

Aluminiumspiegel im Blutplasma bei Arbeitern in der Aluminium-Industrie

Christian Schlatter¹, Alfred Steinegger², Urs Rickenbacher¹, Christian Hans², Andrea Lengey²

¹ Institut für Toxikologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule und der Universität Zürich, Schorenstrasse 16, 8603 Schwerzenbach

² Schweizerische Aluminium AG, Feldeggstrasse 4, 8034 Zürich

Es liegt nahe, dass sich in der Aluminium-Industrie die Frage nach Ausmass und Bedeutung der Expositionen gegenüber Aluminium-Verbindungen am Arbeitsplatz stellt. Erste grobe Anhaltspunkte zu dieser Frage ergeben sich aus einem Vergleich der Expositionen am Arbeitsplatz mit ubiquitär vorkommenden Expositionen wie zum Beispiel Aufnahme aus Nahrungsmitteln. Auf *Tabelle 1* sind diese verschiedenen Quellen aufgeführt, und es ist ersichtlich, dass die aufgrund von Luftanalysen grob abgeschätzten Aufnahmen am Arbeitsplatz etwa doppelt so hoch wie die Aufnahmen aus Nahrungsmitteln sind.

Allgemein:			
- Nahrungsmittel	Gemüse	20	mg
	Fleisch	0,1	mg
	Wasser	0,05	mg
	Kochen in Aluminiumgeschirr	5	mg
- Luft		0,1	mg
	Arbeiter aus Aluminiumindustrie zusätzlich aus Umgebungsluft	50	mg
Patienten (Nieren, Magen) oral		2000–5000	mg

Tab. 1. Tägliche Aufnahme von Aluminium durch den Menschen.

Allerdings ist zu bedenken, dass es sich am Arbeitsplatz um eine inhalatorische und nicht um eine orale Aufnahme handelt. In bestimmten therapeutischen Situationen (Aluminium-Hydroxid-Behandlung bei Hyperazidität sowie Phosphatbindung bei Dialysepatienten) werden täglich sehr viel höhere Mengen im Bereiche von einigen Gramm aufgenommen. Dieser erste Vergleich weist bereits darauf hin, dass wohl die Belastung am Arbeitsplatz durch Aluminiumverbindungen kaum von sehr grosser toxikologischer Bedeutung sein wird.

In die gleiche Richtung weist auch eine Übersicht über die hauptsächlichsten toxikologischen Daten von Aluminiumverbindungen:

Die akute Toxizität ist in der Regel sehr gering; sie liegt in einem ähnlichen Bereich wie Kochsalz. Bei subchronischen und chronischen Toxizitätsstudien ergibt sich ein NOEL oder eine Dosis ohne Wirkung von mehr als 100 mg/kg Körpergewicht/Tag. Aluminiumverbindungen zeigen auch keine mutagenen und kanzerogenen Eigenschaften.

- LD ₅₀ , AlCl ₃ , Ratte, Maus		3700 mg/kg
- 90 Tage, AlPO ₄ , Hund oral	NOEL*	750 mg/kg
- 90 Tage, verschiedene Al-Salze, Ratte oral	NOEL	200 mg/kg
- 350 Tage, AlCl ₃ , Maus oral nachfolgende Generationen	NOEL	100 mg/kg
Wachstumsstörungen, wahrscheinlich bedingt durch P-Mangel		
- Kanzerogenität: negativ		
* No observable effect level		

Tab. 2. Toxikologie der Aluminium-Verbindungen.

