

Aus dem Max Planck-Institut für Arbeitsphysiologie, Dortmund (Direktor: Prof. Dr. med. G. LEHMANN) und dem Max Planck-Institut für Ernährungsphysiologie, Dortmund (Direktor: Prof. Dr. phil. H. KRAUT)

Die Wirkung einer mehrwöchigen Ernährung mit kaliumarmer Diät bei schwerer Arbeit

Von

H. STARLINGER und A. BERGHOFF

Mit 8 Textabbildungen

(Eingegangen am 23. März 1965)

1. Problemstellung

Infolge des hohen Kaliumgehaltes der meisten Nahrungsmittel kommt eine Kaliumverarmung des Körpers beim gesunden, kalorisch ausreichend ernährten Menschen nicht vor. Störungen des Kaliumstoffwechsels werden jedoch häufig durch abnorme Funktionen der den Elektrolythaushalt regulierenden Zentren im Hypophysen- und Nebennierenrindensystem hervorgerufen. Kaliummangel tritt auch als Begleiterscheinung von Erkrankungen des Magen-Darm-Traktes und der Nieren auf oder er kann durch medikamentöse Behandlung verursacht werden. Störungen der Muskelfunktion sind oft die ersten Anzeichen eines Kaliummangels; sie können sich bis zu Lähmungserscheinungen steigern. Alle in diesen Fällen auftretenden Symptome des Kaliummangels sind vergesellschaftet mit Erscheinungen, die durch die primäre Erkrankung verursacht werden.

Eine Zusammenstellung der umfangreichen Literatur haben WELT u. Mitarb. (1960) vorgenommen. BLACK u. MMILNE, FOURMAN u. ROBINSON, HUTH u. Mitarb. haben an gesunden Menschen durch eine kaliumarme Diät bzw. durch Einnahme von Kationenaustauschern eine Kaliumverarmung des Körpers hervorgerufen und deren Auswirkungen untersucht. BLACK u. MMILNE konnten zwar keine Muskelschwäche feststellen, aber eine Herabsetzung der körperlichen Leistungsfähigkeit für langdauernde Tätigkeiten während der Kaliumverarmung des Körpers nicht ausschließen.

Bei unseren Untersuchungen sollte geprüft werden, wann eine Kaliumverarmung auftritt, wenn eine kaliumarme, aber in bezug auf Eiweiß, Kalorien, Vitamine usw. sicher ausreichende Ernährung gegeben und schwere Arbeit geleistet wird. Wegen der bei Kaliumverarmung zu erwartenden Muskelfunktionsstörung sollte vor allem gemessen werden, ob die Versuchspersonen bei kaliumarmer Kost merklich in der Durchführung einer Arbeit beeinträchtigt werden, die an der Grenze ihrer

Dauerleistungsfähigkeit liegt, und ob eine Änderung der Maximalkraft nachweisbar ist. Außerdem sollte untersucht werden, welche Beziehungen zum Elektrolytgehalt, zum Säure-Basen-Gleichgewicht des Blutes bzw. zur Exkretion bestehen.

2. Versuchsdurchführung

In der Zeit von 1960 bis 1963 wurden nacheinander fünf langfristige Versuche an vier gesunden Männern durchgeführt, deren Alter zwischen 20 und 24 Jahren lag. Verglichen wurden Perioden mit verschiedenem Kaliumgehalt der Nahrung. An die während des Versuches zu leistende Arbeit wurden die Versuchspersonen schon vor Beginn der Bilanzversuche durch tägliches dreistündiges Fahren auf dem Fahrradergometer gewöhnt. Im Laufe von 8 bis 14 Tagen wurde die geleistete Arbeit gesteigert und während der folgenden Bilanzversuche auf dem erreichten Wert konstant gehalten. Einzelheiten der Bilanzversuche und deren Ergebnisse finden sich in der Arbeit von JEKAT. Die Nahrungsbilanz wurde bei den Versuchspersonen während einer im folgenden als Vor-, Haupt- und Nachperiode bezeichneten Zeit ermittelt. Während der dreiwöchigen Vorperiode erhielten die Versuchspersonen Normalkost. In der Hauptperiode wurde während 4—6 Wochen eine kaliumarme Ernährung gegeben. Die Diät bestand in dieser Zeit vorwiegend aus Reis, Käse und Milch. Der Kaliumgehalt der Milch war durch Behandlung mit dem Kationenaustauscher „Zeokarb 225 Na“ von ca. 1,4 g/l auf 10 mg/l reduziert worden.

