
Pankreas (14;11)	19	36	31	21	> 0,05	86
Herzmuskel (17;11)	13	22	23	21	> 0,05	104

Das Deckhaar zur Geburt verendeter Lämmer der Kontroll- und Lithiummangelämmer demonstriert auch den intrauterinen Lithiummangel (Tab. 53). Bei ihm war der Lithiumgehalt des Deckhaares auf ein Drittel vermindert. Der Herzmuskel drosselte seinen Lithiumbestand nicht, ähnlich wie bei ihren Müttern. Am Ende der Säugezeit (91. Lebenstag) zeigte das Deckhaar den Lithiumstatus in ähnlichem Umfang wie zur Geburt (Tab. 54). Auf Grund der begrenzten Tierzahl war die Differenz zu den Kontrolllämmern jedoch insignifikant. Wiederum unterschied sich der Lithiumgehalt des Herzmuskels der Kontroll- und Lithiummangeltiere nicht.

Tabelle 53: Das Anzeigevermögen verschiedener Körperteile zur Geburt verendeter Lämmer der Kontroll- und Lithiummangelziegen (mg/kg Trockenmasse) (Anke et al., 2005)

Organ (n;n)	Kontrolle (Lämmer)		Li-Mangel (Lämmer)		p	%
	s	x	x	s		
Skelettmuskel (7;6)	17	31	8,7	6,8	< 0,05	28
Deckhaar (6;3)	2,8	7,1	2,1	1,4	< 0,05	30
Lunge (5;3)	29	34	12	5,4	> 0,05	35
Leber (5;6)	10	22	7,8	5,6	> 0,05	35
Großhirn (7;4)	16	28	11	5,7	> 0,05	39
Nieren (5;5)	19	30	12	8,2	> 0,05	40
Rippen (6;6)	31	37	25	8,9	> 0,05	68
Herzmuskel (7;4)	17	23	32	16	> 0,05	139

Tabelle 54: Das Anzeigevermögen des Lithiumstatus verschiedener Körperteile 91 Tage alter Lämmer der Kontroll- und Lithiummangelziegen (mg/kg Trockenmasse) (Anke et al., 2005)

Organ (n;n)	Lämmer (Kontrolle)		Li-Mangel (Lämmer)		p	%
	s	x	x	s		
Deckhaar (7;4)	2,6	4	1,3	0,5	> 0,05	32
Rippen (12;4)	23	30	9,6	9,6	> 0,05	32
Nieren (12;4)	13	28	11	11	< 0,05	39
Hoden (15;4)	38	61	34	21	> 0,05	56
Großhirn (14;4)	4,5	15	13	5	> 0,05	87
Leber (12;4)	7	12	11	5	> 0,05	92
Herzmuskel (6;4)	3,5	11	14	13	> 0,05	127

Das weiße Deckhaar der Ziege zeigte die begrenzte Lithiumaufnahme der Mangeltiere innerhalb etwa 4-6 Wochen im Vergleich zum endogen wechselnden Lithiumbestand der Kontrolltiere signifikant (Abb. 12). Die Lithiumaufnahme der Kontroll- bzw. Lithiummangelziegen war innerhalb der

zwei Gruppen gleich; trotzdem sank er in beiden Gruppen gleichmäßig, wenn auch unterschiedlich umfangreich von Juli bis Januar, um dann in der Kontrollgruppe wieder anzusteigen. Bei den Lithiummangeltieren blieb er im Mangelbereich.

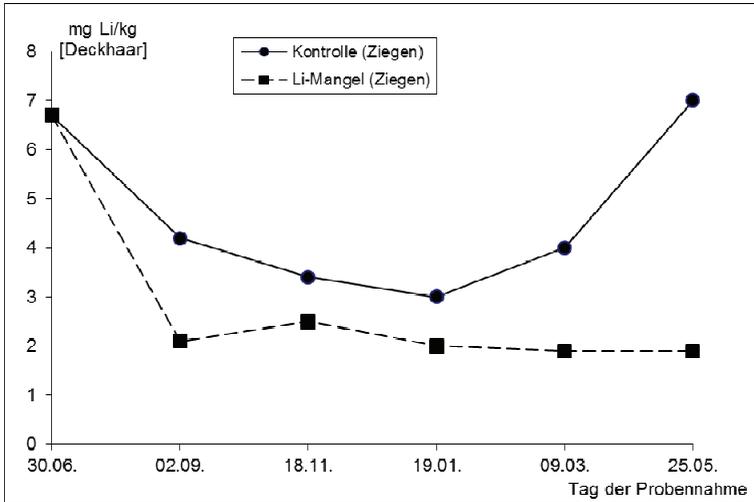


Abbildung 12: Der Lithiumgehalt des Deckhaares der Kontroll- und Lithiummangelziegen im Jahresverlauf (Anke et al. 1981)

Der Lithiumbedarf des Menschen ist, falls das Element als essentielles Spurenelement bestätigt wird, mit $< 100 \mu\text{g}/\text{Tag}$ im Mittel der Woche niedriger als der der landwirtschaftlichen Nutztiere (Anke et al. 2005). Die Lithiumaufnahme Erwachsener erreichte in Deutschland $\sim 700 \mu\text{g}/\text{Tag}$ bei der Frau und $990 \mu\text{g}/\text{Tag}$ beim Mann (Anke et al. 2005) und war damit weit umfangreicher als sein normativer Bedarf, falls dieser gegeben ist.

Der Lithiumgehalt des menschlichen Kopfhaares ist, wahrscheinlich auf Grund seiner weit geringeren Aufnahme an Lithium, niedriger als beim Tier. Er schwankt von 30 bis $250 \mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse. Das Alter (Kinder, Erwachsene) beeinflusst den Lithiumgehalt des Kopfhaares der Frauen und Männer nur insignifikant; deshalb konnte der Lithiumgehalt des Kopfhaares der Kin-

der und Erwachsener in Tabelle 54 zusammengefasst werden. Andererseits unterscheidet sich der der Jungen und Männer und der der Mädchen und Frauen statistisch gesichert (Frauen 58 µg/kg TM, Männer 75 µg/kg TM). Die Zusammenfassung des Lithiumgehaltes beider Geschlechter ist deshalb unzulässig.

Tabelle 55: Der Lithiumgehalt des Kopfhaares von Kindern und Erwachsenen (mg/kg Trockenmasse)

Land	Weibl.	Männl.	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Lettland	0,05	0,25		87;30	Skalny; Demidov	2003
Kroatien	0,13	0,08		456;122	Skalny; Demidov	2003
Russland	0,09	0,09		2865;2756	Skalny; Demidov	2003
Russland, Moskauregion	0,076	0,048	10-14 J.	43;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland		0,08	4-10 J.	2181	Skalny; Skalnaya	2003
Russland		0,08	2-6 J.	2806	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Moskau		0,08	4-10 J.	1185	Skalny; Skalnaya	2003
Mazedonien	0,06	0,09		281;126	Skalny; Demidov	2003
Litauen	0,09	0,06		392;177	Skalny; Demidov	2003
Ukraine	0,06	0,08		635;308	Skalny; Demidov	2003
Russland, Tula	0,056	0,083	10-14 J.	59;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	0,052	0,07	10-14 J.	2212;1676	Grabeklis; Skalny	2003
Belorussland	0,03	0,08		194;58	Skalny; Demidov	2003
Russland, Nowosibirsk	0,05	0,057	10-14 J.	304;251	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	0,055	0,057	10-14 J.	913;708	Grabeklis; Skalny	2003
USA		0,056	0-15 J.	206	Creason et al.	1975
Mazedonien, Ivankovci		0,05	4-10 J.	10	Skalny; Skalnaya	2003
Russland (Immunstatus)		0,05	2-6 J.	56	Skalny	1999
Russland, Irkutsk	0,044	0,047	10-14 J.	38;42	Grabeklis; Skalny	2003
USA		0,044	0-15 J.	277	Creason et al.	1975
Russland		0,04	Vorschul- kinder	222	Lobanova et al	2003
Russland	0,04	-	50-80 J.	25	Skalnaya; Semikopenko	2003
Russland, Petersburg	0,025	0,04	10-14 J.	57;36	Grabeklis; Skalny	2003
Mazedonien, Veles		0,03	10-14 J.	59	Skalny; Skalnaya	2003

Die Farbe des Haares beeinflusst beim Tier seinen Lithiumbestand. Weißes Haar von Schwarzbunten Rindern und Simmentaler Rindern gleicher Standorte enthielt in Ungarn gleiche Lithiummengen (1,6 mg/kg TM), während rotes (1,7 mg/kg) und schwarzes (4,1 mg/kg) unterschiedliche Lithiummengen speicherten (Regius et al. 1987). Die Farbe des Deckhaares der Pferde bestimmte nicht so eindeutig den Lithiumgehalt des Haares (Kosla et al. 1986).

Beim Kopfhaar des Menschen ist der Einfluss des Pigmentierungsgrades im Kopfhaar so gering, dass er vernachlässigt werden kann.
Der Lithiumgehalt des Haares informiert neben dem des Harns und Blutes über den langfristigen Lithiumstatus der Probanden.

12 Magnesium

Die Lebensnotwendigkeit des Magnesiums für die Flora wurde bereits im ersten Jahrzehnt des vergangenen Jahrhunderts experimentell durch Willstätter und Stoll (1913) bewiesen und beschrieben. Die Essentialität des Magnesiums für die Fauna zeigten Leroy (1926) und Sjollem (1932) bei laktierenden Weidekühen bzw. Kruse et al. (1932) bei der Ratte. Die erste Mitteilung über die Auswirkungen eines Magnesiumdefizits beim Menschen veröffentlichten schließlich Hirschfelder und Haury (1934). In den fünfziger Jahren demonstrierten schließlich Flink et al. (1954) die physiologische Bedeutung des Magnesiums für den Menschen. Obwohl die Magnesiumergänzung der Rinder und Schafe bestimmter Regionen (Bergmann und Witter 1976) schon vor dem 2. Weltkrieg in Europa eingeführt war und die sogenannte Weide- und Grastetanie der Milchkuh sicher verhindert und die Injektion von Magnesium akute Fälle heilte (Gürtler 1976), dauerte es noch 20 Jahre, bis die Magnesiumversorgung des Menschen interessant wurde (Schneider und Anke 1976, Anke et al. 1976, Classen 1979, Fehlinger und Seidel 1981, Schaumann und Bergmann 1982).

Das Anzeigevermögen des Magnesiumstatus wurde zunächst bei Kühen mit 17,5 bis 23,7 bzw. 21,8 bis 32,6 mg/Tag untersucht. Dabei zeigte sich, dass das Rinderdeckhaar seinen Magnesiumbestand signifikant im Vergleich zu den Kontrolltieren erhöhte (Abb. 13), obwohl der normative Magnesiumbedarf in beiden Gruppen gedeckt und die Magnesiumzulage von 4,3 g/Tag relativ niedrig war (Anke 1966a).

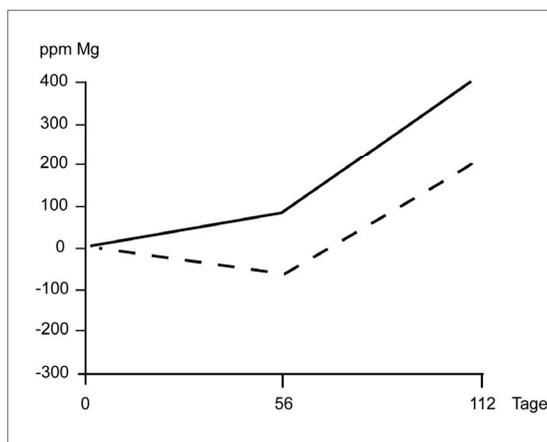


Abbildung 13: Der Magnesiumgehalt des Deckhaares von Kühen mit 23, 2 bzw. 27,5 g Mg im Tagesfutter (Anke, 1966a)

Beim Menschen vermehrte die Zulage von 100 mg Magnesium je Tag in Form eines Präparates „Magnesium compositum“ zusätzlich zum Magnesium in der frei gewählten Nahrung den Magnesiumgehalt des Blutplasmas bis zum 15. Behandlungstag schnell, später langsamer, während er im Haar und Harn erst langsam, dann bis zum 30. Applikationstag umfangreich und hochsignifikant anstieg (Tab. 56).

Tabelle 56: Steigerung der Magnesiumausscheidung im Harn und der Magnesiuminkorporation im Blutplasma und Kopfhaar im Vergleich zu Versuchsbeginn in Prozent (Anke et al., 1976)

Geschlecht	(n)	Harn	Blutplasma	Kopfhaar	Fp
Frauen	11	66	41	77	<0,001
Männer	4	61	37	47	<0,001

Der Magnesiumbestand des Kopfhaares der Frauen steigerte sich nach 30 Tagen Magnesiumsupplementation um 77%, der des Blutplasmas um 41% (Schneider und Anke 1968). Beim Mann kam es zu einer ähnlichen Steigerung der Magnesiumexkretion und einem vermehrten Magnesiumeinbau in Blutplasma und Kopfhaar. Magnesium wird umfangreich absorbiert und verstoffwechselt.

Der Magnesiumgehalt des Kopfhaares erwachsener Mischköstler schwankt in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Haarfarbe signifikant (Abbildung 14).

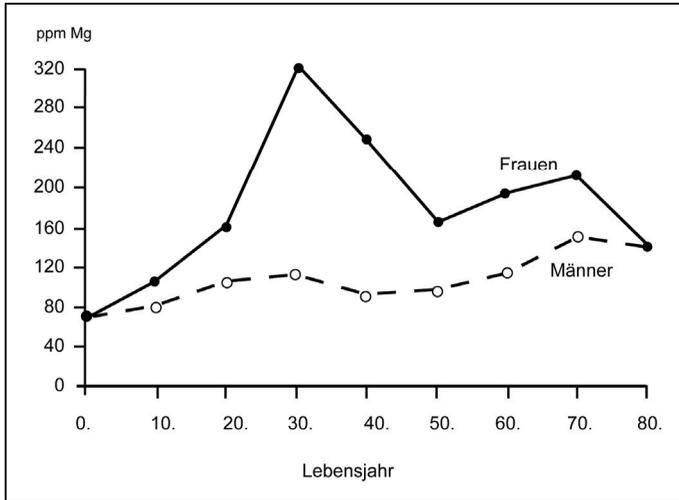


Abbildung 14: Der Magnesiumgehalt des Frauen und Männerhaares in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter (Anke et al. 1976)

Frauenhaar ist statistisch gesichert magnesiumreicher als Männerhaar, wobei zur Geburt und am Lebensende (80-90 Jahre keine gesicherten Unterschiede zwischen den Geschlechtern bestanden (Anke und Schneider 1976). Weltweit schwankt der Magnesiumgehalt des Kopfhaares der Mädchen zwischen 83 und ~10 mg/kg TM und der Jungen zwischen 55 und 19 mg/kg TM. Das Kopfhaar der Mädchen enthält im Mittel 60 mg Mg/kg, dass der Jungen 36 mg/kg. Das Geschlecht der Kinder variiert den Magnesiumbestand ihres Kopfhaares hochsignifikant und muss bei der Interpretation beachtet werden. Die Zusammenfassung der Magnesiumkonzentration von Jungen und Mädchen ist unzulässig und erklärt einen Teil der riesigen Schwankungsbreite des Magnesiumgehaltes im Kopfhaar der Kinder.

Tabelle 57: Der Magnesiumgehalt des Kopfhaares der Kinder (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland, Moskau	144		Neugeborene	89	Skalny et al.	1999
Türkei	122		3 Jahre	94	Donma et al.	1990
Mexiko	121		1-6 Jahre	23	Weber et al.	1990
Russland, Ufa	120		Neugeborene	30	Skalny et al.	1999
Russland, Yamal, Nenzen	85		Neugeborene	25	Skalny et al.	1999
Russland, Tula	83	55	10-14 Jahre	59;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau Region	78	60	10-14 Jahre	43;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	71	45	10-14 Jahre	913;708	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Novosibirsk	76	28	10-14 Jahre	304;251	Grabeklis; Skalny	2003
Japan	72	33	7-15 Jahre	184;158	Morita et al.	1986
Mazedonien Ivankovci	44		4-10 Jahre	10	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	40		4-10 Jahre	2185	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	39		Vorschulkinder	222	Lobanova et al.	2003
Russland, Moskau	36		4-10 Jahre	1185	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Irkutsk	41	30	10-14 Jahre	38;42	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, St. Petersburg	47	24	10-14 Jahre	57;36	Grabeklis; Skalny	2003
England	32		11-15 Jahre	44	Capel et al.	1981
Mazedonien, Veles	32		4-10 Jahre	59	Skalny; Skalnaya	2003
Deutschland	25	19	2-16 Jahre	324;523	Wilbrand et al.	1991
Russland, Moskau	21		2-6 Jahre	2806	Skalny; Skalnaya	2000
Deutschland	17		6-14 Jahre	711	Krause et al.	1996
USA	8,9		12 Jahre	199	Paschal et al.	1989

Im Mittel der Populationen, bei der zwischen Mädchen und Jungen unterschieden wurde, enthielt das Jungenhaar 60% der Magnesiummenge, die bei den Mädchen gefunden wurde.

Auch das Alter variiert die Magnesiumkonzentration des Kopfhaares. Im Mittel der 22 untersuchten Populationen speicherte das Kinderhaar 57 mg Mg/kg, dass der 35 Erwachsenenpopulationen 128 mg Mg/kg TM. Das Kopfhaar Erwachsener akkumuliert (Tab. 58) damit 125% mehr Magnesium als das Kinderhaar.

Auch das Männerhaar inkorporiert im Mittel nur 49% der Magnesiummenge, die im Frauenhaar gefunden wurde. Bei der Auswertung von Magnesiumkon-

zentrationen ist das Geschlecht zu beachten. Die Zusammenfassung des Magnesiumgehaltes von beiden Geschlechtern ist nicht opportun und ist neben den Unterschieden zwischen Kinder- und Erwachsenenhaar ein wesentlicher Aspekt für die große Schwankungsbreite der Magnesiumkonzentrationen im Kopfhaar des Menschen. Weltweit schwankte der Magnesiumgehalt des Kopfhaare Erwachsener zwischen ~ 300 und 30 mg/kg TM (Tabelle 58). Geschlecht und Alter der Probanden variieren den Magnesiumbestand des Kopfhaares hochsignifikant.

Auch die Haarfarbe nimmt Einfluss auf den Magnesiumgehalt des Haares, wenn auch im wesentlich bescheideneren Umfang, sodass beim Magnesium eine Vernachlässigung dieses Einflusses möglich ist.

Beim Tier scheint der Einfluss des Melaningehaltes und damit der Haarfarbe auf den Magnesiumgehalt größer zu sein. Schwarzes Deckhaar (590 mg Mg/kg TM) des Rindes speichert mehr als weißes (344 mg Mg/kg TM) (Anke 1965b). Auch die Haarart beeinflusst den Magnesiumbestand des Haares beim Menschen. Bei 10 Männern enthielt z. B. das Kopfhaar 143 und das Schamhaar 242 mg Mg/kg TM (Anke und Schneider 1966).

Tabelle 58: Der Magnesiumgehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland, Ufa	310		30	Skalny et al.	1999
Taiwan	286		45	Wang et al.	2005
Deutschland	375	171	22;22	Anke; Schneider	1962
Russland, Moskau	243		89	Skalny et al.	1999
USA		189	20	Shrestha; Schrauzer	1989
Indien		186	27	Shrestha; Schrauzer	1989
Russland, Yamal, Nenzen	181		25	Skalny et al.	1999
Deutschland	217	109	135;147	Anke; Schneider	1966
Japan		157	35;37	Tada et al.	1986
Indien		156	155;100	Takagi et al.	1986
Deutschland	217		135	Schneider; Anke	1970
Lettland	210	96	87;30	Skalny; Demidov	2003
Pakistan		147	43	Ashraf et al.	1995c
Kroatien	181	97	456;122	Skalny; Demidov	2003
Indien		137	83	Srikumar et al.	1992
Russland	134		59	Tkachev, Skalny	2002
Türkei		134	29	Ulvi et al.	2002
Japan		127	229;228	Takagi et al.	1986
Schweden		113	47	Srikumar et al.	1992
Ukraine	130	92	635;308	Skalny; Demidov	2003
Litauen	151	66	392;177	Skalny; Demidov	2003
Mazedonien	124	73	281;126	Skalny; Demidov	2003
Russland	98		25	Skalny; Skalnaya	2003
Belorussland	117	75	194;58	Skalny; Demidov	2003
SaudiArabien		95	22	Ahmed; Elmubarak	1990
Russland	98	61	2865;2756	Skalny; Demidov	2003
USA	86	50	47;30	Schroeder; Nason	1969
Großbritannien	67		261 (Schwangere)	Barlow et al.	1985
Russland		66	918	Skalny et al.	1999
Kanada		64	34;58	Takagi et al.	1986
USA		64	332	Paschal et al.	1989
Polen		62	22;24	Takagi et al.	1986
Schweiz		55	1257	Horsch; Schurgast	2006
USA	58	47	16;11	Deeming; Weber	1978
Deutschland		45	937	Krause et al.	1989
USA		36	28;27	Takagi et al.	1986
Deutschland		30	3187	Krause et al.	1996

13 Mangan

Die Lebensnotwendigkeit von Mangan für die Tierwelt wurde 1931 bei der Ratte und Maus nachgewiesen (Kemmerer et al. 1931, Orent and McCollum 1931, Waddell et al. 1931). Bei landwirtschaftlichen Nutztieren kommt es bei Kühen und ihren Kälbern auf neutralen bzw. schwach alkalischen Standorten (z. B. Muschelkalk- und Keuperstandorten, Löß) zu stiller Brunst, Fortpflanzungsstörungen und nervösen Veränderungen (Zungenschlagen). Die Verabreichung von 2 g MnSO₄/Tag beseitigte die Mangelercheinungen und erhöhte den Mangangehalt des schwarzen Deckhaares von 2,0 auf 4,3 mg/kg TM. Kühe auf Buntsandsteinverwitterungsböden speicherten 4,9 mg Mn/kg Haartrockenmasse und litten nicht an Manganmangel (Anke 1958, 1959). Meyer und Engelbertz (1960) kamen zu ähnlichen Ergebnisse, van Koetzweld (1958) schlug die Bestimmung des Manganstatus der Rinder durch deren Haar vor.

Das Mangan verschiedener Manganverbindungen wird tatsächlich schnell in das Deckhaar von der Kuh eingebaut (Abb. 15). Das Blut erhöhte seinen Manganbestand im Vergleich zum Haar nur in bescheidenem Umfang (Anke et al. 1967a, Werner und Anke 1960). Unter Manganmangelbedingungen spiegelt die Leber den Manganstatus am besten wider (Tab. 59). Das Deckhaar ist dazu gleichermaßen geeignet, wie bei Kontroll- (100 mg/kg Futtertrockenmasse) und Manganmangelziegen (2 mg/kg Futtertrockenmasse) nachgewiesen wurde (Anke 1974).

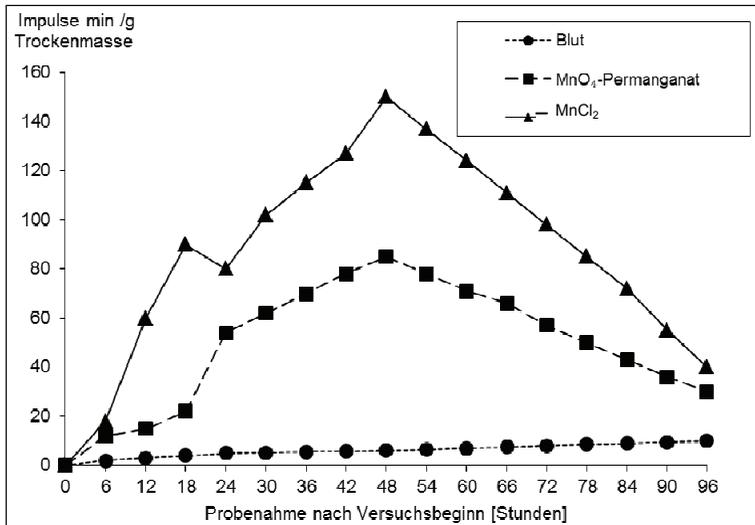


Abbildung 15: ⁵²Mn-Aktivität des Deckhaares und Blutes von Milchkühen (Anke 1967)

Tabelle 59: Das Widerspiegelungsvermögen des Manganstatus durch 17 Körperteile von 35 Kontroll- und 22 Manganmangelziegen in mg/kg Trockenmasse (Anke 1974)

Organ	Kontrolle (Ziegen)		Mn-Mangel (Ziegen)		p	% ¹⁾
	s	x	x	s		
Leber	3,3	10,1	4,1	2,1	< 0,001	41
Deckhaar	1,1	2,1	1,1	0,5	<0,001	52
Nieren	1,9	5	2,6	1,1	<0,001	52
Herzmuskel	0,9	2,2	1,2	0,8	<0,001	54
Ovar	2,3	4,6	2,6	1,5	<0,05	57
Rückenmark	1,3	2,5	1,6	0,6	< 0,01	64
Aorta	1,5	2,2	1,4	0,8	<0,05	64
Milz	1,6	3,5	2,4	0,8	< 0,01	69
Pankreas	4,3	7	5,2	2,4	> 0,05	74
Skelettmuskel	1	1,6	1,2	0,7	> 0,05	75
Großhirn	1,1	3,9	3,1	1,2	< 0,05	79
Rippe	3,6	9,7	7,9	4,1	> 0,05	81
Blutplasma	0,06	0,09	0,08	0,03	> 0,05	89
Lunge	1,2	2,3	2,1	1,6	> 0,05	91
Hoden	1,2	3	2,8	1,3	> 0,05	93
Karpalknochen	2,5	6,3	6,1	1,3	> 0,05	97

1) Kontrolltiere = 100 %; Mn-Mangel (Ziegen) = x %

Das weiße Deckhaar weiblicher Ziegen verminderte seinen Manganbestand um ~50%, der des Blutplasmas sank insignifikant um 11 % (Tab. 59).

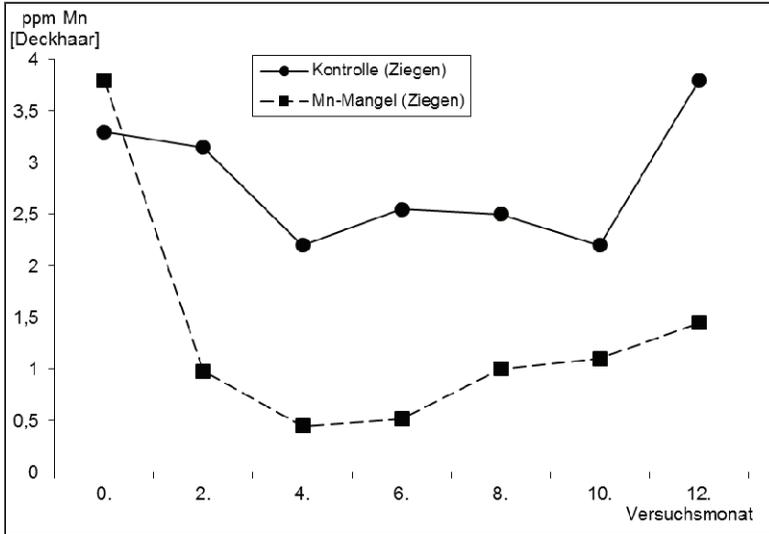


Abbildung 16: Der Mangangehalt des weißen Deckhaares der Kontroll- und Mn-Mangelziegen (< 3,0 ppm Mn) (Partschefeld und Mitarb. 1973)

Etwa 4 Wochen nach der manganarmen Ernährung reagierte das Haar auf das Mangandefizit. Die Differenz im Manganbestand zwischen den Kontrolltieren und den Manganmangelziegen blieb über Monate konstant (Abb. 16). Das gleiche Ergebnis zeigte sich auch bei männlichen Kontroll- (100 mg Mn/kg Futtertrockenmasse) und Manganmangelziegen (2 ppm) (Abb. 17).

Auch das Deckhaar neugeborener Lämmer von Kontroll- und Manganmangelziegen zeigt den intrauterinen Manganmangel, wie auch anderer Körperteile der Neugeborenen ausgezeichnet und hochsignifikant (Tab. 60).

