

P. Saur<sup>1</sup>, M. Joneleit<sup>1</sup>, H. Tölke<sup>1</sup>, V. Pudiel<sup>2</sup>, P. D. Niedmann<sup>3</sup>, D. Kettler<sup>1</sup>

## Evaluation des Magnesiumstatus bei Ausdauersportlern

### *Evaluation of the magnesium status in athletics*

1 Zentrum Anaesthesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin, 2 Ernährungspsychologische Forschungsstelle und 3 Abteilung Klinische Chemie, Georg-August-Universität Göttingen

#### Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung des Magnesium-Haushalts von Ausdauersportlern. Es sollte geklärt werden, ob Sportler häufiger einen Magnesiummangel aufweisen als Personen, die keinen Ausdauersport betreiben. Zusätzlich wurde geprüft, ob alimentäre Faktoren ursächlich für die Entstehung des Magnesiummangels sind.

Dazu wurden 50 Probanden im mittleren Alter von 25 Jahren in die randomisierte, prospektive Untersuchung aufgenommen. Anhand eines Fahrradergometertests wurden die Frauen mit einer aerob-anaeroben Schwelle über 2,4 W/kg (n=7) und Männer über 2,6 Watt/kg (n=18) der Gruppe der Ausdauersportler zugeteilt, die anderen 25 Probanden bildeten die Kontrollgruppe (8 Frauen und 17 Männer). Die Sportler gaben einen Trainingsumfang von mindestens 9 Stunden pro Woche und die Probanden der Kontrollgruppe von unter 9 Stunden pro Woche an.

Da frühere Studien gezeigt hatten, dass eine im Normbereich liegende Serum-Magnesiumkonzentration einen Magnesiummangel nicht ausschließt und genauere Aussagen über den Magnesiumstatus die Magnesiumretention anhand eines Magnesium-Loading-Tests ermöglicht, wurden zusätzlich die Magnesiumretention, die Plasma-Magnesiumkonzentration, ionisierte Fraktion des Plasma-Magnesiums, erythrozytäre Magnesiumkonzentration, renale Magnesiumexkretion und orale Magnesiumzufuhr gemessen.

Die mithilfe des intravenösen Magnesium-Belastungstests erhobenen Magnesiumretentionen der Kontrollgruppe lagen im Mittel niedriger als die der Ausdauersportler. Unterschiede der Mittelwerte der Plasma-Magnesiumkonzentrationen, ionisierten Fraktionen des Plasma-Magnesiums und der erythrozytären Magnesiumkonzentration beider Gruppen ergaben sich nicht, während die Ausdauertrainierten im Mittel signifikant mehr Magnesium renal ausschieden und mehr Magnesium oral zuführten als die Kontrollgruppe.

Die Studie bestätigte somit, dass Ausdauersportler häufiger einen Magnesiummangel aufwiesen als Personen, die keinen Ausdauersport betrieben. Dieser Mangel wurde verursacht durch eine erhöhte renale Magnesiumausscheidung. Obwohl die Sportler eine erhöhte Magnesiumzufuhr durch die Nahrung zeigten, reichte die zugeführte Magnesiummenge nicht aus, den Magnesiumstatus ausgeglichen zu halten.

**Schlüsselwörter:** Magnesium, Magnesiumretention, orale Magnesiumzufuhr, Magnesium-Loadingtest

#### Summary

The purpose of this study was to examine the magnesium balance in endurance athletes. Clarification was to be obtained whether the athletes are more frequently magnesium-deficient than non-athletic persons. In addition, a check was made whether dietary factors are responsible for the onset of magnesium deficiency. 50 volunteers with a mean age of 25 years were enrolled in this randomized, prospective study. Based on a cycle ergometry test women with an aerobic-anaerobic threshold above 2.4 W/kg (n=7) and men above 2.6 W/kg (n=18) were assigned to the group of endurance athletes, the remaining 25 subjects formed the control group (8 women and 17 men). The athletes reported training at least 9 hours per week, the subjects in the control group less than 9 hours per week.

Since earlier studies had shown that a serum magnesium concentration within the normal range does not necessarily exclude a magnesium deficiency, and magnesium retention can provide more precise information on the magnesium status using a magnesium loading test, the magnesium retention, plasma magnesium concentration, ionized fraction of plasma magnesium, erythrocytic magnesium concentration, renal magnesium excretion and oral magnesium intake were measured. The mean magnesium retention values in the control group measured using the intravenous magnesium loading test were lower than those in the endurance athletes. No differences were found in the mean values of plasma magnesium concentration ionized fractions of plasma magnesium and erythrocytic magnesium concentration in the two groups, while the endurance trained subjects excreted significantly more magnesium via the kidneys and had a higher oral magnesium intake than the control group. The study thus confirms that endurance athletes are more frequently magnesium-deficient than persons who do not engage in endurance sports. This deficiency was caused by elevated renal magnesium excretion. Although the athletes' magnesium intake with food was higher, the magnesium quantity consumed did not suffice to maintain a balanced magnesium status.

**Key words:** Magnesium, magnesium retention, oral magnesium intake, magnesium-loading test.

## Einleitung

Magnesium ist nach Kalium das zweithäufigste intrazelluläre Kation im menschlichen Organismus überhaupt. Eine optimale Versorgung der Zellen mit Magnesium ist eine Grundvoraussetzung für eine maximale Leistungsbereitschaft des Organismus, weil nahezu alle enzymatischen Reaktionen im Energiestoffwechsel magnesiumabhängig sind.

