

# Magnesiumsubstitution im Höhenttraining der Rudernationalmannschaft in Vorbereitung auf die Olympischen Spiele – Ergebnisse einer kontrollierten Studie

A. Mader\*, U. Hartmann\*, H. G. Fischer\*, G. Reinhardt-Mader\*, K.-J. Böhnert\*\*, W. Hollmann\*

## Zusammenfassung

Im Rahmen eines 3,5wöchigen Höhenttrainings wurde ab dem 3. Tag Magnesium (Biomagnesin) im Rahmen einer kontrollierten Studie in normaler Dosierung (21 mmol/Tag) gegeben. Die Blutwerte waren vor der Mg<sup>++</sup>-Substitution normal und änderten sich nur unwesentlich.

Die 24-Stunden-Ausscheidung im Urin ist individuell stark unterschiedlich, jedoch abhängig von der Intensität der Trainingsbelastung. Dies gilt unabhängig von der Mg<sup>++</sup>-Einnahme. Im Einzelfall steigt die 24h-Ausscheidung auf mehr als 20 mmol an. Es wird daraus geschlossen, daß umfangreiche und intensive Belastungen zu Mg<sup>++</sup>-Verlusten führen können. Der Zusammenhang von Mg<sup>++</sup>-Defiziten mit Übertrainingsymptomen wird diskutiert.

## Summary

During a high altitude training over three and a half weeks, magnesium (Biomagnesin) was supplemented in normal doses (21 mmol/24 h) in a controlled study from the third day onwards. The blood magnesium levels were normal before the supplementary dose and remained almost unchanged.

Magnesium excretion over 24 hours varies considerably in each individual case and under certain conditions depends on the intensity and degree of training. Independently of the supplementary dose, magnesium excretion can rise to more than 20 mol/24 h. The data obtained lead to the conclusion that an intensive training, particularly in the phase of intensification, can produce a negative magnesium balance. The correlation between the symptoms of an excessive training will be discussed.

## Résumé

Pendant un entraînement en haute altitude qui dura 3 semaines et demie, du magnésium (Biomagnesin) a été administré dans le cadre d'une étude contrôlée, à la dose normale de 21 mmol/jour à partir du 3ème jour. Le taux de magnésium dans le sang était normal avant la substitution et restait ultérieurement presque inchangé.

La quantité de magnésium éliminée dans les urines pendant 24 heures varie considérablement selon chaque cas. Cependant elle dépend de l'intensité et du degré de l'entraînement et est indépendante de la prise de magnésium. Dans certains cas, la quantité éliminée dans les urines est supérieure à 20 mmol/24 heures. D'après les résultats obtenus, on peut conclure qu'un vaste entraînement intensif peut conduire à des pertes de magnésium. La coïncidence d'une carence en magnésium avec des symptômes dus à un entraînement trop intensif devra être discutée.

## Einleitung

Das sportliche Leistungsvermögen und die Belastbarkeit im Training ist von einer Vielzahl von Faktoren, unter anderem auch von der Homöostase der Elektrolytkonzentrationen im Gewebe und im Blut abhängig [1, 2, 4, 10, 14, 15, 17, 20, 23]. Unter hohen Trainingsbelastungen und im Verlaufe einer Wettkampfsrie kann es zu Elektrolytverlusten kommen, die das sportliche Leistungsvermögen und die Belastbarkeit herabmindern [10, 11, 14, 15, 16, 17]. Es ist unklar, wie sich Umfang

bzw. Intensität eines Hochleistungstrainings auf die Mg<sup>++</sup>-Aufnahme bzw. Ausscheidung auswirken.

Bisher wurden bei Sportlern fast ausschließlich Blut- oder Schweißuntersuchungen durchgeführt [2, 3, 11, 12, 21, 22]. Da bekannt ist, daß der Mg<sup>++</sup>-Gehalt weitgehend durch die Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung der Niere reguliert wird [4, 9, 16], erschien es nützlich, die Mg<sup>++</sup>-Bilanz bei Leistungssportlern über die Bestimmung der Mg<sup>++</sup>-Urinausscheidung zu prüfen.

## 1. Erläuterungen zum Training

Der Trainingsort St. Moritz liegt 1850 m ü. NN. Der Luftdruck beträgt ca.

620 mmHg bei niedriger Luftfeuchtigkeit und hoher UV-Lichteinstrahlung. Der Ablauf eines vielschichtigen Anpassungsvorgangs in der Höhe ist in der Abb. 1 für 4 Wochen schematisch dargestellt.

Der obere Bereich (A) der Abb. 1 gibt schematisch akute und chronische Veränderungen von Hämoglobinkonzentration, Blutvolumen und Retikulozytenzahl wieder. Der anfängliche Anstieg des Hb's ist bedingt durch eine Hämokonzentration mit Verringerung des Blutvolumens. Der initiale Anstieg des Hämoglobins durch Hämokonzentration erfolgt zum Ausgleich eines O<sub>2</sub>-Sättigungsdefizits [18, 19].

Die resultierende Verringerung des Blutvolumens wird in der Folge

\* Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin der Deutschen Sporthochschule Köln

\*\*MADAUS AG, Köln

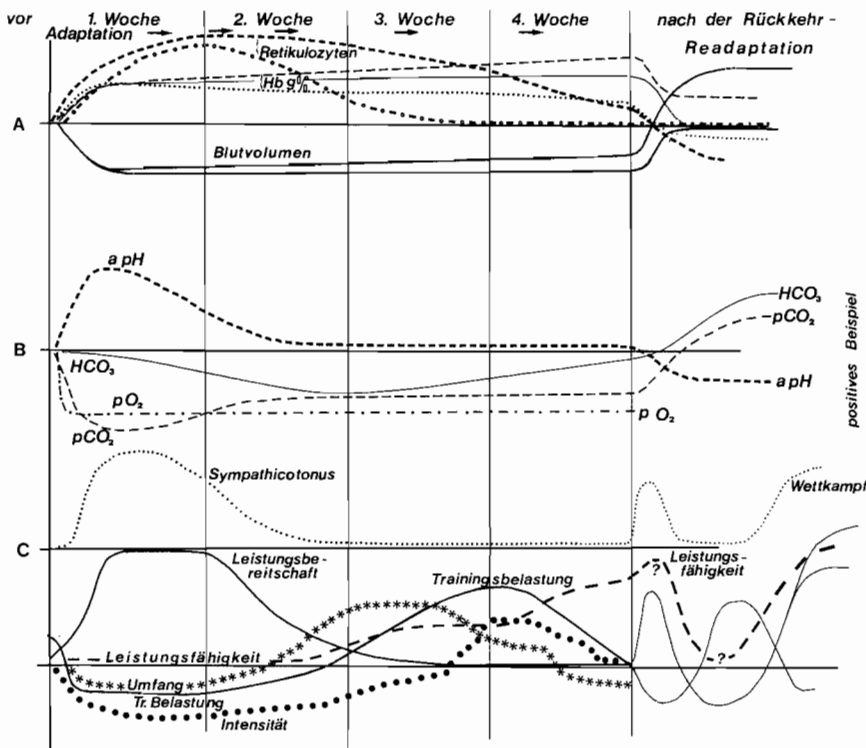


Abb. 1: Schematische Darstellung physiologischer Veränderungen in einem Höhenttraining in Relation zu einem standardisiertem extensivem Kraftausdauertraining. Teil A beschreibt die Blutparameter Hb, HK, Retikulozyten und Blutvolumen, Teil B Blutgase und pH, Teil C Leistungsbereitschaft und Trainingsdurchführung.

durch verstärkte Neubildung von Erythrozyten im Laufe des Höhenttrainings ausgeglichen. Nach der Rückkehr aus der Höhe verringert sich die Hb-Konzentration wieder auf das Niveau im Flachland durch eine weitere Expansion des Blutvolumens [18, 19].