Auf diese Weise war es möglich, bei ausreichender Eiweißversorgung die Kaliumaufnahme pro Tag auf 200—400 mg zu beschränken, was etwa einem Zehntel der Normalaufnahme entspricht. Um Erscheinungen auszuschalten, die auf psychische Faktoren zurückzuführen sind, wurde in der Nachperiode zunächst 1—2 Wochen die gleiche Kost gegeben wie in der kaliumarmen Periode, nur wurde die Milch nicht durch einen Austauscher geschickt und der Reis nicht durch sorgfältiges Abkochen kaliumarm gemacht. Hierdurch stieg die tägliche Kaliumaufnahme auf ca. 2 g/Tag. Anschließend erhielten die Versuchspersonen 1—2 Wochen die gleiche Normalkost wie in der Vorperiode, deren Kaliumgehalt dann wieder zwischen 3 und 4 g/Tag lag. Im ersten Bilanzversuch konnte der Kaliumgehalt der Nahrung in den ersten beiden Wochen der kaliumarmen Periode nicht genügend reduziert werden und betrug noch über 1 g/Tag. Da uns die Versuchsperson nicht lange genug zur Verfügung stand, verkürzte sich die Zeit, in der die tägliche Kaliumaufnahme 300—400 mg betrug, auf 3 Wochen, und die Nachperiode mußte auf 1 Woche beschränkt werden. Wir konnten jedoch mit dieser Versuchsperson den Versuch nach 1½ Jahren wiederholen und den oben besprochenen Versuchsplan einhalten.

Die Versuchspersonen wohnten im Institut und kamen nach dem Frühstück um 8 Uhr in den Versuchsraum, wo sie zunächst 1 Std im Liegen ruhten und die Pulsfrequenz gemessen wurde. Am Ende der Stunde wurde Blut aus der Fingerbeere und aus der Vene entnommen. Danach gab die Versuchsperson den im folgenden als „Morgenharn“ bezeichneten Urin ab. Für einen durchzuführenden Arbeitsversuch stellte die Versuchsperson ihr Gewicht ohne Bekleidung fest und zog ein in destilliertem Wasser gewaschenes Baumwolltrikot an, das die Oberarme, den Rumpf und die Beine bedeckte. Darüber trug die Versuchsperson eine ebenfalls in destilliertem Wasser gewaschene Sporthose und an den Füßen offene Sandalen. Nach einigen Minuten Ruhe im Sitzen auf dem Fahrradergometer wurde der Leistungs-Puls-Index nach E. A. MÜLLER und gleichzeitig die Fahrzeit bis zur Erreichung eines Amplituden-Frequenz-Produktes von 10000 nach LEHMANN u. MICHAELIS festgestellt. Die Versuchspersonen fuhren dann ohne Pause je nach ihrer Belastbarkeit mit einer Arbeitsleistung von 10—12 mkp/U bei 60 Pedalumdrehungen/min weiter,

bis sie insgesamt eine Fahrzeit von 3 Std erreicht hatten. Während des Fahrens wurde die Pulsfrequenz gemessen und nach 2½ Std ohne Unterbrechung der Arbeit Blut aus der Fingerbeere entnommen. Nach Beendigung der Arbeit wurde beim Sitzen auf einem Stuhl während 5—10 min die Rückkehr der Pulsfrequenz zu der Ausgangsfrequenz kontrolliert.

Die Temperatur im Versuchsraum war infolge der Südlage des Arbeitsraumes bei den Arbeitsversuchen der beiden ersten Versuchspersonen recht schwankend (19—28°C). Sie wurde in den Versuchen mit den drei folgenden Versuchspersonen zwischen 24 und 26°C konstant gehalten. Die Versuchspersonen durften während der Arbeitszeit nach Belieben Wasser trinken. Die Schweißmenge wurde bei Berücksichtigung der Trinkmenge aus der Gewichts-differenz der unbedeckten Versuchsperson vor und nach der dreistündigen Arbeit ermittelt. Auf eine Korrektur für den Gewichtsverlust durch die Atmung konnte bei unserer Fragestellung verzichtet werden.