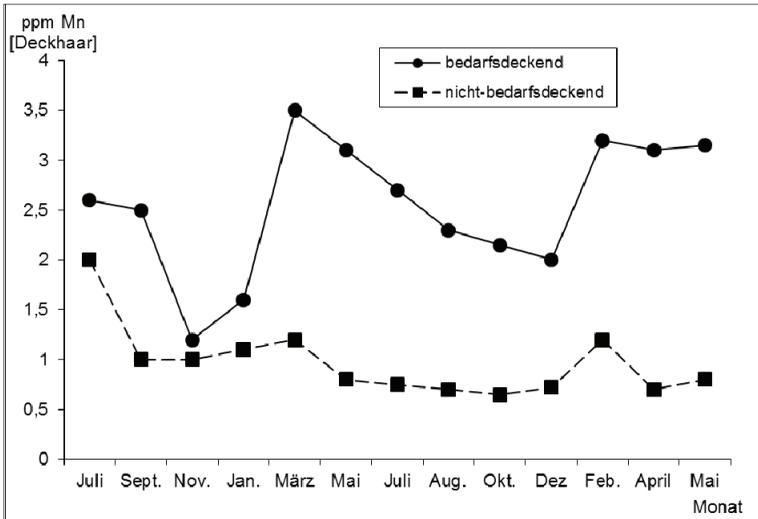


Abbildung 17: Der Mangengehalt des weißen Deckhaares männlicher Ziegen bedarfsdeckendem und nicht bedarfsdeckendem Manganangebot (Anke 1973, Anke, Risch, 1979)

Tabelle 60: Das Widerspiegelungsvermögen des Manganstatus durch 12 Körperteile von neugeborenen Lämmern in mg/kg Trockenmasse (n 14;8) (Anke, Risch, 1979)

Körperteil	Kontrolle (Lämmer)		Mn- Mangel (Lämmer)		p	% ¹⁾
	s	x	x	s		
Deckhaar	2,1	3	0,9	0,3	< 0,01	30
Milz	2,1	6	1,9	0,4	< 0,01	32
Großhirn	1,8	7,7	2,7	0,4	< 0,05	35
Nieren	3,6	6,2	2,5	1,8	< 0,01	40
Herzmuskel	1,3	2,6	1,1	0,6	< 0,01	42
Leber	8,4	15	6,4	1,6	< 0,001	43
Lunge	2,8	3,2	1,5	0,6	> 0,05	47
Skelettmuskel	1,6	2,4	1,3	0,4	> 0,05	54
Karpalknochen	5,8	9,9	6,2	1,3	> 0,05	63
Rückenmark	0,6	5,5	3,6	0,7	< 0,05	65
Rippe	3,3	10	6,9	2	< 0,05	69
Oberschenkel	5,1	12	8,4	2	< 0,05	70

1) Kontrolllämmer = 100 %; Mn-Mangel (Lämmer) = x %

Der Mangengehalt des Haares der Kuh korreliert mit dem der Leber, Nieren und des Großhirns ausgezeichnet (Tab. 61), so dass Rückschlüsse auf den Manganstatus des untersuchten Tieres möglich sind.

Tabelle 61: Der Mangangehalt verschiedener Rinderorgane in Abhängigkeit vom Mangananteil der Leber in mg/kg Trockenmasse (n 400 Kühe) (Anke und Risch 1979)

Mn-Gehalt der Leber	(n)	Leber	Deckhaar	Nieren	Großhirn
< 7,0	31	5,8	5	4,5	2,1
7,0 – 7,9	45	7,6	5,9	4,6	2
8,0 – 8,9	69	8,6	8,9	5,1	2,4
9,0 – 9,9	95	9,6	9,4	5,1	2,1
10,0 – 10,9	78	10,5	10,8	5,3	2,6
11,0 – 11,9	39	11,6	9	5,4	2,5
>11,9	43	13,5	10,1	5,3	2,7

Das Manganangebot des Mischköstlers ist weltweit mit < 2,0 mg/Tag im Wochenmittel bedarfsdeckend (normativer Bedarf 1 mg/Tag) (Anke 2004). Die Ovulaktovegetarier nehmen mit 5,5 bis 5,9 mg/Tag sogar noch wesentlich mehr Mangan auf, so dass beim Menschen mit einem Teil pflanzlicher Kost kein Manganmangel zu erwarten ist.

Der alters- und geschlechtsabhängige Mangangehalt des menschlichen Kopfhaares in Deutschland wird in Tabelle 62 dargestellt. Das Geschlecht nimmt keinen Einfluss auf den Manganbestand des Kopfhaares. Das Alter beeinflusst den Mangangehalt des Kopfhaares der Kinder unter 10 Jahren und den der > 80-jährigen.

Tabelle 62: Der Mangangehalt des Kopfhaares vom Menschen in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht in mg/kg Trockenmasse (n: 200) (Anke und Risch 1979)

Alter	Frauen		Männer		Geschlecht
	s	x	x	s	Fp
0 – 5	0,3	1,1	0,94	0,1	> 0,05
6 – 10	0,3	1	1,1	0,7	
11 – 20	0,8	1,5	1,5	0,7	
21 – 30	0,4	1	1,2	0,7	
31 – 40	0,7	1,3	1,6	0,8	
41 – 50	0,6	1	1,2	0,7	
51 – 60	0,5	1,2	1,4	0,7	
61 – 70	0,5	1,5	1,4	0,9	
71 – 80	0,6	1,3	0,92	0,4	
81 – 90	0,4	1	0,58	0,2	
Alter Fp	< 0,01				-

Eine reichliche Manganaufnahme, wie sie in verschiedenen Bereichen der metallurgischen Industrie möglich ist (Tab. 63), steigerte den Mangangehalt des Kopfhaares von 1,2 auf 16 mg/kg TM. Das Haar kann demnach auch zur Identifizierung einer Manganbelastung verwendet werden (Anke und Risch 1979).

Tabelle 63: Der Mangangehalt des Kopfhaares verschiedener Berufsgruppen (mg/kg Trockenmasse) (Anke und Risch 1979)

Arbeitsplatz	Beruf	(n)	x	s
Zinkhütte	Laugenreiniger	6	16	6,7
	Pneumatiker	6	9,9	5,7
	Schlosser, Heizwerk	5	9,6	5,3
	Schlosser	4	7,2	3,8
	Anlagenfahrer	9	4,6	1,9
	Leitung	9	2,9	1,8
Zinkverarbeitung	Schmelzer	11	4,5	2,2
	Löter	3	2,7	1,1
	Schweißer	3	1,6	0,6
	Leitung	3	1,9	0,5
Zinkverarbeitung	Sonstige Belegschaft	12	4	5,1
	Legierer	3	3,9	0,9
	Schmelzer	5	2,5	1
Kühlerbau	Belegschaft	12	1,9	0,6
Jena 0 – 70 Jahre		160	1,2	0,6

Tabelle 64: Der Mangangehalt des Kinderkopfhaares in mg/kg Trockenmasse

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland	33		7-17 Jahre		Savchenko et al.	2007
Papua-Neuguinea	15,2			7;8	Ross et al.	1985
Russland,	12,5		Neugeborene	25	Nenzen; Skalny et al.	2000
Mexiko	3,7		1-7 Jahre	23	Weber et al.	1990
Russland, Novosibirsk	2,16	1,3	7-15 Jahre	151;121	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Moskau	160			89	Skalny et al.	2000
Russland, Irkutsk	1,02	1,06	7-15 Jahre	45;48	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Ivanovci	1,02		2-6 Jahre	83	Skalny; Skalnaya;	
Russland, Grabeklis	1,13	0,89	10-14 Jahre	2212;1676	Skalny et al.	2003
Kanada	0,94		3 Monate	28	Gibson; De Wolfe	1980
Russland, Moskau	0,75	0,9	7-15 Jahre	443;402	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Ivanovci	0,81	0,77	7-15 Jahre	36;43	Skalny; Skalnaya	1999
Kanada	0,8		1 Monat	28	Gibson; De Wolfe	1980
Russland, Irkutsk	0,78		2-6 Jahre	43	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	1,02			107	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Moskau	0,64		2-10 Jahre	535	Skalny; Skalnaya	1999
USA	0,88	0,43	0-15 Jahre	267	Creason et al.	1975
Russland, Ufa	0,6			30	Skalny et al.	2000
Kanada	0,52		6 Monate	26	Gibson; De Wolfe	1980
Kanada	0,32		Neugeborene	62	Gibson; De Wolfe	1979
Kanada	0,19		Neugeborene	38	Gibson; De Wolfe	1980

Neugeborene und Vorschulkinder (Tab. 64) akkumulieren im Mittel der untersuchten Populationen zwischen 0,19 und > 20 mg Mn/kg TM im Kopfhaar. Der bei Nenzen jenseits des Polarkreises und der in Papua-Neuguinea gefundene extrem hohe Mangangehalt des Kopfhaares der Vorschul- und Schulkinder deckt sich mit der extrem hohen Mangankonzentration im Kopfhaar ihrer Eltern. Die Ursache dieses anormal hohen Manganbestandes des Kopfhaares der Ureinwohner dieser Lebensräume ist unbekannt, demonstriert aber die Eignung des Haares als Indikator des Manganstatus. Die rurale Bevölkerung Mexikos speicherte mit > 3 mg/kg TM gleichfalls eine über den Mittel liegende Manganmenge (Weber et al. 1990).

Weltweit wurde bei Erwachsenen ein Mangangehalt von 0,50 bis ~ 25 mg/kg Kopfhartrockenmasse ermittelt. Die bei den einzelnen Probandengruppen gefundenen Mittelwerte des Mangangehaltes zeigen, dass Populationen mit einem reichlichen Verzehr pflanzlicher Lebensmittel, der in Asien bei einem großen Teil der Bevölkerung gegeben ist, zwischen 2,0 und ~ 25 mg Mn/kg Trockenmasse im Haar akkumulieren (Tab. 65). In Europa und Amerika enthält das Kopfhhaar im Mittel zwischen 1 und 2 mg Mn/kg TM.

Tabelle 65: Der Mangangehalt des Kopfhhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland (Nenzen)	26,80	-	25	Skalny et al.	2000
Papua-Neuguinea	25,10	26,30	8;8	Ross et al.	1985
USA	7,30		55	Takagi et al.	1986
Indien	4,50		14	Dang et al.	1983
Indien	4,21		103	Bhat et al.	1982
Indien	3,38		243	Arunachalam et al.	1979
Kanada	3,20		92	Takagi et al.	1986
Deutschland	1,00	4,00	22;22	Anke; Schneider	1962
Russland Moskau	2,50		89	Skalny et al.	2000
Japan	2,40		457	Takagi et al.	1986
Polen	3,08	1,71	136;130	Nowak	1998
Bangladesch	2,33		92	Husain et al.	1980
Indien	2,20		255	Takagi et al.	1986
Deutschland	1,70	1,70	135;147	Anke; Schneider	1966
Lettland	1,79	1,56	87;30	Skalny; Demidov	2003
Litauen	1,74	1,03	397; 177	Skalny; Demidov	2003
Deutschland	1,20	1,21	190;90	Schneider; Anke	1981
Deutschland	1,20		160	Stein et al.	1979
Russland	1,28	0,92	2865;3756	Skalny; Demidov	2003
Ukraine	1,11	1,08	635;308	Skalny; Demidov	2003
Belorussland	1,24	0,93	194;38	Skalny; Demidov	2003
USA	1,10	1,00	21;19	Eads; Lambdin	1973
Mazedonien	1,10	0,96	281;126	Skalny; Demidov	2003
USA	1,34	0,64	197	Creason et al.	1975
Polen	0,82		46	Takagi et al.	1986
Deutschland	1,00	0,60	10;10	Schneider; Anke	1981
Kroatien	0,68	0,67	465;122	Skalny; Demidov	2003
Russland, Ufa	0,50		30	Skalny et al.	2000

Das Geschlecht beeinflusst den Mangangehalt des Kopfhaares im Mittel nicht. Das Alter nimmt auf den Mangangehalt nur einen begrenzten Einfluss. Neugeborene und > 80-jährige speichern eine Kleinigkeit weniger Mangan im Haar (Anke und Risch 1979).

14 Molybdän

Die Bedeutung des Molybdäns für das Tier erkannten Ferguson et al. 1938, als sie den „Weidedurchfall“ der Rinder bestimmter Gebiete in England mit dem hohen Molybdängehalt des Weidegrases in Verbindung brachten und die Krankheit Molybdänose nannten. Die Lebensnotwendigkeit des Molybdäns entdeckten de Renzo et al. (1953) und Richert und Westerfeld (1953), als sie Molybdän in der Xanthindehydrogenase nachwiesen. Inzwischen wurde Molybdän auch in der Sulfitoxidase, der Aldehydoxidase und in anderen Enzymen ermittelt (Anke 2004). Bei einem Molybdängehalt von 24 µg/kg Futtertrockensubstanz wuchsen Ziegen und ihre Lämmer signifikant weniger, ihre Reproduktionsleistung verminderte sich und ihre Lebenserwartung sank im Vergleich zu Kontrollziegen mit 500 µg Mo/kg Futtertrockenmasse (Anke et al. 1977, 1985).

Der Molybdänbedarf des erwachsenen Menschen wird durch 25 µg Mo/Tag im Wochenmittel befriedigt (Anke 2007). Diese Molybdänmenge wird weltweit durch die Lebensmittel und Getränke geliefert, so dass abgesehen von parenteraler Ernährung ohne Molybdänergänzungen (Abumrad et al. 1981) und Gendefekten (Anke 2007) kein Molybdänmangel in der Praxis bei Tier und Mensch vorkommt (Seifert, M., Dorn, W. et al. 2009).

Das Molybdän wird rasch und umfangreich in das Haar bzw. Gefieder eingebaut. Beide Körperteile nehmen intensiv am Molybdänstoffwechsel teil und spiegeln den Molybdänstatus von Tier und Mensch wider (Tab. 66). Milz, Leber, Milch, Nieren, Großhirn und Muskel zeigen die Molybdänverarmung gleichermaßen signifikant (Anke, M. et al. 2010).

Tabelle 66: Die Widerspiegelung des Molybdänmangels durch verschiedene Organe erwachsener weiblicher Ziegen ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse) (Kontrolltiere 533 μg Mo/kg Futtertrockenmasse; Molybdänmangeltiere 24 μg Mo/kg Futtertrockenmasse) (Anke et al. 1985)

Organ (n;n)	Kontrolltiere		Mo-Mangeltiere		p	%
	s	x	x	s		
Milz (33;20)	289	551	190	166	< 0,001	34
Leber (35;16)	782	1211	432	408	< 0,001	36
Reife Milch (76;48)	70	116	51	34	< 0,001	44
Nieren (33;21)	436	901	404	183	< 0,001	45
Lunge (26;21)	350	628	302	163	< 0,001	48
Großhirn (12;5)	109	220	109	55	< 0,05	50
Skelettmuskel (31;21)	51	66	34	19	< 0,01	52
Weißes Deckhaar (56;44)	65	69	36	23	< 0,01	52
Herzmuskel (11;5)	135	236	131	45	> 0,05	56

Sowohl die verschiedenen Haararten des Tieres (Schopf-, Schwanz- Mähnenhaar) als auch das Scham- und Barthaar nehmen am Molybdänstoffwechsel teil (Anke 1965, 1966a, 1966b, Anke et al. 1981 a, b, Werner und Anke 1960, Anke und Schneider 1966). ^{99}Mo wird in das Deckhaar der Ziege (Abb. 18) und Kuh (Abb. 19) eingebaut, wobei das Molybdän umfangreicher als die meisten anderen Mengen- und Spurenelemente (Ca, Mg, P, Na, Mn, Cu, Zn, Fe, Co) inkorporiert wird. Auch in das Gefieder (Daunen) des Huhnes wird das Molybdän ein- und wieder ausgebaut (Abb. 20). Der Ein- und Ausbau aus dem Gefieder erfolgt besonders rasch innerhalb weniger Stunden, während der Einbau in das Ovar kontinuierlich erfolgt und die Exkretion über das Ei geschieht.

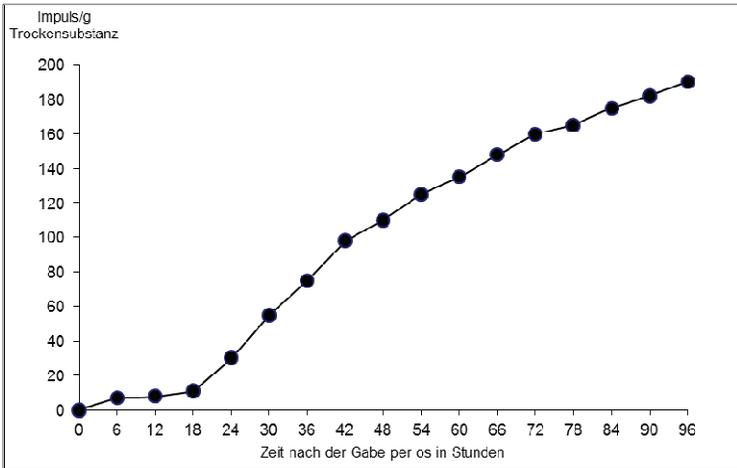


Abbildung 18: Der Einbau des ^{99}Mo in das Ziegendeckhaar nach einer einmaligen oralen Gabe (Anke et al. 1971)

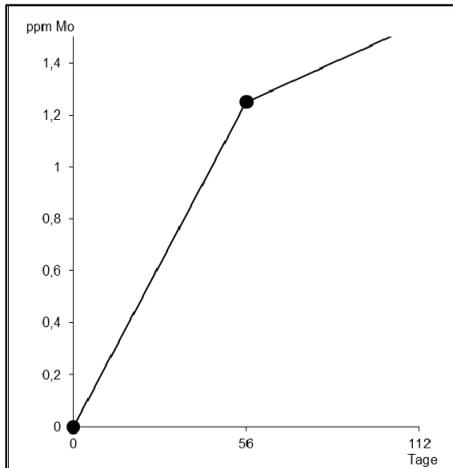


Abbildung 19: Die Veränderung des Molybdängehaltes im Rinderdeckhaar unter dem Einfluss verschiedener Mengen- und Spurenelementgaben (Anke 1966a)

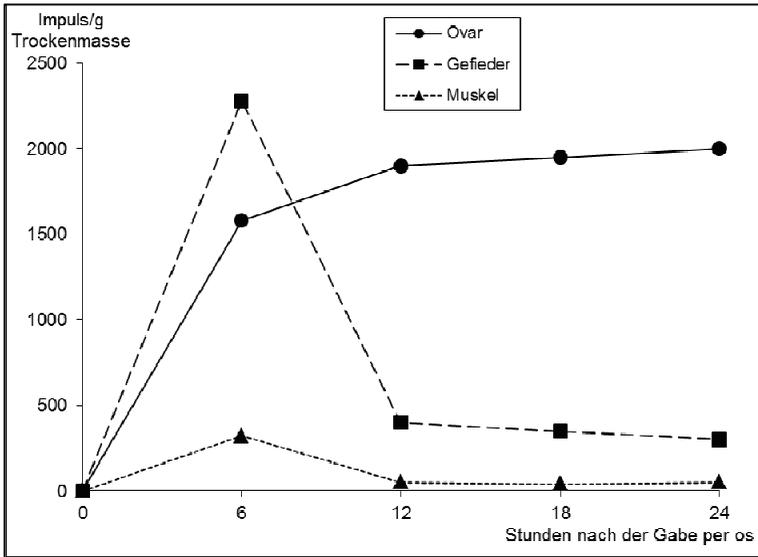


Abbildung 20: Der Einbau des ⁹⁹Mo in das Gefieder, Ovar und die Skelettmuskulatur des Huhnes nach einer einmaligen oralen ⁹⁹Mo-Gabe (Anke und Mitarb. 1971)

Eine Molybdänbelastung von Tier und Mensch auf natürlicherweise molybdänreiche Standorte (z. B. Granitverwitterungsböden) (Anke 1967a) und Molybdänemission bei der Benzinsynthese aus Kohle, können mit der Haaranalyse ermittelt werden (Tab. 67).

Tabelle 67: Der Molybdängehalt des pigmentierten Deck- und Schopphaares (mg/kg Trockenmasse) (Anke et al., 1981)

Parameter (n)	Deckhaar		Schopphaar
	Anfang	Ende	Ende
Grundfutter ohne Mo-Düngung, (27)	70	200	190
Grundfutter Mo-gedüngt, (26)	80	410	250
Grundfutter ohne Mo + 1 bzw. 2 g Mo/Tag, (15)	70	12150	9060
Vervielfältigung, Mo-gedüngt	-	2,1	1,3
Prozent, 1 bzw. 2 g Mo/Tag	-	61	48

Mit Hilfe des Haartestes kann die Molybdänbelastung der verschiedenen Lebensräume sicher erfasst werden (Graupe 1965).

Der Molybdängehalt des menschlichen Kopfhaares ist erstaunlich selten bestimmt worden (Tab. 68). Sein Molybdängehalt ist mit $< 600 \mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse im Mittel niedrig. Er schwankt in der Regel nur zwischen 100 und $200 \mu\text{g}/\text{kg}$ und ist nicht geschlechtsabhängig. Der Molybdänanteil wird durch den Pigmentierungsgrad variiert. Diese Aussage gilt für Tier und Mensch.

Tabelle 68: Der Molybdängehalt des Kopfhaares (mg/kg Trockenmasse) (Graupe, 1965)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland	0,1	0,6	29,42	Nenzen, Savchenko et al.	2000
Deutschland	0,16	0,15	22,22	Anke; Schneider	1962
Deutschland, Leipzig	0,12	0,12	135,147	Anke, Schneider	1966
Ägypten	0,11		65	Kasperek et al.	1982
Schweiz	0,06		1257	Horsch; Schurgast	2006

Schwarze Wolle des Karakulschafes akkumulierte im Mittel $150 \mu\text{g Mo}/\text{kg}$ Trockenmasse, weiße Wolle speicherte nur $40 \mu\text{g Mo}/\text{kg TM}$ (Tab. 69). Der Pigmentierungsgrad der Wolle beeinflusst seinen Molybdänbestand signifikant. Diese Aussage gilt auch für das schwarze und gelbe Deckhaar des Rindes, die das gleiche Futter bekamen, aber im schwarzen Deckhaar des Schwarzbunten Niederungsviehes signifikant mehr Molybdän speicherten als das gelbe Deckhaar der Simmentaler Rinder.

Tabelle 69: Der Molybdängehalt der Wolle 15 – 20 Tage alter Karakullämmer (mg/kg Trockenmasse) (Anke und Risch 1979)

Wolffärbung	(n)	x	s
Schwarz	45	0,15	0,01
Mausfarben, dunkelgold	15	0,1	0,01
Mausfarben, mittelgold	15	0,09	0,01
Dunkelgrau	15	0,14	0,01
Mittelgrau	15	0,13	0,01
Mausfarben, mittelsilbern	15	0,11	0,01
Mausfarben, hellsilbern	10	0,09	0,01
Dunkelbraun	15	0,07	0,004
Hellgrau	10	0,08	0,02
Hellbraun	15	0,06	0,01
Rosa	25	0,06	0,003
Weiß	25	0,04	0,002

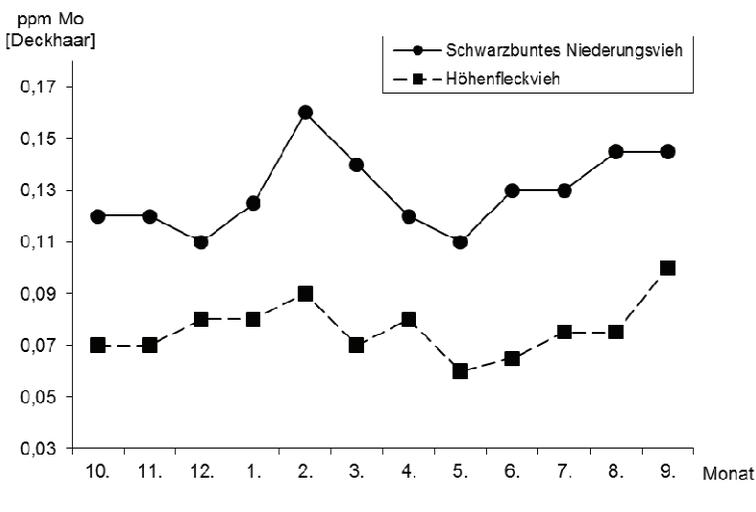


Abbildung 21: Der Molybdängehalt des pigmentierten Rinderdeckhaares (Anke 1965b)

Das Kopfhaar des Menschen reagiert hinsichtlich der Pigmentierung ähnlich dem Haar, der Borste, der Wolle und des Gefieders. Das schwarze Kopfhaar speicherte ebenso wie das rote Kopfhaar am meisten Molybdän. Blondes, graues und weißes Haupthaar enthielt im Mittel weniger Molybdän (Tab. 70).

Tabelle 70: Der Molybdängehalt des menschlichen Kopfhaares in Abhängigkeit von der Haarfarbe in mg/kg Trockenmasse (Anke und Schneider 1966)

Parameter	Haarfarbe					
	schwarz (n: 48)	rot (n: 4)	dunkelblond (n: 118)	blond (n: 64)	grau (n: 38)	weiß (n: 7)
x	0,14	0,17	0,13	0,13	0,11	0,1
s	0,08	0,11	0,08	0,08	0,06	0,04

Das Alter des Menschen nimmt auf den Molybdängehalt keinen signifikanten Einfluss (Tab. 71).

Tabelle 71: Der Molybdängehalt des menschlichen Kopfhaares in Abhängigkeit vom Alter in ppm (n: 282) (Anke und Schneider 1966)

Parameter	Alter in Jahren								p
	5	15	25	35	45	55	65	75	
x	0,14	0,1	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	> 0,05
s	0,09	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,06	

Der Molybdänstatus wird durch das Haar gut angezeigt.

15 Natrium

Natrium ist ein essentieller Nährstoff für alle Arten der Fauna. Die landwirtschaftlich genutzten Tierarten und das einheimische Wild benötigen 1 bis 2 g Na/kg Futtertrockenmasse für ein optimales Wachstum und eine normale Produktivität. Die meisten Pflanzenarten sind natriumarm, sodass eine Nahrungsergänzung in vielen Fällen notwendig ist (Anke 1979).

Erwachsene Mischköstler und Vegetarier in Deutschland und Mexiko verzehren in Abhängigkeit vom Geschlecht 2450 bzw. 3160 mg Natrium am Tag, das sind etwa 6 bzw. 8 g NaCl. Der tatsächliche Natriumbedarf des Erwachsenen ist wesentlich niedriger als die aufgenommene Natriummenge. Frauen benötigen <1300 mg Na/Tag (<3,3 g NaCl/Tag), Männer <1600 mg Na/Tag (<4,0 g NaCl/Tag) (Anke 2004). Der bisher in Deutschland angenommene NaCl-Verzehr war viel zu hoch kalkuliert. Das Natrium der Nahrung wird zu 98 – 100 % absorbiert, sodass die renale Natriumausscheidung 93 bis 99 % der Natriumaufnahme umfasst. Über die Milch der Frau verlassen etwa 4 % den Körper. Der Natriumbestand des Harns ist ein vorzüglicher Indikator des Natriumstatus des Menschen (Anke 2004).

Der Natriumgehalt des Haares wird durch die nutritive Natriumaufnahme variiert, wobei der Natriumgehalt des Urins das augenblickliche Natriumangebot besser reflektiert als das Haar. Kühe mit 8,0 g Na im Tagesfutter und solche mit 37,5 g Na in der Tagesration steigern ihren Natriumgehalt im schwarzen Deckhaar innerhalb von 112 Tagen um 155 mg/kg TM, während der Natriumbestand des Deckhaares der Kontrollkühe ohne Natriumergänzung um 208 mg/kg TM sank. Die Zufütterung vom 75 g NaCl = 29,5 g Na führte zu einem Anstieg der Natriumkonzentration des Deckhaares um 155 mg/kg TM (Abb. 22) (Anke 1966).

Schellner et al. (1971) kam bei Rindern und Ziegen zu ganz ähnlichen Veränderungen im Natriumbestand des Deckhaares: Ziegen mit 1,74 g Na/kg Futtertrockenmasse und 0,31 g Na/kg Futtertrockenmasse entwickelten während 9 monatiger Verabreichung dieser Ration nur begrenzte Unterschiede im Natriumbestand ihres Haares (Schellner 1969). Das Haar spiegelt den Natriumstatus mit beträchtlichem Abstand zur Natriumversorgung wider. Der Natrium-

gehalt des Urins reflektiert die gegenwärtige Natriumversorgung besser als das Haar.

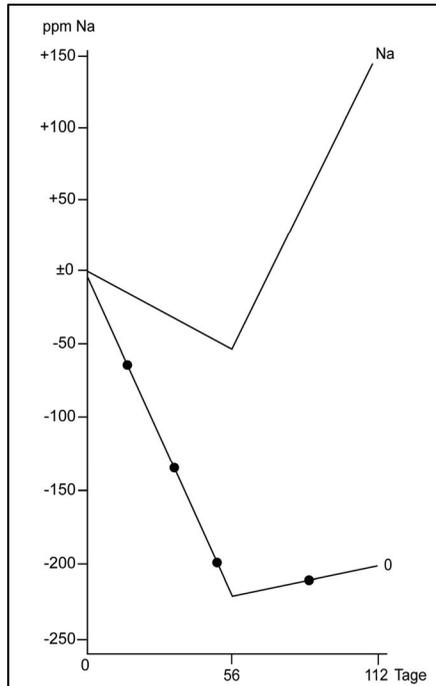


Abb. 22: Die Veränderung des Natriumgehaltes der Kühe im Deckhaar unter dem Einfluss verschiedener Mineralstoffgaben (Anke, 1966)

Tabelle 72: Der Einfluss des Natriumgehaltes im Futter auf den Natriumgehalt des weißen Deckhaares der Ziege (n 6;6) (mg/kg Trockenmasse) (Schellner et al., 1971)

Parameter		15.07.	15.10.	15.01.	15.04.	Prozent
Ziegen (Kontrolle)	1,74 g Na/kg TM	313 ± 314	252 ± 66	418 ± 168	353 ± 110	113
Natrium-ergänzungsgruppe	0,31g Na/kg TM	437 ± 168	180 ± 36	366 ± 99	238 ± 78	54
Prozent, Ziegen (Kontrolle)	100%	140	71	88	67	-

Das Kopfhhaar von Mädchen und Jungen (Tab. 73) unterscheidet sich im Natriumgehalt signifikant. Das Haar der Mädchen enthält im Mittel der hier bearbeiteten Testpopulationen ~ 330 mg Na/kg TM, das der Jungen speichert 780 mg Na/kg TM und damit fast die 2,5fache Natriummenge. Das Kopfhhaar Erwachsener folgt der gleichen Regel.