Der mittlere Bereich (B) veranschaulicht das Verhalten des Säure-Base-Status des Blutes. Der niedrigere Sauerstoffdruck ( $=pO_2$ ) in der Außenluft führt zur Steigerung des Atemminutenvolumens verbunden mit dem Abfall des  $pCO_2$  im arteriellen Blut und einem Anstieg des pH-Wertes. Die anfänglich bestehende respiratorische Alkalose wird im Ablauf von ca. 4-6 Tagen durch Ausscheidung von Bikarbonat und Senkung des aktuellen Bikarbonats im Blut um ca. 1,5 mmol/l normalisiert.

In den ersten Tagen eines Höhenttrainings besteht eine Sympathikotonie mit subjektiv höherer Lei-

stungsbereitschaft, aber objektiv herabgesetzter Leistungsfähigkeit. Die Fähigkeit zur Beurteilung der Belastungsintensität ist gestört, daher resultieren häufig Fehler im Training [19].

Der am Beginn des HT's bestehenden Sympathikotonie muß durch ein umfangsbetontes und wenig intensives Ausdauertraining entgegengewirkt werden (s. Bereich C der Abb. 1). In der zweiten Woche wird hauptsächlich der Belastungsumfang, in der dritten Woche auch die Belastungsintensität gesteigert.

Die Trainingsbelastungen bestanden durchschnittlich aus 2mal tgl. 60 bis 90 Minuten Ausdauertraining durch Rudern bzw. Radfahren und in geringem Umfang auch Laufbelastungen. Zusätzlich wurde 2-3 mal wöchentlich ein Kraft- bzw. Kraftausdauertraining durchgeführt. In der 2. bzw. 3. Woche wurden wenige, dafür aber hochintensive Ruderbelastungen von 2-10 Minuten Dauer

in nahezu Rennintensität bzw. in Rennintensität in das Training einbezogen.

Durch ein Höhenttraining können folgende im Flachland nicht erreichbare Verbesserungen als Voraussetzung einer besseren Wettkampfleistung erreicht werden:

1. Vergrößerung der Transportkapazität des Herzkreislaufsystems für Sauerstoff bei Maximalbelastungen durch Anstieg der Hämoglobinkonzentration, der Erythrozytenzahl und letztendlich des Gesamtblutvolumens (physiologischer Retransfusionseffekt [19]).
2. Vergrößerung der oxidativen Stoffwechsellkapazität der Arbeitsmuskulatur durch ein konsequentes, überwiegend nicht intensives Ausdauertraining (Anstieg von Zahl bzw. Volumen der Mitochondrien der Arbeitsmuskulatur).

Beide Effekte ergeben eine Verbesserung der Gesamtstoffwechsellkapazität gemessen an der  $VO_{2max}$  und der 6-Minuten-Maximalleistung auf dem Gjessing-Ruderergometer um ca. 4-6 %, was etwa dem Leistungsgewinn eines halbjährigen Flachlandtrainings vergleichbar ist [19].

## 2. Substitution von Vitaminen und Mineralien

Die Durchführung eines umfangsbetonten Kraftausdauertrainings erfordert eine hohe Kalorienaufnahme, zwischen 4500 bis 5500 kcal/die, mit hohen Anteilen an Kohlenhydraten.

Bedingt durch das Angebot (Hotelkost) war die Ernährung nicht optimal. Der Kohlenhydratanteil (KH) und das Eiweißangebot waren z. T. nicht ausreichend, der Fettgehalt sehr häufig zu hoch. Die notwendige hohe KH-Aufnahme und ein ausreichendes Eiweißangebot konnte nur durch Zusatznahrung in Form von

1 Hersteller: MADAUS AG, Köln

2 Klosterfrau, Köln

3 Sanol GmbH, Monheim

Eiweiß- und KH-Konzentraten gewährleistet werden. Zur Vermeidung von Defiziten wurde die Einnahme folgender Präparate empfohlen bzw. auch durchgeführt:

1. Substitution von Magnesium in therapeutischer Dosis (12 Tabl. Biomagnesium<sup>®1</sup> ab mittags, um mögliche Störungen der Resorption von Fe<sup>++</sup> und Mg<sup>++</sup> zu vermeiden).
2. Multivitaminpräparat (Taxofit<sup>®2</sup> 3 mal 2 Kapseln/tgl.)
3. Eisenpräparat ferro sanol<sup>®3</sup> duodenal (1 Kapsel am Morgen zum Frühstück) zur Vermeidung eines Eisendefizits bzw. zur Verbesserung der Voraussetzung der Erythrozytenneubildung.
4. Ausreichende Flüssigkeitszufuhr in Form von Mineralwässern, Fruchtsäften, Tee usw. (mehr als 2 Liter tgl.).

Alle Präparate erwiesen sich als sehr gut verträglich und damit problemlos in der Anwendung.

Die Magnesiumsubstitution mit Biomagnesium wurde in Form einer kontrollierten Studie durchgeführt. Die Studie hatte folgende Ziele:

1. Die Gewährleistung einer ausreichenden Substitution von Magnesium zur Vermeidung eines Mg<sup>++</sup>-Defizits.
2. Die Kontrolle der Blutspiegel von Mg<sup>++</sup> sowie die Untersuchung der Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung im nächtlichen Sammelurin in Abhängigkeit von der Trainingsbelastung. Letzteres könnte dazu beitragen, den Mg<sup>++</sup>-Bedarf und die Mg<sup>++</sup>-Bilanz in Phasen körperlicher Höchstbelastung besser beurteilen zu können. Die regelmäßige Einnahme, auch von Multivitamin-, Eisen- und Mineralpräparaten ist, entgegen anderslautenden Presseberichten über einen exzessiven Pharmakakonsum bei Leistungssportlern, für einen längeren Zeitraum nur schwierig erreichbar und muß in jedem Fall immer wieder bezüglich der Notwendigkeit und Nützlichkeit begründet werden.

Dies ist besonders schwierig in einer kontrollierten Studie, da hier individuellen Wünschen nicht entsprochen

werden kann und zusätzliche Belastungen durch Untersuchungen und andere Kontrollmaßnahmen hinzukommen. Eine solche Studie kann aus den obengenannten Gründen nicht als placebokontrollierte (Doppelblind-) Studie durchgeführt werden, da Leistungssportler entweder den Nutzen einsehen und aus diesem Grunde daran teilnehmen, oder die Einnahme ablehnen.

### 3. Untersuchungsmethodik

Die Blutentnahmen zur Bestimmung der Blutparameter des Magnesiums erfolgten an den Kontrolltagen von morgens 8 bis ca. 14 Uhr. Es wurden ca. 5 ml Arm-Venenblut nach nur kurzzeitiger Stauung entnommen. Die Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung über 24 Stunden wurde aus dem abendlichen und nächtlichen Sammelurin wie folgt geschätzt:

1. Der Beginn der Sammelzeit (SZ) war die Uhrzeit der letzten Miktion, die nicht gesammelt wurde. Ende der SZ ist die Uhrzeit der letzten Miktion am Morgen, die noch gesammelt wurde.
2. Das Volumen des Sammelurins (VU) wurde auf ± 30 ml genau bestimmt und jeweils 2 mal 50 ml zur Bestimmung der Mg<sup>++</sup>-Konzentration sowie einer Anzahl weiterer biochemischer Parameter tiefgefroren.
3. Die Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung (Mg-Aus) für 24 Std. wurde wie folgt hochgerechnet:

$$\text{Mg}^{++}\text{-Aus (mmol/l x 24 Std.)} = \frac{\text{UV (l) x Mg-Konz (mmol/l) x 24 x 60}{\text{SZ (min)}}$$

Es wurde angenommen, daß eine lineare Extrapolation von der nächtlichen auf die 24-Stunden-Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung zu keinem unvermeidbar großen Fehler führt. Die Mg<sup>++</sup>-Bestimmung erfolgte mittels Atomabsorptionsspektrophotometrie. Der Harnstoff wurde enzymatisch mit dem Testkit der Fa. Böhringer nach Verdünnung des Urins bestimmt.