Die Hauptmenge des Schweißes wurde in der mit destilliertem Wasser gewaschenen Bekleidung und dem Tuch gesammelt, mit dem sich die Versuchspersonen die Schweißtropfen abwischten. Den auf der Haut haftenden Schweiß wuschen sie sich mit zwei Portionen von je 5 l destilliertem Wasser ab und legten Bekleidung sowie Tuch in das zusammengeegossene Waschwasser. Am nächsten Tag wurde nach sehr gründlichem Ausschwenken der Textilien und Mischen der Waschflüssigkeit ein aliquoter Teil zur Analyse entnommen. Die nach dem morgendlichen Duschen und Abtrocknen schon vor der Testarbeit auf der Haut vorhandenen Ionen wurden vernachlässigt, da sie mengenmäßig nicht ins Gewicht fielen.

Nachdem die Versuchsperson sich gewaschen hatte, wurde noch einmal Blut aus der Vene entnommen. Um 13 Uhr gab die Versuchsperson den im folgenden als „Arbeits- und Erholungsharn“ bezeichneten Urin ab.

An den Tagen, an denen die Arbeitsversuche durch Ruheversuche ersetzt wurden, fanden Harnabgabe und Blutentnahme zu den gleichen Zeiten statt wie in den Arbeitsversuchen. Das Sammeln des Schweißes unterblieb, und die Versuchsperson verbrachte den Vormittag ruhig liegend. Bei einem Teil der Versuchspersonen wurde die Regulation des Kohlenhydratstoffwechsels während der verschiedenen Ernährungsperioden mit Hilfe des Staub-Traugott-Versuches getestet. In diesen Versuchen verbrachte die Versuchsperson den Vormittag im Sitzen ohne Arbeitsleistung. Die Nachmittage und Abende standen den Versuchspersonen zur freien Betätigung zur Verfügung. Die Versuchsperson Mi betätigte sich an den Nachmittagen in einer von den hier angeführten Versuchen unabhängigen Meßreihe, in der statische Haltearbeit verrichtet wurde. Die übrigen Versuchspersonen verbrachten die Nachmittage ohne größere körperliche Betätigung. Bei allen Versuchspersonen wurde das Elektrokardiogramm überwacht.

In den Blutproben, die morgens und mittags an den Tagen entnommen wurden, an denen Ruhe- bzw. Arbeitsversuche stattfanden, wurde der Gehalt an Natrium, Kalium, Calcium und Citronensäure im Serum gemessen. Bei der Versuchsperson Pfi wurde auch der Gehalt des Kaliums im Gesamtblut bestimmt und der Hämatokritwert ermittelt. Bei den Versuchspersonen Mi und Pfi wurde der ATP-Spiegel des Blutes während der verschiedenen Ernährungsperioden bestimmt. In den Bilanzversuchen mit drei Versuchspersonen wurde Fingerbeerenblut zur Bestimmung des Säure-Basen-Gleichgewichtes auf den pH-Wert, das Standardbicarbonat und die Kohlendioxidspannung des Blutes untersucht.

Der Harn wurde in verschiedenen Tagesportionen gesammelt. Die Bezeichnungen des in den einzelnen Tagesabschnitten gesammelten Harnes sind die folgenden: Der vom Aufstehen bis zur Leistungskontrolle (9 Uhr) gesammelte Harn entspricht dem Morgenharn, der von 9—13 Uhr gesammelte Harn dem Arbeits- und Erholungsharn, der von 13 Uhr bis zum Zubettgehen ausgeschiedene dem Nach-