Tabelle 73: Der Natriumgehalt des Kopfhhaares der Kinder (mg/kg Trockenmasse)

Land	Region	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland	Moskau	473	1128	10 – 14 Jahre	43;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland		767		Vorschulkinder	222	Lobanova et al.	2003
Russland		755		4 – 10 Jahre	2181	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	Tula	491	1002	10 – 14 Jahre	59;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	Moskau	732		4 – 10 Jahre	1185	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	Moskau	687		2 – 6 Jahre	2806	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	Petersburg	241	771	10 – 14 Jahre	57;36	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	Novosibirsk	252	648	10 – 14 Jahre	304;251	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	Irkutsk	240	597	10 – 14 Jahre	38;42	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	Moskau	271	536	10 – 14 Jahre	913;708	Grabeklis; Skalny	2003
Mazedonien	Veles	342		4 – 10 Jahre	59	Skalny; Skalnaya	2003
Mazedonien	Ivancovci	196		4 – 10 Jahre	10	Skalny; Skalnaya	2003

Frauenhaar inkorporierte im Mittel 284 mg Na/kg TM. Männerhaar akkumulierte 542 mg Na/kg TM (Tab. 74). Das ist die doppelte Natriummenge, die im Frauenhaar vorkommt. Die Zusammenfassung des Natriumgehaltes beider Geschlechter, wie in vielen Fällen geschehen, verbietet sich.

Das Alter (Kinder, Erwachsene) nimmt gleichermaßen Einfluss auf den Natriumgehalt des Kopfhhaares (Tab. 73, 74). Das Kinderkopfhhaar enthielt im Mittel der hier ausgewerteten Populationen ~ 550 mg Na/kg TM, das der Erwachsenen speicherte im Mittel aller hier aufgelisteter Testpopulationen, die zwischen Frauen- und Männerhaar unterschieden, 302 bzw. 493 mg Na/kg TM. Das sind 8 bzw. 38 % weniger Natrium als in Jungenhaar gefunden wurde. Die Kopfhhaarproben, bei denen nicht zwischen Frau und Mann differenziert wurde, enthielten mit 16 bis 96 mg Na/kg TM extrem wenig Natrium. Sie stammen vorrangig aus Indien, USA und Kanada. Die Ursachen ihres abweichenden Natriumgehaltes sind unbekannt. Das Kopfhhaar Erwachsener aus Europa und Japan speicherte > 100 mg Na/kg Kopfhhaar.

Die Farbe des Haares nimmt keinerlei Einfluss auf den Natriumgehalt des Deckhaares beim Tier, schwarzes und weißes Deckhaar speichern nahezu die gleiche Natriummenge (Anke 1965b). Auch schwarzes und braunes, rotes bzw. gelbes Deckhaar der Rinder enthält nahezu gleiche Natriummengen, mit dem Trend, dass das weniger pigmentierte Deckhaar der Rinder nahezu gleiche Natriummengen enthält, mit dem Trend, dass das weniger pigmentierte Deckhaar der Simmentaler Rinder weniger Natrium speichert (Abb. 23).

Tabelle 74: Der Natriumgehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland	606	-	25	Skalny; Skalnaya	2003
Kroatien	506	674	456;122	Skalny; Demidov	2003
Ukraine	427	629	635;308	Skalny; Demidov	2003
Russland	-	528	918	Skalny et al.	1999
Belorussland	313	645	194;58	Skalny; Demidov	2003
Mazedonien	271	571	281;126	Skalny; Demidov	2003
Lettland	215	516	87;30	Skalny; Demidov	2003
Russland	217	508	2865;2756	Skalny; Demidov	2003
Deutschland	248	464	22;22	Anke; Schneider	1962
Litauen	243	365	392;177	Skalny; Demidov	2003
Polen	235	251	132;112	Nowak	1998
Deutschland	162	271	135;147	Anke; Schneider	1966
Russland	182	-	59	Tkachev; Skalny	2002
Japan	153		229;228	Takagi et al.	1986
Indien	96		104	Bhat et al.	1982
Kanada	33		34;58	Takagi et al..	1986
U.S.A	32		28;27	Takagi et al.	1986
Indien	31		260	Arunachalam et al.	1979
Indien	17		155;100	Takagi et al.	1986
Kanada	16		42	Ryan et al.	1978

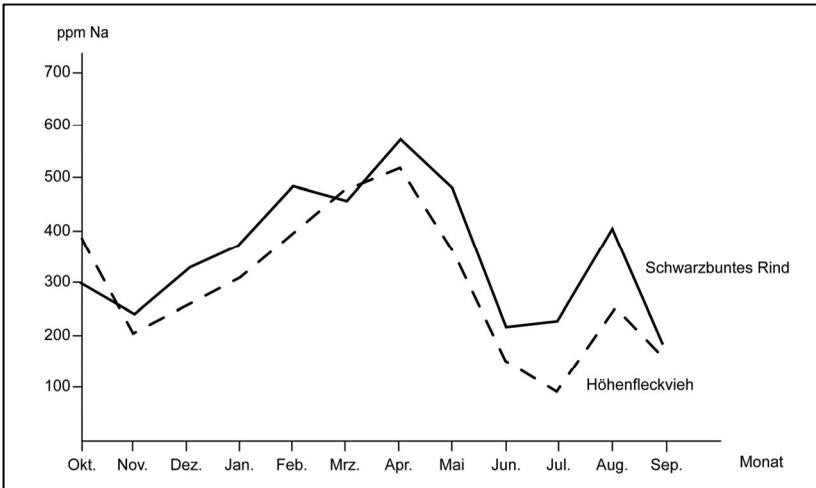


Abb. 23: Der Natriumgehalt des pigmentierten Rinderdeckhaares (Kosla, 1988)

Die Farbe des menschlichen Kopfhaares nimmt auf seinen Natriumbestand keinen statistisch gesicherten Einfluss (Anke und Schneider 1966).

Die Haarart (Schopf-, Mähne-, Schwanzhaar), die nicht periodisch, sondern kontinuierlich gewechselt werden und das periodisch gewechselte Deckhaar unterscheiden sich im Natriumgehalt nur insignifikant (Anke 1965b, Kosla 1988). Das Schamhaar des Menschen speichert die gleichen Natriummengen wie das Kopfhaar (Anke und Schneider 1966).

16 Nickel

Die Lebensnotwendigkeit des Nickels für die Fauna wurde mit semisynthetischen Rationen bei Ziegen, Zwergschweinen, Ratten und Hühnerküken ermittelt (Anke 1973, Anke et al. 1973, Nielsen et al. 1973, Sunderman et al. 1972, Schnegg und Kirchgessner 1975). Seine Toxizität für landwirtschaftliche Nutztiere wurde etwa zur gleichen Zeit mitgeteilt (O'Dell et al. 1970, a, b). Die Kanzerogenität des Nickels beim Menschen beschrieb schon Baader (1937). Die Toxizität des Nickels beruht auf Interaktionen des Nickels mit zweiwertigen Ionen (Zn, Mg, Mn) und dem Auftreten der Nickelallergie bei nickelsensitiven Frauen. Außerdem wird das „chronische Ermüdungssyndrom“ in Verbindung mit nickelhypersensitiven Personen gebracht (Marcusson et al. 1999, von Baehr und von Baehr 2003; Müller, R. et al. 2008).

Der normative Nickelbedarf Erwachsener wird durch 25-35 µg/Tag befriedigt. Weltweit deckt die Nahrung diesen Nickelbedarf, so dass kein Nickelmangel beim Menschen zu erwarten ist, wohl aber Nickelbelastungen.

Haare und Gefieder spiegeln den Nickelstatus sowohl im Mangel als auch im Überschuss sehr gut wider (Tab. 75). Nickelmangelversuche mit <100 µg Ni/kg Futtertrockenmasse und 5000 µg Ni/kg Futtertrockenmasse bei den Kontrolltieren zeigte, dass das Skelett vertreten durch Rippen und Karpalknochen den Nickelmangel am besten widerspiegelt (Verminderung des Nickelbestandes auf 20%). Das Deckhaar verminderte seinen Nickelgehalt auf etwa ein Drittel und zeigte auch das Nickeldefizit signifikant. Neben dem Skelett ist das Haar ein sicherer Indikator des Nickelstatus im Mangel.

Tabelle 75: Das Widerspiegelungsvermögen des Nickelstatus durch verschiedene Organe der Ziege ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse) (Groppel et al., 1984)

Körperteil	(n;n)	Kontrolle		Ni-Mangel		p	%
		s	x	x	s		
Karpalknochen	29;29	778	876	158	128	<0,001	18
Rippe	24;28	438	611	174	112	<0,001	28
Deckhaar	29;14	361	756	255	128	<0,001	34
Leber	24;33	560	604	281	163	<0,01	34
Uterus	10;11	672	985	357	215	<0,01	36
Niere	10;32	645	684	254	158	<0,001	37
Großhirn	26;28	540	654	312	165	<0,01	48
Herz	25;36	347	399	197	130	<0,01	49
Kolostralmilch	62;47	166	233	140	105	<0,01	60
Lunge	23;31	436	464	283	191	<0,001	61
Skelettmuskel	27;28	205	344	218	128	<0,05	64
Milz	27;30	294	427	277	121	<0,05	65
Pankreas	16;17	816	845	575	440	>0,05	68
Reife Milch	115;78	132	233	189	101	<0,001	81

Eine Nickelbelastung wird durch das Deckhaar besonders gut widerspiegelt. Wachsende Rinder mit 50 und 100 mg Ni/kg Futtertrockenmasse vervierzehnfachten den Nickelbestand des Deckhaares, während sich der der Nieren versiebenfachte und der des Blutsersums versechsfachte (Tab.76).

Tabelle 76: Der Einfluss steigender Nickelgaben auf den Nickelgehalt verschiedener Organe wachsenden Rindes ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse) (Groppel et al. 1984)

Organ		Ni-Zulage mg/kg Futter			KGD	%
		ohne	50	100		
Pigmentiertes Deckhaar	x	508	2155	6973	4314	1373
	s	159	1295	5156		
Nieren	x	173	416	1216	291	703
	s	32	112	324		
Blutserum $\mu\text{g}/\text{l}$	x	14	51	85	29	607
	s	4,9	3	32		
Leber	x	117	199	479	88	409
	s	36	60	72		
Rippen	x	301	392	512	183	170
	s	65	152	140		
Großhirn	x	258	181	287	-	111
	s	33	45	190		

Auch Schwein, Hühnerküken und Hennen reagierten auf Nickelgaben von 125 bis 1000 mg Ni/kg Futtertrockenmasse mit einem signifikant erhöhten Nickelbestand in ihren Borsten bzw. Daunenfedern (Tab.77).

Tabelle 77: Das Widerspiegelungsvermögen steigender Nickelgaben auf den Nickelgehalt von Borsten und Daunen (in mg/kg Trockenmasse; n: 90) (Groppel et al., 1984)

Art	Ni-Zulage mg/kg Futter					KGD _{0,05}	Vervielfachung
	0	125	250	500	1000		
Schwein	0,8 ± 0,3	4,1 ± 0,9	6,8 ± 2,0	27 ± 11	46 ± 16	15	58
Broiler	0,4 ± 0,1	3,3 ± 1,5	5,2 ± 2,6	14 ± 3,6	30 ± 24	19	75
Huhn	1,0 ± 0,7	3,4 ± 3,8	3,2 ± 1,0	5,2 ± 2,6	8,7 ± 4,9	5,2	9

Die wachsenden Ferkel und Küken reagierten auf die Nickelbelastung besonders intensiv und vervielfachten ihren Nickelanteil erheblich umfangreicher als das Legehuhn, welche ihren Nickelanteil nach der Gabe von 1g Ni/kg Futtertrockenmasse in den Daunen nur verneunfachen. Setzt man das Anzeigevermögen des Haares bzw. der Daunen gleich 1000, dann ist ihre Anzeigevermögen des Nickelstatus besser als das der Nieren, Leber, der Rippen und des Großhirns, die nur 55 bis 17% des der Körperanhänge erreicht (Tab. 78)

Tabelle 78: Das relative Widerspiegelungsvermögen einer Nickelbelastung durch verschiedene Körperteile (%) (Groppe et al. 1984)

Organe	Schwein	Broiler	Henne	Rind	%
Borsten, Daunen, Haar	100	100	100	100	100
Nieren	60	29	82	52	56
Leber	12	18	121	32	54
Rippe	4,5	16	45	17	22
Großhirn	4,5	15	38	9,5	17

Der Nickelgehalt des Kopfhaares Erwachsener variiert unter Einbeziehung aller ausgewerteten Nickelkonzentrationen in den untersuchten Populationen zwischen 250 und 4000 µg Ni/kg Kopfhaaertrockenmasse (Tab. 79). Ein Nickelgehalt von >2000 mg/kg Kopfhaaertrockenmasse kann durch veraltete Methoden bei der Bestimmung oder andere jetzt nicht mehr zu ermittelnden Bedingungen verursacht sein, deshalb sollten die ersten zwei Arbeiten von Schroeder et al. (1969) und Eads und Lambdin (1973) in die Mittelberechnung nicht einbezogen werden.

Tabelle 79: Der Nickelgehalt des Kopfhaares erwachsener Mischköstler ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
USA	3960	970	25;79	Schroeder et al	1969
USA	3400	1900	21;19	Eads; Lambdin	1973
Japan	2700		457	Takagi et al	1986
Bangladesh	1250		30	Husain et al	1980
Mazedonien	1100	230	281	Skalny; Demidov	2003
USA	1010		55	Takagi et al	1986
Ukraine	790	770	635	Skalny; Demidov	2003
Polen	790	700	136;130	Nowak	1998
USA	740		194	Creason et al	1975
Lettland	620	450	87	Skalny; Demidov	2003
Russland	550		25	Skalnaya; Semikopenko	2003
Belorussland	540	760	194	Skalny; Demidov	2003
Russland	540	610	2865	Skalny; Demidov	2003
Polen	520		46	Takagi et al	1986
Kroatien	506	740	456	Skalny; Demidov	2003
Litauen	450	520	392	Skalny; Demidov	2003
Indien	350		255	Takagi et al	1986
Deutschland	300	372	26;37	Anke et al	2003
Kanada	260		92	Takagi et al	1986
Schweiz	200		1257	Horsch; Schurgast	2006

Das Geschlecht beeinflusst den Nickelbestand sowohl Erwachsener als auch der Kinder signifikant (Tab.79 und 80). Jungen und Männer speicherten im Mittel aller ausgewerteten Populationen $\sim 10\%$ weniger Nickel als Mädchen und Frauen. Ein unter dem Aspekt der Nickelallergie außerordentlich interessantes Ergebnis. An der Nickelallergie leiden hauptsächlich Frauen. Das Alter beeinflusste den Nickelgehalt des Haares nicht. Das Kopfhaar der Kinder enthielt im Mittel den gleichen Nickelbestand wie das der Senioren (Tab.80). Wiederum schwankten die Mittelwerte der untersuchten Populationen zwischen 200 und 2000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM.

Tabelle 80: Der Nickelgehalt des Kopfhaares von Kindern ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland, Nenzen	2000	2200	7-17 Jahre	26;41	Savchenko et al	2000
Russland, Tula	1221	556	10-14 Jahre	59;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	1112	930	7-15 Jahre	2173;1857	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	624	461	10-14 Jahre	2212;1676	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Novosibirsk	599	353	10-14 Jahre	304;251	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	510		Vorschulkinder	222	Lobanova et al	2003
USA	510		0-15 Jahre	265	Creason et al	1975
Russland, St. Petersburg	501	360	10-14 Jahre	57;36	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	497	431	10-14 Jahre	708;913	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau Region	436	1004	10-14 Jahre	40;43	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Irkutsk	341	371	10-14 Jahre	38;42	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Irkutsk	310	310	7-15 Jahre	455;48	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	340	310	7-15 Jahre	443;402	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	290	200	7-15 Jahre	151;121	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	200	260	7-15 Jahre	36;43	Skalny; Skalnaya	1999

Schulkinder der Nenzen am Polarkreis Russlands speicherten mit 2000 bzw. 2200 μg Ni/kg TM wiederum besonders viel Ni. Als Normalwert des Ni können 300 bis 600 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM im Kopfhaar der Kinder gelten. Der Nickelgehalt des Kopfhaares ist im Vergleich zu anderen Körperteilen des Menschen bescheiden. Skeletteile speichern im Mittel die vier- bis fünffache Nickelmenge (Tab. 81).

Tabelle 81: Der Nickelgehalt verschiedener Körperteile von Frau und Mann ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse)(n: 991)(Anke und Seifert 2005)

Organ (n;n)	Frauen		Männer		p	% ¹⁾
	s	x	x	s		
Rippe (109;128)	1343	1796	1262	792	<0,001	70
Kleinhirn (12;28)	325	643	618	352	>0,05	96
Nieren (109;127)	372	639	609	423	>0,05	95
Leber (104;125)	412	626	571	440	>0,05	91
Schilddrüse (8;11)	456	595	635	336	>0,05	107
Lunge (14;27)	231	485	555	288	>0,05	114
Hoden (---;18)	---	---	549	491	---	---
Großhirn (16;31)	192	402	371	169	>0,05	92
Kopfhaar (26;37)	188	300	372	220	>0,05	124
Prostata (---;18)	---	---	320	164	---	---
Pankreas (10;20)	134	284	300	223	>0,05	106

1) Frauen = 100%; Männer x%

Das Kopfhaar ist in der Lage, erhebliche Nickelmengen zu akkumulieren. Es kann die hundertfache Nickelmenge des Normalgehaltes inkorporieren, wie bei Beschäftigten einer Nickelhütte registriert (Tab. 82).

Tabelle 82: Der Nickelgehalt von Fäzes, Urin und Kopfhaar bei Beschäftigten einer Nickelhütte (Anke und Seifert 2005)

Parameter	Kontrollpersonen	Nickelhütte			p	Vervielfachung		
		Verwaltung	Bäderwart/Schlossler	Schmelzer		Verwaltung	Bäderwart/Schlossler	Schmelzer
Fäzes mg/kg TM	3,3	9	28	63	<0,001	2,7	8,5	19
Urin $\mu\text{g}/\text{l}$	8,2	58	92	99	>0,05	7,1	11	12
Kopfhaar $\mu\text{g}/\text{kg}$	1300	12000	36000	132000	<0,001	9,2	28	102

Der Urin konnte seinen Nickelgehalt nur um die 12fache Menge erhöhen. Das Haar ist in der Lage als Indikatorsubstanz des Nickelstatus zu dienen.

17 Phosphor

Phosphor repräsentiert das 6st häufigste Element im Körper der Wirbeltiere und des Menschen und ist an nahezu allen Stoffwechselfvorgängen beteiligt. Im Körper repräsentiert es eine strukturelle Komponente des Knochens im kristallinen Hydroxyapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ und der organischen Matrix während der Mineralisation. Aufgrund dieser Gegebenheit verursacht ein Phosphormangel Rachitis bei wachsenden Wirbeltieren und Jugendlichen und Osteomalazie bei Erwachsenen. Im Weichgewebe spielt der Phosphor als Bestandteil von Phospholipiden, DNA, RNA, Nukleotiden und Enzymkofaktoren eine dominierende Rolle. Der Phosphorbedarf des Tieres von 2 bis 8 g/kg Futtertrockenmasse wird häufig nicht befriedigt, sodass Phosphormangel ohne Phosphorergänzung auftritt (McDowell 2003). Die Phosphoraufnahme von Frau (806 ± 307 mg/Tag) und Mann (1058 ± 393 mg/Tag) der Mischkötler übersteigt den normativen Bedarf beider Geschlechter von 400 bzw. 500 mg/Tag und der empfohlenen Phosphoraufnahme von 700 mg/Tag erheblich (Anke 2004c).

Der ^{32}P Phosphor wird nach der Absorption im Intestinum oder nach Injektion innerhalb 24 Stunden rasch in die Wolle des Schafes eingebaut und erreicht nach 24 bis 48 Stunden seine umfangreichste Inkorporation (Abb.24).

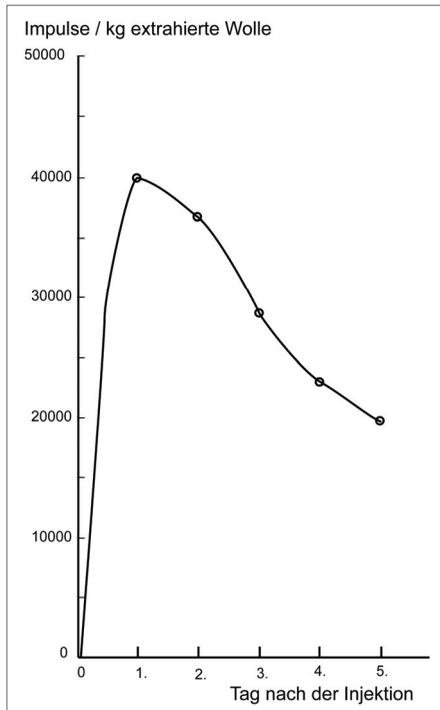


Abb. 24. Die mittlere ^{32}P -Aktivität der Wolle nach intravenöser ^{32}P -Injektion (Anke et al., 1971, 2004)

Anschließend überwog der Wiederausbau des ^{32}P . Der Ein- und Ausbau des ^{32}P erfolgt ohne Beteiligung des durch die Talgdrüsen produzierten und das Haar umhüllenden Fettes (Anke et al., 1971).

Das Deckhaar der Ziege zeigt das Phosphordefizit der Tiere mit 2,0 g P/kg Rationstrockenmasse nur im Trend im Vergleich zu den Kontrollziegen mit 4,0 g P/kg (Tab. 83). Die Verminderung des Phosphorbestandes im weißen Deckhaar erreicht nur 11 % und bleibt insignifikant. Die Eignung des Deckhaares bzw. der Wolle als Indikator des Phosphorstatus wird sehr unterschiedlich beurteilt. Das Skelett ist ein geeigneterer Indikator des Phosphorstatus, obwohl er seinen Phosphorbestand nur um 29 % verminderte.

Tabelle 83: Der Einfluss des Phosphormangels auf den Phosphorstatus verschiedener Körperteile und des Gemelkes der Ziege in g/kg Trockenmasse (Anke et al., 2004)

Gewebe	(n;n)	Kontrolle (Ziegen)		P-Mangel (Ziegen)		p	%
		s	x	x	s		
Karpalknochen	6;17	25	99	70	20	<0,001	71
Rippe	8;15	9,1	99	88	13	<0,05	89
Blutserum mg/l	14;18	30	89	79	28	>0,05	89
Deckhaar	18;50	0,09	0,27	0,24	0,08	>0,05	89
Leber	10;18	1,6	11	10	2,8	>0,05	91
Lunge	7;18	2	9,7	9,1	1,9	>0,05	94
Milz	6;18	3,8	12	12	3,2	>0,05	100
Großhirn	8;17	2,1	14	14	1	>0,05	100
Kolostralmilch	27;10	1,9	6,8	6,8	1,5	>0,05	100
Skelettmuskel	9;19	2,6	8,4	8,6	1,5	>0,05	102
Reife Milch	94;30	17	9,4	9,8	20	>0,05	104
Pankreas	6;17	4,7	13	14	3,4	>0,05	108
Nieren	9;14	1,8	10	11	1,6	>0,05	110
Aorta	9;17	0,82	2,3	2,6	0,87	>0,05	113
Herzmuskel	9;18	1,3	7,1	8,9	1,8	<0,05	125

Das Blutserum der Ziege ist gleichermaßen nicht oder nicht sicherer Indikator des Phosphorstatus. Andere Körperteile reagieren auf Phosphormangel gar nicht. Die Mangeltiere verminderten den Futtermittelverzehr, das Wachstum und ihre Fortpflanzungsleistung- bzw. Milchleistung. Nieren, Aorta und Herzmuskel erhöhten unter Phosphormangelbedingungen ihren Phosphorbestand. Die gewaltigen Phosphorreserven des Skelettes ermöglichen den verschiedenen Weichgeweben, Körperflüssigkeiten und auch dem Haar ihren Phosphorbestand auch bei nutritivem Phosphormangel nahe dem Normalbereich zu halten. Dabei verminderte sich der Phosphorgehalt ihrer Rippen um 11 % und ihrer Karpalmuskeln um 30 %. Gewebe von Lämmern der Phosphormangelziegen besaßen zur Geburt einen nahezu normalen Phosphorbestand. Ähnlich ihren Müttern speicherten sie im Herzmuskel signifikant mehr Phosphor als die Kontrolllämmer. Offenbar erlaubt die Phosphorreserve im Skelett das Phosphordefizit der Gewebe zu kompensieren. Die Zulage von Phosphor über den normativen Bestand hinaus vermehrte im Gegensatz zum Phosphormangel den Phosphorbestand (Abb. 25) signifikant.

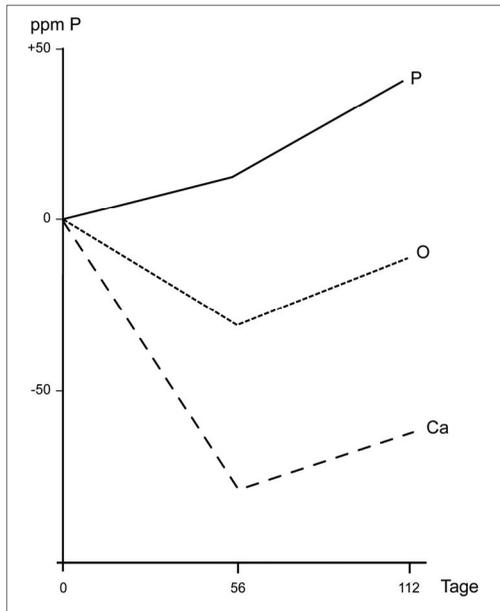


Abb. 25: Die Veränderungen des Phosphorgehaltes im schwarzen Deckhaar der Kühe nach Fütterung von 23,7 g P/Tag bzw. 33,4 g P/Tag (Anke, 1966a)

Die Supplementierung des Futters von Milchkühen mit bedarfsdeckendem Phosphorgehalt (23,7 g P/Tag) mit 9,7 g P/Tag steigerte den Phosphorgehalt des schwarzen Deckhaares in 112 Tagen um 50 mg/kg in Vergleich zum Ausgangswert. Die Kühe ohne Phosphorergänzung verminderten ihren Phosphorgehalt im Deckhaar um 8 mg/kg während Kühe die 24 g Ca/Tag zusätzlich erhielten 63 mg Phosphor im Deckhaar inkorporierten. Bedarfübersteigende Calciumgaben verschlechtern offenbar die Phosphorverwertung (Anke 1966a).

Das Haar zeigt offenbar ein Phosphordefizit nicht oder nur ungenügend an, während eine den Bedarf übersteigende Phosphoraufnahme sich im Phosphorgehalt des Haares widerspiegelt.

Der Phosphorgehalt des menschlichen Kopfhaares wird weder durch das Geschlecht, noch durch das Alter signifikant variiert (Anke und Schneider 1962, 1966). Diese Aussage wurde zwischenzeitlich durch umfangreiche Un-

tersuchungen bei Kindern und Erwachsenen bestätigt. Der Phosphorgehalt des Kopfhaares der Mädchen erreichte im Mittel der dargestellten Populationen 145, das der Jungen 157 mg/kg TM (Tab. 84).

Tabelle 84: Der Phosphorgehalt des Kopfhaares der Kinder (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland, Moskau	151	194	10 – 14 Jahre	43;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Tula	158	184	10 – 14 Jahre	59;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	155	159	10 – 14 Jahre	913;708	Grabeklis; Skalny	2003
Mazedonien, Veles	156		4 - 10 Jahre	59	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Petersburg	152	154	10 - 14 Jahre	57;36	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	153		4 - 10 Jahre	2181	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	151		Vorschulkinder	222	Lobanova et al.	2003
Mazedonien, Ivancovci	148		4 – 10 Jahre	10	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Moskau	148		4 - 10 Jahre	1185	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Irkutsk	148	146	10 – 14 Jahre	38;42	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Novosibirsk	139	147	10 –14 Jahre	304;25	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau	138		2 - 6 Jahre	2806	Skalny; Skalnaya	2000
USA	135		12 Jahre	199	Paschal et al.	1989
Deutschland	112	118	2 - 16 Jahre	324;523	Wilbrand et al.	1986
Deutschland	111		6 – 14 Jahre	711	Krause et al	1996

Frauen inkorporierten im Mittel der vergleichbaren Populationen 182 mg P/kg TM; Männer speicherten 179 mg P/kg TM (Tab. 85). Weder bei Kindern noch Erwachsenen ließ sich im Mittel ein Geschlechtseinfluss auf den Phosphorgehalt des Kopfhaares statistisch sichern. Das Kopfhaar der Vorschul- und Schulkinder enthielt im Mittel der hier ausgewählten Populationen zwischen ~ 110 und 170 mg/kg TM (Tab. 84), im Mittel aller hier dargestellten Kinder 155 mg/kg TM. Erwachsene inkorporierten zwischen 100 mg/kg TM in den USA, Polen und Kanada und 200 mg in Mazedonien, der Ukraine und Russland

(Tab. 85). Offenbar repräsentieren 100 bis 120 mg P/kg Kopfhaar einen normalen Phosphorbestand im Kopfhaar. Die höheren Phosphorkonzentrationen werden durch die bedarfsübersteigende Phosphoraufnahme des Menschen verursacht.