Trotz dieser günstigen Ausgangslage hielten wir es für notwendig, genauere Kenntnisse über die Aluminiumbelastung am Arbeitsplatz zu ermitteln. Diese Daten scheinen uns heute besonders wichtig zu sein, weil in letzter Zeit vermehrt Hinweise über mögliche toxische Effekte von Aluminiumverbindungen in hohen Dosen beim Menschen aufgetreten sind. Aluminium wurde zum Beispiel bei der Alzheimerschen Demenz genannt. In letzter Zeit hat allerdings in den meisten Untersuchungen kein Kausalzusammenhang wahrscheinlich gemacht werden können. Es scheint, dass erhöhte Aluminiumgehalte im Gehirn von Alzheimerpatienten nicht Ursache, sondern eher Folge der Primärkrankheit darstellen. Hingegen stimmen die meisten Autoren darin überein, dass bei Dialysepatienten mit sehr hohen Aluminium-Plasma-Spiegeln (meist über 150 µg/l) vermehrt Enzephalopathien (Sprechstörungen, Verwirrheitszustände, Ataxien, Muskelschwächen) auftreten können. Obwohl bei diesen schwerkranken Patienten auch andere Ursachen in Frage kommen, scheint Aluminium hier wahrscheinlich doch zumindest eine Mitursache zu sein. Auf der *Abbildung 1* sind die von uns in den letzten Jahren ermittelten Plasma-Blutspiegel bei Dialysepatienten mit und ohne Muskel- und ZNS-Symptomen aufgeführt.

Aus unserem Datenmaterial lässt sich allerdings eine Häufung bei hohen Aluminiumkonzentrationen nicht ableiten. Hingegen zeigt die Beobachtung von zwei Einzelfällen die mögliche kausale Beteiligung von Aluminium (*Abbildung 2*). Bei zwei Patienten mit entsprechenden Symptomen trat nach Absetzen der Aluminium-Hydroxid-Behandlung eine deutliche Besserung des Zustandes und natürlich auch ein Abfall der Plasma-Aluminium-Gehalte auf.

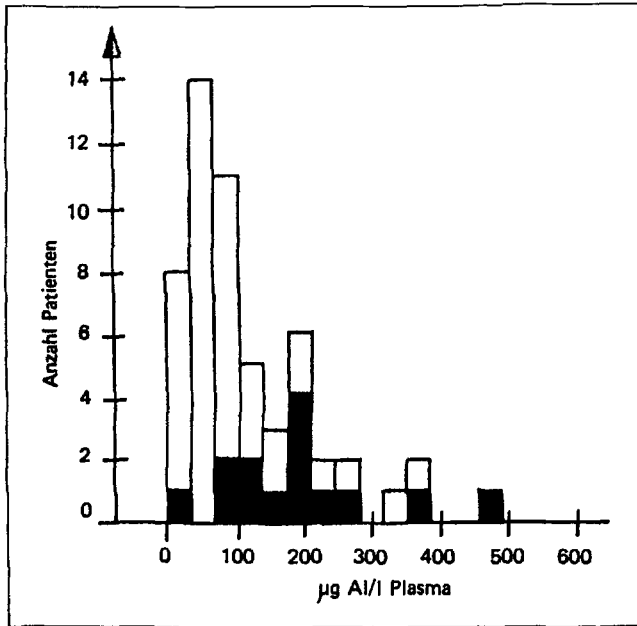


Abb. 1. Histogramm der maximalen PAK der Dialysepatienten mit Muskelschwächen und/oder Myoklonie und/oder geistiger Beeinträchtigung (schwarze Säulen) und der Patienten ohne diese Befunde (weisse Säulen).

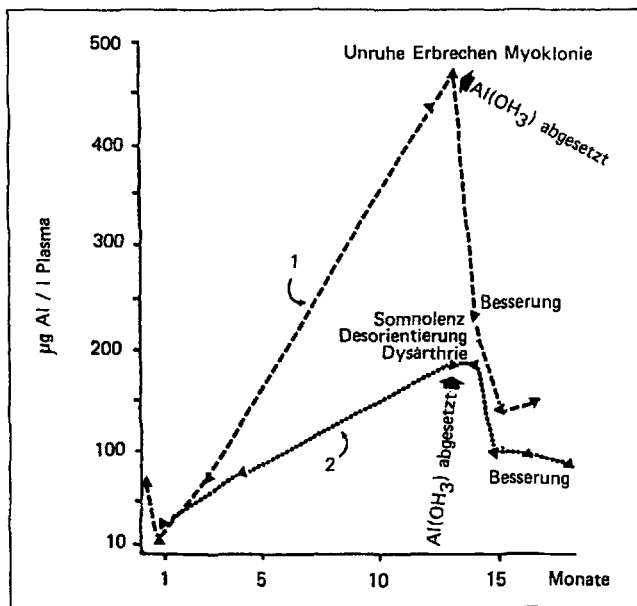


Abb. 2. Günstige Auswirkung von befristetem Absetzen der Phosphatbinder auf zentralnervöse Krankheitssymptome zweier Patienten.