mittags- und Abendharn und der vom Zubettgehen bis zum morgendlichen Aufstehen gesammelte dem Nachtharn. Natrium und Kalium wurden bei allen Versuchspersonen in jeder Harnportion einzeln bestimmt. Außerdem wurde ein Zehntel jeder Harnportion zu einem 24-Std-Harn vereinigt. Der pH-Wert, Ammoniak, Kohlendioxyd, anorganisches Phosphat wurden nur im Arbeits- und Erholungsharn und im 24-Std-Harn bestimmt. Die Bestimmung des pH-Wertes, des Ammoniaks und Kohlendioxyds erfolgte beim Arbeits- und Erholungsharn sofort nach der Abgabe, wenn er auf Zimmertemperatur abgekühlt war, im 24-Std-Harn nach Beendigung des Sammelns, wobei die einzelnen Harnportionen im Eisschrank aufbewahrt wurden. Eine Ausnahme wurde an den Wochenenden gemacht, an denen die Einzelharn erst am Montagmorgen zum 24-Std-Harn gemischt wurden. Die Berechnung der Wasserstoffionenkonzentration erfolgte wie früher beschrieben (STARLINGER u. BANDINO). Im 24-Std-Harn wurde bei allen Versuchspersonen die Ausscheidung der 17—21-Dihydroxy-20-Ketosteroide gemessen. Bei zwei Versuchspersonen wurde die Summe der Ausscheidung von Adrenalin und Noradrenalin im 24-Std-Harn und bei einer von ihnen außerdem im Arbeits- und Erholungsharn ermittelt.

Natrium, Kalium und Calcium wurden flammenphotometrisch mit dem Eppendorf-Flammenphotometer gemessen, der pH-Wert des Harnes mit dem Metromgerät bei Zimmertemperatur bestimmt, der Phosphatgehalt wurde nach FISKE u. SUBBAROW mit einer modifizierten Methode unter Benutzung des Eppendorf-Photometers bestimmt. Das Gesamtkohlendioxyd des Harnes wurde nach der Methode von PETERS u. VAN SLYKE bestimmt und das Bicarbonat nach der Henderson-Hasselbach-Gleichung errechnet. Ammoniak wurde nach CREMER u. OPITZ bestimmt. Der Chloridgehalt des Schweißes wurde ermittelt, indem das Waschwasser nach dem Eindampfen behandelt wurde, wie KUSCHINSKY u. LANGECKER es für den Harn vorschreiben, und dann nach LANG titriert. Der ATP-Gehalt des Blutes wurde enzymatisch mit der von der Firma C. F. Boehringer herausgegebenen Testkombination nach der dazugehörigen Vorschrift bestimmt, die sich an Angaben von BÜCHER u. SCHUART (unveröffentlicht) anlehnt. Die Gesamt-17—21-Dihydroxy-20-Ketosteroide des Harnes wurden nach Spaltung mit β -Glucuronidase nach dem von SILBER u. PORTER angegebenen Verfahren bestimmt. Die Summe von Noradrenalin und Adrenalin wurde bei einer Versuchsperson nach JOHNSON, bei der zweiten Versuchsperson nach v. EULER u. LISHAJKO an Aluminiumoxyd chromatographiert und bei beiden Versuchspersonen fluorometrisch nach v. EULER u. FLODIG bestimmt. Die Messungen wurden bei der Versuchsperson La mit dem Farrand-Fluorometer durchgeführt. Bei der Versuchsperson Ku stand zur Messung der Fluoreszenzaufsatz des Eppendorf-Gerätes zur Verfügung (Primärfilter: Hg 405; Sekundärfilter: 500—3000 $m\mu$). Die Citronensäure wurde im Harn und Blut nach NATELSON u. PINCUS bestimmt. Die Kohlendioxydspannung des Blutes und das Standardbicarbonat wurden im Capillarblut nach der von ASTRUP u. Mitarb. beschriebenen Methode mit dem von der Firma Radiometer hergestellten Gerät für Mikrobestimmung gemessen.

Am Ende der kaliumarmen Periode bestimmte ROHMERT mit der von ihm beschriebenen Methode bei allen Versuchspersonen die isometrische Maximalkraft. Die Werte wurden mit denen verglichen, die die Versuchspersonen in normal ernährtem Zustand zeigten. Zwischen den Messungen der Maximalkräfte lag stets ein Zeitraum von mindestens 14 Tagen, so daß kein Trainingseffekt auftreten konnte (MÜLLER u. HETTINGER).