Weiterhin übt Magnesium eine wichtige Funktion bei den Regenerationsvorgängen des Organismus nach starker Belastung aus und schützt den Organismus somit gegen Überlastung (12, 13). Die hohen physischen und psychischen Belastungen, denen Sportler unterliegen, begünstigen die

Tabelle 1: Demographische Daten der Sportler (S) und der Kontrollgruppe (K)

	Frauen		Signifikanz p	Männer		Signifikanz p
	S N=7	K N=8		S N=18	K N=17	
Alter (Jahre)	19,9 (3,1)	25,6 (4,1)	<0,05	26,0 (3,8)	26,9 (2,2)	n.s.
Größe (cm)	171,9 (4,8)	170,0 (8,5)	n.s.	183,4 (7,6)	182,1 (6,4)	n.s.
Gewicht (kg)	59,8 (4,6)	60,1 (8,9)	n.s.	76,1 (8,4)	77,0 (7,7)	n.s.
rel. Leist.(W/kg) bei 4 mmol Lac	2,6 (0,3)	2,0 (0,3)	0,01	2,9 (0,5)	2,2 (0,5)	0,001

Entwicklung eines Magnesiummangels, indem der Magnesiumverlust durch verstärkte Schweißverluste oder renale Magnesiumausscheidung erhöht oder der Magnesiumverbrauch durch einen beschleunigten Stoffwechsel gesteigert wird (16). Eine weitere Ursache für einen Magnesiummangel könnte in einer reduzierten oder inadäquat niedrigen Magnesiumzufuhr durch die Nahrung liegen.

## Problem und Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung des Magnesium-Haushalts von Ausdauersportlern, weil diese aus verschiedenen Gründen für einen Magnesiummangel prädestiniert sind. Es sollte geklärt werden, ob und wodurch bedingt Sportler häufiger einen Magnesiummangel aufweisen als Personen, die keinen Ausdauersport betreiben. Zusätzlich wurde geprüft, ob alimentäre Faktoren ursächlich für die Entstehung des Magnesiummangels sind.

## Material und Methode

Die vorliegende Untersuchung zur Evaluation des Magnesium-Status bei Ausdauersportlern wurde nach Genehmigung der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen durchgeführt.

Einschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie waren:

- Sportler und untrainierte Probanden
- Alter zwischen 14 und 65 Jahren.

Ausschlusskriterien waren:

- Hypermagnesiämie
- Unverträglichkeit gegen Magnesium-Hydrogenaspartat
- Schwangere und stillende Frauen
- klinisch signifikante hepatische, renale, endokrine, kardiovaskuläre und psychische Dysfunktionen

- regelmäßige Medikamenten- und Elektrolyteinnahme
- Antibiotika-, Diuretika- oder Laxantieneinnahme innerhalb der letzten 7 Tage
- Teilnahme an einer klinischen Prüfung innerhalb der letzten 12 Wochen.

Demographische Daten der Probanden sind in Tabelle 1 dargestellt.

## Durchführung der Fahrradergometrie mit Laktat-Stufentest

Zur quantitativen Beurteilung des aktuellen, individuellen Trainingszustandes im Bereich der aeroben Ausdauer wurde ein Laktat-Stufentest am Fahrradergometer (Case 15, Ergoline, Fa. Marquette-Hellige) durchgeführt. Begonnen wurde mit einer Belastung von 50 Watt. In Intervallen von drei Minuten wurde die Belastung jeweils um weitere 50 Watt gesteigert. Durch die Laktatbestimmung vor Beginn der Ergometrie sowie jeweils 30 sec vor Beendigung einer Belastungsstufe (Dr. Lange Küvetten-Tests LKM 140)

wurde die aerob-anaerobe Schwelle bei 4 mmol/l ermittelt und der Quotient (Q) aus der Wattzahl der aerob-anaeroben Schwelle (W) und dem Körpergewicht des betreffenden Probanden errechnet (23).

Während der Fahrradergometrie wurden ein 12-Kanal-Ruhe- sowie ein Belastungs-EKG aufgezeichnet sowie jeweils 45 Sekunden vor Beendigung einer Belastungsstufe maschinell der Blutdruck nach der Riva-Rocci-Methode gemessen.

Als Zeichen der Ausbelastung wurden die subjektive Erschöpfung der Probanden und ein Abfall der Tretfrequenz unter 60 U/min als Zeichen einer muskulären Erschöpfung gewertet und führten zum Abbruch der Ergometrie.

## Einteilung der Gruppen

Besonderheiten bei der Durchführung des Laktat-Stufentests aufgrund technischer Gegebenheiten machten es nötig, eigene Referenzwerte zu erstellen, nach denen sich die Gruppeneinteilung richtete. Aufgrund der errechneten relativen ergometrischen Leistungsfähigkeit ergab sich eine Differenzierung der Ausdauersportler und der Kontrollgruppe bei 2,6 W/kg für Männer und 2,4 W/kg für Frauen.

Zusätzlich zur Quantifizierung der aktuellen Leistungsfähigkeit mittels des ergometrischen Laktattests wurden die Häufigkeit des Trainings (Stunden pro Woche) und die subjektive Beanspruchung des Probanden während des Trainings mit Hilfe einer numerischen Skala von 0 (subjektiv nicht beansprucht) bis 3 (subjektiv stark beansprucht) erhoben.