Da wegen der relativ geringen Aluminiumexpositionen am Arbeitsplatz niedrige Aluminium-Plasma-Werte zu erwarten wären, hatten wir uns vorerst um eine sehr zuverlässige Messmethode zu bemühen. Bei Durchsicht der Literatur zeigte sich, dass die sogenannten normalen Plasma-Aluminium-Konzentrationen selbst aus jüngster Zeit sehr stark variieren (Tabelle 3).

Anal. Technik	Durchschnitt µg/l	S.D. µg/l	Bereich µg/l	Anzahl Personen
AAS	1,6	1,29		11
AAS	2,1	2,2	0,0–7,6	14
AAS	< 4		< 2,5–7	37
AAS	7	2		13
AAS	10,2		3,2–32,4	15
AAS	12	4		12
AAS	14,15	12,2		44
AAS	14,2	7,1	4,0–34,5	40
AAS	16,2			20
AAS	23,2	7,29		20
AAS	24	8	10–45	59
NAA	25		10–50	10
AAS	28	9	12–46	23
AAS	34,1	3,5	28–40	20
AAS	38		10–92	29
ICP	42	16	20–75	20

Tab. 3. Plasma-Aluminium-Werte bei Normalpersonen in verschiedenen Studien. AAS: Atom-Absorptions-Spektroskopie, NAA: Neutronen-Aktivierungs-Analyse, ICP: Inductive Coupled Plasma Emission.

Dies ist verständlich, denn da Aluminium überall in relativ hohen Mengen vorkommt, ist es enorm schwierig, bei der Analyse Kontaminationen zu vermeiden. Wir sind heute der Ansicht, dass die Normalgehalte bei einer nicht besonders exponierten Bevölkerung im Bereiche von höchstens 1–3 µg/l liegen. In unserem Laboratorium verwendeten wir zur Analyse die flammenlose Atomabsorption. Auf Tabelle 4 sind die Werte, die wir an verschiedenen Arbeitsplätzen im Aluminium-Elektrolysebetrieb bei verschiedenen Tätigkeiten erhalten haben, aufgeführt.

Tätigkeiten	n	\bar{x}	σ_{n-1}	Bereich
Ofenarbeiter	38	21,8	13,5	2,1–53,2
Vorarbeiter	13	22,2	15,2	4,4–53,2
Schöpfer	3	23,8	22,5	7,7–49,5
Anodendienst	6	16,5	13,4	5,3–35,8
Schichtführer	5	11,1	8,9	4,0–25,6
direkt	65	20,7	13,9	2,1–53,2
Schweisser	15	7,0	4,8	2,9–16,5
LW 3	3	7,5	1,5	6,1– 9,1
Bärrengiessen	5	4,2	1,2	2,8– 5,4
indirekt	23	6,5	4,1	2,8–16,5
Total	88	17,0	13,6	2,1–53,2

Tab. 4. Aluminium-Gehalt im Blutplasma (µg/l) (Aluminium-Elektrolyse).

Erwartungsgemäss zeigen die Arbeiter, welche ständig in der Aluminium-Elektrolyse-Halle arbeiten, höhere Werte als die Arbeiter mit Zuliefer- oder Reparaturaufgaben.

Auf *Abbildung 3* sind die Mittelwerte dieser Gruppen nochmals aufgeführt und mit den Werten von Giesseiarbeitern verglichen. Diese letzte Gruppe zeigt nahezu Werte, wie wir sie bei einer nicht exponierten Bevölkerung erwarten.