3. Ergebnisse

Elektrolyte des Serums. Die Mittelwerte des Kalium-, Natrium- und Calciumgehaltes im Serum sind für jede Versuchsperson nach Ernährungsperioden getrennt in der Tabelle 1 wiedergegeben. Bei der Bildung der

Tabelle 1. *Elektrolytgehalt im Serum der einzelnen Versuchspersonen. Die Werte für die 1. Woche der Hauptperiode und der Nachperiode wurden zur Bildung von Mittelwert und Standardabweichung nicht berücksichtigt*

Name der Versuchsperson	Belastung	Arbeit				Ruhe				
		Na im Serum in mg-% vor dem Versuch* nach dem Versuch*	K im Serum in mg-% vor dem Versuch* nach dem Versuch*	Ca im Serum in mg-% vor dem Versuch* nach dem Versuch*	Na im Serum in mg-% vor dem Versuch* nach dem Versuch*	K im Serum in mg-% vor dem Versuch* nach dem Versuch*	Ca im Serum in mg-% vor dem Versuch* nach dem Versuch*	Na im Serum in mg-% vor dem Versuch* nach dem Versuch*	K im Serum in mg-% vor dem Versuch* nach dem Versuch*	Ca im Serum in mg-% vor dem Versuch* nach dem Versuch*
<i>Vorperiode (Normalernährung)</i>										
Mi I	12 mkp/sec	n	2	4	3	3	—	—	—	—
		AM	321	16,8	17,9	9,6	9,6	—	—	—
La	10 mkp/sec	n	8	8	5	8	2	2	2	2
		AM	314	15,1	15,5	9,9	9,9	315	15,6	16,4
		σ	$\pm 8,10$	$\pm 1,12$	—	$\pm 0,26$	—	—	—	—
Mi II	12 mkp/sec	n	9	9	9	9	3	3	3	3
		AM	319	14,4	15,6	9,5	9,8	318	14,9	15,2
		σ	$\pm 5,9$	$\pm 0,74$	$\pm 0,79$	$\pm 0,27$	—	—	—	—
Ku	10 mkp/sec	n	9	9	8	9	8	3	3	3
		AM	314	17,0	16,9	9,6	9,7	318	17,4	9,5
		σ	$\pm 2,5$	$\pm 1,18$	$\pm 0,25$	$\pm 0,23$	—	—	—	—
Pfi	12 mkp/sec	n	10	10	10	10	3	3	3	3
		AM	312	16,4	17,2	9,8	9,9	309	16,3	15,9
		σ	$\pm 7,0$	$\pm 1,2$	$\pm 0,34$	$\pm 0,3$	—	—	—	—
<i>Hauptperiode (kaliumarmer Ernährung)</i>										
Mi I	12 mkp/sec	n	4	4	4	4	4	—	—	—
		AM	319	11,6	12,1	8,5	8,5	—	—	—

Mittelwerte sind die Einzelwerte, die in den ersten 8 Tagen der kaliumarmen Periode erhalten wurden, fortgelassen worden. Auf die gleiche Weise wurden die Mittelwerte der Nachperiode gebildet. Dieses Vorgehen war notwendig, da zwar der Calcium- und Natriumgehalt nach Umstellung der Ernährung unverändert blieb, der Kaliumspiegel des Serums sich aber stetig änderte. Die Abb. 1 zeigt, wie der Kaliumgehalt in Abhängigkeit von der Dauer der einzelnen Ernährungsperioden während der

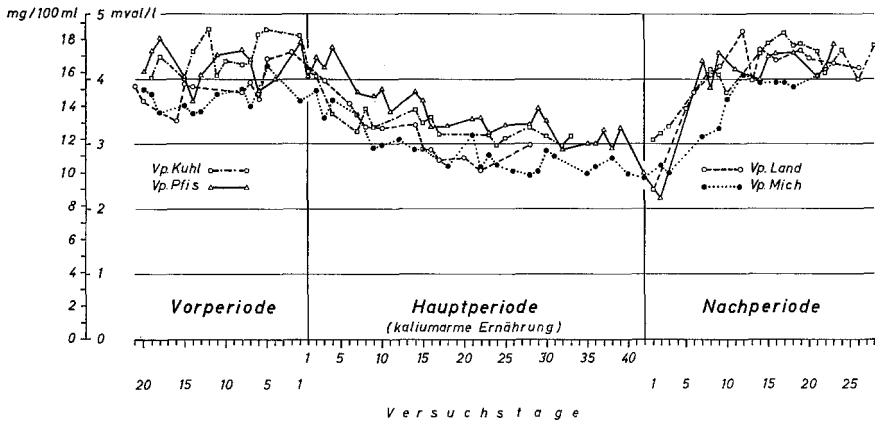


Abb. 1. Kalium im Serum (mg/100 ml) während der verschiedenen Ernährungsperioden (Blutentnahme nach dem Frühstück)