Um die Tagesbelastung durch das Training in einer Zahl skalierbar zu machen, wurde die Dauer des Trainings (Umfang) in Minuten mit einem Intensitätsfaktor je nach der Art des Trainings (Kategorie) multipliziert und insgesamt je Tag summiert. Korrelationen z. B. zwischen Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung und Training wurden mit dieser Summe berechnet. Die Intensität wurde überwiegend anhand der Blutlaktat Spiegel eingeschätzt. Die Skalierung (Art bzw. Kategorie des Trainings mit dazugehörigem Belastungsfaktor) wurde wie folgt durchgeführt:

1. Extensives Ausdauertraining mit Herzfrequenzen < 160 S/min, Laktat < 2,0 mmol/l Belastungsfaktor 1,0
2. Intensives Ausdauertraining Hfr > 165 S/min, Laktat > 2,0 < 4,0 mmol/l Belastungsfaktor 2
3. Intervallbelastungen z. B. 3 x 7 min Laktat 4,0 bis 8,0 mmol/l Belastungsfaktor 4,0
4. Hochintensive Belastungen im Renntempo oder Rennbelastungen Laktat > 8,0 bis ca. 16,0 mmol/l Belastungsfaktor 8
5. Krafttraining Laktat 2,0 bis 8,0 mmol/l Belastungsfaktor 2,0
6. Radfahren (extensiv) HFr. < 165 S/min, Laktat 2,0 mmol/l Belastungsfaktor 1,0
7. Laufen (extensiv) HFr. < 165 S/min, Laktat 2,0 mmol/l Belastungsfaktor 1,5

Die Gesamtbelastung (=GB) wurde wie folgt berechnet:

$$\text{GB} = \sum (\text{Min(TK)} \times \text{BelFakt})$$

Min(TK) = Belastungszeit in Minuten der jeweiligen Trainingskategorie (TK)

BelFakt = Belastungsfaktor entsprechend Tabelle

Da, wie sich später herausstellte, nur eine Minderzahl von Sportlern das Training hinreichend exakt protokolliert hat, ist eine generelle statistische Auswertung der Abhängigkeit von Belastung (GB) und  $Mg^{++}$ -Ausscheidung nur bedingt bzw. nur teilweise möglich.

## Ergebnisse

An der Studie nahmen 12 Frauen und 24 Männer der Rudernationalmannschaft teil.

Anzahl	Alter (Jahre)
w 12	21,89 ± 1,52
m 24	25,04 ± 2,51

Größe cm
w 183,08 ± 3,15
m 194,71 ± 4,81

Gewicht
w 75,98 ± 3,76 kg
m 89,83 ± 4,79 kg

Die Ergebnisse der kontrollierten Studie beinhalten das Verhalten der Blutspiegel und die  $Mg^{++}$ -Ausscheidung an den Tagen der Blutspiegelkontrollen sowie Zeitverläufe der  $Mg^{++}$ -Ausscheidung im Nachtrurin im Längsschnitt und im Einzelfall.

Die erste venöse Blutentnahme erfolgte einen Tag vor Beginn der Einnahme von Biomagnesium. Die erste Kontrolle erfolgte am 4. und die letzte am 20. Tag nach dem Beginn.

Das Blutspiegelverhalten an den Kontrolltagen ist in der Abb. 2 u. Tab. 1 dargestellt.

Bei allen an der Studie beteiligten Probanden blieb der  $Mg^{++}$ -Spiegel sowohl im Serum als auch in den Erythrozyten konstant bzw. stieg im Mittel leicht an. Es gab im Gegensatz zu Befunden aus der Literatur keine zu niedrigen  $Mg^{++}$ -Werte im Serum.

Es besteht ein Unterschied zwischen Serum- $Mg^{++}$ - und Erythrozyten- $Mg^{++}$ -Gehalt zwischen dem 4. und 20. Tag dergestalt, daß der Serum- $Mg^{++}$ -Spiegel gering niedriger, der Erythrozytenspiegel gering höher ist. Die Ursache kann sowohl ein gerin-

Tab. 1: Kontrolle der Blutspiegel (Vena cubitalis), (N = 30).

$Mg^{++}$ :	1. Tag vor	am 4. Tag	am 20. Tag
Serum:	0,803 ± 0,060	0,803 ± 0,063	0,789 ± 0,056
Vollbl.: Ery:	1,431 ± 0,086	1,443 ± 0,103	1,462 ± 0,095
	2,158 ± 0,156	2,160 ± 0,175	2,181 ± 0,167

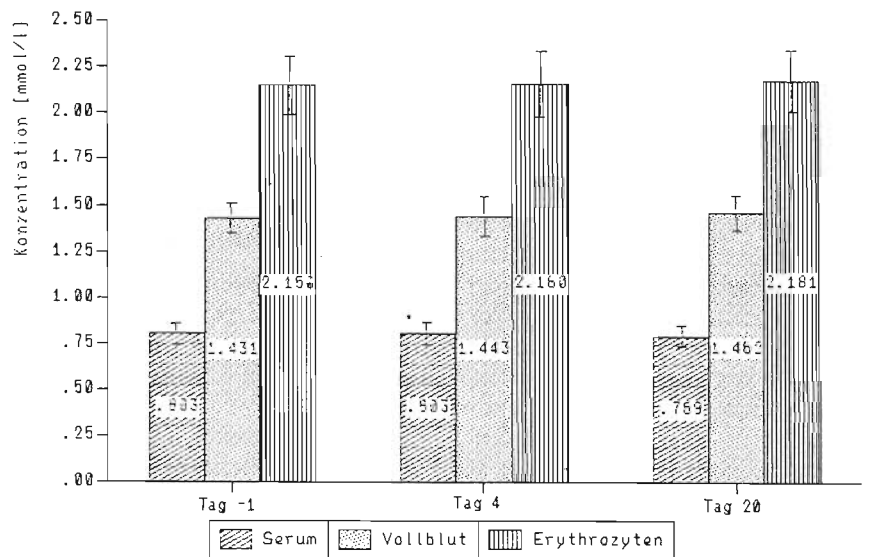


Abb. 2: Mittelwerte der  $Mg^{++}$ -Konzentration im Serum, in den Erythrozyten und im Vollblut an den Kontrolltagen.

ger Shift von  $Mg^{++}$  in die Erythrozyten als auch ein durch Hb- und HK-Anstieg bedingter höherer Volumenanteil der Erythrozyten darstellen, wie dies der Anstieg des HK's um mehr als 1-2 Vol.-% sowie der Hb-Anstieg um ca. 0,5-1,0 g% ausweisen.

Die durchschnittliche Sammelzeit aus allen Proben war bei Männern und Frauen nicht wesentlich unterschiedlich. Das Urinvolumen war bei den Männern um durchschnittlich 34 % höher (Tab. 2).