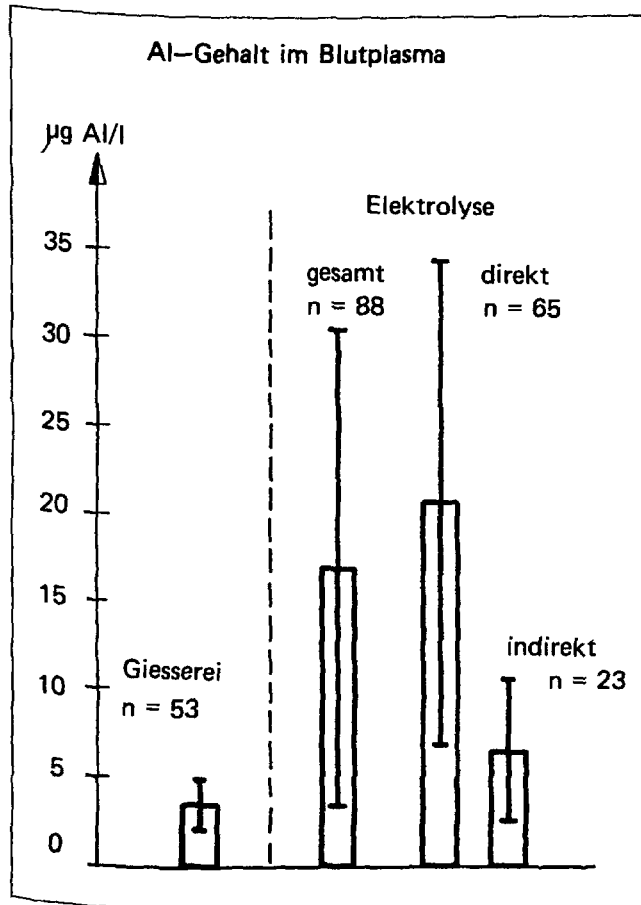


Abb. 3. Al-Gehalt im Blutplasma.

Auf *Abbildung 4* sind die Resultate aus einem anderen Betrieb aufgeführt. Auch hier liegen die Gehalte bei den Arbeitern in der Aluminium-Elektrolyse-Ofenhalle in einem Bereich von 5 bis 15 µg/l. Sie sind also deutlich höher als bei nicht exponierten Leuten, jedoch auch mindestens zehnmal tiefer als bei Dialyse-Patienten.

Einen weiteren wichtigen Punkt stellt der Konzentrationsverlauf während einer Arbeitsschicht dar. Aus experimentellen Studien an Ratten wussten wir, dass die Halbwertszeit von oral aufgenommenen Aluminiumsalzen nur etwa 4 Stunden beträgt. Es ist deshalb damit zu rechnen, dass während einer Schicht die Plasma-Konzentration ansteigt und hernach im Verlaufe weniger Stunden wieder deutlich abfällt. Diese erwartete Situation konnten wir tatsächlich bei unseren Untersuchungen bestätigen (*Tabelle 5*).

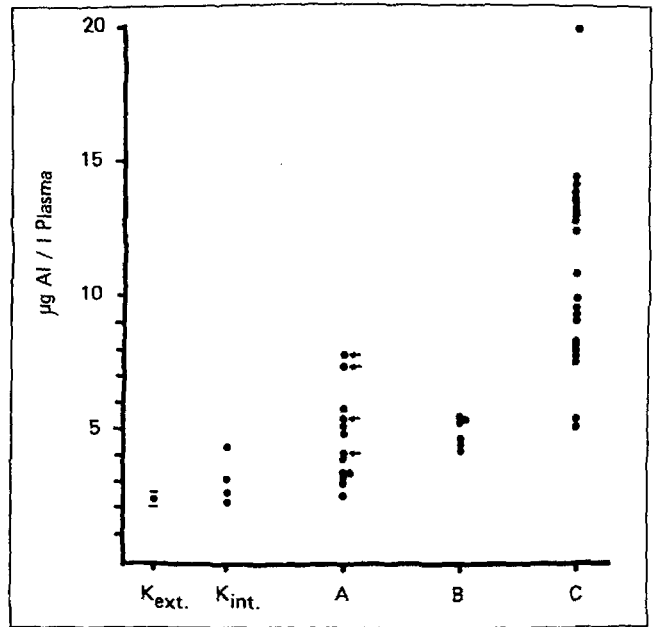


Abb. 4. Plasma-Aluminium-Konzentrationen an verschiedenen Arbeitsplätzen.