Der Gruppe der Sportler wurden die Probanden zugeteilt, welche nach ihren Leistungen im Laktattest einen Quotienten oberhalb der Grenzwerte erreichten, einen Trainingsumfang von mindestens 9 Stunden pro Woche hatten und auf die Frage der subjektiven Beanspruchung durch ihr Training mindestens einen Wert von drei auf der Skala angaben. Die

Kontrollgruppe rekrutierte sich aus den Probanden, die im ergometrischen Laktatstest unterhalb des Grenzwert-Quotienten lagen, die einen Trainingsaufwand unter 9 Stunden pro Woche aufwiesen und die die subjektive Trainingsbeanspruchung geringer als 3 angaben.

Bei der Festlegung der Gruppenzuordnung wurde der altersabhängige Rückgang der fahrradergometrischen Leistungsfähigkeit aufgrund der geringen Altersspanne und kleinen Standardabweichung des Alters der Probanden nicht miteinbezogen.

## Blut- und Urinproben

Die Diagnostik der Magnesiumkonzentration im Vollblut, Plasma und in den Erythrozyten wurde nach den gültigen Standardmethoden der Deutschen Gesellschaft für klinische Chemie durchgeführt. Im Vollblut wurde das ionisierte Magnesium (Novostat profile ultra) analysiert. Anschließend wurde die Blutprobe 2 min bei 10.000 U/min zentrifugiert (Eppendorf Centrifuge 5415) und das Plasma abpipettiert. Das Plasma sowie der erythrozytäre Anteil wurden bis zur weiteren Analyse bei -20 °C eingefroren.

Die Bestimmung der Magnesiumkonzentrationen im Plasma, den Erythrozyten und im Urin erfolgte mittels der Atomabsorptions-Spektralphotometrie (AAS) an einem Spektrophotometer (Perkin Elmer Zeeman 5100). Nach dem Auftauen, der Zentrifugation und Entnahme des Überstands wurden die Plasmaproben mit Strontium-Chlorid auf eine Konzen-

Tabelle 2: Magnesiumstatus der Sportler und der Kontrollgruppe. Mittelwerte (Standardabw.)

	Sportler N=25	Kontrollgruppe N=25	Signifikanz p
Plasma-Magnesium (mmol/l)	0,73 (0,07)	0,75 (0,09)	n.s.
Ionisiertes Magnesium (mmol/l)	0,34 (0,08)	0,38 (0,08)	n.s.
Erythrozytäres Magnesium (mmol/l)	1,87 (0,2)	1,84 (0,2)	n.s.
Renale Magnesiumexkretion (mmol/d)	6,4 (2,6)	4,6 (1,5)	<0,01
Magnesiumzufuhr (mmol/d)	18,9 (4,2)	14,9 (3,5)	<0,05
Magnesiumretention (%)	34,1 (26,5)	16,3 (15,2)	<0,05

tration von 1:50 verdünnt und direkt der Messung zugeführt. Die Erythrozyten wurden 1:1 mit 0,1 N Schwefelsäure lysiert und gemessen.

Der Urin wurde durch Zugabe von 25%iger Salzsäure auf einen pH-Wert von 5 angesäuert und bis zur endgültigen Analyse, zu der die Proben 1:7 mit destilliertem Wasser verdünnt wurden, bei -20° eingefroren.

## Intravenöser Magnesium-Belastungstest

Der intravenöse Magnesium-Belastungstest wurde nach den Richtlinien von *Ryzen et al.* (27) durchgeführt. Unter kontinuierlicher EKG- und Blutdruckkontrolle wurden über vier Stunden 0,1 mmol Magnesium-Hydrogenaspartat pro Kilogramm Körpergewicht in 40 ml 5%-iger Glucoselösung intravenös infundiert. Die renale Magnesiumexkretion wurde 24 Stunden vor Beginn (MgUO) und 24 Stunden nach Beginn (MgUI) der Infusion bestimmt.

Für die Beurteilung des Magnesium-Haushalts durch den intravenösen Belastungstest wurde die Magnesiumretention (R) im 24-Stunden Sammelurin berechnet.

$$R(\%) = 1 - \frac{\text{MgU1 (mmol)} - \text{MgU0 (mmol)} \times 100}{\text{Mg-Infusionsdosis (mmol)}}$$

Bei Retentionswerten größer 100% wurde die Retention gleich 100% und kleiner 0% gleich 0% gesetzt. Für die Berechnung der Retention wurden 9 Probanden von der statistischen Analyse ausgeschlossen, die in einer oder mehreren 24-h Urinsammlungen eine Sammelmenge von 1000 ml unterschritten, da bei diesen von einer fehlerhaften Urinsammlung ausgegangen werden musste.

## Ernährungsprotokoll

Von jedem Probanden wurde ein Ernährungsprotokoll über einen Zeitraum von 9 Tagen geführt und in der Ernährungspsychologischen Forschungsstelle der Universität Göttingen ausgewertet. Analysiert wurden die ersten sieben der neun protokollierten Tage. Die Auswertung wurde auf Grundlage des Bundeslebensmittelschlüssels II.2 erstellt und der Gehalt der Nahrung an Magnesium, Calcium, Kalium und Natrium, die Kalorienmenge, der Fett-, Eiweiß- und Kohlenhydratgehalt bestimmt. Aus den Ergebnissen der 7 Tage wurde ein Mittelwert erstellt.