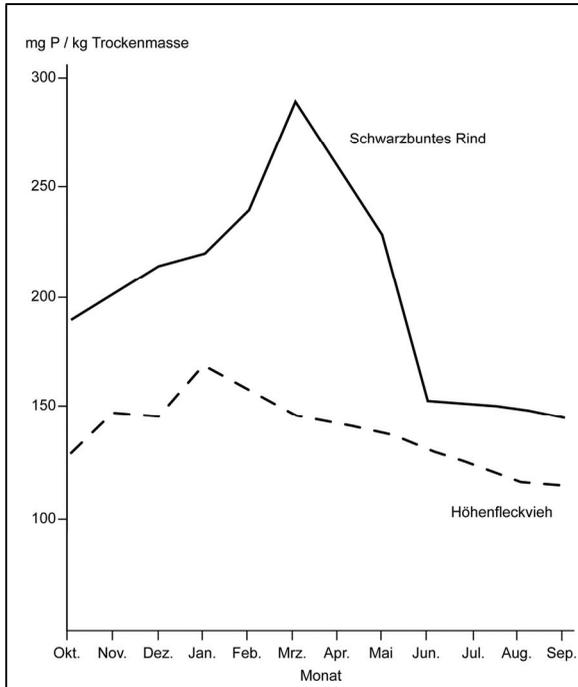


Abb. 26: Der Phosphorgehalt des pigmentierten Rinderdeckhaares (Anke, 1966a)

Die Haarfarbe des menschlichen Kopfhaares variiert dessen Phosphorgehalt nur insignifikant wobei der Trend sich andeutet, dass blondes Haar weniger Phosphor als schwarzes oder dunkelblondes enthält (Anke und Schneider 1962, 1966).

Tabelle 85 : Der Phosphorgehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Mazedonien	183	233	281;126	Skalny; Demidov	2003
Ukraine	207	189	635;308	Skalny; Demidov	2003
Russland	198	-	25	Skalny; Semikopenko	2003
Kroatien	180	190	456;122	Skalny; Demidov	2003
Belorussland	169	183	194;58	Skalny; Demidov	2003
Russland	170	177	2865;2756	Skalny; Demidov	2003
Lettland	153	192	87;30	Skalny; Demidov.	2003
Russland	-	171	918	Skalny et al.	1999
Litauen	161	169	392;177	Skalny; Demidov	2003
Deutschland	154	149	135;147	Anke; Schneider	1966
Japan	151		229;228	Takagi et al.	1986
USA	147		332	Paschal et al.	1989
Großbritannien	147		261 (Schwangere)	Barlow et al.	1985
Russland	146	-	59	Tkachev; Skalny	2002
Deutschland	137		3817	Krause et al.	1996
Indien	133		155;100	Takagi et al.	1986
Deutschland	129		1340	Krause et al.	1989
Deutschland	117	131	22;22	Anke; Schneider	1962
Kanada	118		34;58	Takagi et al.	1986
Polen	114		22;24	Takagi et al.	1986
USA	105		28;27	Takagi et al.	1986

Schwarzes Deckhaar des Rindes enthielt im Mittel 1595 ± 209 , weißes 772 ± 219 mg P/kg TM (Anke 1965b). Auch zwischen gelbem, braunem und rotem Deckhaar des Simmentaler Rindes und dem schwarzen des Niederungsviehes bestanden im Jahresablauf signifikante Unterschiede (Abb. 26), die auf den Phosphorgehalt des Melanins hinweisen. Die Haarart beeinflusst ihren Phosphorbestand im Trend. Mähnen-, Schopf- und Schwanzhaare von Pferd und Rind unterschieden sich bei gleicher Pigmentierung geringfügig, wobei diese weniger Phosphor als das Deckhaar aufweist (Kosla 1988, Anke 1965b). Das Schamhaar des Menschen speichert im Trend gleichfalls weniger Phosphor als das Kopfhaar (Anke und Schneider 1966).

18 Quecksilber

Quecksilber gehört zu den Elementen, die nur als toxisches Element bekannt sind. Das Anzeigevermögen des Quecksilberstatus durch das Kopfhaar des Menschen wurde in mehreren Erhebungen und experimentellen Untersuchungen im Vergleich zu anderen Körperteilen Verstorbener (Drasch et al. 1997) untersucht und festgestellt, dass sein Quecksilbergehalt besonders mit dem des Klein- und Großhirnes besonders gut korreliert. Im Haar von Patienten mit der Minamatakrankheit fand man in Japan 18,3 und 23,6 mg Hg/kg Trockenmasse (Yamaguchi et al. 1975)(Tab. 86).

Tabelle 86: Der Quecksilbergehalt Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer		(n;n)	Autor /-en	Jahr
Italien	25		Hg-Belastung	7	Rossi et al	1976
Japan	18,3	23,6	Minamata-Patienten	11;13	Yamaguchi et al	1975
USA	20,8	20,1		146;80	Nord et al	1973
Japan	8,16		Molybdän-Raffinerie	18	Yamaguchi et al	1975
Finnland	5,4	7,6	Fischesser	15;21	Lodenus; Seppänen	1982
USA	5,5	5,4		19	Eads; Lambdin	1973
USA	5,9	2,45		1000	Benson; Gabica	1972
Japan	3,25	4,35		67;111	Yamaguchi; Fukuoka et al	1971
Malaysia	3,6			85	Sarmani	1987
Japan	2,2			457	Tagaki	1986
Italien	1,8		Ohne Hg-Belastung	12	Rossi et al	1976
Indien	1,3			255	Tagaki et al	1986
Schweden	-	1,26		30	Muramatsu; Parr	1988
Kanada	0,93			92	Tagaki et al	1986
USA	0,77			203	Creason et al	1975
USA	0,74			55	Tagaki et al	1986
Nepal	0,457	0,163		14;31	Yamaguchi et al	1975
Schweiz	0,34			1257	Horsch; Schurgast	2006
Polen	0,28			46	Tagaki et al	1986
Deutschland	0,205	0,285			Drasch et al	1997

Auch in Italien, den USA, Finnland und Malaysia wurden im Kopfhhaar von Erwachsenen und Kindern 2 bis 25 mg Hg/kg Trockenmasse nachgewiesen und festgestellt, dass ausgeprägte Quecksilberbelastungen durch quecksilbererzeugende bzw. quecksilberverarbeitende Betriebe und ein reichlicher Seefischverzehr mit hohem Quecksilbergehalt bzw. Einsatz von Quecksilberhaltigen Saatgutbeizen, der früher üblich war, zu einem Quecksilbergehalt von > 2,0 mg/kg Kopfhhaar führen. Kinder speicherten von < 0,1 bis ~ 20 µg Hg/kg im Kopfhhaar die gleichen Quecksilbermengen wie die Erwachsenen (Tab. 87).

Tabelle 87: Der Quecksilbergehalt des Kinderkopfhhaares (mg/kg Trockenmasse) (Schmidt et al., 1998)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
USA	18,1	17	9-12 Jahre	139;184	Ely et al.	1981
England	1,1		11-15 Jahre	44	Capel et al.	1981
Russland	1	0,9	7-17 Jahre	26;41	Savchenko; Nenzen et al	2000
Russland	0,25		Vorschulkinder	222	Lobanova et al	2003
Russland	0,202	0,283	10-14 Jahre	1676;2212	Grabeklis; Skalny	2003
Mazedonien	0,21		4-10 Jahre	59	Veles; Skalny; Skalnaya	2003
Mazedonien	0,06			10	Ivanovci; Skalny; Skalnaya	2003

Das detaillierte Studium Kinderhaarwerte zeigt, dass die Majorität der Kinder Europas < 2 mg/kg Kopfhhaartrockenmasse enthielt. Der Quecksilberkonsum nahm in Deutschland von 1989, wo quecksilberhaltige Saatgutbeizen verwendet wurden, von etwa 10 µg/Tag im Mittel von 7 Tagen auf 2,7 µg/Tag bei den Frauen und 4,6 µg/Tag bei den Männern hochsignifikant zur Jahrhundertwende ab (Schmidt et al. 1998).

Das Verbot des Einsatzes quecksilberhaltiger Beizen und die gegenwärtige Verwendung zinnhaltiger Beizen reduzierten auch den Quecksilberanteil der verschiedenen Mäusearten auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen, die die Hauptnahrung des Fuchses repräsentieren. Alte Füchse speicherten im Deckhaar Ende der neunziger Jahre im Mittel 450 µg Hg/kg und damit die 2,6fache Quecksilbermenge der juvenilen (n: 93). In Großhirn, Nieren, Leber und Skelettmuskel akkumulierten die Altfüchse die 2,5 bis 3,9fache Quecksilberkonzentration der Jungfüchse. Gunstheimer et al. (1997) konnte experimentell demonstrieren, dass die Nieren den Quecksilberstatus am besten und das Deckhaar am zweitbesten anzeigten. Zwischen den Quecksilberkonzentrationen

nen des Deckhaares und Großhirnes (r 0,71), Deckhaar und Nieren (r 0,70), Deckhaar und Skelettmuskulatur (r 0,65) und Deckhaar und Leber (r 0,61) ließen sich hochsignifikante Rangkorrelationskoeffizienten (Spearman) errechnen.

Neben der Umwelt- und ernährungsbedingten Belastung führt auch der Amalgambrieb von Zahnfüllungen zu einer Quecksilberanreicherung jenseits des Verdauungskanal. Personen mit > 5 Zahnfüllungen exkretierten über Harn und Kot signifikant mehr Quecksilber aus als sie verzehrten. Die Mehrausscheidung hielt auch nach Entfernung der Amalgamfüllungen noch über Monate an (Schmidt et al. 1998).

Das Alter scheint den Quecksilberbestand nicht oder nur insignifikant zu beeinflussen, obwohl der Quecksilbergehalt der Kinder im Mittel niedriger als der Erwachsener ist. Das Geschlecht beeinflusst den Quecksilbergehalt gleichfalls nur mäßig, obwohl ein bescheidener Trend dahingehend besteht, dass Männer mehr Quecksilber im Kopfhaar speichern als Frauen, was in der Regel durch einen umfangreichen Quecksilberverzehr und/oder durch eine größere Quecksilberbelastung am Arbeitsplatz verursacht wird (Tabelle 86, 87).

Eyl et al. (1970) bezeichnet $10 \mu\text{g Hg/kg}$ Kopfhaar als „normal“. Diese Quecksilberkonzentration im Kopfhaar ist unter dem Aspekt, dass das Quecksilber die Plazentaschranke passiert und zur fetalen Quecksilberanreicherung führt, die im Irak und Japan klinischen Symptomen und neuropathologischen Veränderungen bei Neugeborenen verursacht, zu hoch (Anonym 1996). Erste Anzeichen von Entwicklungsstörungen und Verhaltensänderungen wurden bei Kindern bzw. Müttern bei Quecksilbergehalten von $> 5 \mu\text{g/g}$ festgestellt (Anonym 1999, Grandjean et al. 1997). Frauen im gebärfähigen Alter sollten deshalb nicht mehr als 1 mg Hg/kg im Kopfhaar TM enthalten (Anonym 2002, 2005). Frauen, Männer und Kinder sollten nicht mehr als 2 mg Hg/kg Kopfhaartrockenmasse speichern. Dies ist in allen Lebensräumen mit Ausnahme der quecksilberbelasteten, bei normalem Fischverzehr (Suzuki et al. 1979), quecksilberfreien Zahnfüllungen und dem Verbot quecksilberhaltiger Fungizide möglich.

19 Selen

Das biologische Interesse an Selen erwachte, als Franke (1934) den hohen Selengehalt verschiedener Weidepflanzen in Dakota und Wyoming, USA, als Ursache für Lähmungen und Todesfälle landwirtschaftlicher Nutztiere, die diese Futter fraßen, identifizierte, wobei Krankheitssymptome der Selenose bereits von Madison (1860) in Form von Haarverlust und Lahmheit der Pferde beschrieben wurden. Mit dem Nachweis der Lebensnotwendigkeit des Selen für die Fauna durch Schwarz und Foltz (1957) begann eine neue Ära der Spurenelementforschung. Retruck et al. (1973) und Flohe et al. (1973) stellten schließlich den Zusammenhang zwischen der Selenversorgung und der Glutathion peroxidaseaktivität (GSH-Px) der Zellen her.

Für die Identifizierung eines Selenmangels als auch einer Selenbelastung von Tier und Mensch war es notwendig, das Widerspiegelungsvermögen des Selenstatus durch die verschiedenen Gewebe und das Blut zu ermitteln. Das erfolgte in drei mehrjährigen Versuchen mit wachsenden und laktierenden Ziegen, die von der Geburt bis zum natürlichen Lebensende im Versuch standen (Partschfeld 1974, Angelov 1987, Anke et al. 1983, 2001). Dabei zeigte sich, dass mit Ausnahme des Großhirns (Tab. 88) alle untersuchten Körperteile und die Milch den Selenstatus signifikant anzeigen.

Tabelle 88: Der Selengehalt verschiedener Organe erwachsener Kontroll- und Selenmangelziegen ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse) (Angelov et al. 1986)

Organ (n;n)	Kontrolle (Ziegen)		Se-Mangel (Ziegen)		p	%
	s	x	x	s		
Blutserum (97;43)	29	130	36	13	<0,001	28
Herzmuskel (16;7)	190	1045	386	106	<0,001	37
Aorta (11;6)	86	364	135	11	<0,001	37
Reife Milch (62;21)	92	247	93	32	<0,001	38
Skelettmuskel (16;6)	85	387	146	28	<0,001	38
Leber (16;7)	330	1123	464	78	<0,001	41
Rippe (10;6)	40	170	69	18	<0,001	41
Lunge (14;6)	192	1239	515	72	<0,001	42
Deckhaar (37;18)	20	350	150	30	<0,001	43
Milz (15;7)	275	1648	838	160	<0,001	51
Nieren (15;8)	1221	5011	2771	349	<0,001	55
Pankreas (12;5)	320	1161	690	67	<0,01	59
Großhirn (15;6)	112	716	604	111	>0,05	84

Das weiße Deckhaar der Ziege spiegelt neben dem Blutserum und der Milch den Selenstatus vorzüglich wider.

Der Vergleich des Anzeigevermögens von Haar und Blutserum demonstriert, dass das Haar den Selenstatus zeitlich später als das Blutserum, aber sicher anzeigt (Tab. 89). Die Verminderung des Selenbestandes im Haar erreicht zwei Drittel der Selenmenge, die im Deckhaar der Kontrolltiere gefunden wurde (Abb. 27).

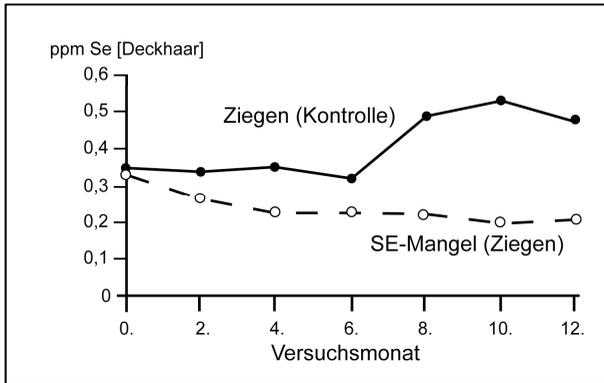


Abbildung 27: Der Selengehalt des weißen Deckhaares weiblicher Kontroll- und Selenmangelziegen (0,06 ppm Se) und ihrer Lämmer (Purtschfeld et al. 1973)

Tabelle 89: Der Selengehalt des Serums und Deckhaares von Kontroll- und Selenmangelziegen in Abhängigkeit von der Versuchsdauer ($\mu\text{g}/\text{l}$ bzw. kg/TM)

Versuchsdauer	Gewebe	Kontrolle (Ziegen)		Se-Mangel (Ziegen)		p	%
		s	x	x	s		
2 Monate	Serum	25	103	38	16	<0,001	37
	Haar	42	353	129	46	<0,001	37
4 Monate	Serum	17	161	28	2	<0,001	17
	Haar	96	333	129	46	<0,001	39
6 Monate	Serum	11	126	31	8	<0,001	25
	Haar	114	377	131	17	<0,001	35

Auch das Deckhaar neugeborener Lämmer der Selenmangelziegen zeigt nach der intrauterinen Entwicklung das maternale Selendefizit hochsignifikant (Tab. 90). Das Haar nimmt intensiv am Selenstoffwechsel teil. Bei den Selenmangeltieren sank der Selenspiegel innerhalb Jahresfrist auf ein Drittel des Selenbestandes der Kontrolltiere (Tab. 91).

Tabelle 90: Der Selengehalt des weißen Lämmerdeckhaares der Kontroll- und Selenmangel-Ziegen in ppm (Partschefeld 1974)

Lebenstag	(n;n)	Kontrolle (Lämmer)		Se-Mangel (Lämmer)		α	% ¹⁾
		s	x	x	s		
14.	(4;5)	0,11	0,51	0,2	0,05	<0,001	39
91.	(5;4)	0,07	0,49	0,18	0,02	<0,001	37

1) Kontrolle = 100%, Se-Mangel (Lämmer) = x%

Tabelle 91: Der Selengehalt des weißen Deckhaares weiblicher Kontroll- und Selenmangelziegen in mg/kg Trockenmasse (Anke et al. 1983)

Versuchstag	Kontrolle (Ziegen)		Se-Mangel (Ziegen)		p	% ¹⁾
	s	x	x	s		
1.	0,06	0,34	0,33	0,08	>0,05	97
84.	0,08	0,34	0,27	0,11	>0,05	79
140.	0,06	0,35	0,22	0,09	<0,05	63
196.	0,01	0,32	0,23	0,09	<0,05	72
266.	0,1	0,5	0,22	0,05	<0,001	44
322.	0,04	0,54	0,19	0,08	<0,001	35
364.	0,04	0,49	0,21	0,04	<0,001	43

1) Kontrolle = 100%, Se-Mangel (Ziegen) = x%

Das Blutserum reagiert auf das Selenangebot erwartungsgemäß schneller als das Deckhaar (Tab. 92). Das Blutserum reflektiert stärker das Tagesangebot an Selen, das Haar den langfristigen Selenstatus.

Tabelle 92: Der Selengehalt der Borsten und verschiedener Organe des Schweins bei unterschiedlichem Selenangebot in ppm der Frischmasse (Wiesner et al. 1975)

Körperteil	(n;n)	Normalfutter		+ 0,5 ppm Se		p	% ¹⁾
		s	x	x	s		
Borste	14;15	0,17	0,54	0,71	0,1	<0,001	131
Blutplasma	10;10	0,04	0,21	0,29	0,1	<0,01	138
Skelettmuskel	26;25	0,02	0,19	0,22	0,02	>0,05	116
Nieren	26;25	0,25	2,09	2,28	0,25	>	110

1) Normalfutter = 100%, +0,5 ppm Se = x%

Die Hautanhänge spiegeln auch eine Selenbelastung gut wider. Die Borsten des Schweins zeigen die verbesserte oder belastende Selenversorgung signifikant. Zulagen von 0,3 bis 10 mg Se/kg Futtertrockenmasse von 1 auf annähernd 5 mg/kg Borstentrockenmasse (Krim und Mahan 2001).

Auch das Kopfhaar des Menschen spiegelt den Selengehalt gut wider (Tab. 93). An der Selenmangelkrankheit „Keshan disease“ erkrankte Kinder speicherten im Kopfhaar noch etwa 20% der Selenmenge, die bei nicht erkrankten Kindern gefunden wurde.

Tabelle 93: Verschiedene Parameter des Selenstatus der Kinder aus Gebieten ohne und mit der Keshan-Krankheit (Zhu 1981)

Parameter, (n;n)	Kontrollgebiet		Keshan-Krankheit		p	%
	s	x	x	s		
Blutserum, Se µg/l (111;173)	9	95	21	0,001	<0,001	22
Kopfhaar, mg/kg (1745;1478)	4	359	74	0,001	<0,001	21

Kontrollgebiet = 100%, Keshan-Krankheit = x%

Weltweit schwankt der Selengehalt des Kopfhaares zwischen 1,70 und 0,30 mg/kg Kopfhaartrockenmasse (Tab. 94).

Tabelle 94: Der Selengehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Mazedonien	1,1	2,22	281;126	Skalny; Demidov	2003
Russland	1,62		2854	Tkachev und Skalny	2002
Russland	1,7	1,46	2865;2765	Skalny; Demidov	2003
Ukraine	1,59	1,29	635;308	Skalny; Demidov	2003
Indien	1,4		95	Bhat et al	1982
Italien	1,4			Clemente et al	1979
Lettland	1,53	1,21	87;30	Skalny; Demidov	2003
Russland	1,35		25	Skalnaya; Semikopenko	2003
Belorussland	1,03	1,58	194;358	Skalny; Demidov	2003
Litauen	1,3	1,28	392;177	Skalny; Demidov	2003
Kroatien	1,11	1,47	456;122	Skalny; Demidov	2003
Indien	1,28		229	Arunachalam et al	1979
Japan	1,18			Takeuchi et al	1979
Pakistan	1,03			Queshi et al	1982
Belgien	0,8			Tomza und Maenhaut	1984
Schweiz	0,67		1257	Horsch; Schurgast	2006
Malaysia	0,5		85	Saramani	1987
Japan	0,66	0,5	35;37	Tada et al	1986
USA	0,44		42	Ryan et al	1978
Schweden	0,42		30	Muramatsu und Parr	1988
USA	0,3		188	Creason et al	1976

Das Geschlecht nimmt auf einen Selenbestand des Kopfhaares keinen signifikanten Einfluss (Frauen 1,26 mg/kg TM, Männer 1,38 mg/kg TM). Die höchsten Selenkonzentrationen wurden in Russland, Mazedonien, Italien, Indien, Pakistan und Kroatien bei Erwachsenen mit 1,0 bis 1,7 mg/kg TM gefunden. In Mitteleuropa und den USA enthielt das Kopfhaar Erwachsenen weniger als 1 mg Se/kg TM. Der Selenanteil im Kopfhaar der Kinder schwankt weltweit etwa im gleichen Umfang (Tab.95).

Tabelle 95: Der Selengehalt des Kopfhaares von Mädchen und Jungen (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland	1,85			2806	Skalny; Skalnaya	2000
Russland, Irkutsk	1,72	1,86	2-6 Jahre	45;48	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	1,54	1,75	2-6 Jahre	2173;1857	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	1,86	1,64	2-6 Jahre	151;121	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Moskau	1,75	1,63	2-6 Jahre	443;402	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Ivanovo	1,74	1,4	2-6 Jahre	36;43	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Novosibirsk	1,548	1,471	10-14 Jahre	304;251	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau Region	1,532	1,494	10-14 Jahre	43;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Moskau Stadt	1,384	1,468	10-14 Jahre	93;708	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	1,396	1,375	10-14 Jahre	2122;1676	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, St. Petersburg	1,368	1,258	10-14 Jahre	57;36	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Irkutsk	1,148	1,189	10-14 Jahre	38;42	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Tula	1,112	1,163	10-15 Jahre	59;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	1,01		Vorschule 7 Jahre	222	Lobanova et al	2003
USA	0,86	0,73	9-12 Jahre	139;184	Ely et al	1981
England	0,6		11-15 Jahre	44	Capel et al	1981
Russland, Moskau	0,41		4-10 Jahre	1885	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Nenzen	0,3	0,5	7-17 Jahre	23;37	Savchenko et al	2000
Mazedonien	0,39		4-10 Jahre	59	Skalny; Skalnaya	2003
Russland	0,38		4-10 Jahre	2181	Skalny; Skalnaya	2003
USA	0,32		0-15 Jahre	260	Creason et al	1976
Ukraine	0,24		4-10 Jahre	10	Skalny; Skalnaya	2003
Deutschland	0,165		4,5-15 Jahre	85	Jochum et al	1995
China	0,165		Schulkinder	10	Fang et al	2003

Wiederum enthielt das Haar russischer Kinder im Mittel und in der Regel der untersuchten Populationen von 1,0 bis 1,8 mg/kg Trockenmasse. Mitteleuropäische Kinder, der USA und vor allem China mit der Keshan und der Kaschim-Beckkrankheit speicherten wesentlich weniger Selen im Kopfhaar und demonstrieren den Selenmangel hochsignifikant (Young et al. 2000, Ermakov 2002, Fang et al. 2003). Erstaunlicherweise speicherten auch die Kinder mit Phenylketonurie (Jochem et al. 1995) gleichermaßen nur minimale Selenmengen im Haar.

Das Haar ist ein hervorragender Indikator des Selenstatus.

20 Vanadium

Vanadium ist mit großer Sicherheit ein essentielles Spurenelement. Intrauterin Vanadium-verarmte Ziegenlämmer wuchsen signifikant langsamer, ihre Reproduktionsleistungen waren vermindert, sie abortierten mehr Föten als die Kontrollziegen, ihre Mortalität erhöhte sich, ihre Bauchspeicheldrüse, ihr Thymus und ihre Schilddrüsen waren vergrößert. Vanadium scheint für verschiedene Halogenperoxydasen essentiell zu sein (Anke et al. 1983, 1984, 1985, 1986, 1988, 1989, 1990, 1991, 2000, 2004, Nielsen 1984, 1985, 1991, Uthus und Nielsen 1990).

Bei der Beurteilung der Vanadiumaufnahme ist zwischen nutritiven ($\mu\text{g}/\text{Tag}$), pharmakologischen (mg/Tag) und toxischen Mengen (mg/kg Futtertrockenmasse) zu unterscheiden. Der normative Vanadiumbedarf des Menschen beträgt $\sim 10 \mu\text{g}/\text{Tag}$, die maximal tolerierbare Vanadiummenge erreicht $3000 \mu\text{g}/\text{Tag}$. Ein Vanadiumgehalt von $1000 \mu\text{g}/\text{kg}$ Nahrungstrockenmasse gelten als toxisch. In Deutschland und Mexiko werden im Wochenmittel 11 bis $40 \mu\text{g}$ V/kg verzehrt, sodass kein Vanadiummangel bei Erwachsenen zu erwarten ist (Anke 2004).

Der Vanadiumgehalt des Haares von Tier und Mensch wurde selten analysiert. Das Widerspiegelungsvermögen des Vanadiumstatus durch das Haar ergab folgende Analysenergebnisse: bei der Ziege mit $2357 \mu\text{g}$ V/kg Trockenmasse im Kontrollfutter und $< 25 \mu\text{g}/\text{kg}$ im Vanadiummangelfutter (Illing-Günther 1995).

Tabelle 96: Vanadiumgehalt der Organe und Gewebe der Ziegen mit hohem und niedrigem Vanadiumangebot ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse) (Anke, 2004)

Organ, Gewebe	(n;n)	Kotrollziegen		V-Mangelziegen		p	[%]
		s	x	x	s		
Nieren	13;11	876	1563	234	102	<0,001	15
Uterus	7;5	358	603	97	28	<0,05	16
Lunge	16;10	146	311	57	17	<0,001	18
Milz	7;10	521	910	184	82	<0,001	20
Rippen	17;8	1598	2608	525	231	<0,001	20
Karpalknochen	20;7	1264	2385	605	489	<0,001	25
Herz	12;12	110	277	77	34	<0,001	28
Leber	7;9	174	347	105	58	<0,01	30
Skelettmuskel	12;10	44	135	48	14	<0,001	36
Deckhaar	10;14	91	144	58	40	<0,01	40
Aorta	13;13	61	159	70	31	<0,001	44
Bauchspeicheldrüse	5;8	150	247	115	65	<0,05	47
Großhirn	3;9	20	100	47	12	<0,001	47
Eier	8;8	307	832	402	177	<0,01	48
Blutserum	17;17	45	50	26	14	<0,05	52
Milch	444;307	19	15	8,8	15	<0,001	59

Es zeigt sich, dass alle geprüften Gewebe und Körperteile den Vanadiummangel anzeigen. Am stärksten regierten Nieren, Uterus, Lunge, Milz und Rippen auf die vanadiumarme Ernährung. Sie reduzierten ihren Vanadiumbestand auf 15 bis 20 %. Das weiße Deckhaar verminderte seine Vanadiumkonzentration von 144 auf 58 $\mu\text{g}/\text{kg}$ oder 40 % der bei den Kontrolltieren gefundenen Vanadiummenge (Tab. 96). Das Deckhaar der Ziegen spiegelt den Vanadiumstatus signifikant wider.

Der Vanadiumgehalt des menschlichen Kopfhaares schwankt im Mittel aller ausgewerteten Testpopulationen von 10 bis 250 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse bei den Kindern und 10 bis ~ 180 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM bei den Erwachsenen (Tab. 97, 98). Der Vanadiumgehalt des Kopfhaares wird offenbar nicht durch das Alter (Kinder, Erwachsene) beeinflusst. Kinderhaar speicherte im Mittel ~ 115 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM, Erwachsenenhaar ~ 105 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM. Das Geschlecht der Kinder variierte bei den ausgewerteten Probanden statistisch schwach gesichert. Jungen speicherten im Mittel 19 % mehr Vanadium als das Kopfhhaar der Mädchen. Der Vanadiumgehalt des Kopfhaares von Frau und Mann unterscheidet sich nicht (Tab. 97, 98).