K_{ext.} = externe Kontrollen

K_{int.} = interne Kontrollen

A = Arbeiter vom Hafen. die Pfeile bezeichnen zwei Kehrer und einen Kleinbaggerfahrer

B = Arbeiter aus der Giesserei, Schmelzerei und Sägerei

C = Elektrolyse-Arbeiter

Probenahme		Ofenarbeiter	Vorarb. + Schichtf. + Schöpf.	Gesamt
I	n	10	7	17
10-11 Uhr	\bar{x}	22,6	25,8	23,9
	σ_{n-1}	14,4	18,3	15,7
II	n	9	2	11
11-12 Uhr	\bar{x}	32,2	(35,8)	32,8
	σ_{n-1}	11,8	22,0	12,7
III	n	18	13	31
14-15 Uhr	\bar{x}	17,2	14,5	16,1
	σ_{n-1}	11,0	9,0	10,1

Tab. 5. Einfluss der Probenahmezeit auf Aluminium-Gehalt im Blutplasma (µg/l), Aluminium-Elektrolyse (59 Proben).

Da die intensivsten Arbeiten von morgens 6 bis 11 Uhr verrichtet werden, ist der Maximalwert im Blut etwa um 11 Uhr zu erwarten, hierauf tritt gegen Schichtende bereits wieder ein Abfall auf, da sich in dieser zweiten Schichtphase vorwiegend Tätigkeiten mit geringer Exposition abspielen. Es scheint, dass während einer Schicht der vorbestehende Plasma-Grundwert maximal etwa verdoppelt werden kann. Wegen der grossen Schwankungen während einer Schicht wird

man in Zukunft die Entnahmezeiten standardisieren müssen. Als günstigste Zeit dürfte sich wohl eine sogenannte Preshift-Situation, also kurz vor erneutem Arbeitsbeginn nach mindestens 48stündiger Betriebsabwesenheit, erweisen. Vergleiche bei einigen ausgewählten Personen von Werten während und vor der Schicht sind auf *Tabelle 6* aufgeführt.

Probennahme		11. 2. 1984	22. 2. 1984
zwischen 10–11 Uhr			vor Arbeitsbeginn (nachmitt.) ≈ preshift
Ofenarbeiter Vorarbeiter	} Elektrolyse	54	31
		58	34
zwischen 11–12 Uhr			
Vorarbeiter Ofenarbeiter	} Elektrolyse	53	25
		53	20

Tab. 6. Nachkontrollen von Personen mit hohem Plasma-Aluminiumgehalt ($\mu\text{g/l}$).

Bei sechs weiteren Arbeitern haben wir die Plasma-Aluminium-Konzentration vor der Schicht, nach der Schicht sowie nochmals nach der Schicht am Abschluss einer 7tägigen Schichtperiode gemessen (*Tabelle 7*).

Untersuchte Personen	Plasma-Aluminium-Konzentrationen		
	vor 1-wochiger Schichtarbeit	nach 1. Schicht	nach 7. Schicht (nach 1 Woche)
1.	35	36	41
2.	14	30	38
3.	24	47	49
4.	24	40	–
5.	27	33	60
6.	27	35	25
Mittelwert	25,16	32,33	42,6
σ_{n-1}	6,8	15,2	13,0

Tab. 7. Plasma-Aluminium-Konzentrationen bei sechs Arbeitern zu verschiedenen Zeiten des Arbeitszyklus.