Durch die Einnahme von Biomagnesium steigt die Urinausscheidung

Tab. 2:

M/W	Urinvol.	Sammelzeit
Männer	976,6 ± 546,7 ml mittl. SZ	12:06,5 ± 2:16,5 Std.
Frauen	726,5 ± 136,5 ml mittl. SZ	12:35 +

$Mg^{++}$ -Konzentration und 24 Std.-Ausscheidung MW u. STD vor und während  $Mg^{++}$ -Substitution

M/W	1+2 Tage vor		während 4. bis 22. Tag		Differenz
	Mg-Konz. mmol/l	Mg-Aus. mmol/24h	Mg-Konz. mmol/l	Mg-Aus. mmol/24h	
Männer	N = 37 5,746 ± 2,695	N = 40 7,681 ± 2,724	N = 267 6,016 ± 2,886	N = 290 9,865 ± 4,01	+2,3
Frauen	N = 21 6,567 ± 3,852	5,136 ± 2,886	N = 150 7,585 ± 3,834	7,759 ± 3,26	+ 2,62

an den Kontrolltagen im Urin auf 24 Stunden hochgerechnet im Mittel von 7,45 auf ca. 11,5 (+53,6 %) bzw. 10,27 mmol/24 Std. (+37,6 %) an (Tab. 3).

Tab. 3: Urinausscheidung von Mg<sup>++</sup> an den Kontrolltagen für alle Probanden.

Mg <sup>++</sup> mmol	1. Tag vor	am 6. Tag	am 20. Tag
N =	34	30	29
Urin/24 h	7,464	11,466	10,267

Betrachtet man Mittelwerte u. Standardabweichungen aller Proben am 1. u. 2. Tag vor und vom 4.–23. Tg nach Mg<sup>++</sup>-Substitution getrennt nach Männern und Frauen, so sind die Unterschiede in den Mittelwerten geringer als an den Kontrolltagen (Tab. 2). Die Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung selbst ist insgesamt starken Schwankungen unterworfen, wie das Diagramm der Mittelwerte der jeweiligen Nacht für Männer und Frauen vom 1.–22. Tag (Abb. 3) zeigt. Für die Männer berechnet sich eine um ca. 2 mmol/24h höhere Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung. Dagegen ist die Magnesiumkonzentration im Sammelurin bei den Frauen um durchschnittlich 1–1,5 mmol/l höher. Die Abb. 4 a + b geben die Verteilung der Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung getrennt nach dem Geschlecht vor dem Beginn der Substitution und danach wieder. Nach dem Beginn der Substitution verlagert sich die Verteilung zu höheren Werten der Ausscheidung.

Die erhöhte Ausscheidung ist ein Indiz dafür, daß Biomagnesium gut resorbiert wird und die Tagesdosis von 12 Tabl. (= 21 mmol Mg<sup>++</sup>) ausreichend bemessen war, andererseits aber auch dafür, daß der Mg<sup>++</sup>-Turnover erhöht ist.

Die mittlere nächtliche Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung ändert sich bei den Männern in Abhängigkeit von der summierten Trainingsbelastung. Die höchsten 24h-Mg<sup>++</sup>-Ausscheidungen finden sich zu den Zeiten der Trainingshöhepunkte, ohne daß ein Zusammenhang statistisch nachweisbar ist (Abb. 5). Bei den Frauen

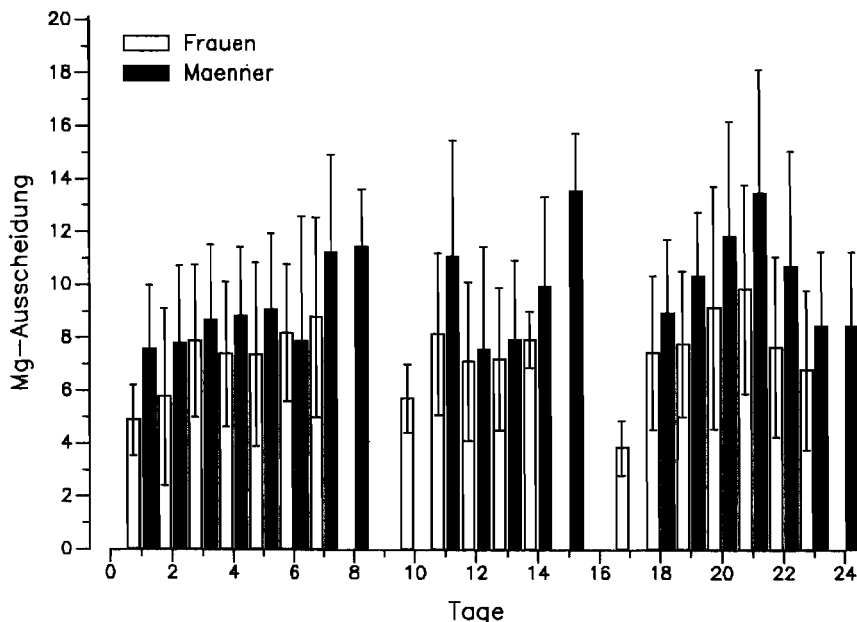


Abb. 3: Zeitverlauf der Mittelwerte der berechneten täglichen 24 Std.-Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung bei Männern und Frauen.

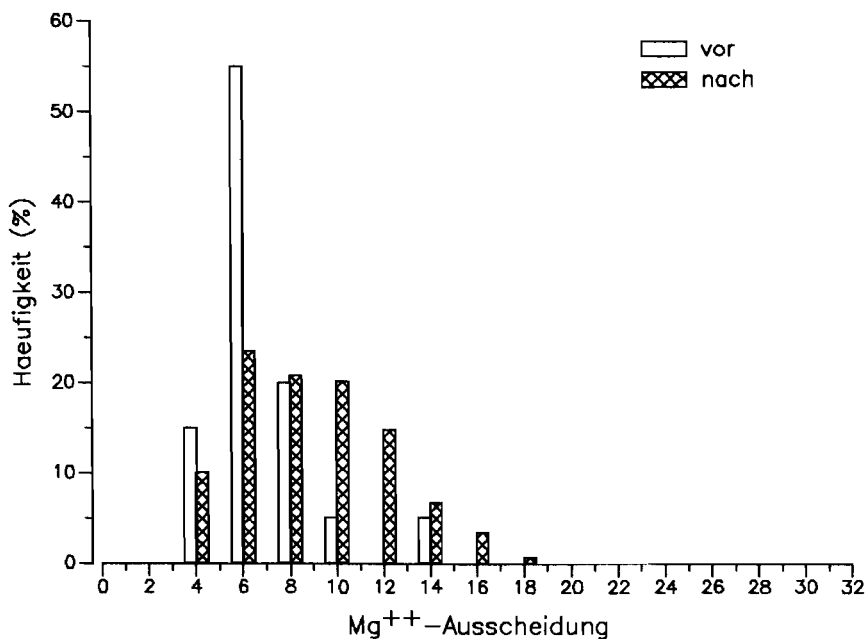


Abb. 4a

ist diese Beziehung weniger deutlich.

Die Korrelation zwischen Belastung und 24h-Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung berechnet aus dem Sammelurin der folgenden Nacht ist am Gesamtmaterial nicht signifikant (Männer N = 329, R = 0,083). Dagegen besteht ein

schwach signifikanter Zusammenhang zwischen Mg<sup>++</sup>-Konzentration und Belastung (N = 329, R = 0,158). Bei den Frauen ist ein Zusammenhang nicht nachweisbar.