Tabelle 97: Der Vanadiumgehalt des Kopfhaares der Kinder (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n,n)	Autor /-en	Jahr
USA	250		0 - 15 Jahre	276	Creason et al.	1975
Kanada, Garden River	207		Kinder	39	Moon et al.	1986
Mexiko	190		1 – 6 Jahre	23	Weber et al..	1990
Russland	170		4 – 10 Jahre	2181	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Moskau	170		4 – 10 Jahre	1185	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Moskau	123	177	10 – 14 Jahre	4340	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Tula	135	161	10 – 14 Jahre	59;40	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	136	152	10 – 14 Jahre	2212,1676	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	140		2 - 6 Jahre	2806	Skalny; Skalnaya	1999
Russland, Moskau	129	146	10 - 14 Jahre	913;708	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Petersburg	131	142	10 –14 Jahre	57;36	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Novosibirsk	127	137	10 –14 Jahre	304;251	Grabeklis; Skalny	2003
Russland, Irkutsk	111	144	10 –14 Jahre	38;42	Grabeklis; Skalny	2003
Russland	120		Schulkinder	222	Lobanova et al.	2003
Tschechien	98		Schulkinder	17	Kucera et al.	1982
Holland	90		4 – 5 Jahre	223	Wibowo et al.	1986
Kanada, Farth Mc	86		Kinder	44	Moon et al.	1986
Mazedonien, Ivancovci	0,08		4 –10 Jahre	10	Skalny; Skalnaya	2003
Mazedonien, V eles	0,8		4 – 10 Jahre	59	Skalny; Skalnaya	2003
Russland, Immunologie	70		2 –6 Jahre	56	Skalny; Skalnaya	1999
Kanada	0,4		Frühgeburten	30	Gibson et al.	1979
Kanada, Fort Chiewyan	39		Kinder	39	Moon et al.	1986
Deutschland	15		6 – 14 Jahre	131	Krause et al.	1996
USA	10		12 Jahre	199	Paschal et al.	1989

Die bei Frauen und Männern ermittelten Vanadiumkonzentrationen des Kopfhaares können zusammengefasst werden. Die höchsten Vanadiumkonzentrationen wurden im Kopfhhaar von Kindern in New York (Creason et al. 1975) und im nördlichen Erdölgebiet Kanadas (tar sands oil extraction) gefunden (Moon et al. 1986). Verschiedene Erdölherkünfte können viel Vanadium enthalten (Tissat und Welte 1984). Auch die Kinder aus Guadaljara, Mexiko speicherten mit 180 µg/kg TM relativ viel Vanadium, unterernährte Kinder akkumulierten sogar 280 µg/kg TM (Weber et al. 1990).

Kinder und Erwachsene mit < 50 µg V/kg Kopfhhaartrockenmasse stammen aus Kanada, USA und Deutschland.

Der Einfluss der Haarfarbe auf den Vanadiumgehalt des Kopfhhaares wurde bisher bei Tier und Mensch nicht systematisch untersucht.

Die Bedeutung des Vanadiums hat in der Ernährung zugenommen, da der Vanadiumgehalt des Bieres zum Hauptlieferanten von Vanadium wurde. Sein Vanadiumgehalt entstammt der zum Filtrieren benutzten Diatomeenerde (Anke 2004).

Tabelle 98: Der Vanadiumgehalt des Kopfhaares Erwachsener (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
USA	182		193	Creason et al.	1975
Ukraine	180	180	635;308	Skalny; Demidov	2003
Russland	190	170	2865;2756	Skalny; Demidov	2003
U.S.A	170		55	Takagi et al.	1986
Russland	160		25 50-80j. Frauen	Skalny; Semikopenko	2003
Kanada	160		92	Takagi et al.	1986
Kroatien	130	150	456;122	Skalny; Demidov	2003
Indien	140		255	Takagi et al.	1986
Mazedonien	110	140	281;126	Skalny; Demidov	2003
Belorusland	140	90	194;58	Skalny; Demidov	2003
Litauen	110	110	392;177	Skalny; Demidov	2003
Lettland	90	120	87;30	Skalny; Demidov.	2003
Japan	0,81		457	Takagi et al.	1986
Kanada	0,62		42	Ryan et al..	1978
Polen	0,56		46	Takagi et al.	1986
Kanada, Garden River	51		635;308	Moon et al.	1986
Kanada, Fort McKay	37		87;30	Moon et al.	1986
Kanada, Fort Chipewyan	20		281;126	Moon et al.	1986
USA	19		332	Paschal et al.	1989
Deutschland	10		632	Krause et al.	1996

21 Zink

Das Anzeigevermögen des Zinkstatus durch das Haar wurde beginnend in den fünfziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts bei Ratte und Rindern systematisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass der Verzehr einer Ration mit 4 bis 5 mg Zn/kg Futtertrockenmasse bei Ziegen nur den Zinkgehalt des Skelettes, der Hoden und des Deckhaares signifikant im Vergleich zu Kontrollziegen mit 130 mg Zn/kg Futtertrockenmasse (TM) verminderte (Tab. 99). Das Deckhaar der Ratte mit 2 bis 4 mg Zn/kg Futtertrockenmasse bzw. 20 bis 30 mg Zn/kg TM bei Ratten verminderte den Zinkbestand gleichermaßen signifikant um 9 bis 36 %. Leber, Nieren, Pankreas, Milz und verschiedene Dünndarmabschnitte verändern ihren Zinkgehalt nur ungesichert (Reinhold et al. 1967; Anke et al. 2008).

Das Deckhaar der Ziege (Abb. 28, 29) reagierte erst nach 8 Wochen auf die gedrosselte Zinkaufnahme mit einem gesichert herabgesetzten Zinkstatus. Das Blutplasma der Zinkmangeltiere verminderte seinen Zinkgehalt im Mittel lediglich insignifikant um 9 %. Ratten mit 6 mg Zn/kg Futtertrockenmasse inkorporierten weniger Zink (Pallauf und Kirchgessner 1972). Unter dem Einfluss zusätzlicher Zinkgaben änderte das Haar von Tier und Mensch seinen Zinkbestand.

Die zusätzliche Aufnahme von 50 mg Zn über den Zeitraum von 60 Tagen erhöhte nur den Zinkgehalt des Haares von Studentinnen um 27 % statistisch gesichert, während die der Studenten nur insignifikant um 4 % stieg (Groppe et al. 1982).

Tabelle 99: Das Widerspiegelungsvermögen des Zinkstatus durch 16 Körperteile und die Milch von 31 Kontroll- und 22 Zinkmangelziegen in mg/kg Trockenmasse (Anke et al., 2008)

Organ	Kontrolle (Ziegen)		Zn-Mangel (Ziegen)		p	% ¹⁾
	s	x	x	s		
Rippe	16	80	58	14	<0,001	72
Hoden	23	74	55	18	<0,05	74
Deckhaar	22	117	93	31	<0,01	79
Herz	24	75	63	18	<0,05	84
Leber	41	105	89	57	>0,05	85
Aorta	24	69	59	19	>	86
Kolostrum	14	41	36	10	>	88
Blutplasma	0,58	1,16	1,06	0,62	>	91
Milz	18	88	80	23	>	91
Karpalknochen	15	58	54	15	>	93
Lunge	19	67	63	15	>	94
Großhirn	15	56	54	9	>	96
reife Milch	7	27	26	10	>	96
Rückenmark	8	29	29	12	>	100
Nieren	25	92	97	35	>	105
Skelettmuskel	37	172	193	60	>	112
Ovar	25	59	66	28	<	112
Pankreas	83	86	97	76	<	113

1)Kontrolle = 100% Zn-Mangel (Ziegen) = x%

Das Kopfhhaar von Beschäftigten einer Zinkhütte enthielt zwischen 284 mg/kg Zn/kg TM beim Management und 1979 mg/kg bei Laugenreinigern (Anker et al. 1976). Der Einbau von ⁶⁵Zink in das Haar erfolgt ähnlich wie in das Skelett langsam, Abbildungen 28 und 29 demonstrieren die zeitliche Abfolge bei weiblichen und männlichen Ziegen. Das Haar von Patienten mit Acrodermatitis enteropathica, einem Gendefekt mit verminderter Zinkabsorption, wurde nach 10 Tagen wieder normal und verlor seine Brüchigkeit (Dupré et al. 1978). Weltweit speichert das Kopfhhaar der Frauen von der Geburt bis ins hohe Alter etwa 10 % mehr Zink als das des Mannes im gleichen Alter (Tab. 101). Das

Haar neugeborener Mädchen und Jungen enthält im Mittel die gleichen Zinkmengen wie das der Schulkinder und Erwachsenen.

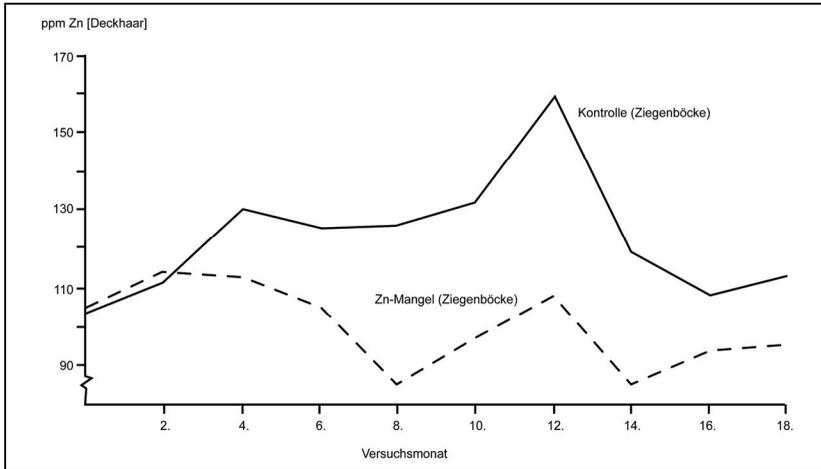


Abb. 28: Der Zinkgehalt des weißen Deckhaares der Kontroll- und Zinkmangel-Ziegenböcke (< 5 mg) (Anke 1978, Risch 1979)

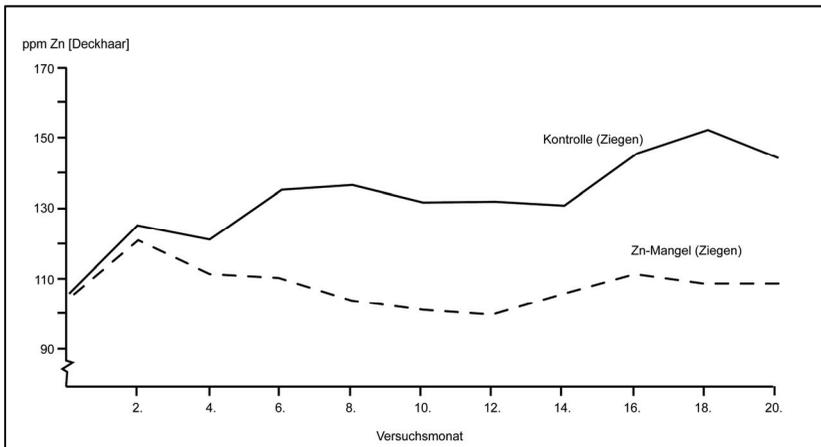


Abb. 29: Der Zinkgehalt des weißen Deckhaares weiblicher Kontroll- und Zinkmangel-Ziegen (< 5 mg) (Anke 1978, Risch 1979)

Sein Zinkgehalt schwankt bei den Mädchen zwischen 200 und 120 mg/kg und bei den Jungen zwischen 180 und 100 mg/kg. Bei verschiedenen Untersuchungen wurde nicht zwischen den Geschlechtern unterschieden und ein Zinkgehalt von 280 bis 90 mg/kg TM ermittelt. Bei Erwachsenen wurde die gleiche Schwankungsbreite des Zinkbestandes im Kopfhaar zwischen 280 und 110 bei den Frauen und 230 bzw. 110 mg/kg bei den Männern ermittelt, Im Mittel aller hier ausgewerteten Untersuchungen enthielt das Kopfhaar der Mädchen 174, das der Jungen 157 mg Zn/kg TM. Letztere inkorporierten im Kopfhaar 11 % weniger Zink als die Mädchen. Das Kinderhaar speicherte im Mittel 164 mg Zn/kg TM und war damit 10 % zinkärmer als das Haar Erwachsener ($p < 0,001$). Das Frauenkopfhaar enthielt im Mittel 208, das der Männer 185 mg Zn/kg und unterschied sich damit um 11 %, ähnlich wie das Haar der Mädchen und Jungen. Der Einfluss des Geschlechtes muss bei der Interpretation beachtet werden (Müller, R.; Anke, M. 2006).

Tabelle 100: Der Zinkgehalt des Kopfhaares vom Menschen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht in ppm (n: 200) (Anke und Risch 1979)

Alter	Frauen		Männer		Geschlecht
	s	x	x	s	Fp
0 - 5	31	166	167	74	< 0,01
6 - 10	63	215	191	36	
11 - 20	75	248	215	47	
21 - 30	54	220	184	41	
31 - 40	60	218	209	27	
41 - 50	30	200	179	40	
51 - 60	33	171	193	32	
61 - 70	30	208	185	68	
71 - 80	63	218	222	44	
81 - 90	48	218	199	28	
Alter Fp	<0,05				-
Mittel 0 - 90	54	213	198	43	-

Tabelle 101 : Der Zinkgehalt des Kinderhaares (mg/kg Trockenmasse)

Land	Mädchen	Jungen	Alter	(n;n)	Autor /-en	Jahr
Russland, Ufa	280		Neugeborene	30	Skalny et al.	1999
Russland, Moskau	272		Neugeborene	89	Skalny et al.	1999
Kanada	229		Neugeborene	62	Gibson; De Wolfe	1979
England	220		11 – 15 Jahre	44	Capel et al.	1981
Russland	216		Neugeborene	25	T. Skalny et al.	1999
Mexiko	200		1 - 6 Jahre	23	Weber et al.	1990
Deutschland	216	179	10 Jahre	243;1269	Prucha	1987
Deutschland	190			389	Rosmaniith et al.	1975
Russland	191	168	7 – 15 Jahre	2173;1875	Skalny; Skalnaya	1999
Russland	190	167	10 – 14 Jahre	2212;1676	Grabeklis; Skalny	2003
Italien	183	171	11 – 14 Jahre	188;203	Vivoli et al.	1990
USA	174		Neugeborene	25	Hambidge et al.	1972
Ghana	177	160	Schulkinder	200;200	Golow; Kwaansa	1994
Russland	170	171	12 Jahre	27;41	Savchenko et al.	2003
Türkei	166		3 Jahre	94	Donma et al.	1990
Kanada	163		Indianerkinder	39	Moon et al.	1986
Kanada	162	153	3 Monate	12;11	Macdonald et al.	1982
USA	153		4 – 17 Jahre	132	Hambridge et al.	1972
Deutschland	150		Kinder	27	Günther et al.	1992
Irland	149		5 – 12 Jahre	35	Corridan	1974
Deutschland	159	135	2 – 16 Jahre	324;523	Wilbrand et al.	1991
Kanada	125		Indianerkinder	39	Moon et al.	1986
Brasilien	123		< 6 Jahre	45	Dorea et al.	1982
Deutschland	118		3 – 7 Jahre	474	Wilhelm et al.	1991
Russland	117		> 7 Jahre	222	Lobanova et al.	2003
Deutschland	118	103	5 – 9 Jahre	47	Wilhelm et al.	1994
Kanada, Indianer	109		Indianerkinder	44	Moon et al.	1986
Brasilien	103		< 6 – 12 Jahre	70	Dorea et al.	1982

Tabelle 102: Der Zinkgehalt von Frauen und Männern verschiedener Länder (mg/kg Trockenmasse)

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor/ -en	Jahr
Pakistan	336	230	42,43	Ashraff et al.	1995
USA	317	245	130;109	Medeiros; Pelum	1985
Italien	285	266	60;72	Sturaro et al.	1994
Deutschland	273	262	44	Anke Schneider	1962
Kanada	248		92	Takagi et al.	1986
Indien	211		255	Takagi et al.	1986
Deutschland	213	198	200;200	Anke et al.	1978
Litauen	216	188	392;177	Skalny, Demidov	2003
Mazedonien	210	180	281;126	Skalny, Demidov	2003
Deutschland, Leipzig	195		59	Umweltprobenbank	1993
Deutschland	208	180	8;25	Groppe et al.	1982
USA	208	176	16;11	Deemig ;Weber	1978
Lettland	220	160	87;30	Skalny, Demidov	2003
Russland	198	180	2865;2756	Skalny, Demidov	2003
Neuseeland	195	180	54;42	MC Kenzie et al.	1979
Belorussland	194	179	194;58	Skalny, Demidov	2003
Deutschland, Münster	181		89	Umweltprobenbank	1993
Griechenland	183	179	69;75	Leotsinidis, Kondakis	1990
Russland	190	167	2212;1676	Grabeklis, Skalny	2003
Kroatien	184	169	456;122	Skalny, Demidov	2003
Japan	180	172	35;37	Tada et al.	1986
Ägypten	175		65	Kasperek et al.	1982
USA	172	167	47;82	Schroeder, Nason	1969
Ukraine	173	163	635;308	Skalny, Demidov	2003
Deutschland	165	169	36;32	Wilhelm et al.	1994
USA	173	157	21;21	Eads, Lambdin	1973
Polen	160		46	Takagi et al.	1986
Deutschland	195		59	Umweltprobenbank	1993
Deutschland	208	180	8;25	Groppe et al.	1982

Fortsetzung Tabelle 102

Land	Frauen	Männer	(n;n)	Autor /-en	Jahr
USA	208	176	16;11	Deeming; Weber	1978
Lettland	220	160	87;30	Skalny, Demidov	2003
Russland	198	180	2865;2756	Skalny, Demidov	2003
Neuseeland	195	180	54;42	McKenzie et al.	1979
Deutschland, Münster	194	179	194;58	Skalny, Demidov	2003
Deutschland	181		89	Umweltprobenbank	1993
Griechenland	183	179	69;75	Leotsinidis, Kondakis	1990
Russland	190	167	2212;1676	Grabeklis, Skalny	2003
	184	169	456;122	Skalny, Demidov	2003
Japan	180	172	35;37	Tada et al.	1986
Ägypten	175		65	Kasperek et al.	1982
USA	172	167	47;82	Schroeder, Nason	1969
Ukraine	173	163	635;308	Skalny, Demidov	2003
Deutschland	165	169	36;32	Wilhelm et al.	1994
USA	173	156	21;21	Eads, Lambdin	1973
Polen	160		46	Takagi et al.	1986
Deutschland	159	154	1952;1865	Krause et al.	1997
Malaisien	155		85	Samami	1987
USA	151		332	Paschal et al.	1989
Deutschland, Halle	146		50	Umweltprobenbank	1993
Bangladesh	141		102	Husain et al.	1980
Indien	138		260	Arunachalam et al.	1979
Schweden	137		30	Muramatsu, Parr	1988
Polen	126	132	136;130	Nowak	1997
USA	124		55	Takagi et al.	1986
Japan	114		457	Takagi et al.	1986
USA	109		498	Creason et al.	1975

Die enorme regionale Schwankungsbreite wird in nur sehr bescheidenem Umfang durch die Haarfarbe verursacht (Anke und Risch 1979), die auch beim Tier den Zinkgehalt nur sehr begrenzt beeinflusst. Das Melanin, der Haarfarbstoff, enthält zwar 2 bis 5 mal mehr Zink als das Keratin (Borovensky et al. 1976), induziert aber keine signifikanten Unterschiede bei unterschiedlicher Pigmentierung (Anke und Schneider 1966, Prucha 1987).

Die Schwangerschaft beeinflusst den Zinkbestand des Haares gleichermaßen nur insignifikant (Hambidge und Droegenmueller 1974, Dang und Jaiswal 1983). Unterernährung vermindert den Zinkgehalt des Haares (Weber et al. 1990). Gestillte Babys und solche mit Formulaernährung unterschieden sich hinsichtlich des Zinkstatus ihres Haupthaars nicht (McDonald et al. 1982).

Auch die Zinkkonzentration des Kopf-, Scham- und Barthaars unterschied sich praktisch nicht (Chittleborough und Steel 1980, Dang und Jaiswal 1983). Das Haar von Dermadoidzysten speicherte mit 222 mg Zn/kg TM gleiche Zinkmengen wie das Kopfhhaar Neugeborener (Anke und Schneider 1968).

Kinder mit < 70 mg Zn/kg Haartrockensubstanz litten in 5 von 6 Fällen an Hypogeusie, die sich durch Zinkergänzung verhindern ließ und den Zinkbestand im Haar vergrößerte (Hambidge et al. 1972).

22 Zusammenfassende Wertung der Möglichkeiten und Grenzen der Haaranalyse

Das Anagenhaar nimmt wie andere Gewebearten, Körperteile und – flüssigkeiten am Stoffwechsel der Mengen-, Spuren- und Ultraspurenelemente teil. Der Transport in und der Wiederausbau aus dem Haar erlischt im Katagenhaar, der Involutionssphase des Haares. Das Telogenhaar (Kolbenhaar) ist abgestorben. Es steckt nur noch im Haarbalg und inkorporiert exogene Verunreinigungen des Haares. Im Kopfhaar des Menschen befinden sich nahezu 90% der Haare in der Anagenphase, 1% in der Katagenphase und 10% in der Telogenphase. Das Kopfhaar des Menschen wird kontinuierlich verloren, während andere Haararten, z.B. das Deckhaar der Fauna artspezifisch periodisch gewechselt wird. Im Laufe des Haarwechsels nimmt das tote Haar nicht am Mineralstoffwechsel teil und spiegelt den Mineralstoffstatus nicht wider.

Die Zusammensetzung der verschiedenen Haararten ist ebenso wie ihr Stoffwechsel artspezifisch. Die gemeinsame Nutzung verschiedener Haararten (z.B. Kopfhaar, Schamhaar, Wimpernhaar) für die wissenschaftliche Bestimmung des Mineralstoffstatus ist nur bei haarspezifischer Auswertung als Kopf-, Scham-, Wimper- oder Deckhaar möglich.

Das Geschlecht beeinflusst den Mengenelementgehalt von Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium im Kopfhaar hochsignifikant. Frauenkopfhaar inkorporiert statistisch relevant mehr Calcium und Magnesium, aber weniger Natrium und Kalium als Männerhaar. Auch die Spurenelemente Zink und Nickel werden von Mädchen und Frauen ebenso wie die zweiwertigen Ionen des Calciums und Magnesiums umfangreicher in das Kopfhaar eingebaut, während der Eisenbestand des Kopfhaares der geschlechtsreifen Frau im Trend niedriger als der des Mannes sein kann. Die Ultraspurenelemente Blei und Cadmium werden im Kopfhaar der Männer stärker angereichert als in dem der Frauen, während das zur gleichen Elementgruppe gehörende Lithium sowohl von Knaben als auch Männern im Kopfhaar stärker verbreitet ist als in dem der Mädchen und Frauen.

Das Kindes- bzw. Erwachsenenalter beeinflusst den Gehalt der Mengenelemente Calcium und Magnesium im Kopfhhaar statistisch gesichert, indem das Kinderhaar mehr beider Elemente speichert, während das Erwachsenenhaar mehr Kalium als das der Kinder einlagert. Der Zinkgehalt des Kopfhhaares der Kinder unterliegt angebotsbedingt besonders starken Schwankungen. Das Kopfhhaar der Neugeborenen ist zinkreich. Auch während der Stillzeit bleibt es gut mit Zink versorgt, während des Wachstums vermindert sich sein Zinkbestand signifikant und erreicht nicht den Zinkgehalt, der im Kopfhhaar Erwachsener gefunden wird.

Die natürliche Haarfarbe des menschlichen Kopfhhaares variiert den Gehalt an Mengen-, Spuren- und Ultrapurenelementen nur in bescheidenem Umfang und kann praktisch unbeachtet bleiben.

Die Eignung des menschlichen Kopfhhaares als Indikator der Mengen-, Spuren- und Ultrapurenelementversorgung bzw. -belastung musste zunächst im Tierversuch unter Mangel- bzw. Belastungsbedingungen über längere Zeiträume und im Vergleich zu den verschiedensten Organen, Körperflüssigkeiten und Geweben geprüft werden. Dazu wurden auch die verschiedensten Isotope der Elemente (radioaktive und stabile) verwendet. Die Prüfung ergab, wobei längst nicht alle Elemente diesbezüglich untersucht wurden, dass das Anagenhaar am Elementstoffwechsel teilnimmt und ein Ein- und Ausbau wie auch bei anderen Geweben in unterschiedlicher Schnelligkeit stattfindet. Einige Elemente (z.B. Aluminium, Kalium, Phosphor) kommen in der Natur, Nahrung und im Körper so reichlich vor, dass diese die Versorgung oder den Einbau mengenmäßig überlagern und deshalb die Bestimmung dieser Elemente bisher keine statistisch gesicherte Eignung als Indikator der Versorgung erkennen ließ. Bei der Majorität (Tab. 103) der ausgewerteten Elemente war diese Eignung vom Arsen bis zum Zink gegeben. Sie bieten sich zur Ermittlung der langfristigen Mengen-, Spuren- und Ultrapurenelementversorgung an, wenn man die beschriebenen elementspezifischen Eigenheiten (Müller, R.; Hoppe, C.; Staudigel, G. 2006; Müller, R.; Anke, M.; Zerull, J. 2007), die variierenden Einflüsse von Geschlecht und Alter beachtet und die Analysenvorbereitung (Säuberung, Veraschung) und Analyse sach- und fachgerecht durchführt. Außerdem sind die Besonderheiten der verschiedenen Haararten und des Haarwechsels zu beachten. Kritiker der „Haaranalyse“ lassen diese Gesetzmäßigkei-

ten der Haaranalyse häufig völlig außer Acht und beurteilen diese Möglichkeit der langfristigen Erfassung von Krankheitsursachen, Mangel- und Belastungserscheinungen falsch. Bei Beachtung der Regeln ist der Test der Mengen-, Spuren- und Ultrapurenelementversorgung des Menschen mit Hilfe des „ungefärbten“ Kopfhaares durchaus in der Lage, zur Früherkennung von sich entwickelnden Gesundheitsschäden beizutragen. Die momentane Mineralstoffaufnahme des Tages wird durch das Kopfhaar nicht, wohl aber die langfristige der vorangegangenen Wochen und Monate angezeigt.

Der Normalbereich des Elementstatus im Kopfhaar der Kinder und Erwachsenen wird in Tabelle 103 versucht anzugeben. Ihre Schwankungsbreite ist groß und wird neben den angegebenen Einflussgrößen, die unbedingt zu beachten sind, durch die den normativen Bedarf des Menschen weit übersteigende Versorgung mit Mengen-, Spuren- und Ultrapurenelementen verursacht. Die erhaltenen Befunde sollten im Zweifelsfall mit Hilfe der Duplikatmethode bei dem betreffenden Personenkreis gesichert werden. Weitere Einzelheiten der „spezifischen“ Haaranalyse werden von Anke und Risch (1979) beschrieben.