kaliumarmen Ernährung abfiel bzw. in der Nachperiode wieder anstieg. Aus der Tabelle 1 wird ersichtlich, daß der Natrium- und Calciumgehalt während der gesamten Versuche keine wesentlichen Änderungen erfuhren, der Kaliumgehalt des Serums dagegen in der kaliumarmen Periode signifikant erniedrigt war. In der Vorperiode lagen die Mittelwerte, die aus den Blutabnahmen vor der Leistungsprüfung erhalten wurden, bei den einzelnen Versuchspersonen zwischen 14,4 und 17,0 mg-%, in der Nachperiode zwischen 15,1 und 17,1 mg-%. In der kaliumarmen Ernährungsperiode sanken die Mittelwerte auf 10,8 bis 12,8 mg-%. Die nach dem Leistungstest ermittelten Gehalte verhielten sich analog.

Aus der Abb. 1 ist ersichtlich, daß der stärkste Abfall zwar innerhalb der ersten 8 Tage, in denen kaliumarme Kost gegeben wurde, auftrat, aber auch noch am Ende der kaliumarmen Ernährung die Tendenz zum weiteren Absinken des Serum-Kalium-Spiegels zu bestehen schien. Nach Zufuhr von Kalium sank zu Beginn der Nachperiode der Serum-Kalium-Spiegel in mehreren Fällen noch weiter ab und erreichte bei der Versuchsperson Pfl mit 8,5 mg-% den niedrigsten Serum-Kalium-Wert, der während aller Versuche gemessen wurde. Die Normalwerte wurden aber schon innerhalb der 2. Woche nach Beendigung der kaliumarmen Ernährung erreicht. Der Kaliumgehalt des Vollblutes, des Plasmas und der Hä-

matokritwert wurden nur bei einer Versuchsperson (Vp. Pfi) während der verschiedenen Ernährungsperioden bestimmt und nicht in der Tabelle 1 aufgeführt. Die Hämatokritwerte des venösen Blutes blieben bei dieser Versuchsperson bis zum letzten Tag der kaliumarmen Periode unverändert gegenüber der Vorperiode mit Normalernährung.

Die Plasma-Kalium-Werte fielen von 17,2 mg-% auf 11,1 mg-% am Ende der kaliumarmen Periode ab. Die entsprechenden Kaliumwerte des

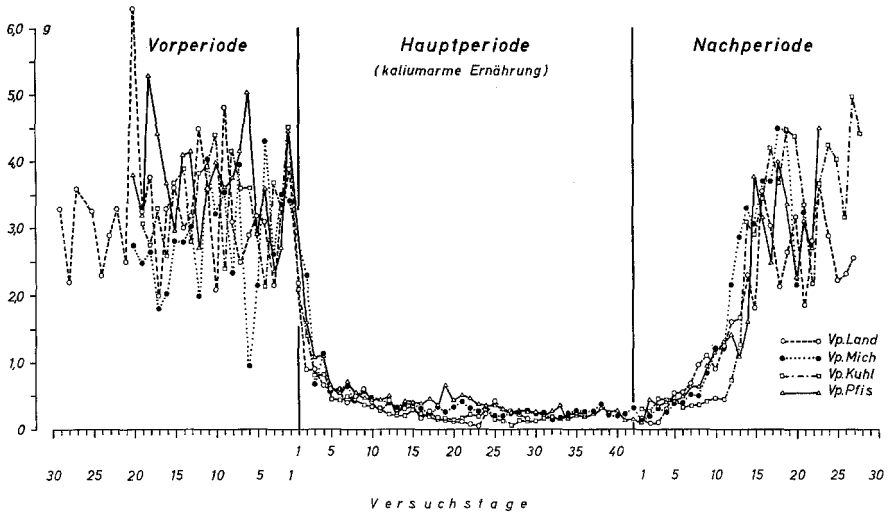


Abb. 2. Kaliumausscheidung im Harn (g/24 Std) während der verschiedenen Ernährungsperioden

Vollblutes (die nach Enteiweißung des Blutes gewonnen wurden) betragen vor Beginn der kaliumarmen Periode 204 mg-% und am letzten Tag der kaliumarmen Periode 168 mg-%. Berechnet man daraus den Kaliumgehalt der roten Blutkörperchen, so fiel er von 438 mg-% in der Vorperiode auf 367 mg-% am Ende der kaliumarmen Ernährungsperiode ab. Die Änderung des Kaliumgehaltes in den roten Blutkörperchen war also weniger groß als im Serum bzw. im Plasma.