Signifikante Korrelationen bestehen zwischen der 17-Ketosteroidkonzentration und der Mg<sup>++</sup>-Konzentration

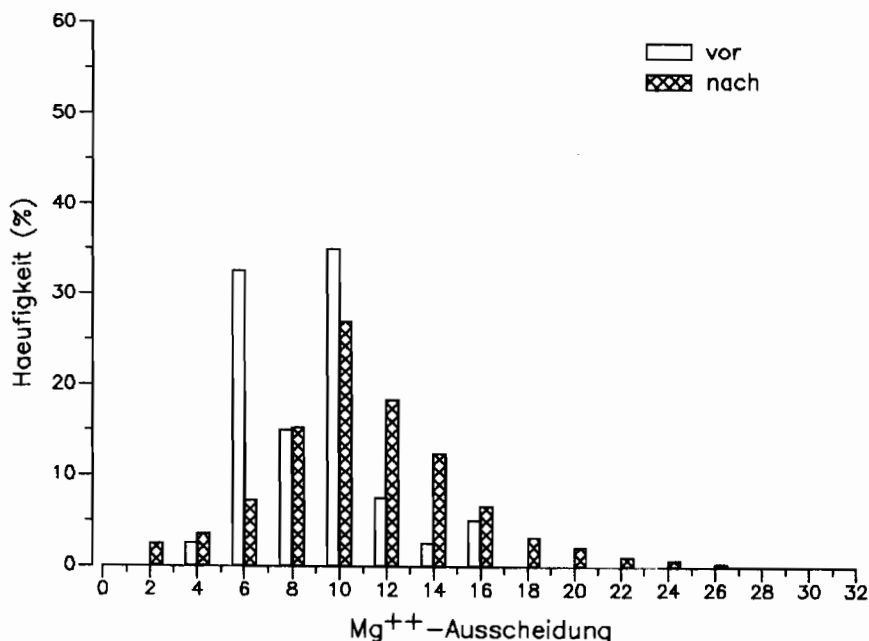


Abb. 4b

Abb. 4a + b: Histogramme der Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung über 24 Std., berechnet aus dem Nachtsammelurin bei Männern (4a) und Frauen (4b). Während der Mg<sup>++</sup>-Substitution verlagert sich die Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung zu höheren Werten.

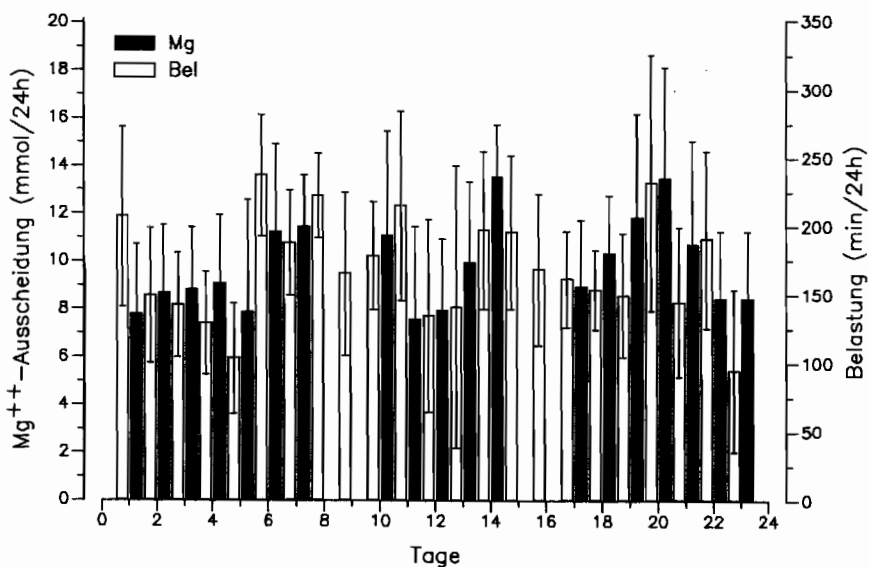


Abb. 5: Zeitverläufe der mittleren täglichen Trainingsbelastung und 24 Std.-Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung der Männer.

(Männer N = 361, R = 0,46) sowie den Ausscheidungen (Männer N = 359, R = 0,19).

Es besteht ein schwach signifikanter Zusammenhang zwischen Mg<sup>++</sup>-Konzentration und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung sowie der Urinmenge und

Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung mit niedrigem Korrelationskoeffizienten (R <= 0,3) am Gesamtkollektiv.

Generell ist festzustellen, daß im Einzelfall die Urinausscheidung zwischen 2 und 25 mmol/24h schwankt, ohne daß hierfür ein si-

cherer Grund angegeben werden kann.

Am Gesamtmaterial besteht eine schwach signifikante bzw. signifikante Abhängigkeit zwischen 24 Stunden Harnstoff- und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung (Männer N = 331, R = 0,2654; Frauen N = 90, R = 0,342) (s. Abb. 6).

**Trainingsbelastung (summierte und gewichtete Belastung) und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung, Einzelanalyse**

Akte Überbelastungen im Training können bei Hochleistungsathleten zu einem vorübergehenden bzw. für einige Tage bestehendem Anstieg der Blutharnstoff-Konzentration führen [15]. Zwischen Trainingsbelastung und dem Proteinturnover kann eine Abhängigkeit dergestalt vermutet werden, daß z. B. bei akuter Überbelastung proteinkatabole Prozesse ausgelöst werden können, die durch einen überdurchschnittlichen Anstieg der Harnstoffkonzentration im Blut und der Harnstoffausscheidung nachweisbar sein müßten.

Einige Probanden zeigen ein solches Verhalten. Der Proband 3 reagierte auf ein intensives Kraftausdauertraining an zwei Tagen mit einer ca. 6 Tage anhaltenden überschießenden Harnstoff- und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung (s. Abb. 7 und 8).

Offensichtlich ist in einem solchen Fall die Mg<sup>++</sup>- mit der Harnstoffausscheidung gekoppelt, wie dies die relativ enge positive Korrelation (R = 0,786) zeigt (Abb. 9). Dagegen besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen Trainingsbelastung und Mg<sup>++</sup>- bzw. Urea-Ausscheidung in der jeweils folgenden Nacht, weil die Trainingsbelastung in den Tagen der überschießenden Harnstoffausscheidung nicht zuletzt wegen des subjektiv schlechten Befindens niedrig gehalten wurde.

Ein vergleichbares Verhalten zeigen zwei andere Probanden mit ähnlicher starker Variation der Harnstoffausscheidung zwischen 20 und 80 Gramm in 24 Stunden. Jedoch ist der Zusammenhang nicht signifikant.

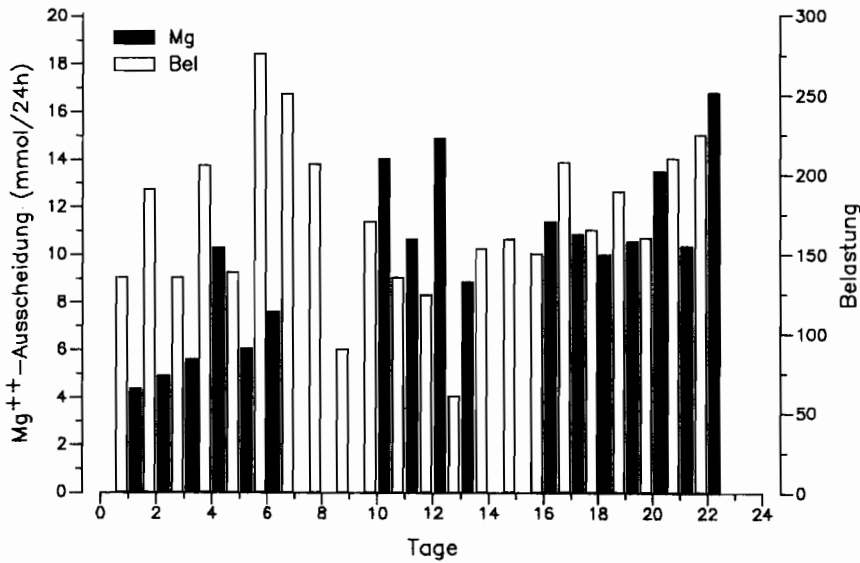


Abb. 6: Korrelation von 24 Std.-Harnstoff- und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung der Männer. Es besteht eine signifikante Abhängigkeit.