Tabelle 103: Eignung und variierende Einflüsse auf das Widerspiegelungsvermögen des Mengen-, Spuren- und Ultraspurenstatus durch das Kopfhaar von Kindern und Erwachsenen

Element	Eignung	Geschlecht	Alter	Farbe	Normalwert des Kopfhaares
Aluminium	-	-	-	-	2-25 mg/kg TM
Arsen	+++	-	-	-	50-400 µg/kg TM
Blei	+++	E ² +	-	-	~ 1-6 mg/kg TM
Cadmium	+++	E ² +	-	-	~ 50-400 µg/kg TM
Calcium	+	+++	+++	(±)	K ¹) 400-800 E ²) 600-1200 mg/kg TM 300-700 400-800 mg/kg TM
Chrom	+++	-	-	-	250-1000 µg/kg TM
Eisen	++	(+)	-	-	15-50 mg/kg TM
Iod	+++	-	-	-	300-1000 µg/kg TM
Kalium	(+)	+++	+++	-	K ¹) 150-500 E ²) 50-300 mg/kg TM 350-1000 65-400 mg/kg TM
Kupfer	++	-	-	(+)	10-25 mg/kg TM
Lithium	+++	+	-	(±)	30-100 µg/kg TM
Magnesium	++	+++	++	(±)	K ¹) 50-100 E ²) 75-300 mg/kg TM 25-75 60-200 mg/kg TM
Mangan	+++	-	(-)	-	0,05-2,0 mg/kg TM
Molybdän	+++	-	-	+	100-150 µg/kg TM
Natrium	+	+++	-	-	K ¹) 200-500 E ²) 100-600 mg/kg TM 500-1000 250-700 mg/kg TM
Nickel	+++	+	-	-	250-1200 µg/kg TM
Phosphor	-	-	-	-	100-200 mg/kg TM
Quecksilber	+	-	+	-	K ¹) 50-250 µg/kg TM E ²) 200-1000 µg/kg TM
Selen	+++	-	-	-	200-2000 µg/kg TM
Vanadium	++	-	(-)	-	20-200 µg/kg TM
Zink	+++	+++	+++	-	♀ 120-250 mg/kg TM ♂ 100-210 mg/kg TM

K1) Kinder

E2) Erwachsene

Literaturverzeichnis

- Abumrad, N.N., Schneider, A.J., Steel, D., Rogers, L.S. (1981) Amino acid intolerance during prolonged total parenteral nutrition reserved by molybdate therapy. *Am. J. Clin. Nutr.* 34, 2551-2559.
- Ahmed, A.F.M., Elmubarak, A.H. (1990) Assessment of trace elements in hair of a Saudi Arabian suburban adult male population. *Environ. Techn.* 12, 387-392.
- Ahmed, P., Kutbi, I.I., Abulfaraj, W.H., Ahmed, M. (1988) Measurements of hair concentrations in children of four cities in Saudi Arabia. *Environ. Intern.* 14, 237-242.
- Angelow, L. (1987) Selenmangelerscheinungen und Selenstatus der Ziege. Diss. Math.-Naturwissenschaftl. Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Deutschland.
- Angelow, L., Anke, M., Groppe, B., Gleis, M., Müller, M. (1993) Aluminium: an essential element for goats. In: Anke, M., Meissner, D., Mills, C.F. (eds) *Trace Element in Man and Animals – TEMA 8*, Verlag Media Tourist, Gersdorf, Germany, pp. 699-704.
- Angelow, L., Anke, M., Krause, U. (1986) Die Widerspiegelung des Selenstatus durch verschiedene Körperteile und die Milch der Ziege. *Mengen- und Spurenelemente* 6, 202-211.
- Anke, M. (1958) Der Spurenelementgehalt verschiedener Ackerfütterpflanzen. *Jahrbuch der Arbeitsgemeinschaft für Fütterungsberatung* 2, 340-349.
- Anke, M. (1959) Untersuchungen über den Spurenelementgehalt der Grünland- und Ackerpflanzen verschiedener Bodenarten sowie Maßnahmen zur Erkennung und Verhütung von Mangelerscheinungen bei Milchkühen. Diss. Jena, Landw. Fakultät.
- Anke, M. (1965a) Der Mengen- und Spurenelementgehalt des Rinderhaares als Indikator der Calcium-, Magnesium-, Phosphor-, Kalium-, Natrium-, Eisen-, Zink-, Mangan-, Kupfer-, Molybdän- und Kobaltversorgung. 1. Mitt. Das Reinigen des Haares. *Arch. Tierern.* 15, 461-468.
- Anke, M. (1965b) Der Mengen- und Spurenelementgehalt des Rinderhaares als Indikator der Calcium-, Magnesium-, Phosphor-, Kalium-, Natrium-, Eisen-, Zink-, Mangan-, Kupfer-, Molybdän- und Kobaltversorgung. 2. Mitt. Der Mengen- und Spurenelementgehalt des Rinderhaares in Abhängigkeit von der Schnitttiefe, der Haarart, der Haarfarbe, dem Haaralter, dem Tialter, dem Laktationsstadium und der Trächtigkeit. *Arch. Tierern.* 15, 469-485.
- Anke, M. (1966a) Der Mengen- und Spurenelementgehalt des Rinderhaares als Indikator der Calcium-, Magnesium-, Phosphor-, Kalium-, Natrium-, Eisen-, Zink-, Mangan-, Kupfer-, Molybdän- und Kobaltversorgung. 3. Mitt. Der Einfluß zusätzlicher Mengen- und Spurenelementgaben auf die mineralische Zusammensetzung des Rinderhaares. *Arch. Tierern.* 16, 57-75.
- Anke, M. (1966b) Der Mengen- und Spurenelementgehalt des Rinderhaares als Indikator der Calcium-, Magnesium-, Phosphor-, Kalium-, Natrium-, Eisen-, Zink-, Mangan-, Kupfer-, Molybdän- und Kobaltversorgung. 4. Mitt. Der Mineralstoffgehalt des Haares und verschiedener Organe bei normal ernährten und eisen-, kupfer- und manganmangelkranken Kälbern. *Arch. Tierern.* 16, 199-213.
- Anke, M. (1967) Mangan-, Kupfer- und Eisenmangel bei Kälbern. *Fortpfl. Haustiere* 3, 362-369.

- Anke, M. (1967a) Der Mengen- und Spurenelementgehalt des Rinderhaares als Indikator der Calcium-, Magnesium-, Phosphor-, Kalium-, Natrium-, Eisen-, Zink-, Mangan-, Kupfer-, Molybdän- und Kobaltversorgung. 5. Mitt. Die Mineralstoffversorgung der Milchkühe auf Verwitterungsböden verschiedener geologischer Herkunft, gemessen am Mineralstoffgehalt des schwarzen Rinderdeckhaares und des Ackerrotklee. Arch. Tierern. 16, 1-26.
- Anke, M. (1973) Die Bedeutung der Spurenelemente für die tierischen Leistungen. Tagungsberichte der Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin 132, 197-218.
- Anke, M. (1973) Kupfermangelbedingte Störungen bei Schafen und Rindern. Mh. Vet. Med. 28, 294-298.
- Anke, M. (1977) Essentiality of cadmium in goats. In: Anke, M., Schneider, H.J. (eds) Cadmium-Symposium. Friedrich Schiller University Jena, Germany, pp. 193-194.
- Anke, M. (1977) Grundlagen der Tierernährung. Gustav Fischer Verlag, Jena, pp. 102-103.
- Anke, M. (1986) Arsenic (Chapter 6). Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Vol. 2, Mertz, W. (ed) Academic Press Inc. Orlando, San Diego ..., pp. 347-372.
- Anke, M. (2004) Essential and toxic effects of macro, trace and ultratrace elements in the nutrition of man. In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M. (eds) Elements and Their Compounds in the Environment. Vol. 1, General Aspects. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, pp. 343-367.
- Anke, M. (2004) Molybdenum. In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M. (eds) Elements and Their Compounds in the Environment. Vol. 2, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, pp. 1007-1037.
- Anke, M. (2004) Potassium. In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M. (eds) Elements and Their Compounds in the Environment. Vol. 2, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, pp. 521-546.
- Anke, M. (2004) Sodium. In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M. (eds) Elements and Their Compounds in the Environment. Vol. 2, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, pp. 497-519.
- Anke, M. (2004) Vanadium – An element both essential and toxic to plants, animals and humans? Anal. Real Acad. Nac. Farm. 70, 961-999.
- Anke, M. (2007) Iod. In: Dunkelberg, H., Gebel, T., Hartwig, A. (eds) Handbuch der Lebensmitteltoxikologie. Band 5, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA Weinheim, pp. 2317-2379.
- Anke, M. (2007) Molybdenum. In: Dunkelberg, H., Gebel, T., Hartwig, A. (eds) Handbuch der Lebensmitteltoxikologie. Band 5, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA Weinheim, pp. 2509-2558.
- Anke, M., Arnhold, W., Groppe, B., Krause, U. (1991) The biological importance of lithium. In: Schrauzer, G.N., Klippel, K.-F. (eds) Lithium in Biology and Medicine. VCH Weinheim, New York, Basel, Cambridge, pp. 147-167.
- Anke, M., Arnhold, W., Groppe, B., Richter, G., Meixner, B., Angelow, L. (1987) Influence of lithium on feed-intake, growth and egg production of broilers and laying hens. In: Pais, I. (ed) New Results in the Research of Hardly Known Trace Elements on the Analytical Problems of Trace Element Research. University of Horticulture and Food Industry, Budapest, Hungary, pp. 41-54.

- Anke, M., Arnhold, W., Hoppe, C., Müller, R., Schäfer, U., Seifert, M. (2008): Der Einfluß der geologischen Herkunft des Lebensraumes auf die Spurenelementversorgung Erwachsener in Thüringen und Deutschland. Akademie der Gemeinnützigen Wissenschaften zu Erfurt, Sitzungsbericht der Math.-Nat. Klasse, 1-42
- Anke, M., Arnhold, W., Müller, M., Illing, H., Schäfer, U., Jaritz, M. (1997) Lithium. In: O'Dell, B.L., Sunde, R.A. (eds) Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements, Marcel Dekker, New York, pp. 465-477.
- Anke, M., Briedermann, L., Siefke, A. (1973) Der Mengen- und Spurenelementgehalt verschiedener Körperteile einjähriger Rehböcke auf fünf verschiedenen Standorten und ihre Beziehungen zur Körpermasse und Gehörqualität. Beiträge zur Jagd- und Wildforschung 8, 131-154.
- Anke, M., Diettrich, M., Hoffmann, G., Jeroch, H. (1967) Der Mengen- und Spurenelementgehalt des Rinderhaares als Indikator der Calcium-, Magnesium-, Phosphor-, Kalium-, Natrium-, Eisen-, Zink-, Mangan-, Kupfer-, Molybdän- und Kobaltversorgung. 6. Mitt. Der Ein- und Ausbau von oral verabreichtem Mangan-52 in das Haar, das Blut und die Milch des Rindes. Arch. Tierern. 17, 81-86.
- Anke, M., Diettrich, M., Wicke, G., Pflug, D., Schüler, D. (1971) Resorption, Exkretion und Verteilung von ^{51}Cr nach oraler Gabe an laktierende Wiederkäuer. Arch. Tierern. 21, 599-607.
- Anke, M., Dorn, W., Jaritz, M. (2005) Chrom in der Nahrungskette von Pflanze, Tier und Mensch. Rekasana J. 12, 59-73.
- Anke, M., Dorn, W., Müller, M., Seifert, M. (2005) Recent progress in exploring the essentiality of the ultratrace element cadmium to the nutrition of animals and man. Biomed. Res. Trace Elements 16, 198-202.
- Anke, M., Dorn, W., Müller, R., Zerull, J. (2008): Zink in der Nahrungskette von Pflanze, Tier und Mensch. REKASAN-Journal 15 (29/30), 39-61
- Anke, M., Drobner, C., Angelow, L., Schäfer, U., Müller, R. (2003) Die biologische Bedeutung des Selen – Selenverzehr, Selenbilanz und Selenbedarf der Mischkötler und Vegetarier. In: Schmitt, Y. (ed) Ernährung und Selbstmedikation mit Spurenelementen. Wiss. Verlagses. mbH Stuttgart, pp. 1-17.
- Anke, M., Gleis, M., Arnhold, W., Drobner, C., Seifert, M. (1997) Arsenic (Chapter23). Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements. O'Dell, B.L., Sunde, R.A. (eds) Marcell Dekker Inc. New York, Basel, Hong Kong, pp. 631-639.
- Anke, M., Groppe, B., Arnhold, W., Langer, M., Krause, U. (1990) The influence of the ultra trace element deficiency (Mo, Ni, As, Cd, V) on growth, reproduction performance and life expectancy. Trace Elements in Clinical Medicine. Springer Verlag Tokyo and Berlin, pp. 361-376.
- Anke, M., Groppe, B., Briedermann, L., Diettrich, G. (1975) Der Mangan-, Zink-, Kupfer- und Kadmiumgehalt verschiedener Körperteile des adulten weiblichen Rehes und landwirtschaftlich genutzter Wiederkäuerarten. Beiträge zur Jagd- und Wildforschung 9, 267-275.
- Anke, M., Groppe, B., Grün, M. (1985) Essentiality, toxicity, requirement and supply of molybdenum in human and animals. In: Mills, C.F., Bremner, J., Chesters, J.K. (eds) Trace Elements in Man and Animals – TEMA 5, Commonwealth Agricultural Bureaux Farnham Royal, Sloug SL23BN, United Kingdom, pp. 154-157.

- Anke, M., Groppe, B., Grün, M., Hennig, A., Meissner, D. (1980) The influence of arsenic deficiency on growth, reproductiveness, life expectancy and health of goats. In: Anke, M., Bauermann, W., Bräunlich, H., Brückner, Chr. (eds) 3. Spurenelementsymposium – Arsen. Universität Leipzig und Jena, pp. 25-32.
- Anke, M., Groppe, B., Grün, M., Kronemann, H., Riedel, E. (1981) Effects of Li-poor rations in ruminants. In: Szentmihályi, S. (ed) Proceedings of International Conference on Feed Additives. Budapest, Hungary, pp. 245-248.
- Anke, M., Groppe, B., Gruhn, K., Košla, T., Szilágyi, M. (1986) New research on vanadium deficiency in ruminants. In: Anke, M. et al. (eds) 5. Spurenelementsymposium New Trace Elements, Universität Leipzig and Jena, pp. 1266-1275.
- Anke, M., Groppe, B., Gruhn, K., Langer, M., Arnhold, W. (1989) The essentiality of vanadium for animals. In: Anke, M. et al. (eds) 5. Spurenelementsymposium New Trace Elements, Universität Leipzig and Jena, pp. 17-27.
- Anke, M., Groppe, B., Košla, T. (1984) Die biologische Bedeutung des Vanadiums für den Wiederkäuer. Mengen- und Spurenelemente 4, 451-467.
- Anke, M., Groppe, B., Košla, T., Gruhn, K. (1988) Investigations on vanadium deficiency in ruminants. In: Hurley, L.S. (ed) Trace Elements in Man and Animal – TEMA 6. Plenum Press, New York and London, pp. 659-660.
- Anke, M., Groppe, B., Krause, U. (1991) The essentiality of the toxic elements aluminium and vanadium. In: Momčilovic, B. (ed) Trace Elements in Man and Animals – TEMA 7. IMI, Zagreb, pp. 11-9 – 11-10.
- Anke, M., Groppe, B., Kronemann, H., Führer, E. (1983) Influence of vanadium deficiency on growth, reproduction and life expectancy of goats. In: Anke, M. et al. (eds) 4. Spurenelementsymposium. Universität Leipzig and Jena, pp. 135-141.
- Anke, M., Groppe, B., Kronemann, H., Grün, M. (1983) Evidence for the essentiality of lithium in goats. In: Anke, M. et al. (eds) 4. Spurenelementsymposium – Lithium. Universität Leipzig and Jena, pp. 58-65.
- Anke, M., Groppe, B., Kronemann, H., Grün, M. (1985) Molybdenum supply and status in animals and human beings. Nutr. Res. 1, 180-186.
- Anke, M., Groppe, B., Kronemann, H., Košla, T. (1985) Vanadium deficiency in ruminants. In: Mills, C.F., Bremner, J., Chesters, J.K. (eds) Trace Elements in Man and Animals – TEMA 5, Commonwealth Agricultural Bureaux Farnham Royal, Slough SL23BN, United Kingdom.
- Anke, M., Groppe, B., Kronemann, H., Riedel, E. (1981) Exogenous and endogenous influences on the trace element content of hair and feathers shown at the example of molybdenum. In: Szentmihályi, S. (ed) The hair as an Indicator of Macro and Trace Element supply, Vol. 3, Budapest, Herceghalom, pp. 1-9.
- Anke, M., Groppe, B., Müller, M., Kräuter, U. (1990) Aluminiummangelerscheinungen beim Tier. Mengen- und Spurenelemente 10, 505-515.
- Anke, M., Groppe, B., Müller, M., Regius, A. (1990a) Effects of aluminium-poor nutrition in animals. In: Pais, I. (ed) 4th International Trace Element Symposium. University of Horticulture and Food Industry, Budapest, Hungary, pp. 303-324.
- Anke, M., Groppe, B., Partschfeld, M. (1973) Die Kupferversorgung der Rinder und Schafe in der DDR. Tierzucht 27, 279-282.

- Anke, M., Grün, M., Briedermann, L., Missbach, K., Hennig, A., Kronemann, H. (1979) Die Mengen- und Spurenelementversorgung der Wildwiederkäuer. 1. Mitt. Der Kadmiumgehalt der Winterräsung und der Kadmiumstatus des Rot-, Dam-, Reh- und Muffelwildes. Arch. Tierern. 29, 820-844.
- Anke, M., Grün, M., Dittrich, B., Groppe, B., Hennig, A. (1974) Low nickel rations for growth and reproduction in pigs. In: Hoekstra, W.G., Suttie, J.W., Ganther, H.E., Mertz, W. (eds) Trace Element Metabolism in Animals. Vol. 2, Baltimore, University Park Press, pp. 715-718.
- Anke, M., Grün, M., Groppe, B., Kronemann, H. (1981) The biological importance of lithium. Mengen- und Spurenelemente 1, 217-239.
- Anke, M., Grün, M., Groppe, B., Partschfeld, M. (1975) Die Spurenelementversorgung der Wiederkäuer in der Deutschen Demokratischen Republik. 3. Mitt. Die Zinkversorgung. Arch. Tierern. 25, 379-391.
- Anke, M., Grün, M., Kronemann, H., Schneider, H.-J. (1980) Die Diagnose der Kadmiumbelastung beim Menschen. Wiss. Z. Karl-Marx-Univ. Math.-Naturwiss. R. 29, 515-522.
- Anke, M., Grün, M., Müller, M., Müller, R., Schäfer, U., Seifert, M. (2004) Lead in the food chain – lead intake and lead balance of man. In: Gârban, Z., Drăgan, P. (eds) Metal Elements in Environment, medicine and Biology. Tome VI, Publishing House "Eurobit" Timisoara, pp. 5-26.
- Anke, M., Grün, M., Partschfeld, M. (1976) The essentiality of arsenic for animals. In: Hemphill, D.D. (ed) Trace Substances Environ Health X. Columbia, University of Missouri, pp. 403-409.
- Anke, M., Grün, M., Partschfeld, M., Groppe, B. (1977) Molybdenum deficiency in ruminants. In: Kirchgeßner, M. (ed) Trace Element Metabolism in Man and Animals 3, pp. 230.
- Anke, M., Grün, M., Partschfeld, M., Groppe, B., Hennig, A. (1977) Essentiality and function of arsenic. In: Kirchgeßner, M. et al. (eds) Trace Element Metabolism in Man and Animals 3, pp. 248-252.
- Anke, M., Grün, M., Schneider, J.-J. (1976) Der Magnesiumstatus des Menschen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. In: Schneider, H.-J., Anke, M. (eds) Magnesiumstoffwechsel. Wissenschaftliche Beiträge der Friedrich-Schiller-Universität Jena, pp. 36-52.
- Anke, M., Gumz, W., v. Gager, W. (1975) Der Einfluß endogener Faktoren auf den Asche-, Kalzium-, Magnesium-, Kalium-, Natrium-, Phosphor-, Zink-, Eisen-, Kupfer- und Manganengehalt der Schweineborste. 3. Mitt. Der Einfluß des Schnittzeitpunktes auf die anorganische Zusammensetzung des Haares (Eberborsten). Arch. Tierern. 25, 59-68.
- Anke, M., Hennig, A., Diettrich, M., Hoffmann, G., Wicke, G., Pflug, D. (1971a) Resorption, Exkretion und Verteilung von ⁹⁹Molybdän nach oraler Gabe an laktierende Wiederkäuer. Arch. Tierern. 21, 505-513.
- Anke, M., Hennig, A., Groppe, B., Lüdke, H. (1971) Der Einfluß des Kadmiums auf das Wachstum, die Fortpflanzungsleistung und den Eisen-, Zink- und Kupferstoffwechsel. Arch. Exp. Vet.-Med. 25, 799-803.
- Anke, M., Hennig, A., Groppe, B., Partschfeld, M., Grün, M. (1977) The biochemical role of cadmium. In: Kirchgeßner, M. (ed) Trace Element Metabolism in Man and Animal – TEMA 3. Technische Universität München, Freising-Weihenstephan, Germany, pp. 540-548.

- Anke, M., Hennig, A., Hoffmann, G., Wicke, G., Pflug, D., Schüler, D., Gruber, G., Kleemann, J. (1971) Der Mengen- und Spurenelementgehalt des Haares als Indikator der Mineralstoffversorgung. 7. Mitt. Der Ein- und Ausbau von ^{32}P Phosphor in Wolle und Wollfett des Schafes. Arch. Tierern. 21, 129-132.
- Anke, M., Hennig, A., Schneider, H.-J., Groppe, B., Grün, M., Partschefeld, M., Lüdke, H. (1976) Der Einfluß des Schadstoffes Kadmium auf den Stoffwechsel und die Gesundheit von Tier und Mensch. Wiss. Z. Karl-Marx-Univ., Math.-Naturwiss. R. 25, 241-261.
- Anke, M., Hoffmann, G., Grün, M., Groppe, B., Riedel, E. (1982) Absorption, distribution and excretion of arsenic-76 in hens and ruminants. The Use of Isotopes to Detect Moderate Mineral Imbalances in Farm Animals. IAEA, TEC DOC. 267, 135-146.
- Anke, M., Hoffmann, G., Hennig, A., Groppe, B., Kronemann, H., Grün, M. (1982) The biological importance of cadmium and the absorption of $^{115\text{m}}\text{Cd}$ by laying hens, minipigs and monkeys. Mengen- und Spurenelemente 2, 85-101.
- Anke, M., Holzinger, S., Seifert, M., Müller, R., Schäfer, U. (2010): The biological and toxicological importance of Molybdenum in the environment and in the nutrition of plants, animal and man. Acta Alimentaria, Vol. 39 (1), 1-11
- Anke, M., Illing-Günther, H., Gürtler, H., Holzinger, S., Jaritz, M., Anke, S., Schäfer, U. (2000) Vanadium – An essential element for animals and humans? In: Roussel, A.M., Anderson, R.A., Favrier, A.E. (eds) Trace Elements in Man and Animals 10, Kluwer Acad./Plenum Publishers New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.
- Anke, M., Klinger, G., Grün, M., Schneider, H.-J. (1977) The dependence of the Cd-concentration in animals and human beings on sex and age. In: Anke, M., Schneider, H.-J. (eds) Friedrich-Schiller-Universität Jena, pp. 72-78.
- Anke, M., Košla, T., Groppe, B. (1989) The cadmium status of horses from central Europe depending on breed, sex, age and living area. Arch. Anim. Nutr. 39, 675-683.
- Anke, M., Krause, U., Groppe, B. (1987) The effect of arsenic deficiency on growth, reproduction, life expectancy and disease symptoms in animals. In: Hemphill, D.D. (ed) Trace Substances in Environmental Health-XXI. Proceedings of the Univ. of Missouri's, 21st Annual Conference on Trace Substances in Environmental Health, pp. 533-550.
- Anke, M., Kronemann, H., Groppe, B., Grün, M. (1979) Die Kadmiumbelastung der landwirtschaftlichen Nutztiere, Wildwiederkäuer und Bevölkerung in der DDR. Internat. Symposium „Emission und Immission von Schadstoffen“, Universität Leipzig, pp. 457-474.
- Anke, M., Kronemann, H., Hoffmann, G., Grün, M., Groppe, B. (1981a) Molybdenum metabolism in ruminants suffering from molybdenum deficiency. Mengen- und Spurenelemente 1, 211-216.
- Anke, M., Kronemann, H., Müller, R., Schäfer, U., Seifert, M., Zerull, J. (2009): Cadmium in der Nahrungskette von Tier und Mensch – Toxizität und Essentialität. Acta Academiae Scientiarum, Bd. 13, 123-215
- Anke, M., Müller, M., Anke, S., Gürtler, H., Müller, R., Schäfer, U., Angelow, L. (2001) The biological and toxicological importance of aluminium in the environment and food chain of animals and humans. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) 3. International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives. G. Morogianni. Acharnai, Greece, pp. 230-247.

- Anke, M., Müller, R., Dorn, W., Seifert, M., Müller, M., Gonzales, D., Kronemann, H., Schäfer, U. (2000) Toxicity and essentiality of cadmium. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) Proceedings of the 2. International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives, Athens, Greece 1999, pp. 343-362.
- Anke, M., Müller, M., Hoppe, Ch. (2005) Recent progress in exploring the essentiality of the ultratrace element aluminium to the nutrition of animals and man. *Biomed. Res. Trace Elements* 16, 183-187.
- Anke, M., Müller, R., Schäfer, U. (2005) Recent progress in exploring the essentiality of the non-metallic ultratrace element arsenic to the nutrition of animals and man. *Biomed. Res. Trace Elements* 16, 188-197.
- Anke, M., Müller, R., Schäfer, U.; Zerrul, J. (2008) Arsenic in the food chain of animal and man - toxicity and essentiality, *Priemyselná Toxicologia* 2008, 15-36
- Anke, M., Müller, M., Trüpschuch, A., Müller, R. (2002) Intake and effects of cadmium, chromium and nickel in humans. *J. Comm. Sci.* 1, 41-63.
- Anke, M., Partschefeld, M., Grün, M., Groppe, B. (1977) The capacity of different parts of the body to reflect Cd-exposure. In: Müller, R. et al. (eds) *Int. Ass. Forensic Toxicologists, European Meeting 1977*, pp. 47-50.
- Anke, M., Partschefeld, M., Kurs, J., Kroupova, V. (1983) Die Selenmangelmyopathie. *Wiss. Ztschr. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Math.-Naturwiss. R.* 32, 809-820.
- Anke, M., Reinhardt, M., Hartmann, G., Kirchner, H., Hoffmann, G. (1971b) Resorption und Verteilung von ⁹⁹Molybdän nach oralen Gaben an Legehennen in Abhängigkeit von der Zeit. *Arch. Tierern.* 21, 705-711.
- Anke, M., Risch, M. (1979) *Haaranalyse und Spurenelementstatus*. VEB Gustav Fischer Verlag Jena.
- Anke, M., Schäfer, U., Jaritz, M., Seifert, M., Müller, R. (2005) Chromium in the food chain – essentiality, metallo-pharmaceutical effects and toxicity. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) *5th International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives*, Athens, Greece, pp. 729-756.
- Anke, M., Schmidt, A., Groppe, B., Kronemann, H. (1983) Further evidence for the essentiality of arsenic. In: Anke, M., Baumann, W., Bräunlich, H., Brückner, Chr. (eds) *4. Spurenelementsymposium*. Universität Leipzig und Jena, pp. 97-104.
- Anke, M., Schmidt, A., Krause, U., Groppe, B., Gruhn, K., Hoffmann, G. (1986) Arsenmangel beim Wiederkäuer. *Mengen- und Spurenelemente* 6, 225-245.
- Anke, M., Schmidt, A., Kronemann, H., Krause, U., Gruhn, K. (1985) New data on the essentiality of arsenic. In: Mills, C.F., Bremner, I., Chesters, J.K. (eds) *Trace elements in Man and Animals*, pp. 151-154.
- Anke, M., Schneider, H.-J. (1962) Untersuchungen über den Mineralstoffgehalt der Frauen- und Männerhaare. *Dtsch. Ztschr. F. Verdauungs- und Stoffwechselkrankheiten* 22, 31-35.
- Anke, M., Schneider, H.-J. (1966) Die anorganischen Bestandteile des menschlichen Haares und ihre Abhängigkeit von Geschlecht, Alter, Haarfarbe und Haarart. *Ztschr. Inn. Med.* 21, 794-801.

- Anke, M., Schneider, H.-J. (1968) Die anorganischen Bestandteile des Dermoidzystenhaares im Vergleich zu den mineralischen Komponenten des Kopfhaares. *Acta biol. med. Germ.* 20, 677-678.
- Anke, M., Schneider, H.-J., Grün, M., Groppe, B., Hennig, A. (1978) Die Diagnose des Mangan-, Zink- und Kupfermangels und der Kadmiumbelastung. *Zentralbl. f. Pharm., Pharmakoth. und Laboratoriumsdiagn.* 7, 688-706.
- Anke, M., Seifert, M. (2005) Nickel – ein für die Flora, Fauna und den Menschen essentielles und toxisches Element. In: Windisch, W., Plitzner, Chr. (eds) *Experimentelle Modelle der Spurenelementforschung*. Herbert Utz Verlag, München, pp. 133-184.
- Anke, M., Seifert, M. (2007) Calcium. In: Dunkelberg, H., Gebel, T., Hartwig, A. (eds) *Handbuch der Lebensmitteltoxikol.* 4, Wiley-Verlag GmbH and Co. KGaA, Weinheim, Germany, pp. 2217-2264.
- Anke, M., Seifert, M., Angelow, L., Thomas, G., Drobner, C., Müller, M., Gleis, M., Freytag, H., Arnhold, W., Kühne, G., Rother, C., Kräuter, U., Holzinger, S. (1996) The biological importance of arsenic – toxicity, essentiality, intake of adults in Germany. In: Pais, J. (ed) *Proceedings of the 7th International Trace Element Symposium*. University of Horticulture, Budapest, pp. 103-125.
- Anonym (1993) Umweltbundesamt (Hrsg.) *Umweltprobenbank, Jahresbericht 1991, Texte des Umweltbundesamtes* 3.
- Anonym (1999) Kommission Human-Biomonitoring. *Stoffmonographie Quecksilber – Referenz- und Human-Biomonitoring (HBM)-Werte*. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 42, 522-532.
- Anonym (2005) *Haaranalyse in der Umweltmedizin. Stellungnahme der Kommission "Human-Biomonitoring" des Umweltbundesamtes*. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 48, 246-250.
- Anonymous (1996) *Trace Elements in Human Nutrition and Health*. World Health Organization, Geneva, Switzerland, pp. 206-209.
- Anonymous (1996) *Trace Elements in Human Nutrition on Health*. World Health Organization, Geneva, Switzerland, pp. 155-160.
- Anonymous (2002) UNEP (United Nations Environment Programme). *Global mercury assessment*. UNEP Chemicals, Geneva, Switzerland.
- Anonymous (2005) *Mineral Tolerance of Animals. Second Revised Edition*. The National Academies Press Washington, D.C.
- Arnhold, W., Anke, M. (1987) Der Lithiumstatus verschiedener Wiederkäuerarten in Mitteleuropa. *Mengen- und Spurenelemente* 7, 283-288.
- Arunachalam, J., Gangadharan, S., Yegnasubramanian, S. (1979) Elemental data on human hair sampled from Indian student population and their interpretation for studies in environmental exposure. *International Atomic Energy Agency, Vienna*, 499-513.
- Ashraf, W., Jaffar, M., Anwer, K., Ehsan, U. (1995b) Age- and sex-based comparative distributions of selected metals in the scalp hair of an urban population from two cities in Pakistan. *Environ. Poll.* 87, 61-64.
- Ashraf, W., Jaffar, M., Mohammed, D. (1995a) Levels of selected trace metals in hair of urban and rural adult male population of Pakistan. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 54, 207-213.