Die Kaliumausscheidung im Harn ist in Abb. 2 aufgetragen. Trotz der sehr großen Schwankungen der Kaliumausscheidung in der Vorperiode nimmt sie schon nach 1 Tag kaliumarmer Ernährung rapide ab und hat nach 3 Tagen bei allen Versuchspersonen einen niedrigeren Wert erreicht, als je in der Vorperiode aufgetreten ist. Bis zum 14. Tag nimmt die Kaliumausscheidung noch weiter ab und erreicht dann einen ziemlich konstanten Wert, der um 300 mg in 24 Std liegt. Die niedrigste Tagesausscheidung, die beobachtet wurde, lag bei 50 mg in 24 Std. Die Niere war also bei allen Versuchspersonen in der Lage, nach ca. 14 Tagen den Kaliummangel der Nahrung durch reduzierte Ausscheidung zu kompensieren.

sieren. Die Einschränkung der Ausscheidung begann bereits zu einem Zeitpunkt, in dem die im Serum zu messenden Veränderungen die Schwankungen der Vorperiode noch nicht überschritten.

Einen Überblick über die Änderungen der tageszeitlichen Schwankungen der Natrium- und Kaliumausscheidung während der verschiedenen Ernährungsperioden gibt die Abb. 3. In der Darstellung wurden nicht die durchschnittlichen Absolutmengen angegeben, da die Ausschei-

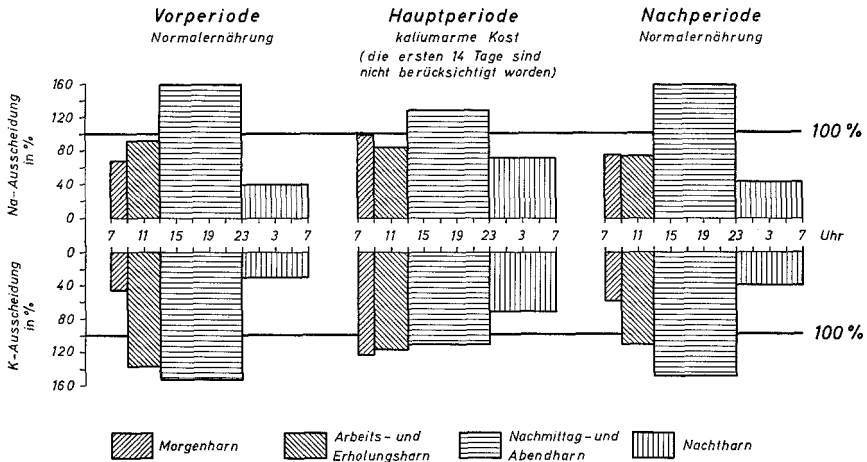


Abb. 3. Die durchschnittliche tageszeitliche Verteilung der Natrium- und Kaliumausscheidung von vier Versuchspersonen während der verschiedenen Ernährungsperioden in den Arbeitsversuchen (Ausscheidung in g/Std im 24 Std-Harn = 100%)

dung für das Natrium zwar in allen Ernährungsperioden bei 3—4 g/Tag lag, die des Kaliums aber um mehr als eine Größenordnung während der kaliumarmen Periode abfiel. Es wurde deshalb bei jeder Versuchsperson die tägliche Ausscheidung in 24 Std in Gramm pro Stunde umgerechnet, gleich 100% gesetzt und die in Gramm pro Stunde zu den verschiedenen Tageszeiten ausgeschiedene Menge darauf bezogen.