## Statistik

Zu jeder analysierten Datenmenge wurden Maximum (max.), Minimum (min.), Mittelwerte (MW) sowie die Standardabweichungen (SD) bestimmt. In Abhängigkeit von der Fragestellung wurden parametrische und nicht-parametrische Analyseverfahren verwendet. Die Datenauswertung erfolgte mit Hilfe des statistischen Datenanalyseprogramms Statistika 99 Edition. Zur Überprüfung nicht-parametrischer Daten wurde der Chi<sup>2</sup>-Test angewendet. Bei den parametrischen Daten wurden, zur Überprüfung auf Unterschiedlichkeit von Gruppenmittelwerten, eine einfaktorische Kovarianzanalyse mit dem Faktor Gruppe und der Kovariablen Alter durchgeführt.

Alle Angaben zur Signifikanz in der Auswertung richten sich nach folgenden Signifikanzniveaus: p > 0,05 = nicht signifikant (n.s.), p < 0,05 = signifikant, p < 0,01 = sehr signifikant, p < 0,001 = hoch signifikant.

## Ergebnisse

Die Sportler rekrutierten sich aus unterschiedlichen Sportarten: 19 Probanden aus den Laufdisziplinen der Mittel- und Langstrecke, 3 Probanden aus dem Triathlon und 3 Probanden aus dem Schwimmsport.

Bei der kontinuierlichen Messung des systolischen und diastolischen Blutdrucks sowie der Herzfrequenz während der Durchführung des intravenösen Belastungstests ergaben sich keine klinisch relevanten Veränderungen während des Untersuchungszeitraumes.

Die Kovarianzanalyse zeigte keinen Einfluss des Geschlechtes auf die Messergebnisse des Magnesiumstatus, daher werden im folgenden die Ergebnisse für Frauen und

Männer beim Vergleich zwischen Ausdauersportlern und Kontrollgruppe gemeinsam dargestellt (Tab. 2).

Die Magnesiumretentionen ( $p < 0,05$ ), die orale Magnesiumzufuhr ( $p < 0,05$ ) und die renale Magnesiumausscheidung ( $p < 0,01$ ) der Ausdauertrainierten waren signifikant höher als die der Probanden aus der Kontrollgruppe.

Die totale Plasma-Magnesiumkonzentration, erythrozytäre Magnesiumkonzentration und die ionisierte Blut-Magnesiumkonzentration der Ausdauersportler und der Personen der Kontrollgruppe unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Von allen ausgewerteten Ernährungsplänen lag bei 53,8% der Probanden die durchschnittlich pro Tag oral aufgenommene Magnesiummenge unter der empfohlenen Norm der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (6). Dabei nahmen in der Kontrollgruppe 74% der Probanden weniger und 26% der Probanden mehr Magnesium auf als empfohlen, während 35% der Sportler weniger und 65% der Sportler mehr Magnesium aufnahmen.

## Diskussion

Magnesium ist aufgrund seiner Distribution überwiegend für intrazelluläre Prozesse von entscheidender Bedeutung für den menschlichen Organismus. Eine seiner Hauptfunktionen ist die Aktivierung von mehr als 300 Enzymen. Ein Magnesiummangel verursacht erst bei einer Magnesium-Serumkonzentration unter 0,45 mmol/l neurologische, kardiologische und respiratorische Symptome. Weil diese Symptome unspezifisch sind, werden Magnesiummangelzustände oft nicht rechtzeitig erkannt. Bei unspezifischen Symptomen eines Sportlers, wie beispielsweise einem ungeklärten Leistungseinbruch, könnte also eine Störung der Magnesium-Homöostase in Betracht gezogen werden (7, 19).

### Einteilung der Gruppen

Alle an der Studie teilnehmenden Probanden wurden entweder der Gruppe der Ausdauertrainierten oder der Kontrollgruppe zugeteilt. Als Einteilungskriterien galten das erreichte Resultat aus einem Fahrradergometer-Belastungstest und die Sportanamnese. Die unterschiedlichen von den Probanden ausgeübten Sportarten machten es unmöglich, für jeden Einzelnen einen sportartspezifischen Belastungstest durchzuführen. Die gewählte einheitliche, nicht sportartspezifische Belastungsform lieferte die Grundlage dafür, dass die im Test ermittelten Leistungen direkt miteinander verglichen werden konnten. Die Fahrradergometrie bot sich insofern besonders an, da hierbei die Anforderungen an den Probanden im technisch-koordinativen Sinne relativ gering sind und sie somit auch für den nicht spezifisch trainierten Probanden leicht durchführbar ist.

### Diagnostik des Magnesium-Status

**Intrazelluläre und extrazelluläre Magnesiumkonzentration:** Blut ist das Standardmedium bei der Bestimmung des Magnesium-Haushalts in der klinischen Labordiagnostik.

Die Atomabsorptionsspektometrie wird aufgrund ihrer hohen Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit als Referenzmethode zur Magnesiumbestimmung angesehen (12, 19).

Die Gruppen der Sportler und Kontrollgruppe unterschieden sich weder in der erythrozytären Magnesiumkonzentration noch der totalen und ionisierten extrazellulären Magnesiumkonzentration voneinander und lagen im Normbereich, sodass also eine Dysbalance des Magnesium-Haushaltes durch die Messung der intrazellulären und extrazellulären Magnesiumkonzentrationen nicht detektiert wurde. Allerdings zeigten Studien, dass die intrazelluläre und extrazelluläre Magnesiumkonzentrationen nur eine begrenzte Aussagefähigkeit in Bezug auf die Evaluation des Magnesium-Status hat und der intravenöse Magnesium-Loadingtest genauere Aussagen erlaubt. Das liegt daran, dass das Blut weniger als 1% des Gesamtgehaltes des Körpers an Magnesium enthält und der Organismus bestrebt ist die Serum-Magnesiumkonzentration konstant zu halten. So kann zwar eine Hypomagnesiämie hinweisend auf eine Magnesiumunterversorgung auch der anderen Kompartimente sein, andererseits schließt eine im Normbereich liegende Serum-Magnesiumkonzentration einen Magnesiummangel nicht aus (4, 12, 30).