- Ashraf, W., Jaffar, M., Mohammed, D., Iqbal, J. (1995c) Utilization of scalp hair for evaluating epilepsy in male and female groups of Pakistan population. *Sci. Total Environ.* 164, 69-73.
- Baader, E.W. (1937) Berufskrebs. In: Adam, C., Auler, D.S. (eds) *Neuere Ergebnisse auf dem Gebiet der Krebskrankheiten*, Hirtzel, Leipzig, pp. 104-128.
- Barhoum, S. (1989) Die Wirkung eines mäßigen Phosphormangels auf die Leistungen und den Mengen- bzw. Spurenelementstoffwechsel der Ziege sowie Möglichkeiten der Identifizierung des Phosphorstatus von Rind, Schaf, Ziege, Rot- und Rehwild. Diss. Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin.
- Barlow, P.J., Sidani, S.A., Lyons, M. (1985) Trace elements in hair in the UK; Results and interpretation in the preconception situation. *Sci. Total Environ.* 42, 121-131.
- Batzevich, V.A. (1995) Hair trace element analysis in human ecology studies. *Sci. Total Environ.* 164, 89-98.
- Baumslag, N., Yeager, D., Levin, L., Petering, H.G. (1974) Trace metal content of maternal and neonate hair. Zinc, copper, iron and lead. *Archs. Environ. Hlth.* 29, 186.
- Benson, W.W., Gabica, J. (1972) Pesticides in people. *Pesticides Monitoring J.* 6, 80-83.
- Bhat, K.R., Arunachalam, J., Yegnasubramanian, S., Gangadharan, S. (1982) Trace elements in hair and environmental exposure. *Sci. Total Environ.* 22, 169-178.
- Birch, N.J. (1995) Lithium in medicine. In: Berthon, G. (ed) *Handbook of Metal-Ligand Interactions in Biological Fluids. Bioinorganic Medicine, Vol. 2*, Marcel Dekker New York, pp. 1274-1281.
- Borovansky, J., Horcicko, J., Duchon, J. (1976) The hair melanosome: Another tissue reservoir of zinc. *Phys. Bohem.* 25, 87-91.
- Brown, R.O., Forloines-Lynn, S., Cross, R.E., Heizer, W.D. (1986) Chromium deficiency after long-term total parental nutrition. *Dig. Dis. Sci.* 31, 661-664.
- Burger, F.J. (1974) Changes in the trace element concentration in the sera and hair of kwashiorkor patients. In: Hoekstra, W.G. et al. (eds) *Trace Elements Metabolism in Animals 2*, University Park Press, Baltimore, USA, pp. 671-674.
- Capel, I.D., Pinnock, M.H., Dorrell, H.M., Williams, D.C., Grant, E.C.G. (1981) Comparison of concentrations of some trace, bulk, and toxic metals in the hair of normal and dyslexic children. *Clin. Chem.* 27, 879-881.
- Carlisle, E.M., Curran, M.J. (1993) Aluminium: An essential element for the chick. In: Anke, M., Meissner, D., Mills, C.F. (eds) *Trace Element in Man and Animals – TEMA 8*, Verlag Media Touristik, Gersdorf, Germany, pp. 695-698.
- Chittleborough, G., Steel, B.J. (1980) Is human hair a dosimeter for endogenous zinc and other trace elements? *Sci. Total Environ.* 15, 25-35.
- Classen, H.G. (1979) Magnesiumeffekte in der Humantherapie: Glaube – Hinweise – Beweise. *Magnesium-Bull.* 1, 1-8.
- Combs, D.K., Goodrich, R.D., Meiske, J.C. (1982) Mineral concentrations in hair as indicators of mineral status: A Review. *J. Anim. Sci.* 54, 391-398.
- Corridan, J.P. (1974) Head hair samples as indicators of environmental pollution. *Environ. Res.* 8, 12-16.
- Creason, J.P., Hinners, T.A., Bumgarner, J.E., Pinkerton, C. (1975) Trace elements in hair, as related to exposure in metropolitan New York. *Clin. Chem.* 21, 603-612.

- Dang, H.S., Jaiswal, D.D. (1983) Trace element changes in hair during pregnancy: Preliminary study. *Sci. Total Environ.* 31, 187-192.
- Deeming, B., Weber, C.W. (1977) Evaluation of hair analysis for determination of zinc status using rats. *Am. J. Clin. Nutr.* 30, 2047-2052.
- Deeming, S.B., Weber, C.W. (1978) Hair analysis for trace minerals in human subjects as influenced by age, sex and contraceptive drugs. *Am. J. Clin. Nutr.* 31, 1175-1180.
- De Renzo, E.C., Kaleita, E., Heyther, P., Oleson, J.J., Hutchings, B.L. Williams, J.H. (1953) Identification of the xanthine oxidase factor as molybdenum. *Arch. Biochem. Biophys.* 45, 247-250.
- Donma, O., Günbey, S., Tas, M.A., Donma, M.M. (1990) Zinc, copper and magnesium concentrations in hair of children from southeastern Turkey. *Biol. Trace Element Res.* 24, 39-47.
- Dorea, J.G., Horner, R., Bezerra, V., Pereira, M.G., Salomon, J.B. (1982) Hair zinc levels and nutritional status in urban children from Ilheus, Bahia, Brazil. *Human Nutr. : Appl. Nutr.* 36A, 63-67.
- Dorea, J.G., Pereira, S.E. (1983) The influence of hair color on the concentration of zinc and copper in boys' hair. *J. Nutr.* 113, 2375-2381.
- Drasch, G., Wanghofer, E., Roider, G. (1997) Are blood, urine, hair and muscle valid biomonitoring for the internal burden of men with the heavy metals mercury, lead and cadmium? *Trace Elements and Electrolytes*, 14, 116-123.
- Dupré, A., Bonafé, J.L., Carriere, J.P. (1978) The hair in acrodermatitis enteropathica – a disease indicator? *Acta Dermatovener (Stockholm)* 59, 177-178.
- Eads, E.A., Lambdin, C.E. (1973) A survey of trace metals in human hair. *Environ. Res.* 6, 247-252.
- Ely, D.L., Mostardi, R.A., Wobkenberg, N., Worstell, D. (1981) Aerometric and hair trace metal content in learning-disabled children. *Environ. Res.* 25, 325-339.
- Ermakov, V. (2002) Urov Kashin-Beck disease: biogeochemical and environmental aspects. *Mengen- und Spurenelemente* 21, 899-909.
- Ettle, T., Elsenhans, B., Schümann, K. (2007) Eisen. In: Dunkelberg, H., Gebel, T., Hartwig, A. (eds) *Handbuch der Lebensmitteltoxikologie* 5, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, pp. 2265-2315.
- Eyl, T.B. Wilcox, K.R., Jr., Reizen, M.S. (1970) Mercury, fish and human health. *Mich. Med.* 69, 873-880.
- Fang, W., Wu, P., Hu, R., Huang, Z. (2003) Environmental Se-Mo-B deficiency and its possible effects on crops and Keshan-Beck Disease (KBD) in the Chousang Area, Yao County, Shaanxi Province, China. *Environ. Geochem. Health* 25, 267-280.
- Fehlinger, R., Seidel, K. (1981) Die Bedeutung des Magnesiums in der Humanmedizin. *Mengen- und Spurenelemente* 1, 31-48.
- Ferguson, W.S., Lewis, A.H., Watson, S.J. (1938) Action of molybdenum in nutrition of milking cattle. *Nature* 141, 553.
- Flink, E.B., Stutzman, F.L., Anderson, A.R., König, T., Fraser, R. (1954) Magnesium deficiency after prolonged parenteral fluid administration and after chronic alcoholism complicated by delirium tremens. *J. Lab. Clin. Med.* 43, 169-183.
- Flohé, L., Günzler, W.H., Schock, H.H. (1973) Glutathion peroxidase: selenoenzyme. *FEBS Lett.* 32, 132-134.

- Folin, M., Contiero, E., Vaselli, M. (1991) Trace element determination in humans, the use of blood and hair. *Biol. Trace Element Res.* 31, 147-158.
- Frank, A., Anke, M., Danielsson, R. (2000) Experimental copper and chromium deficiency and additional molybdenum supplementation in goats. 1. Feed consumption and weight development. *Sci. Total Environ.* 249, 133-142.
- Franke, K.W., Painter, E.P. (1935) Selenium in proteins from toxic foodstuffs. The effect of feeding toxic proteins, toxic protein hydrolysates, and toxic protein hydrolysates from which selenium have been removed. *J. Nutr.* 10, 599.
- Freund, H., Atamain, S., Fischer, J.E. (1979) Chromium deficiency during total parenteral nutrition. *J. Am. Med. Assoc.* 241, 496-498.
- Gerhardsson, L. (2004) Lead. In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M. (eds) *Elements and their Compounds in the Environment. 2*, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co, KGaA Weinheim, Germany, pp. 879-900.
- Gershoff, S.N., McGandy, R.B., Nondasuta, A., Pisolyabutra, U., Tantivongse, P. (1977) Nutrition studies in Thailand III. Trace minerals in human and rat hair. *Am. J. Clin. Nutr.* 30, 868.
- Gibson, R.S. (1980) hair as a biopsy material for the assessment of trace element status in infancy. *J. Human Nutr.* 34, 405-416.
- Gibson, R.S., De Wolfe, M.S. (1979) Copper, zinc, manganese, vanadium, and iodine concentrations in the hair of Canadian low birth weight neonates. *Am. J. Clin. Nutr.* 32, 1728-1733.
- Gibson, R.S., De Wolfe, M.S. (1979) The zinc, copper, manganese, vanadium and iodine content of hair from 38 Canadian neonates. *Pediat. Res.* 13, 959.
- Gibson, R.S., De Wolfe, M.S. (1980) Changes in hair trace metal concentrations in some Canadian low birth weight infants. *Nutr. Rep. Int.* 21, 341-348.
- Golow, A.A., Kwaansa-Ansah, E.E. (1994) Comparison of lead and zinc levels in the hair of pupils from four towns in the Kumasi municipal area of Ghana. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 53, 325-331.
- Gonzalez, D., Ramirez, A., Perez, E., Schäfer, U., Anke, M. (1999) Der Iodverzehr erwachsener Mischkötter Mexikos. *Mengen- und Spurenelemente* 19, 85-94.
- Grabeklis, A.R., Skalny, A.V. (2003) Hair elemental content of teenagers: Influence of physiological and ecological factors. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) *On Trace Elements in Human: New Perspectives*. Entyposiss, 105 Mavromihali str. Athens, Greece, pp. 321-355.
- Grandjean, P., Weihe, P., White, R.R. et al. (1997) Cognitive deficit in 7-year-old children with prenatal exposure to methylmercury. *Neurotoxicol. Teratol.* 19, 417-428.
- Graupe, B. (1965) Untersuchungen über die Wirkung einer Molybdändüngung auf Ertrag und Zusammensetzung von Luzerne und der Einfluß Mo-gedüngten Futters auf den Mineralstoffhaushalt der Milchkühe. – Ein Beitrag zum Molybdänoseproblem. *Diss. Jena, Landw. Fakultät.*
- Groppel, B. (1982) Diagnose des Iodstatus. *Zbl. Pharm.* 121, 422-427.
- Groppel, B. (1986) Iodmangelerscheinungen, Ioversorgung und Iodstatus des Wiederkäuers (Rind, Schaf, Ziege). *Habilitationsschrift, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, Universität Leipzig.*
- Groppel, B., Anke, M. (1983) Diagnosis of iodine level. In: Anke, M. et al. (eds) *4. Spurenelement-symposium, Universität Leipzig und Jena*, pp. 156-163.

- Groppe, B., Anke, M., Hahn, G. (1982) Der geschlechtsabhängige Einfluß zusätzlicher Zinkgaben auf den Asche-, Zink-, Eisen- und Kupfergehalt des Frauen- und Männerhaares. Mengen- und Spurenelemente 2, 39-44.
- Groppe, B., Anke, M., Krause, U. (1984) Die Auswirkungen einer oralen Nickelbelastung durch den Nickelgehalt verschiedener Organe. Mengen- und Spurenelemente 4, 430-436a.
- Groppe, B., Köhler, B., Scholz, E., Anke, M., Körber, R., Jahreis, G. (1986) The effect of different iodine supply on the iodine content of blood serum, hair, milk and several extrathyroidal organs and tissues. In: Anke, M. et al. (eds) 5. Spurenelementsymposium, Universität Leipzig und Jena, pp. 99-109.
- Gross, S.B., Yeager, D.W., Middendorf, M.S. (1976) Cadmium in liver, kidney, and hair of humans, fetal through old age. J. Toxicol. And Environ. Health 2, 153-167.
- Grün, M. (1983) Der Einfluss des Bleistatus auf Futterverzehr, Lebendmassezunahme, Mortalität, Reproduktionsleistung und Blutbild von Schafen und Kälbern – Die Bleibelastung der Wiederkäuer in der Deutschen Demokratischen Republik. Habilitationsschrift, Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, Germany.
- Grün, M., Anke, M., Hennig, A., Kronemann, H. (1982) Die biologische Bedeutung des Schwermetalls Blei. Mengen- und Spurenelemente 2, 159-178.
- Grün, M., Anke, M., Hennig, A., Kronemann, H. (1982) Die Bleibelastung in der DDR. Zbl. Pharm. 122, 586-589.
- Grün, M., Anke, M., Hennig, A., Seffner, W., Partschfeld, M., Flachowsky, G., Groppe, B. (1978) Überhöhte orale Eisengaben an Schafe. 2. Mitt. Der Einfluß auf den Eisen-, Kupfer, Zink- und Mangangehalt verschiedener Organe. Arch. Tierern. 28, 341-347.
- Grün, M., Anke, M., Jäckel, L., Kronemann, H., Hennig, A. (1986) Die Bleibelastung des Kalbes. 7. Mitt. Der Bleigehalt des pigmentierten Deckhaares. Mengen- und Spurenelemente 6, 246-253.
- Grün, M., Hennig, A., Horlbeck, G. (1982) Die Bleibelastung des Kalbes. 1. Mitt. Versuchsdurchführung und Futterverzehr. Mengen- und Spurenelemente 2, 179-189.
- Grün, M., Hennig, A., Kronemann, H., Anke, M., Zintl, F. (1983) Die Diagnose des Bleistatus. Wiss. Z. Karl-Marx-Universität Leipzig, Math.-Nat. R. 32, 645-649.
- Grün, M., Kronemann, H., Jäckel, L., Hennig, A., Anke, M. (1988) Die Bleibelastung des Kalbes. 8. Mitt. Bleigehalt des Kotes. Mengen- und Spurenelemente 8, 101-106.
- Grün, M., Kronemann, H., Jäckel, L., Hennig, A. (1984) Die Bleibelastung des Kalbes. 4. Mitt. Bleigehalt verschiedener Organe. Mengen- und Spurenelemente 4, 200-207.
- Grün, M., Kronemann, H., Jäckel, L., Anke, M., Hennig, A. (1985) Die Bleibelastung des Kalbes. 5. Mitt. Bleigehalt des Blutes. Mengen- und Spurenelemente 5, 216-223.
- Günther, H., Marquardt, D., Wilbrandt, B., Leppin, S. (1992) Biologisches Monitoring im Einzugsbereich eines Stahlwerkes. Zbl. Hyg. 192, 509-521.
- Gürtler, H. (1976) Die Pathophysiologie und Klinik des Magnesiummangels beim landwirtschaftlichen Nutztier. In: Schneider, H.-J., Anke, M. (eds) Magnesiumstoffwechsel. Friedrich-Schiller-Universität Jena, pp. 53-69.

- Gumz, W., von Gagern, W. (1976) Der Einfluß endogener Faktoren auf den Asche-, Kalzium-, Magnesium-, Kalium-, Natrium-, Phosphor-, Zink-, Eisen-, Kupfer- und Mangangehalt der Schweineborste. 5. Mitt. Der Einfluß der Trächtigkeit und des Laktationsstadiums auf den Mineralstoffgehalt der Schweineborste. Arch. Tierern. 26, 51-59.
- Gunstheimer, G., Gunstheimer, U., Anke, M., Ludwig, H. (1997) Untersuchungen zum Quecksilberstatus des Rotfuchses (*Vulpes vulpes*) in Ostthüringen. Beiträge zur Jagd- und Wildforschung 22, 223-230.
- Habercam, J.W., Keil, J.E., Reigart, J.R., Croft, H.W. (1974) Lead content of human blood, hair, and deciduous teeth. Correlation with environmental factors and growth. J. Dental Res. 53, 1160-1163.
- Hambidge, K.M., Baum, J.D. (1971) Chromium, iron, zinc, and magnesium concentrations in newborn hair. Clin. Res. 19, 220-224.
- Hambidge, K.M., Droegemueller, W. (1974) Changes in plasma and hair concentrations of zinc, copper, chromium, and manganese during pregnancy. Obstetrics and Gynecology 44, 666-672.
- Hambidge, K.M., Hambidge, C., Jacobs, M., Baum, J.D. (1972) Low levels of zinc in hair, anorexia, poor growth, and hypogeusia in children. Pediat. Res. 6, 868-874.
- Hansen, J.C., Christensen, L.B., Tarp, U. (1980) Hair lead concentration in children with minimal cerebral dysfunction. Danish Med. Bull. 27, 259-262.
- Hennig, A., Anke, M., Diettrich, M., Hartmann, G., Hoffmann, G. (1971) Resorption und Verteilung von ⁵¹Chrom nach oralen Gaben an Legehennen in Abhängigkeit der Zeit. Arch. Tierern. 21, 609-615.
- Hennig, A., Anke, M., Groppe, B., Lüdke, H., Reissig, W., Diettrich, G., Grün, M. (1972) Manganmangel beim Wiederkäuer. 1. Mitt. Der Einfluß des Manganmangels auf die Lebendmasseentwicklung. Arch. Tierern. 22, 601.
- Hennig, A., Anke, M., Wolf, C. (1961/62) Ein Beitrag zur Calcium- und Phosphorversorgung der Milchkuhe. Jahrb. der Arbeitsgem. für Fütterungsberatung 4, 55-61.
- Hennig, A., von Gagern, W., Gumz, W. (1975) Der Einfluß endogener Faktoren auf den Asche-, Kalzium-, Magnesium-, Kalium-, Natrium-, Phosphor-, Zink-, Eisen-, Kupfer- und Mangangehalt der Schweineborste. 4. Mitt. Der Einfluß des Schnitzeitpunktes und der Erbllichkeit auf die anorganische Zusammensetzung des Haares (Sauenborsten, Ferkelborsten, nachgewachsene Borsten). Arch. Tierern. 25, 127-137.
- Hirschfelder, A.D., Haurly, V.G. (1934) Clinical manifestation of high and low plasma magnesium. JAMA 102, 1138-1141.
- Hoffmann, G., Anke, M., Grün, M., Groppe, B., Riedel, E. (1980) Absorption, distribution and excretion of ⁷⁶arsenic in hens and ruminants. In: Anke, M. et al. (eds) 3. Spurenelementensymposium. Arsen. Karl-Marx-University Leipzig, pp. 41-48.
- Hoffmann, G., Anke, M., Grün, M., Groppe, B., Riedel, E. (1981) The incorporation of ⁷⁶arsenic in feathers and hair of hens and ruminants. Symposium on Hair, Budapest, pp. 51-54.
- Hoffmann, G., Anke, M., Partschefeld, M., Groppe, B., Kronemann, H. (1979) Absorption and incorporation of ^{115m}cadmium in hens, pigs and monkeys. In: Anke, M., Schneider, H.-J. (eds) Cadmium-Symposium, Wiss. Beiträge der Friedrich-Schiller-Universität Jena, pp. 58-62.

- Horsch, P., Schurgast, H. (2006) Verhaltensauffälligkeiten und Hyperaktivität bei Kindern und Erwachsenen, Bewertung von Schadstoff-Belastungen und Mineralstoff-Imbalancen durch die Bestimmung von toxischen Metallen, Mineralstoffen und Spurenelementen im Haar, Schweiz. Ztschr. Ganzheitsmed. 18, 88-93.
- Hübschmann, J. (1988) Die Aussagefähigkeit des biologischen Expositionstestes für Nickel zum Nachweis unterschiedlicher Nickelbelastungen exponierter Werktätiger. Diss. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Med. Fakultät.
- Husain, M., Khaliqzaman, M., Abdullah, M., Ahmed, I., Khan, A.H. (1980) Trace elements concentration in hair of the Bangladeshi Population. Intern. J. Appl. Radiation and Isotopes 31, 527-534.
- Ifor, D.C., Pinnock, M.H., Dorrell, H.M., Williams, D.C., Grant, E.C.G. (1981) Comparison of concentrations of some trace, bulk, and toxic metals in the hair of normal and dyslexic children. Clin. Chem. 27, 879-881.
- Illing-Günther, H. (1995) Bestimmung, biologische Bedeutung und Versorgung des Menschen mit Vanadium. Diss. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Biol.-Pharm. Fakultät.
- Jamall, I.S., Allen, P.V. (1990) Use of hair as an indicator of environmental lead pollution in women of child-bearing age in Karachi, Pakistan and Bangladesh. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 44, 350-356.
- Jamall, I.S., Jaffer, R.A. (1987) Elevated iron levels in hair from steel mill workers in Karachi, Pakistan. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 39, 608-614.
- Jeejeebhoy, K.N., Chu, R.C., Marliss, E.B., Greenberg, G.R., Bruce-Robertson, A. (1977) Chromium deficiency, glucose intolerance, and neuropathy reversed by chromium supplementation, in a patient receiving long-term total parenteral nutrition. Am. J. Clin. Nutr. 30, 531-538.
- Jochum, F., Bührdel, P., Terwolbeck, K., Menzel, H., Cser, A., Lombeck, I. (1995) Die Auswirkungen verschiedener Diätregime auf den Selenstatus. Mengen- und Spurenelemente 15, 714-724.
- Kasperek, K., Iyengar, G.V., Feinendegen, L.E., Hashish, S., Mahfouz, M. (1982) Multielement analysis of fingernail, scalp hair and water samples from Egypt (A preliminary study). Sci. Total Environ. 22, 149-168.
- Kemmerer, A.R., Elvehjem, C.A., Hart, E.B. (1931) Studies on the relation of manganese to the nutrition of the mouse. J. Biol. Chem. 92, 623.
- Kim, Y.Y., Mahan, D.C. (2001) Effect of dietary selenium source, level, and pig hair color on various selenium indices. J. Anim. Sci. 79, 959-955.
- Kirchgessner, M., Reichlmayr-Lais, A.M. (1981) Lead deficiency and its effects on growth and metabolism. In: McHowell, J.M., Gawthorne, E., White, C.L. (eds) Trace Element Metabolism in Man and Animals – TEMA 4, Australian Academy of Sciences, Canberra, pp. 390-393.
- Klevay, L.M. (1970) Hair as a biopsy material. 2. Assessment of copper nutrition. Am. J. Clin. Nutr. 23, 1194.
- Klevay, L.M. (1973) Hair as a biopsy material. 3. Assessment of environmental lead exposure. Arch. Environ. Health 26, 169-172.
- Kośla, T. (1988) Mengen- und Spurenelementstatus, -bedarf und -versorgung der Pferde. Habilitationsschrift, Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin.

- Košla, T., Anke, M., Roskosz, T., Rokicki, E. (1985) Der Mengen- und Spurenelementgehalt des Deckhaares vom Wisent (*Bison bonasus*). Mengen- und Spurenelemente 5, 69-77.
- Košla, T., Rokicki, E., Anke, M. (1986) Der Lithiumstatus des Pferdes. In: Anke, M. et al. (eds) 5. Spurenelementensymposium, Universität Leipzig und Jena, pp. 1072-1081.
- Košla, T., Rokicki, E., Zarski, T.P., Urbainska-Slomka, G. (2000) Der Mangan- und Lithiumstatus des freilebenden Wisents. Mengen- und Spurenelemente 20, 1094-1100.
- Košla, T., Siegert, E., Anke, M., Szentmihályi, S. (1985) Der Mengen- und Spurenelementstatus und -bedarf des Pferdes. 2. Mitt. Zink. Mengen- und Spurenelemente 5, 356-366.
- Krause, U. (1987) Die biologische Bedeutung des Arsens. Diss. Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, Universität Leipzig.
- Krause, U., Chutsch, M. (1987) Haaranalyse in Medizin und Umwelt. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- Krause, U., Schulz, C., Becker, K., Bernigau, W., Hoffmann, K., Nöllhau, P., Schwabe, R., Seiwert, M. (1997) Human – Biomonitoring. Umweltbundesamt, Postfach 330022, 14191 Berlin.
- Kronemann, H., Anke, M., Grün, M., Groppe, B. (1981) Cadmium exposure in the GDR and the necessity of a copper supplementation of feedstuffs for ruminants. In: Szentmihályi, S. (ed) Conference on Feed Additives. Research Institute for Animal Nutrition, Herceghalom Hungary, pp. 253-256.
- Kruse, H.D., Orent, E.R., McCollum, E.V. (1932) Studies on magnesium deficiency in animals. I. Symptomatology resulting from magnesium deprivation. J. Biol. Chem. 96, 519-536.
- Lange, J. (1964) Die Therapie der Schwermetallspeicherung und -vergiftungen mit Komplexbildnern, Berliner Medizin 15, 109-111.
- Langeneckhardt, D. (1999) Untersuchung von Blei und Kadmium in Kopfharen der Bevölkerung in der Umgebung einer Metallhütte. Zeitschr. für Umweltmedizin 7, 360-365.
- Leotsinidis, M., Kondakis, X. (1990) Trace metals in scalp hair of Greek agricultural workers. Sci. Total Environ. 95, 149-156.
- Leroy, J. (1926) Necessite du magnesium pour la croissance de la souris. CR Seances de la Societe de Biologie 94, 431-433.
- Lobanova, Y.N., Grabeklis A.R., Skalnaya, M.G. (2003) Trace elements and immunobiological resistibility of child's organism. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) On Trace Elements in Human: New Perspectives. Entyopsis, 105 Movromihali str., Athens, Greece.
- Lodenius, M., Seppänen, A. (1982) Hair mercury contents and fish eating habits of people living near a finnish man-made lake. Chemosphere 11, 755-759.
- MacDonald, L.D., Gibson, R.S., Miles, J.E. (1982) Changes in hair, zinc, and copper concentrations of breast fed and bottle fed infants during the first six months. Acta Paediatr. Scand. 71, 785-789.
- McDowell, L.R. (2003) Minerals in Animal and Human Nutrition. 2nd Ed., Amsterdam, Elsevier.
- Marcusson, J.A., Evengard, B., Lindh, G. (1999) Chronic fatigue syndrome and nickel allergy. Contact Derm. 40, 269-272.
- Marston, H.R., Lee, H.J. (1948) Nutritional factors involved in wool production by Merino sheep. Austr.J. Sci. Res. 1, 376-383.