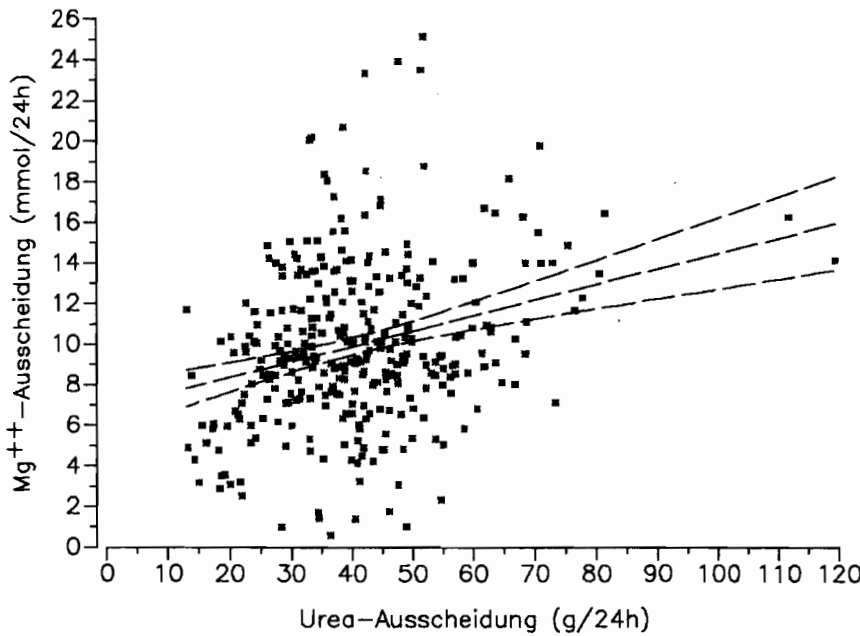


Abb. 7: Tägliche Gesamtbelastung und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung des Probanden 3 im Verlauf des HT's. Die erhöhte Ausscheidung von Mg<sup>++</sup> folgt der Belastung mit einer Latenz von 2 Tagen.

Für den größten Teil der Teilnehmer des Trainingslagers läßt sich direkt bei vergleichsweise normalen Schwankungen der Harnstoff- und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung im individuellen Fall keine signifikante Abhängigkeit zwischen Harnstoff- und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung nachweisen.

Zwischen Trainingsbelastung (GB) am Tag und nachfolgender nächtlicher Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung (Mg<sup>++</sup>-Aus) besteht in der überwiegenden Mehrzahl aller Teilnehmer keine signifikante Abhängigkeit. In einer Minderzahl ist ein Zusammenhang erkennbar, der statistisch gering

unter bzw. über der 5 % Signifikanzgrenze (N = 12 bis 14, R = 0,35 bis 0,5) liegt.

#### 4. Diskussion

Durch die Mg<sup>++</sup>-Substitution mit Biomagnesium im Rahmen einer kontrollierten Studie während des Höhentrainings sollte einem evtl. möglichen Mg<sup>++</sup>-Defizit vorgebeugt werden. Mittels Analyse des nächtlichen Sammelurins bestand die Möglichkeit, die Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung und die sie beeinflussenden Faktoren zumindest teilweise bestimmen zu können.

Hohe Trainingsbelastungen, insbesondere ein intensives Training in Vorbereitung auf Wettkämpfe, führt sehr häufig bei Leistungssportlern zu erniedrigten Serum-Mg<sup>++</sup>-Spiegeln, woraus auf hohe Mg<sup>++</sup>-Verluste geschlossen wird [2, 10, 11, 21].

Klinisch besteht oft auch eine verdeckte Symptomatik eines Mg<sup>++</sup>-Mangels, wodurch der positive Effekt eines Hochleistungstrainings gefährdet ist. Dies kann durch eine prophylaktische Mg<sup>++</sup>-Substitution verhindert werden [1, 7, 24].

Ein weiterer Grund für die Mg<sup>++</sup>-Substitution war der vermutete streßdämpfende Effekt des Magnesiums als Voraussetzung für eine mögliche Verbesserung der Regeneration nach der Trainingsbelastung [1, 7, 17, 24, 25] sowie ein vermuteter direkter protektiver Effekt auf die Muskulatur während langzeitiger bzw. intensiver Belastungen [1, 7]. Die Frage, ob Mg<sup>++</sup>-Substitution direkt leistungsverbessernd wirkt, ist strittig. So fanden einige Autoren sowohl eine Verbesserung [6, 24, 25] als auch keine Veränderung [8] des Dauerleistungsvermögens nach der Substitution.

Die Ergebnisse dieser Studie weisen eine hohe Variabilität der Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung mit überdurchschnittlich hohen Werten der Ausscheidung auf. Allein daraus läßt sich ableiten, daß in einem Hochleistungstraining ein erhöhter Bedarf an Magnesium besteht, der wahrscheinlich nicht allein durch die Nahrungsaufnahme gedeckt werden kann.

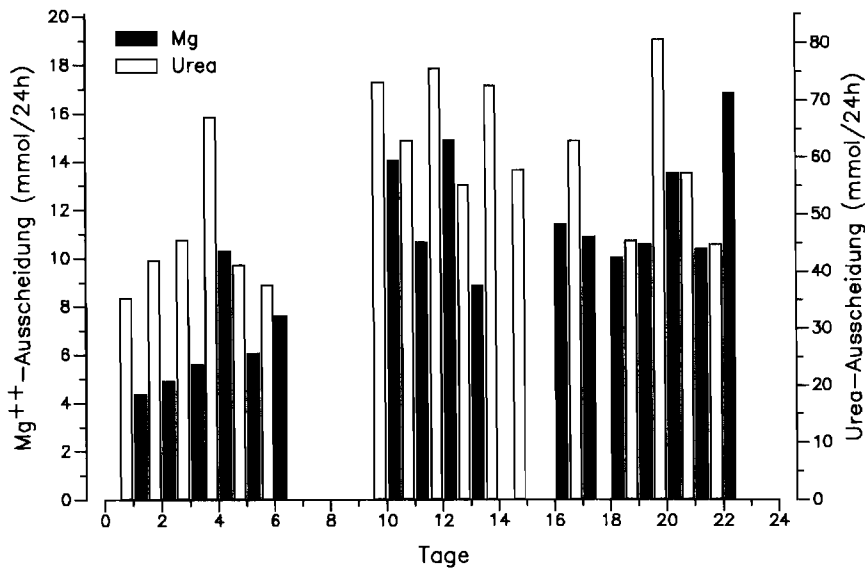


Abb. 8: Harnstoff- und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung des Probanden 3 im Verlauf des HT's. In den nach dem Kraftausdauertraining-Wasser am 6. und 7. Tag folgenden Tagen ist die Harnstoff-(Urea-) Ausscheidung um ca. 70 % gesteigert. Mit der Intensivierung der Belastung am Ende des HT's steigen Harnstoff- und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung nach einer vorübergehenden Absenkung nochmals an.