**Intravenöser Magnesium-Loadingtest:** Das zugrundeliegende Prinzip des intravenösen Magnesium-Loadingtests stützt sich auf die physiologische Gegebenheit, dass die Höhe der Magnesiumausscheidung im Urin mit der Sättigung der Kompartimente im Körper korreliert und die renale Magnesiumretention den zusätzlichen Magnesiumbedarf widerspiegelt. Es lassen sich also von der retinierten Fraktion der gesamt applizierten Menge Rückschlüsse auf eine im Organismus vorhandene Magnesiumdepletion ziehen. Eine hohe Retention weist demnach auf einen hohen Magnesiumbedarf hin, wie er bei einem Magnesiummangel auftritt (14, 15, 18, 27).

Bisher wendeten 27 Arbeitsgruppen den intravenösen Belastungstest an, von denen 11 Arbeitsgruppen auch gesunde Probanden als Kontrollgruppe untersuchten (29). Die vorliegende Studie führte erstmals den intravenösen Magnesium-Belastungstest an Ausdauersportlern durch. Dazu wurde die Methode von Ryzen *et al.* (27) angewendet, weil mit der angegebenen Infusionsdauer und -dosis die renale Transportkapazität für Magnesium nicht überschritten und damit die Messung der renalen Magnesiumausscheidung nicht verfälscht wird.

Urin wurde in der Untersuchung über 24 Stunden post infusionem gesammelt, da Holm *et al.* (18) und Gullestad *et al.* (14) die 24 h-Retention ebenso sensitiv wie die 48 h-Retention fanden. In Anbetracht der geringeren Belastung für die Probanden wurde bei gleicher Sensitivität die kürzere Sammelperiode bevorzugt.

Die durchschnittliche Magnesiumretention der Sportler zeigte sich höher als diejenige der Kontrollgruppe und bestätigt die Hypothese, dass Ausdauersportler einen gestörten Magnesiumstatus im Sinne eines Magnesiummangels haben.

## Ursachen des Magnesiummangels

Ein Magnesiummangel entsteht aufgrund einer gesteigerten Magnesiumausscheidung, einer verminderten Magnesiumzufuhr oder/und eines erhöhten Magnesiumverbrauchs. Da zur Zeit keine adäquate Messmethode für den Magnesiumverbrauch zur Verfügung steht, kann die vorliegende Studie darüber keine Aussage machen und beschränkt sich somit auf die Untersuchung der Magnesiumexkretion und Magnesiumaufnahme.

**Magnesiumexkretion:** Die Exkretion des Magnesiums erfolgt hauptsächlich über die Nieren. Dabei wird das diffusionsfähige Magnesium glomerulär filtriert und reabsorbiert. Die Reabsorption erfolgt hauptsächlich in der Henleschen Schleife und im proximalen Tubulus und steuert den Magnesiumbestand des Körpers (7). Die normale tägliche renale Ausscheidungsmenge liegt bei 1,5 bis 8,0 mmol Magnesium (5, 9).

Die schnelle Exkretion über die Nieren bei einer normalen Nierenfunktion stellt sicher, dass signifikante Anstiege des Magnesium-Serumspiegels vermieden werden. Andererseits führt dies dazu, dass das Auffüllen der intrazellulären Magnesium-Pools eine lange Zeit der Substitution benötigt.

Es konnte gezeigt werden, dass die basale Magnesiumausscheidung der Sportler sehr signifikant im Vergleich zur Kontrollgruppe erhöht war (6,4 mmol/d vs. 4,6 mmol/d). Auch *Hartmann et al.* (17) wiesen bei Sportlern eine im Vergleich zu einer Kontrollgruppe erhöhte renale Magnesiumausscheidung nach. Dass die Ausdauersportler mehr Magnesium ausschieden als Sportler der klassischen Schnellkraftsportarten führten die Autoren darauf zurück, dass kurzzeitige anaerobe Belastungen einen höheren stimulierenden Effekt auf den Sympathikotonus haben als Ausdauerbelastungen, daher das Magnesium intrazellulär benötigt wird und der renale Magnesiumverlust im Vergleich zu Ausdauersportlern reduziert ist. *Rayssiquier et al.* (25) zeigten, dass während andauernder, submaximaler Belastung die Magnesiumausscheidung zunächst absinkt und dann in der Erholungsphase bis auf Werte über die Ausgangswerte hinaus ansteigt. Insgesamt verliert der Sportler dadurch vermehrt Magnesium. *Strömme et al.* (33) wiesen bereits 1975 darauf hin, dass unabhängig von der Magnesiumausscheidung nach einer Ausdauerbelastung ein Absinken der Serum-Magnesiumkonzentration durch einen Shift des Magnesiums vom Extrazellulär- in den Intrazellulärraum verursacht werden kann, weil bei der Ausdauerbelastung innerhalb der Zellen mit hoher Stoffwechselaktivität ein hoher Magnesiumbedarf besteht.