- Masaoka, T., Anke, M., Kronemann, H., Grün, M. (1986) The cadmium status of animal and man. In: Anke, M. et al. (eds) 5. Spurenelementensymposium, Universität Leipzig und Jena, pp. 979-989.
- Matsubara, J., Machida, K. (1985) Significance of elemental analysis of hair as a means of detecting environmental pollution. *Environ. Res.* 38, 225-238.
- Matsubara, O., Takaoka, H., Nasu, M., Iwakawa, Y., Okeda, R. (1978) An autopsy case of menkes kinky hair disease. *Acta Path. Jap.* 28, 585-594.
- McKenzie, J.M. (1979) Content of zinc in serum, urine, hair, and toenails of New Zealand adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 32, 570-579.
- Medeiros, D.M., Pellum, L.K. (1985) Blood pressure and hair cadmium, lead, copper, and zinc concentrations in Mississippi Adolescents. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 34, 163-169.
- Menkes, J.H., Alter, M., Steigleder, G.K., Weakley, D.R., Sung, J.H. (1962) A sex-linked recessive disorder with retardation of growth, peculiar hair, and focal cerebral and cerebellar degeneration. *Pediatrics* 29, 764-779.
- Merian E., Clarkson T., Fishbein L., Piscator M., Schlipkötter H., Stoeppler M., Stumm W., Sunderman W.: *Metals and Their Compounds in the Environment. Occurrence, Analysis and Biological Relevance*; Weinheim; VCH Verlagsgesellschaft mbH; 1991.
- Meyer, H., Engelberte, Th. (1960) Über den Mangangehalt von Haaren schwarzbunter Niederungsrinder und seine Beziehungen zur Fruchtbarkeit. *Dt. Tierärztl. Wochenschrift* 67, 124, 127.
- Moon, J., Smith, T.J., Tamaro, S., Enarson, D., Fadl, S., Davison, A.J., Weldon, L. (1986) Trace metals in scalp hair of children and adults in three Alberta Indian Villages. *Sci. Total Environ.* 54, 107-125.
- Morita, H., Shimomura, S., Kimura, A., Morita, M. (1986) Interrelationships between the concentration of magnesium, calcium, and strontium in the hair of Japanese school children. *Sci. Total Environ.* 54, 95-105.
- Müller, M. (2007) Unveröffentlichte Ergebnisse. Institut für Ernährung und Umwelt, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Deutschland.
- Müller, M., Anke, M., Illing-Günther, H. (1995) Die Auswirkungen einer aluminiumarmen Ernährung bei der Ziege. 1. Mitt. Methoden, Futtermittelverzehr, Wachstum und Reproduktion. Mengen- und Spurenelemente 15, 605-612.
- Müller, M., Anke, M., Illing-Günther, H. (1997) Oral aluminium exposure of adults in Germany. A long term survey. In: Fischer, P.W.F., Abbe, M.R.I., Gockell, K.A., Gibson, R.S. (eds) *Trace Elements in Man and Animals – TEMA 9*, NRC Research Press, Ottawa, pp. 177-178.
- Müller, M., Anke, M., Illing-Günther, H., Hartmann, E. (1995) Möglichkeiten und Risiken der oralen Aluminiumbelastungen des Menschen. Mengen- und Spurenelemente 15, 621-636.
- Müller, M., Anke, M., Gürtler, H., Illing-Günther, H. (1995) Die Auswirkungen einer aluminiumarmen Ernährung bei der Ziege. 2. Mitt. Milchleistung, Lebenserwartung, Plasmaparameter, Aluminiumgehalt ausgewählter Organe. Mengen- und Spurenelemente 15, 613-620.
- Müller, M., Anke, M., Gürtler, H., Illing-Günther, H., Anke, S. (1996) On the essentiality of aluminium. In: Pais, I. (ed) *International Trace Element Symposium*, Budapest, Hungary, pp. 89-104.

- Müller, M., Anke, M., Krämer, K. (1994) Veränderungen ausgewählter biochemischer Parameter im Vollblut und 24-Stunden-Urin cadmiumbelasteter Werktätiger. In: Drebigkas, V. (ed) Aktuelle Fragen des Stoffwechsels. Material der 5. Konferenz zu den Fragen der Physiologie des Stoffwechsels im Organismus der Menschen und der Tiere. Vilnius, Litauen, pp. 135-137.
- Müller, R. (2006): The biological and toxicological importance of copper – the copper content of invertebrates, mammals and humans. *Inzynieria ekologiczna* 16 (Warszawa), 44-47.
- Müller, R., Anke, M. (2006): Zn in the food chain – Zn intake of adults. *Priemyselna Toxikologia* (Zbornik Prispěvkov, Slovak Republic), Proceedings 75-83.
- Müller, R., Anke, M., Betz, I. (2010): Lithium to the nutrition of animals and man. *Zbornik Prednášok*, 30. Vedecke sympozium Priemyselná Toxikologia (Svit, Slovenska Republika), 2010, 134-143.
- Müller, R., Anke, M., Betz, I., Schilling, C. (2010): Matrine and Oxymatrine – Tetra-cycloquinolizidine alkaloides – with multifunction rather, investigation into the pharmacology. *Zbornik Prednášok*, 30. Vedecke sympozium Priemyselná Toxikologia (Svit, Slovenska Republika), 2010, 151-162.
- Müller, R., Anke, M., Betz, I., Zerull, J., Stubenrauch, M., Schilling, C., Witte, H. (2009): Industrial contaminations by heavy metals and resulting toxicological effects on human. 29. International Symposium Industrial Toxicology 09 (Svit, Slovak Republic), Proceedings 59-66.
- Müller, R., Anke, M., Fröbus, K. (2003): The Selenium content of the flora, plant and animal foodstuffs in Germany. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 12, pp. 584 – 588.
- Müller, R., Anke, M., Zerull, J. (2007): Biochemical active chelatecomplexes selected 3d- and 4d-transition metals on base of 2,2'-Diisothiocyanate-biphenyles. 27. International Symposium Bratislava (Slovak Republic), Proceedings 77-84.
- Müller, R., Anke, M., Zerull, J. (2008): Das Element Calcium - seine Bedeutung für die Nahrungskette Flora, Fauna und Mensch. Jahrestagung der AG Bergbaufolgelandschaften (Saßnitz-Rügen), Tagungsband 4-11.
- Müller, R., Anke, M., Zerull, J., Staudigel, G., Schilling, C. (2007): Industrielle Schwermetallkontaminierung und ihre toxikologischen Auswirkungen auf den Menschen. 9. Fachtagung der AG Bergbaufolgelandschaften (Stollberg/Harz), Tagungsband 18-25.
- Müller, R., Betz, I., Anke, M. (2009): Heavy metal complexes of the trihydroxamic acid and their medical importance. 13. Österreichische Chemietage, Vienna University of Technology, Book of Abstracts GÖCH, P075
- Müller, R., Hoppe, Ch., Staudigel, G. (2006): Synthese und Charakterisierung von N- und S-thiocyanat-substituierten Naphthalenen mit zelltoxischen und antimikrobiellen Wirkungen als Ligand von Biometallkomplexen in „Spurensuche – über das wissenschaftliche Werk von Manfred Anke“. *Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart*, 229-237.
- Müller, R., Stubenrauch, M., Schilling, C., Witte, H., Anke, M. (2008): Nickel – an essential and toxic element in the food chain of plants, animals and man. X. Symposium Trace Elements in the Environment (Koszalin-Mielna), Book of Abstracts 33-35.
- Muramatsu, Y., Parr, R.M. (1988) Concentrations of some trace elements in hair, liver and kidney from autopsy subjects – relationship between hair and internal organs. *Sci. Total Environ.* 76, 29-40.

- Neal, W.M., Becker, R.B., Skealy, A.L. (1931) Natural copper deficiency in cattle rations. *Science* 74, 418-427.
- Nielsen, F.H. (1974) Essentiality and function of nickel. In: Hoekstra, W.B., Suttie, J.W., Ganther, H.E., Mertz, W. (eds) *Trace Element Metabolism in animals – TEMA 2*, Baltimore, University Park Press, pp. 381-395.
- Nielsen, F.H. (1984) Ultra trace elements in nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 4, 21-41.
- Nielsen, F.H. (1985) The importance of diet composition in ultratrace element research. *J. Nutr.* 115, 1239-1247.
- Nielsen, F.H. (1991) Nutritional requirement for boron, silicon, vanadium, nickel and arsenic: current knowledge and speculation. *The FASEB J.* 5, 2661-2667.
- Nord, P.J., Kadaba, M.P., Sorenson, J.R.J. (1973) Mercury in human hair. *Arch. Environ. Health* 27, 39-44.
- Nowak, B. (1998) Contents and relationship of elements in human hair for a non-industrialised population in Poland. *Sci. Total Environ.* 209, 59-68.
- O'Dell, G.D., Miller, W.J., King, W.A., Moore, S.L., Blackmon, D.M. (1970) Nickel toxicity in the young bovine. *J. Nutr.* 100, 1447-1453.
- O'Dell, G.D., Miller, W.J., Moore, S.L., King, W.A. (1970) Effect of nickel as the chloride and the carbonate on palatability of cattle feed. *J. Dairy Sci.* 53, 1266-1269.
- Ono, T., Wada, O., Yamamoto, M. (1992) Study on the essentiality of lithium. *Biomed. Res. on Trace Elements* 3, 41-47.
- Orent, E.R., McCollum, E.V. (1931) Effects of deprivation of manganese in the rat. *J. Biol. Chem.* 92, 651-678.
- Pallauf, J., Kirchgessner, M. (1973) Zinkkonzentration des Rattenhaares bei Zink-Depletion und Repletion. Zur Eignung des Haares als Indikator für die Zinkversorgung. *Zbl. Vet. Med. A* 20, 100-109.
- Partschefeld, M. (1974) Erscheinungsbild, Diagnosemöglichkeiten und Verbreitung des Selenmangels beim wachsenden und laktierenden Wiederkäuer in den Südbezirken der DDR. *Diss. Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, Universität Leipzig*.
- Partschefeld, M., Anke, M., Grün, M. (1973) Possibilities of the biochemical diagnosis of neuromuscular defects caused by the deficiency of selenium, manganese and copper. In: Nesvadba, Z. (ed) *Symposium on Neuromuscular Disorders* 3, p. 263.
- Paschal, D.C., DiPietro, E., Phillips, D.L., Gunter, E.W. (1989) Age dependence of metals in a selected U.S. population. *Environ. Res.* 48, 17-28.
- Patra, R.C., Swarup, D., Naresh, R., Kumar, P., Nandi, D., Shekhar, P., Roy, S., Ali, S.L. (2007) Tail hair as an indicator of environmental exposure of cows to lead and cadmium in different industrial areas. *Ecotoxicol. And Environ. Safety* 66, 127-131.
- Patra, R.C., Swarup, D., Sharma, M.C., Naresh, R. (2006) Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units. *J. Vet. Med. A* 53, 511-517.
- Petering, H.G., Yeager, D.W., Witherup, S.O. Trace metal content of hair. I. Zinc and copper content of human hair in relation to age and sex. *Arch. Environ. Health* 23, 202-206.
- Pickett, E.E., O'Dell, B.L. (1992) Evidence for dietary essentiality of lithium in the rat. *Biol. Trace Element Res.* 34, 299-319.

- Prucha, J. (1987) Haare als Indikator für Umweltbelastungen. In: Krause, C., Chutsch, M. Haar-analyse in Medizin und Umwelt, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, pp. 111-118.
- Prucha, J. (1987) Schwermetallgehalt des Kinderhaares. Zbl. Bakt. Hyg. B 185, 273-290.
- Quereshi, I.H., Chaudhary, M.S., Ahmad, S. (1982) Trace element concentration in head hair of the inhabitants of the Rawalpindi-Islamabad area. J. Radioanal. Chem. 68, 209-218.
- Reeves, R.D., Jolley, K.W., Buckley, P.D. (1975) Lead in human hair: Relation to age, sex and environmental factors. Bull. Environ. Cont. Toxicol. 14, 579-587.
- Régius-Möcsényi, A., Anke, M., Szentmihályi, S. (1987) Li-content in some major forages and Li-status of animals. Acta Agron. Hungarica 36, 325-331.
- Reinhold, J.G., Kfoury, G.A., Thomas, T.A. (1967) Zinc, copper and iron concentrations in hair and other tissues. Effect of low zinc and protein intakes in rats. J. Nutr. 92, 173.
- Richert, D.A., Westerfeld, W.W. (1953) Isolation and identification of the xanthine oxidase factor as molybdenum. J. Biol. Chem. 203, 915-923.
- Risch, R.A. (1980) Arsenhaltige biogeochemische Provinzen Usbekistans. In: Anke, M., Schneider, H.-J. (eds) Proceedings of Arsenic, 3rd Trace Element-Symposium, University of Leipzig and Jena, pp. 91-93.
- Rosborg, I., Nihlgård, B., Gerhardsson, L. (2003) Hair element concentrations in females in one acid and one alkaline area in southern Sweden. Ambio 32, 440-446.
- Rosmanith, J., Einbrodt, H.J., Gordon, Th. (1975) Beziehungen zwischen Blei- und Zinkniederschlägen und den Schwermetallgehalten (Pb, Zn, Cd) im Blut, Urin und in den Haaren bei Kindern. Zbl. Bakt. Hyg. 161, 125-136.
- Ross, J., Gibson, R.S., Sabry, J.H. (1986) A study of seasonal trace element intakes and hair trace element concentrations in selected household from the Wosera, Papua New Guinea. Trop. geogr. Med. 38, 246-254.
- Rossi, L.C., Clemente, G.F., Santaroni, G. (1976) mercury and selenium distribution in a defined area and in its population. Arch. Environ. Health 31, 160-165.
- Rotruck, J.T., Pope, A.L., Ganther, H.E., Swanson, A.B., Haferman, D.G., Hoekstra, W.G. (1973) Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. Science 179, 588-590.
- Ryan, D.E., Holzbecher, J., Stuart, D.C. (1978) Trace elements in scalp-hair of persons with Multiple Sclerosis and of normal individuals. Clin. Chem. 24, 1996-2000.
- Sandell, E.B., Kolthoff, I.M. (1937/38) Microdetermination of iodine by acatalytic method. Mikrochim. Acta 1-3, 9-16.
- Saner, G. (1981) The effect of parity on maternal hair chromium concentration and the changes during pregnancy. Amer. J. Clin. Nutr. 34, 853-855.
- Saner, G., Yüzbasıyan, V., Cigdem, S. (1984) Hair chromium concentration and chromium excretion in tannery workers. Brit. J. Ind. Med. 41, 263-266.
- Sarmani, S. (1987) A study of trace element concentrations in human hair of some local population in Malaysia. J. Radioanal. Nucl. Chem. 110, 627-632.
- Sasaki, N., Takemori, K., Ohtsuka, R., Suzuki, T. (1981) Mineral contents in hair from Oriomo Papuans and Akita Dwellers. Ecol. Food and Nutr. 11, 117-120.
- Savchenko, T., Chankina, O., Kovalskaya, G., Osipova, I., Koutzenogii, K. (2000) Multielemental hair and blood composition of children of Tundra Nenets population by synchrotron radiation X-ray fluorescence analysis (SRXFA). Mengen- und Spurenelemente 20, 553-560.

- Schäfer, U. (1997) Essentiality and toxicity of lithium. *J. Trace and Microprobe Techn.* 15, 341-349.
- Schäfer, U. (1998) Past and present conceptions concerning the use of lithium in medicine. *J. Trace Microprobe Techn.* 16, 535-556.
- Schäfer, U. (2000) The development of lithium from a chemical laboratory curiosity to an ultra-trace element, a potent drug and a versatile industrial material. In: Seifert, M., Langer, U. Schäfer, U., Anke, M. (eds) *Mengen- und Spurenelemente. Author and Element Index 1981-2000. A Reference Book of 20 Years of Macro, Trace and Ultratrace Element Research*, Schubert Verlag Leipzig, pp. 21-29.
- Schäfer, U. (2004) Lithium. In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M. (eds) *Elements and Their Compounds in the Environment. Vol. 2*, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, pp. 901-930.
- Schäfer, U., Anke, M. (2006) Dietary and medical intake of aluminium and its toxicological relevance to humans. In: Romančík, V., Koprda, V., Manova, A. (eds) *Industrial Toxicology 2006*, Slovak University of Technology in Bratislava, Romania, pp. 15-16.
- Schaumann, E., Bergmann, W. (1982) Die Bedeutung des Magnesiums in der Praxis des Arztes. *Mengen- und Spurenelemente* 2, 439-448.
- Schellner, G. (1969) Natrium-, Zink- und Manganversorgung und -mangelerscheinungen beim Wiederkäuer. *Habilitationsschrift, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Math. Nat. Techn. Fakultät*.
- Schellner, G., Anke, M., Lüdke, H., Hennig, A. (1971) Die Abhängigkeit der Milchleistung und Milchzusammensetzung von der Natriumversorgung. *Arch. Exp. Vet.-med.* 25, 823-827.
- Schmidt, P., Anke, M., Dorn, W., Arnhold, W., Röhrig, P. (1998) Die Quecksilberaufnahme erwachsener Mischköstler und Vegetarier Deutschlands und die Quecksilberausscheidung erwachsener Mischköstler über Fäzes und Urin in Abhängigkeit von der Anzahl Amalgamfüllungen im Gebiß. *Mengen- und Spurenelemente* 18, 972-979.
- Schnegg, A., Kirchgessner, M. (1975) Zur Essentialität von Nickel für das tierische Wachstum. *Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelkd.* 36, 61-74.
- Schneider, H.-J., Anke, M. (1966) Der Mineralstoffgehalt des menschlichen Kopfhaares bei verschiedenen Krankheiten. *Ztschr. Ges. Inn. Med. und ihre Grenzgebiete* 21, 802-806.
- Schneider, H.-J., Anke, M. (1968) Die Veränderungen des Magnesiumgehaltes von Haar, Harn und Blutplasma nach oralen Magnesiumgaben beim Menschen und die Bedeutung dieser Befunde für die Therapie der Oxalaturolithiasis. *Zeitschr. für Urologie* 61, 361-365.
- Schneider, H.-J., Anke, M. (1970) Die Bedeutung des Magnesiums für die klinische Symptomatik der Urämie. *Acta Biol. Med. Germ.* 25, 503-508.
- Schneider, H.-J., Anke, M. (1981) The Mn-, Fe-, Zn- and Cu-content of the humans hair of the head dependent of age, sex and disease. In: Szentmihalyi, S. (ed) *The Hair, as an Indicator of Macro and Trace Element Supply. Vol. 3*, Research Institute, Animal Nutrition, Budapest, Herceghalom, Hungary, pp. 37-41.
- Schröder, H.A., Nason, A.P. (1969) Trace metals in human hair. *J. Invest. Derm.* 53, 71-78.
- Schumann, K., Elsenhans, B. (2004) Iron. In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M. (eds) *Elements and Their Compounds in the Environment. Vol. 2*, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, pp. 811-824.

- Schuhmacher, M., Domingo, J.L., Llobet, J.M., Corbella, J., Marti, J.B. (1993) Chromium, copper and zinc concentrations in hair of school children from Southern Catalonia, Spain. *Trace Elem. Med.* 10, 21-26.
- Schwarz, K., Foltz, C.M. (1957) Selenium as an integral part of actor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *J. Am. Chem. Soc.* 79, 3292.
- Schwarz, K., Spallholz, J.E. (1977) The potential essentiality of cadmium. In: Anke, M. Schneider, H.-J. (eds) *Cadmium-Symposium, Friedrich-Schiller-University, Jena*, pp. 188-194.
- Seifert, M., Dorn, W., Müller, R., Holzinger, S., Anke, M. (2009): The biological and toxicological importance of Molybdenum in the environment and in the nutrition of plants, animals and man. *Acta Alimentaria*, Vol. 38 (4), 471-481
- Shrestha, K.P., Schrauzer, G.N. (1989) Trace elements in hair: a study of residents in Darjeeling (India) and San Diego, California (USA). *Sci. Total Environ.* 79, 171-177.
- Sjollema, B. (1932) Nutritional and metabolic disorders in cattle. *Nutr. Abstr. & Rev.* 1, 621-632.
- Sjollema, B. (1933) Kupfermangel als Ursache von Krankheiten bei Pflanzen und Tieren. *Biochem. Z.* 267, 151-160.
- Sjollema, B. (1937) Kupfermangel als Ursache von Tierkrankheiten. *Biochem. Z.* 295, 372-381.
- Skalnaja, M.G., Semikopenko V.A. (2003) Elemental status of women suffered from breast cancer. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) *International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives*. Entypossis, 105 Mavromihali str. Athens, Greece.
- Skalny, A., Bushmanov, S., Alekseenko, E., Skalnaya, M., Bykov, A. (1999) Multielement hair analysis in monitoring of Chernobyl disaster veterans health. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) *International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives*. G. Morogianni. Acharnai, Greece.
- Skalny, A.V., Demidov, V.A. (2003) Macro- and trace element hair levels in east European population. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) *International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives*. Entypossis, 105 Mavromihali str. Athens, Greece.
- Skalny, A., Odineyeva, N., Lukyanova, O., Ponomareva, L., Kirbasova, N. (1999) Trace elements in the newborns and their mothers from the different regions of Russia. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) *International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives*. G. Morogianni. Acharnai, Greece, pp. 499-506.
- Skalny, A., Skalnaya, M. (1999) Epidemiology of microelementoses in Russian children. *Mengen- und Spurenelemente* 19, 925-931.
- Skalny, A., Skalnaya, M. (1999) Major and trace element in restoration of children health. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) *International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives*. G. Morogianni. Acharnai, Greece.
- Skalny, A.V., Skalnaya, M.G. (2003) The multielement hair analysis as a tool for preliminary evaluation of severe technogenic pollution effect on the children's health. In: Ermidou-Pollet, S., Pollet, S. (eds) *International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives*. Entypossis, 105 Mavromihali str. Athens, Greece, pp. 333-344.
- Stikumar, T.S., Källgard, B., Öckermann, P.A., Akkesson, B. (1992) The effects of a 2-years switch from a mixed to a lactovegetarian diet on trace element status in hypertensive subjects. *Europ. J. Clin. Nutr.* 46, 661-669.

- Stein, G., Anke, M., Fünfstick, R., Schneider, H.-J. (1979) Der Einfluß chronischer Niereninsuffizienz mit und ohne Dialysetherapie auf den Mangengehalt verschiedener Organe des Menschen. *Z. Ges. Inn. Med.* 34, 648-651.
- Strain, W.H., Lascari, A., Pories, W. (1966) Zinc deficiency in babies. *Proc. VIIth. Int. Congress of Nutrition*, p. 759.
- Sturaro, A., Parvoli, G., Doretto, L., Allegri, G., Costa, C. (1994) The influence of color, age, and sex on the content of zinc, copper, nickel, manganese, and lead in human hair. *Biol. Trace Elem. Res.* 40, 1-8.
- Sunderman, F.W., Jr., Nomoto, S., Morang, R., Nechay, M.W., Burke, C.N., Nielsen, S.W. (1972) Nickel deprivation in chicks. *J. Nutr.* 102, 259-268.
- Suzuki, T., Shishido-Kashiwazaki, S., Igata, A., Niina, K. (1979) Hair mercury value and fish-eating habit. *Ecol. of Food and Nutr.* 8, 117-122.
- Szentmihályi, S., Anke, M., Regius, A. (1985) The importance of lithium for plant and animal. In: Pais, I. (ed) *New Results in the Research of Hardly Known Trace Elements*. University of Horticulture, Budapest, Hungary, pp. 136-151.
- Szilágyi, M., Anke, M., Balogh, I., Regius-Möcsényi, A., Suri, A. (1989) Lithium status and animal metabolism. In: Yüregir, G.T. et al. (eds) *International Congress on Trace elements in Health and Disease at Adona, Turkey*. Cukurova University, Medical Faculty, pp. 107-118.
- Tada, K., Nogami, Y., Nagashima, M., Nagase, T., Ishiwata, H., Motegi, Y., Ikeda, M. (1986) Trace elements in the hair of schizophrenics. *Biol. Psych.* 21, 325-328.
- Tagagi, Y., Matsuda, S., Imai, S., Ohmori, Y., Masuda, T., Vinson, J.A., Mehra, M.C., Puri, B.K., Kaniewski, A. (1986) Trace elements in human hair: An international comparison. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 36, 793-800.
- Takeuchi, T., Hayashi, T., Takada, J., Koyama, M., Kozuka, H., Tzuji, H., Kusaka, Y., Ohmori, S., Shinogi, M., Aoki, A., Katayama, K., Tomiyama, T. (1979) Survey of trace elements in hair of normal Japanese. *IAEA Symp. Nuclear Activation Techniques in the Life Sciences*, Vienna, IAEA/STI/PUB/492, pp. 545-561.
- Taylor, A. (1986) Usefulness of measurements of trace elements in hair. *Ann. Clin. Biochem.* 23, 364-378.
- Tissot, B.P., Welte, D.H. (1984) *Petroleum Formation and Occurrence*. 2nd Edition, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Tkachev, V.P., Skalny, A.V. (2002) Role of some metabolic factors in development of androgen-dependent alopecia in women of child-bearing age. *Mengen- und Spurenelemente* 21, 793-798.
- Tomza, U., Janicki, T., Kosman, J. (1983) Instrumental neutron activation analysis of trace element in hair: A study of occupational exposure to a non-ferrous smelter. In: Anke, M., Baumann, W., Bräunlich, H., Brückner, Chr. (eds) 4. Spurenelementensymposium, Karl Marx University Leipzig, Friedrich Schiller University Jena, pp. 362-368.
- Tomza, U., Maenhaut, W. (1984) Trace elements in head hair of hemodialysis patients. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 86, 209-220.
- Underwood, E.J. (1962) *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. 6th Edition, Academic Press Inc., New York and London, pp. 48-99.

- Uthus, E.O., Nielsen, P.H. (1985) Effects in chicks of arsenic, arginine, and zinc and their interaction on body weight, plasma uric acid, plasma urea, and kidney arginase activity. *Biol. Trace Elem. Res.* 7, 11-20.
- Uthus, E.O., Nielsen, F.H. (1990) Effect of vanadium, iodine and their interaction on growth, blood variables, liver trace elements and thyroid status indices in rats. *Magnesium Trace Elem.* 9, 219-226.
- Van Koetsveld, E.E. (1958) The manganese and copper content of hair as an indication of the feeding condition of cattle regarding manganese and copper. *Tijdschr. Diergeneesk.* 83, 229.
- Vivoli, G., Fantuzzi, G., Bergomi, M., Tonelli, E., Gatto, M.R., Zanetti, F., DelDot, M. (1990) Relationship between zinc in serum and hair and some hormones during sexual maturation in humans. *Sci. Total Environ.* 95, 29-40.
- Vobecky, J.S., Vobecky, J., Shapcott, D., Black, R., Demers, P.P. (1979) Daily intake of chromium in infants. In: *Chromium Nutrition and metabolism*. Amsterdam, Elsevier, North-Holland, Biomedical Press, p. 163.
- Von Baehr, R., von Baehr, V. (2003) Nickelsensibilisierung als möglicher Kofaktor bei chronischer Müdigkeit. *Z. Umweltmed.* 11, 87-91.
- Waddell, J., Steenbock, H., Hart, E.B. (1931) Growth and reproduction on milk diets. *J. Nutr.* 4, 53.
- Wang, C.-T., Chang, W.-T., Jeng, L.-H., Liu, P.-E., Liu, L.-Y. (2005) Concentrations of calcium, copper, iron, magnesium, and zinc in young female hair with different body mass indexes in Taiwan. *J. Health Sci.* 51, 70-74.
- Weber, C.W., Nelson, G.W., de Vaquera, M.V., Pearson, P.B. (1990) Trace elements in the hair of healthy and Malnourished children. *J. Trop. Pediatr.* 36, 230-234.
- Werner, A., Anke, M. (1960) Der Spurenelementgehalt der Rinderhaare als Hilfsmittel zur Erkennung von Mangelerkrankungen. *Arch. Tierern.* 10, 142-153.
- Wibowo, A.A., Herber, R.F., Das, H.A., Roelvelde, N., Zielhuis, R.L. (1986) Levels of metals in hair of young children as an indicator of environmental pollution. *Environ. Res.* 40, 346-356.
- Wiesner, E., Bergmann, V., Berschneider, F., Neuffer, K., Willer, S. (1975) Selen- und Vitamin-E-Vorkommen, -Bedarf, -Stoffwechsel und -Ernährungsschäden. F/E Abschlußbericht, Plan Nr. 41001341 01 1 06.
- Wilbrand, B., Marquardt, D., Lüderitz, P., (1991) Spurenelementgehalt im Kopfhaar Berliner Kinder. *Forum Städte Hygiene* 42, 351-354.
- Wilhelm, M., Hafner, D., Lombeck, I., Ohnesorge, F.K. (1991) Monitoring of cadmium, copper, lead and zinc status in young children using toenails: Comparison with scalp hair. *Sci. Total Environ.* 103, 199-207.
- Wilhelm, M., Lombeck, I., Ohnesorge, F.K. (1994) Cadmium, copper, lead and zinc concentrations in hair and toenails of young children and family members: A follow-up study. *Sci. Total Environ.* 141, 275-280.
- Willstätter, R., Stoll, A. (1913) *Untersuchungen über Chlorophyll. Methoden und Ergebnisse.* Springer-Verlag, Berlin.
- Yamaguchi, S., Matsumoto, H., Kaku, S., Tateishi, M., Shiramizu, M. (1975) Factors affecting the amount of mercury in human scalp hair. *Am. J. Publ. Health* 65, 484-488.

- Yamaguchi, S., Matsumoto, H., Matsuo, S., Kaku, S., Hoshide, M. (1971) Relationship between mercury content of hair and amount of fish consumed. HSMHA Health Reports 86, 904-909.
- Yang, Z.T., Kong, L.H., Wang, L.X., Lei, Y.X., Song, H.B., Zhai, L.B., Zhang, C.M., Kang, Y.J., Zhu, Y.H., Zhang, P.Y. (2000) A summary of selenium level monitoring in Keshan disease areas for 10 years. J. Guangdong Trace Elem. Sci. 7, 22-23 (in Chinese with English abstract).
- Zachwieja, Z., Schlegel-Zawadzka, M., Chlopicka, J., Zagrodzki, P., Krosniak, M., Wypchlo, J. (1993) The comparison of the copper content in the hair of children living in several cities in Southern Poland. In: Anke, M., Meissner, D., Mills, C.F. (eds) Trace Elements in Man and Animal – TEMA 8, pp. 1087-1090.
- Zhu, L. (1981) Keshan disease. In: McHowell, J., Gawthorne, J.M., White, C.L. (eds) Trace Element Metabolism in Man and Animals. Australian Academy of Science, Canberra, pp. 514-517.