Dabei zeigte sich, dass während einer einwöchigen Schichtarbeit sich höchstens eine ganz geringe Tendenz zu einer Kumulation am Schichtende ergab. Auch hier sind die Unterschiede jeweils nach Schichtende teilweise beträchtlich, so dass wohl die Werte vor der Schicht ein besseres Bild über die chronische Belastungssituation ergeben.

Als letztes hatten wir untersucht, ob bei Elektrolysearbeiten eine Abhängigkeit der Plasmaspiegel von der Beschäftigungsdauer im Werk besteht (*Abbildung 5*). Es scheint tatsächlich eine, allerdings sehr geringfügige Zunahme der Plasma-Aluminium-Werte im Laufe der

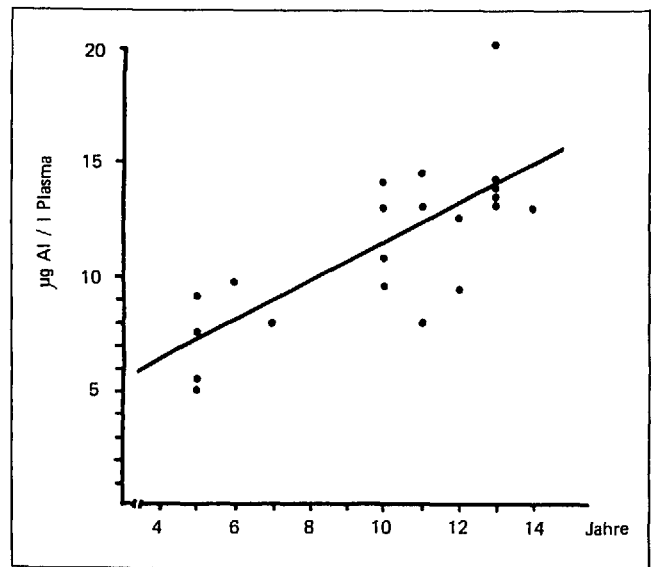


Abb. 5. Einfluss der Anstellungsdauer auf die PAK ($R=0,72$)

Zeit zu erfolgen. Die Werte nach 13jähriger Tätigkeit liegen mit $15 \mu\text{g/l}$ jedoch noch immer in einem toxikologisch wohl völlig unbedeutenden Bereich. Aus tierexperimentellen Studien haben wir vorläufige Hinweise, dass in geringem Ausmasse Aluminiumverbindungen in der Leber gespeichert werden konnten. Dieser Punkt bedarf aber noch weiterer Abklärungen. Unsere Resultate zeigen, dass die Plasma-Aluminium-Gehalte bei Arbeitern in der Aluminiumindustrie gegenüber der Normalbevölkerung erhöht sind, dass sie aber mindestens zehnmals tiefer sind als Werte bei Dialysepatienten, bei denen allenfalls durch Aluminium mitverursachte Symptome auftreten können. Es bestehen somit keine Hinweise dafür, dass die Aufnahme von Aluminiumverbindungen bei der Elektrolyse irgendwelche negativen gesundheitlichen Effekte haben könnte.

Kürzlich bestimmten *Mussi et al.* [Int Arch Occup Environ Health (1984) 54: 155–161] die Aluminiumgehalte bei Aluminiumschweißern und bei Bearbeitern von Aluminiumhalbzeug. Die Werte lagen im gleichen Bereich wie die von uns gefundenen bei Arbeitern in der Aluminiummetallproduktion. Eine genaue Beschreibung der hier dargestellten Untersuchungen, sowie eine ausführliche Diskussion der Toxikologie von Aluminium findet sich in der Dissertation von U. Rickenbacher «Gastrointestinale Absorption und toxische Auswirkungen von Aluminiumverbindungen bei Versuchstieren und exponierten Personen», Institut für Toxikologie, 1984, Diss. ETH Nr. 7480.