*Hartmann et al.* (17) wiesen weiterhin nach, dass die Menge des ausgeschiedenen Magnesiums tendenziell in Abhängigkeit von der Gesamttrainingsbelastung ansteigt. Diese Beobachtungen wurden insbesondere während der mit hohen laktaziden Belastungen durchsetzten Wettkampfvorbereitungsphase gemacht und somit auf eine metabolische Azidose durch Laktat oder Ketonkörper zurückgeführt. Die Laktazidose begleitend kommt es zu einer erhöhten Ausscheidung von Katecholaminen und Aldosteron, welche ei-

nen renalen Magnesiumverlust durch die Hemmung der Magnesiumreabsorption bedingt (13, 17).

Leistungssportler in ausdauerbetonten Disziplinen sind also prädestiniert für eine erhöhte Magnesiumausscheidung im Urin, was in dieser Studie bestätigt werden konnte.

Nach Aussagen von *Haralambi und Heiler* (16) kann auch ein Magnesiumverlust über den Schweiß den Magnesium-Haushalt dadurch beeinflussen, dass bei wiederholten körperlichen Belastungen kumulativ Magnesium über insbesondere den Stirnschweiß verloren geht. Allerdings stellt dies nur einen Teilaspekt der Entstehung eines Magnesiummangels dar (3, 13, 25). *Seelig* (32) schätzt den normalen Magnesiumverlust über die Haut auf 1 mmol/d, *Haralambi und Heiler* (16) gehen von einem noch größeren Verlust aus. Solche Schätzungen sind allerdings ungenau, da noch kein Versuchsaufbau entwickelt wurde, der die über den Schweiß verlorene Magnesiummenge über die gesamte Körperoberfläche bei unterschiedlichen Sportarten akkurat misst. Aus diesem Grund wurde auch in der vorliegenden Untersuchung auf die Evaluation des Magnesiumverlustes über den Schweiß verzichtet.

Ebenso wurde auf die Messung der fäkalen Magnesiummenge verzichtet. Geht man davon aus, dass 60 bis 70% des oral aufgenommenen Magnesiums über Faeces ausgeschieden werden (28), gehen bei einer täglich normalen Magnesiumaufnahme von 12 mmol etwa 6,5 bis 7,0 mmol Magnesium fäkal verloren. Daraus kann geschlossen werden, dass die gesamte Magnesiumausscheidung anhand der in der vorliegenden Studie gemessenen renalen Magnesiumexkretion systematisch zu niedrig angesetzt wird. Das bedeutet wiederum, dass Sportler noch größere Mengen an Magnesium verlieren als in dieser Studie gemessen werden konnte.

**Magnesiumzufuhr:** Die Magnesiumzufuhr ist schwierig zu messen. Die in dieser Studie gewählte Form der Erhebung mittels eines Ernährungsprotokolls erfordert eine genaue Protokollierung der Probanden und unterliegt damit einem Ungenauigkeitsfaktor. Daher wurden Plausibilitätskontrollen der Ernährungsprotokolle durchgeführt und unvollständige Protokolle der Auswertung entzogen. Somit ist von einer annähernd korrekten bzw. systematisch eher geringgradig zu niedrig kalkulierten oralen Magnesiumzufuhr auszugehen.

Magnesium ist ein essentielles Mineral, dessen Resorption vor allem passiv, aber auch durch aktive Mechanismen im Dünndarm erfolgt (11). Die intestinale Resorptionsrate kann zwischen 10% und 50% schwanken (14). Dabei ist das Maß der Resorption von dem aktuellen Magnesium-Haushalt des Organismus abhängig. Bei Mangelzuständen wird mehr, bei ausreichendem Magnesiumgehalt weniger Magnesium

Tabelle 3: Internationale Empfehlungen zur Magnesiumzufuhr

	Empfohlene Magnesiumzufuhr (mg/d)
Australien	270-320
Frankreich	350
Italien	300-400
Kanada	250-300
Neuseeland	300-400
Polen	350-400
Spanien	300-400
USA	300-400
Deutschland	250-300

resorbiert. Bei einem ausgeglichenen Magnesium-Haushalt und gleichzeitig normaler Nierenfunktion führt eine weitere Magnesiumzufuhr nicht zur Erhöhung der Magnesiumkonzentration, weil der Magnesium-Überschuss renal ausgeschieden wird (19).

Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfiehlt eine tägliche Magnesiumzufuhr von etwa 350 mg (14,4 mmol) für Männer und 300 (12,3 mmol) mg für Frauen, das entspricht etwa 5 mg/kg (0,2 mmol/kg) KG pro Tag. Damit liegt Deutschland mit der empfohlenen Tagesdosis im internationalen Vergleich relativ niedrig (6) (Tab. 3).

Eine verminderte orale Zufuhr von Magnesium findet man häufig bei Sportlern, die ein definiertes Gewicht anstreben, wie etwa beim Turnen, Judo (2) oder Eiskunstlauf (34). Da gerade Nahrungsmittel mit einem hohen Energiegehalt in der Regel auch einen hohen Magnesiumgehalt besitzen, wirkt sich ein Verzicht auf diese Lebensmittel mit dem Ziel einer Gewichtsregulation negativ auf die Magnesium-Alimentation aus.

*Fogelholm et al.* (10) zeigten, dass sowohl ein stetiger als auch ein rapider Gewichtsverlust durch diätetische Restriktionen mit einer Störung des Spurenelement-Haushalts einhergehen. Die Magnesiumversorgung lag in dieser Studie insbesondere dann unter den Empfehlungen, wenn eine Gewichtsreduktion innerhalb weniger Tage herbeigeführt wurde.

*Economos et al.* (8) berichteten, dass von 905 untersuchten Sportlern 30% der männlichen und 88% der weiblichen Athleten aus aeroben Sportarten sowie 66% der männlichen und 100% der weiblichen Athleten aus anaeroben Sportarten energetisch mangelhafte Nahrung zu sich nahmen.