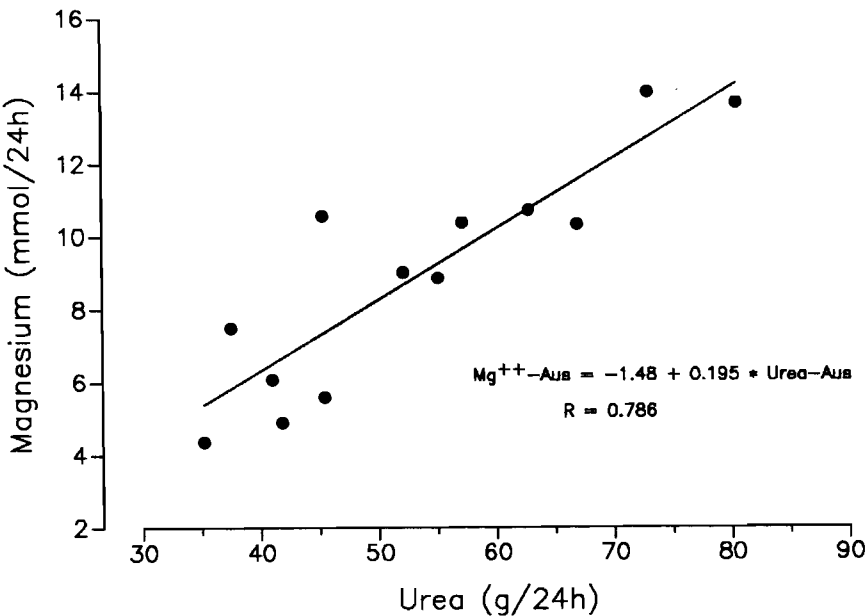


Abb. 9: Regression zwischen Urea- und Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung für den Probanden 3. Es besteht ein enger Zusammenhang.

Obwohl dies statistisch im direkten Vergleich von täglicher Trainingsbelastung und nächtlicher Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung nicht zu sichern ist, besteht eine erkennbare Tendenz zum Anstieg der Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung

in den Phasen hoher Trainingsbelastung in der 2. und 3. Woche. Zur Frage, ob die Mg<sup>++</sup>-Urinausscheidung während Perioden körperlicher Belastung oder in einem Hochleistungstraining gesteigert ist,

sind die erhobenen Befunde widersprüchlich. Einige Autoren fanden keinen Anstieg der Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung, insbesondere nicht bei Ausdauerbelastungen [22]. Bei intensiveren Belastungen besonders im anaeroben Bereich betrug dagegen die Mehrausscheidung je 24 Stunden zwischen 20 bis 30 % gegenüber den Kontrollwerten. So fanden *Deuster et al.* [5] eine lineare Korrelation zwischen der mittleren Laktatkonzentration im Intervalltraining und der 24 Stunden Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung am Tag der Belastung. Die Ergebnisse dieser Studie weisen jedoch auf eine gesteigerte Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung auch während Phasen hoher Trainingsbelastungen im Ausdauerbereich hin.

Als Ursache der gesteigerten Mg<sup>++</sup>-Ausscheidung bei intensiven Belastungen, bei Laktatazidosen wird die hohe begleitende Katecholamin- und Kortikoidproduktion angesehen, die zu einer Magnesiummobilisation aus dem Gewebe führt [4, 9, 16].

Vergleichbare Befunde mit negativer Magnesiumbilanz in Phasen hoher Streßbelastungen (z. B. während Infektionskrankheiten) verbunden mit erhöhter Katecholaminausscheidung wurden in klinischen Untersuchungen erhoben [16].

In diesen Fällen führt die Sympathikotonie zu einer Mg<sup>++</sup>-Mobilisierung aus den Geweben und über einen normalen oder leicht erhöhten Mg<sup>++</sup>-Serumspiegel zu einer erhöhten Ausscheidung durch die Nieren und längerfristig zu Magnesiumdefiziten [9, 16]. Daraus wird z. T. die Notwendigkeit prophylaktischer Magnesiumgaben bei streßgefährdeten Patienten (auch unter Berücksichtigung der angenommenen streßdämpfenden Wirkung des Magnesiums) begründet [4, 9, 10, 16].

Nimmt man die nach der Formel 2 berechnete Gesamtbelastung (GB) als Indikator für Streß, so müßte mit der Zunahme der Gesamtbelastung auch eine solche belastungsbedingte Mg<sup>++</sup>-Mehrausscheidung existieren. Dies ist zwar nicht generell nachzuweisen, aber doch wahrscheinlich der Fall wenn man be-



rücksichtigt, daß die Mehrausscheidung auch verspätet auftreten kann (s. Abb. 7 u. 8).

Die in dieser Untersuchung nachgewiesene erhebliche Mehrausscheidung von  $Mg^{++}$  im Urin bei Hochleistungssportlern erklärt, warum auch bei scheinbar rechnerisch ausgeglichener  $Mg^{++}$ -Bedarfsdeckung in der Nahrung subnormale  $Mg^{++}$ -Blutspiegel bestimmt und häufiger Symptome eines  $Mg^{++}$ -Mangels besonders in Phasen intensiven Trainings nachgewiesen werden [10, 11, 15, 16, 24]. Wenn ein akutes Übertraining mit einem erheblichen Proteinkatabolismus [20a] und dieser wiederum auch mit einer gesteigerten  $Mg^{++}$ -Ausscheidung verbunden ist, dann wird auch erklärlich, wieso  $Mg^{++}$ -Mangelzustände sich auch bei scheinbar noch normaler  $Mg^{++}$ -Zufuhr über die Ernährung entwickeln können. Da die Sympathikotonie zur Anfangsphase eines Übertrainingszustandes gehört, ist die Entwicklung eines Magnesiumdefizits möglich, das ja selbst auch z. T. zu den Symptomen eines Übertrainingszustandes gehört (s. Tab. 4) [20].

Als Indiz für eine hormonale Beeinflussung der  $Mg^{++}$ -Ausscheidung in den Ergebnissen der Studie kann die signifikante Korrelation zwischen  $Mg^{++}$ - und 17 Ketosteroidkonzentration und Ausscheidung dienen. Wie die Tab. 4 zeigt, sind die Symptome eines Übertrainings und diejenigen eines  $Mg^{++}$ -Mangels z. T. gleich.

Ein Indiz für die Koinzidenz von Übertraining und  $Mg^{++}$ -Mangel läßt sich aus dem in Abb. 8 und 9 ables-

baren Zusammenhang von gesteigerter Harnstoff- und der begleitenden ebenfalls gesteigerten  $Mg^{++}$ -Ausscheidung als Reaktion auf eine akute Überbelastung ableiten.

Das Ergebnis der Substitution mit Biomagnesin im Rahmen einer kontrollierten Studie während des Höhentrainings der Ruder-Olympiamannschaft darf als nützlich und erfolgreich betrachtet werden.

– Die Untersuchungsergebnisse weisen aus, daß die Absicht einer optimalen Magnesiumversorgung erreicht wurde, da weder Symptome eines  $Mg^{++}$ -Mangels noch Anzeichen für eine Überdosierung oder andere negative Auswirkungen festgestellt werden konnten.

– Das Präparat Biomagnesin erwies sich als gut verträglich und problemlos in der Einnahme. Anhand der Urinausscheidung ist nachzuweisen, daß das Präparat gut resorbierbar ist.

– Der Wettkampferfolg war insgesamt überdurchschnittlich, so daß zusammen mit einem fast optimalen Training sich auch die Magnesiumsubstitution als nützlich erwiesen hat.

Über die Notwendigkeit der  $Mg^{++}$ -Substitution während eines Hochleistungstrainings besteht insofern Einigkeit, als eine Dauermedikation in hoher Dosierung als nicht notwendig erachtet wird [10, 15, 17, 20]. Da aber andererseits Nebenwirkungen der Substitution von  $Mg^{++}$  in normaler Dosierung während Phasen intensiver oder besonders hoher Trainingsbelastung nicht bekannt

sind, kann diese daher überwiegend als nützlich angesehen werden [1, 4, 6, 16, 17, 20, 24, 25].