Zusammenfassung

Aluminium-Blutspiegel bei Arbeitern in der Aluminiumindustrie
 Bei Arbeitern in der Produktion von Aluminiummetall wurden die Aluminiumgehalte im Blutplasma bestimmt. Bei Arbeitern in der Elektrolyse wurden Gehalte von 5 bis 15 µg/l erhalten, während sie in der Giesserei bei etwa 5 µg/l lagen. Bei der nicht beruflich exponierten gesunden Kontrollbevölkerung betragen die Normalwerte höchstens 1 bis 3 µg/l. Wesentlich höhere Gehalte, nämlich im Bereiche von 100 bis 500 µg/l, wurden bei Patienten mit chronischem Nierenversagen ermittelt, da diese täglich einige Gramm Aluminiumhydroxid zur Phosphatbindung aufnehmen müssen und in den regelmässigen Dialysesitzungen nur ein Teil des aufgenommenen Aluminiums wieder eliminiert werden kann. Bei solch hohen Gehalten können gelegentlich zentralnervöse Störungen, wohl verursacht durch Aluminiumverbindungen, auftreten. Es bestehen keine Hinweise dafür, dass die Belastung der Arbeiter in einer Aluminiumhütte irgendwelche Gesundheitsbeeinträchtigungen haben könnte.

Resumé

Taux d'aluminium dans le sang d'ouvriers travaillant dans l'industrie d'aluminium
 Les taux d'aluminium ont été déterminés dans le plasma sanguin d'ouvriers travaillant dans la production d'aluminium métallique. Chez les ouvriers travaillant dans l'électrolyse, des taux de 5 à 15 µg/l ont été trouvés, tandis que chez ceux travaillant dans la fonderie, ils se situent aux environs de 5 µg/l. Les valeurs normales d'une population professionnellement non exposée et de bonne santé se

trouvent au maximum entre 1 et 3 µg/l. Des taux bien plus élevés entre 100 et 500 µg/l sont trouvés chez des patients souffrant d'insuffisance rénale chronique. Ces patients doivent absorber journellement plusieurs grammes d'hydroxide d'aluminium pour la fixation des phosphates. Cet aluminium ne peut être éliminé que partiellement lors des séances régulières de dialyse. En présence de concentrations aussi élevées, on peut parfois trouver des dérangements du système nerveux central, probablement dus aux composants d'aluminium. Il n'existe cependant aucun indice que l'exposition dans une usine de production d'aluminium n'affecte la santé des ouvriers.

Summary

Aluminium blood levels in aluminium workers
 Aluminium levels in the blood plasma were determined in a group of workers in an aluminium plant. The aluminium concentration in the plasma of potroom workers was 5 to 15 µg/l whereas workers in the cast-house showed values of approximately 5 µg/l. In a healthy non-occupationally exposed control population, normal values of less than 1 to 3 µg/l were obtained. Considerably higher values, in the range of 100 to 500 µg/l, were found in kidney patients, since they must ingest several grams of aluminium-hydroxides daily to bind phosphates in the intestinal system. The aluminium is, however, only partially removed by dialysis. Occasionally central nervous disturbances, possibly due to aluminium, occur in these patients. However, there is no evidence of any health effects due to the intake of aluminium compounds in workers in the aluminium industry.

Neue Bücher / Nouveaux livres

Früherkennung und Früherziehung behinderter Kinder

Aus: *Arbeiten zur Theorie und Praxis der Rehabilitation in Medizin, Psychologie und Sonderpädagogik, Gelbe Reihe, Band 28*
 Rolf Tobler, Jorg Grond (Hrsg.)
 Verlag Hans Huber, 1985
 Fr. 25.-