Hinzu kommt, dass auch in der Bevölkerung der Industrienationen die Zufuhr von Magnesium mit der täglichen Nahrung suboptimal ist (24). Anderen Studien zufolge wiesen über 50% der amerikanischen Bevölkerung eine geringere Magnesiumaufnahme auf als von der Gesundheitsbehörde empfohlen (22). *Baghurst et al.* (1) berichten in einer Studie an erwachsenen australischen Probanden, dass 12-14% von ihnen weniger als 70% der empfohlenen Magnesium-Tagesdosis aufnahmen.

Gründe dafür sind unter anderem der stetige Rückgang des Verzehrs an Kohlenhydratträgern sowie die immer einseitiger werdenden Mahlzeiten, die nur noch wenige naturbelassene Inhaltsstoffe besitzen.

Auch der Magnesiumgehalt im Trinkwasser kann den Magnesium-Haushalt beeinflussen (21, 26). In den letzten Jahren wird zunehmend diskutiert, ob die aktuell gültigen Aufstellungen über die Zusammensetzung der Nahrung für Magnesium noch korrekt sind. Durch Maßnahmen in der Kultivierung der Ackerböden, durch sauren Regen oder auch durch die Konservierung und Zubereitung der Speisen könnten möglicherweise die Konzentrationen beeinflusst werden und die Werte müssten nach unten korrigiert werden (19).

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die Sportler im Mittel 18,9 mmol und die Probanden der Kontrollgruppe 14,9 mmol Magnesium pro Tag mit der Nahrung aufnehmen. Damit lag die orale Magnesiumzufuhr der Ausdauersportler

einerseits signifikant über derjenigen der Kontrollgruppe. Andererseits nahmen beide Gruppen im Mittel mehr als die von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung empfohlene Magnesiummenge über die Nahrung auf.

Daraus kann geschlossen werden, dass die Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung zur Magnesiumsubstitution für Sportler zu knapp bemessen sind und nutritive Aspekte nicht die alleinige Ursache für die Entstehung eines Magnesiummangels darstellen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie gehen konform mit den Resultaten von *Bauer et al.* (2) an 36 Mittel- und Langstreckenläufern, die zeigten, dass Sportler in bezug auf die Verteilung der Nahrungsbestandteile ein besseres Ernährungsverhalten aufwiesen als Nichtsportler. Das mag daran liegen, dass die prophylaktische Substitution von Magnesium im Sport bereits weitverbreitet ist (31). Von den von *Economos et al.* (8) untersuchten 905 Athleten supplementierten 80% der weiblichen und 60% der männlichen Sportler aus dem aeroben Bereich sowie 100% der weiblichen und 90% der männlichen Athleten aus anaeroben Disziplinen regelmäßig Spurenelemente und Vitamine.

Trotz einer um im Mittel 4,5 mmol/d (110 mg/d) über der empfohlenen Tagesmenge liegenden Magnesiumaufnahme in der Gruppe der Sportler, wiesen diese häufiger einen Magnesiummangel auf. Da die Gruppe der Sportler trotz einer erhöhten Magnesiumretention im Mittel 1,8 mmol Magnesium pro Tag (43 mg/d) mehr über den Urin ausschied als die Kontrollgruppe, muss von einem weitaus höheren Magnesiumbedarf ausgegangen werden. Auch in der Kontrollgruppe wiesen nicht alle Probanden einen ausgeglichenen Magnesium-Haushalt auf.

Man kann also aus den Ergebnissen der Studie schließen, dass die Referenzwerte für die empfohlene tägliche Magnesiumaufnahme für Sportler im Ausdauerbereich erhöht werden müssen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Magnesiumzufuhr nicht vornehmlich durch die Substitution künstlicher Ersatzstoffe sondern vielmehr durch eine Adaptation der Ernährungsgewohnheiten sichergestellt wird (20). Vor der Magnesiumsubstitution sind vorhandene Kontraindikationen, wie eine Nierenfunktionsstörung zu überprüfen. Insbesondere Athleten, die prädestiniert sind für einen Magnesiummangel, sollten auf einen ausreichend hohen Magnesiumgehalt der Kost achten und regelmäßig ihren Magnesium-Status überprüfen lassen.

#### Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Sabine Asendorf für die Unterstützung bei den Laktatstufentests.

#### Literatur

1. *Baghurst KI, Dreosti IE, Syrette JA, Record SJ, Baghurst PA, Buckley RA:* Zinc and magnesium status of Australian adults. *Nutr Res* 2 (1991) 23-32
2. *Bauer S, Berg A, Keul J:* Ernährungserhebung bei Ausdauersportlern. 11. Vitamin-, Mineralstoff- und Spurenelementzufuhr. *Akt Ernähr Med* 18 (1993) 279-285
3. *Cordova A, Navas FJ, Gomez-Carraminana M, Rodriguez H:* Evaluation of magnesium intake in elite sportsmen. *Magnesium Bull* 16 (1994) 59-63