Da andererseits der Ausgleich eines  $Mg^{++}$ -Defizits längere Zeit beansprucht, ist es evtl. günstiger, ein mögliches Defizit durch eine optimale  $Mg^{++}$ -Substitution in Phasen sehr hoher Trainingsbelastungen, wie z. B. in Vorbereitung auf Weltmeisterschaften und Olympische Spiele, von vornherein zu vermeiden.

## Literatur

- [1] Bertschat, F., Golf, S. W., Riediger, H., Graef, V., Ising, H.: Protective Effects of Magnesium on Release of Proteins from Muscle cells during a Marathon Run. *Magnesium-Bulletin* **8** (1986) 310.
- [2] Böhmer, D.: Veränderungen des Magnesiumspiegels im Serum nach sportlichen Belastungen. *Krankenhausarzt* **51** (1978) 356–357.
- [3] Böhmer, D., Ambrus, P., Szögy, A.: Der Magnesiumgehalt im Schweiß von Sportlern. Autorenreferate des 6. Hohenheimer Magnesiumsymposiums 1983.
- [4] Classen, H. G., Mangler, B.: Magnesium – nutritive und metabolische Aspekte. In: Schmidt, K., Bayer, W.: Mineralien und Spurenelemente in Klinik und Praxis **5** (1986) 11–24.
- [5] Deuster, P. A., Dolev, E., Kyle, S. B., Anderson, R. A., Schoemaker, E. B.: Magnesium homeostasis during high-intensity anaerobic exercise in men. *J. Appl. Physiol.* **62**, 2 (1987) 545–550.
- [6] Franz, I. W., Chintanaseri, Ch.: Über die Wirkung des Kalium-Magnesium-Aspartats auf die Ausdauerleistung unter besonderer Berücksichtigung des Aspartats. *Sportarzt* **28** (1977).
- [7] Golf, S., Graef, V., Gerlach, H.-J., Seim, K. E.: Veränderung der Serum-CK und Serum-CK-MB-Aktivitäten in Abhängigkeit von einer Magnesiumsubstitution bei Leistungssportlerinnen. *Magnesium-Bulletin* **5**, 2 (1983) 43–46.
- [8] Hagan, R. D., Upton, S. J., Duncan, J. J., Cummings, J. M., Getham, L. R.: Absence of effect of potassium-magnesium aspartate on physiologic response to prolonged work in aerobically trained men. *Int. J. Sports. Med.* **3** (1982) 177–181.

Tab. 4: Symptome, die für  $Mg^{++}$ -Mangel und Übertrainingszustand sprechen.

$Mg^{++}$ -Mangel	Übertraining
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muskelkrämpfe (Waden, Oberschenkel, Fußsohlen), neuromuskuläre Übererregbarkeit, Muskelschwäche (allgemein), Myogelosen in der Arbeitsmuskulatur</li> <li>• Allgemein herabgesetzte Leistungsfähigkeit</li> <li>• Hypotonie, Herzdruck, Tachykardie, Extrasystolie, Rhythmusstörungen (stenokardische Beschwerden, Gefäßspasmen)</li> <li>• Pseudoneurasthenie: Depression, Reizbarkeit, Nervosität, Konzentrationsschwäche, Unlust, Kopfdruck, Schwindel (Hyperreflexie, latente Tetanie)</li> </ul>	<p>teilweise vorhanden vorhanden</p> <p>teilweise vorhanden</p> <p>teilweise vorhanden</p>

- [9] *Hänze, S.*: Physiologie und Regulation des Magnesiumhaushalts. In: *Zumkley, H.*: Klinik des Wasser-, Elektrolyt- und Säure-Basen-Haushalts. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1977, S. 145–161.
- [10] *Haralambie, G.*: Magnesium-Stoffwechsel bei körperlicher Belastung. *Krankenhausarzt* **52** (1979) 2393–2399.
- [11] *Haralambie, G., van Dam, B.*: Untersuchungen über den Vitamin-Elektrolyt-Status bei Spitzenfechterinnen. *Leistungssport* **7**, 3 (1977) 214–219.
- [12] *Haralambie, G., Heiler, O.*: Magnesiumkonzentration im Schweiß nach körperlicher Arbeit. *Sportarzt u. Sportmed.* **27** (1976) 229–232.
- [13] *Haralambie, G., Keul, J.*: Normwert des Magnesiumspiegels im menschlichen Serum. *Med. Klin.* **64** (1969) 1432–1436.
- [14] *Helbig, J., Beuker, F.*: Magnesiumplasmaspiegel bei Body-Buildern in der Vorwettkampfphase. *Magnesium-Bulletin* **11** (1989) 37.
- [15] *Hollmann, W., Hettinger, Th.*: Sportmedizin – Arbeits- und Trainingsgrundlagen. F. K. Schattauer Verlag Stuttgart, New York 1980.
- [16] *Ising, H., Bertschat, F., Ibe, K., Stoboy, V.*: Elektrolytveränderungen bei Streß. In: *Schmidt, K., Bayer, W.*: Mineralien und Spurenelemente in Klinik und Praxis. Bd. 5. Verlag für Medizin Dr. Ewald Fischer, Heidelberg 1986.
- [17] *Keul, J., Dickhuth, H.-H., Berg, A., Simon, G.*: Elektrolytbedarf und Wasserhaushalt bei sportlichen Belastungen. In: *Leistungssport* **9**, 6 (1979) 497–502.
- [18] *Luft, U. C.*: Die Höhenanpassung. *Ergebn. Physiol.* **44** (1941) 256.
- [19] *Mader, A., Hartmann, U., Hollmann, W.*: Einfluß eines Höhentrainings auf die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit in Meereshöhe. In: *Hollmann, W.* (Hrsg.): Zentrale Themen der Sportmedizin. 3. Aufl. Springer-Verlag 1986.
- [20] *Mader, A.*: Magnesium und sportliche Leistung. *Dtsch. Z. Sportmed.* **38** (1987) 50–59.
- [20a] *Mader, A.*: Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene: ein Beitrag zum Mechanismus der Trainingswirkung und der Kompensation von funktionellen Mehrbelastungen von Organen. *Dtsch. Z. Sportmed.* **41** (1990) 40–58.
- [21] *Refsum, H. E., Meen, H. D., Strömme, S. B.*: Whole blood, serum and erythrocyte magnesium concentrations after repeated heavy exercise of long duration. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* **32** (1973) 123–127.
- [22] *Strömme, S. B., Stensvold, I. C., Meen, H. D., Refsum, H. E.*: Magnesium metabolism during prolonged heavy exercise. In: *Howald, H., Poortmans, J. R.* (Ed.): Metabolic adaptation to prolonged physical exercise. Birkhäuser, Basel. 1975, S. 361–366.
- [23] *Van Dam, B., Haralambie, G.*: Die Änderungen einiger biochemischer Parameter durch sportartspezifische Belastungen im Fechtssport. *Leistungssport* **7**, 4 (1977) 285–292.
- [24] *Van Dam, B., Waterloh, E.*: Die Wirkung eines Multivitamin-Elektrolyt-Präparats auf einige biochemische Variablen sowie auf leistungsbeeinflussende Faktoren im Fechten. *Leistungssport* **9**, 5 (1979) 110–115.
- [25] *Wodick, R., Grünert-Fuchs, M.*: Der Einfluß von Langzeit-Magnesium-Gaben auf verschiedene körperliche Leistungsparameter. *Magnesium-Bulletin* **7**, 2 (1985) 51–55.

(Für die Verfasser: Univ.-Prof. Dr. med. A. Mader, Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Deutsche Sporthochschule Köln, Carl-Diem-Weg, D-5000 Köln 41/FRG)