Hauptthema dieses wichtigen Buches ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Früherkennung und Früherziehung der Kinder. Im Zentrum steht eine eingehende Erörterung der psychologisch-pädagogischen Grundlagen und der Arbeitsweise der heilpädagogischen Früherziehung durch den Psychologen und Heilpädagogen J. Grond, der auch gleich die Resultate der ersten umfassenden statistischen Erhebung über alle schweizerischen Früherziehungsdienste und über die von ihnen betreuten Kinder präsentiert. Was Früherziehung unter günstigen Vorzeichen zu leisten im Stande ist, zeigt auf eindrückliche Weise ein Gespräch zwischen Erzieherin und betroffenen Eltern. Fazit dieser Darstellungen: Die heilpädagogische Früherziehung kann zur Entwicklungsförderung und zur Hebung der Lebensqualität der behinderten und von Behinderung bedrohten Kinder und ihrer Familien einen wesentlichen Beitrag leisten. Die Dienste sind in der Schweiz zwar flächendeckend ausgebaut, erfassen aber trotzdem erst einen Bruchteil der behinderten Kinder. Die Früherkennung muss also dringend verbessert werden. Die Möglichkeiten dazu werden in sehr praxisnahen Beiträgen

von Pädiatern verschiedener Fachrichtungen vorgestellt (Perinatologen, praktizierenden Kinderärzten, CP- und POS-Spezialisten, Kinderpsychiatern). Diese Beiträge vermitteln jedem, der in seiner beruflichen Tätigkeit mit Fragen der Früherkennung konfrontiert wird, eine Fülle von konkreten Hinweisen, wobei neben der Diagnostik auch die wichtige Aufgabe der Information, der Führung und Unterstützung der Eltern die ihr gebührende Beachtung findet. Gerade dadurch, dass in allen Beiträgen neben allgemeinen Leitideen auch konkrete Detailfragen behandelt werden, treten neben den Möglichkeiten auch die Grenzen und die Schwierigkeiten der Früherkennung deutlich zutage. Die Herausgeber haben löblicherweise bei allem Bemühen um interdisziplinäre Verständigung auch keinen Versuch unternommen, Unterschiede in der Auffassung zu übertünchen. Der Leser hat sich vorderhand damit abzufinden, dass sich auch die Fachleute nicht überall einig sind. Wesentliche Fortschritte dürfen aber von einer Intensivierung der interdisziplinären Zusammenarbeit auf allen Ebenen erwartet werden. Ein illustratives Beispiel dazu liefert das Buch in Form eines Gesprächs zwischen einer betroffenen Mutter, Früherzieherin, Kinderarzt, Mütterberaterin und einem «neutralen» Beobachter.

Es wäre sehr zu wünschen, dass dieses in seiner Art einzigartige Buch von allen, die sich mit Früherkennung und Früherziehung beschäftigen, das heisst vor allem von Kinderärzten, Früherziehern und Mütterberaterinnen und auch von betroffenen Eltern und

Behördemitgliedern, nicht nur gelesen, sondern intensiv studiert würde. Damit könnte es zweifellos zu einer wesentlichen Verbesserung der Betreuung behinderter Säuglinge, Kleinkinder und ihrer Familien beitragen.
 Jean Claude Vuille, Bern

Aktion Speck weg

Ein Vollprogramm zum Abnehmen für 4 Wochen 1000–2000 Kalorien
 SV-Service, 1985, Zürich
 Fr. 12.-

Die vom SV-Service vorgelegte «Speckweg»-Aktion, ein Vollprogramm zum Abnehmen für 4 Wochen, möchte «vernünftige Mahlzeiten – auch in der Gemeinschaftsverpflegung» ermöglichen, richtet sich aber auch an Privatpersonen.

Grundlagen dieser «Speckweg»-Aktion sind die Erkenntnisse des 2. Schweizerischen Ernährungsberichtes, dass die Schweizer in der Mehrheit zu fett, zu süss, zu proteinreich, zu salzig und zu ballaststoffarm essen; Gewohnheiten, die geändert werden sollten.

Neben einem detaillierten Menüplan von täglich fünf, schweizerischen Verhältnissen angepassten Mahlzeiten über vier Wochen enthält das Buch auch eine Kalorientafel, begrüssenswerterweise einen Saisonkalender für Früchte und Gemüse, eine Tabelle, um das Körpergewicht regelmässig zu notieren, sowie zehn Tips zur praktischen Durchführung der Aktion.