4. Dewitte K, Stockl D, Van-de-Velde M, Thienpont LM: Evaluation of intrinsic and routine quality of total magnesium measurement. *Clin Chim Acta* 292 (2000), 55-68
5. Dirks JH: The kidney and magnesium regulation. *Kidney Int* 23 (1983) 771-777
6. Dreosti IE: Magnesium status and health. *Nutr Rev* 53 (1995) 23-27
7. Durlach J: Magnesium in der klinischen Praxis. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1992
8. Economos C, Bortz SS, Nelson ME: Nutritional practices of elite athletes - practical recommendations. *Sports Med* 16 (1993) 381-399
9. Elin RJ: Magnesium metabolism in health and disease. *Dis Mon* 4 (1988) 162-218
10. Fogelholm GM, Koskinen R, Laakso J, Rankinen T, Ruokonen I: Gradual and rapid weight loss: Effects on nutrition and performance in male athletes. *Med Sci Sports Exerc* 4 (1993) 371-377
11. Golf S: Transport von Magnesium durch Membranen. *Magnesium Bull* 16 (1994) 12-18
12. Golf S, Münch J, Graef V, Temme H, Brüstle A, Roka L, Beuther G, Heinz N, Buhl C, Nowacki PE: Einfluss einer vierwöchigen Magnesiumsupplementierung auf die Laktateeliminierung von Leistungsruderern bei einem erschöpfenden, wettkampfspezifischen Leistungstest. *Magnesium Bull* 10 (1988) 124-130
13. Golf SW, Happel O, Graef V: Aldosteron-, Cortisol- und Elektrolytkonzentrationen im Plasma bei körperlicher Belastung unter Magnesiumsubstitution. *J Clin Chem Clin Biochem* 22 (1984) 717-721
14. Gullestad L, Dolva LO, Waage A, Faich D, Fagerthun H, Kjekshus J: Magnesium deficiency diagnosed by an intravenous loading test. *Scand J Clin Lab Invest* 52 (1992) 245-253
15. Gullestad L, Midtvedt K, Dolva LO, Norseth J, Kjekshus J: The magnesium loading test: Reference values in healthy subjects. *Scand J Clin Lab Invest* 54 (1994) 23-31
16. Haralambi G, Heiler: Magnesium-Konzentration im Schweiß nach körperlicher Belastung. *Sportarzt und Sportmedizin* 27 (1976) 229-232
17. Hartmann U, Komanns B, Mader A, Böhnert K: Renale Magnesiumausscheidung bei Athleten unterschiedlicher Disziplinen sowie die Beeinflussung durch Training. *Magnesium Bull* 16 (1994) 90-97
18. Holm CN, Jepsen JM, Sjogaard G, Hessov I: A Magnesium load test in the diagnosis of magnesium deficiency. *Hum Nutr Clin Nutr* 41 (1987) 301-306
19. Holtmeier HJ: Das Magnesiummangelsyndrom. Bedeutung für Mensch, Tier und Pflanze. Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, 1988.
20. Konopka P: Sport-Ernährung: Leistungsförderung durch vollwertige und bedarfsangepasste Ernährung. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 1995
21. Landin K, Bonevik H, Rylander R, Sandstroem BM: Skeletal muscle magnesium and drinking water magnesium level. *Magnesium Bull* 11 (1989) 177-179
22. McDonald R, Keen CL: Iron, zinc and magnesium nutrition and athletic performance. *Sports Med* 5 (1988) 171-184
23. Pansold B, Zinner J: Die Laktat-Leistungskurve; Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-Jena-New York, 1994
24. Pennington JAT: Intakes of minerals from diets and foods: Is there a need for concern? RDA Workshop: New approaches, endpoints and paradigms for RDAs of mineral elements 1 (1996) 2304-2308
25. Rayssiguier Y, Guezennec GY, Durlach J: New experimental and clinical data on the relationship between magnesium and sport. *Magnes Res* 3 (1990) 93-102
26. Rubenowitz E, Axelsson G, Rylander R: Magnesium in drinking water and body magnesium status measured using an oral loading test. *Scand J Clin Lab Invest* 58 (1998) 423-428
27. Ryzen E, Elbaum N, Singer FR, Rude RK: Parenteral magnesium tolerance testing in the evaluation of magnesium deficiency. *Magnesium* 4 (1985) 137-147
28. Sanders GT, Huijgen HJ, Sanders R: Magnesium in disease: a review with special emphasis on the serum ionized magnesium. *Clin Chem Lab Med* 37 (1999) 1011-1033
29. Saur P: Magnesium - Evaluation und Bedeutung des Magnesiumhaushalts. Shaker Verlag, Aachen, 2001
30. Saur PMM, Zielmann S, Roth ATP, Frank L, Warneke G, Radke A, Ensink FBM, Kettler D: Untersuchung zur Diagnose eines Magnesiummangels bei Intensivpatienten. *Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie* 1 (1996) 37-41
31. Schimatschek HF, Hirneth H, Classen HG: Neue Entwicklungen bei Mineralstoffen für Sportlergetränke. *Nutrition* 12 (1988) 783-787
32. Seelig MS: Nutritional status and requirements of magnesium. *Magnesium Bull* 8 (1986) 170-184
33. Strømme S, Stensvold J, Meen H, Refsum H: Magnesium metabolism during prolonged heavy exercise. In: Howald H, Poortmans J (eds.): *Metabolic adaption to prolonged physical exercise*. Basel: Birkhäuser Verlag 1975, 361-366
34. Ziegler PJ, Nelson JA, Jonnalagadda SS: Nutritional and physiological status of U.S. national figure skaters. *Int J Sport Nutr* 9 (1999) 345-360

**Korrespondenzadresse:**  
**Univ.-Prof. Dr. Petra Saur**  
**Zentrum Anaesthesiologie,**  
**Rettings- und Intensivmedizin**  
**Georg-August-Universität Göttingen**  
**D-37075 Göttingen**  
**Fax: 0551-398676**  
**E-mail address: psaur@gwdg.de**