Wie zu erwarten, war die Natrium- und Kaliumausscheidung nicht zufällig über den Tag verteilt, sondern erschien in den zu den verschiedenen Tageszeiten ausgeschiedenen Harnportionen mit einem charakteristischen Anteil. Vergleicht man die zu den verschiedenen Tageszeiten ausgeschiedenen Mengen, so ist am auffälligsten der relative Anstieg der Natrium- und Kaliumausscheidung im Nachtharn während der kaliumarmen Ernährung. In der Normalperiode betrug die in der Zeiteinheit ausgeschiedene Natriummenge des Nachts 39% der durchschnittlichen Ausscheidung im 24-Std-Harn (g/h = 100%), in der kaliumarmen Periode stieg dieser Wert auf 71% an und fiel in der zweiten Hälfte der Nachperiode wieder deutlich ab. Beim Kalium war diese Erscheinung im Prinzip die gleiche. Hier lagen die Ausscheidungen in der Normalperiode des Nachts im Mittel bei 30% und stiegen in der kaliumarmen Periode

auf 70% der Ausscheidung pro Zeiteinheit im 24-Std-Harn an. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß die ausgeschiedenen Kaliummengen während der kaliumarmen Periode um mehr als eine Zehnerpotenz geringer waren als während der Normalernährung oder als die Natriumausscheidung während aller Ernährungsperioden.

Die Abb. 4 zeigt, wie sich die Natrium- und Kaliumausscheidung während der Arbeitsversuche im Vergleich zu den Ruheversuchen in der

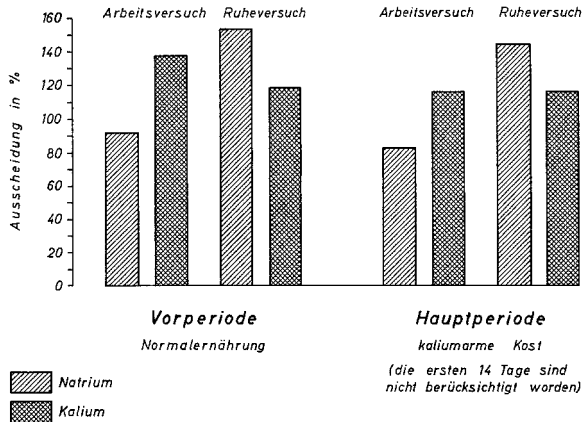


Abb. 4. Natrium- und Kaliumausscheidung während Arbeits- und Ruheversuchen (g/Std.) in Prozent des Tagesdurchschnitts (g/Std. = 100 %)

Normalperiode und in der kaliumarmen Periode verhielt, wenn man sie auf die in gleichen Zeiteinheiten ausgeschiedenen Mengen des jeweiligen 24-Std-Harnes bezieht. Bezogen auf diese durchschnittliche Ausscheidung war bei der Normalernährung während schwerer körperlicher Arbeit die Natriumausscheidung im Durchschnitt geringer und die Kaliumausscheidung vergrößert im Vergleich zu den Versuchen, bei denen die Versuchsperson im Liegen ruhte. In der kaliumarmen Periode blieben diese Ausscheidungsverhältnisse insgesamt, trotz der stark reduzierten Gesamtausscheidung, ohne wesentliche Änderung erhalten.

Harnmenge. Angaben über die durchschnittliche Harnmenge finden sich in der Tabelle 2. Während der kaliumarmen Periode trat ein wesentlicher Anstieg der Harnausscheidung nur im zweiten Versuch mit der Versuchsperson Mi auf, bei der sie von 979 ml/24 Std auf 1655 ml/24 Std stieg. Da den Versuchspersonen die Trinkmenge freigestellt war, trank die Versuchsperson — nach eigenen Aussagen — besonders viel Sprudel, um die Eintönigkeit der Diät zu bekämpfen. Aber auch bei dieser Versuchsperson lag die Harnmenge während der kaliumarmen Ernährungsperiode im Normalbereich.

Schweißmenge und Elektrolytgehalt des Schweißes. Die während der Arbeit ausgeschiedenen Schweißmengen und der dadurch entstandene

Tabelle 2. *Mittlere Harnausscheidung in ml/24 Std der einzelnen Versuchspersonen*

Name der Versuchsperson	Arbeitsversuche			Ruheversuche			
	Vorperiode	Hauptperiode	Gesamte Nachperiode	Vorperiode	Hauptperiode	Gesamte Nachperiode	
Mi I	n	7	8	5	2	4	1
	AM	1010	1043	1216	1712	1388	1768
	σ	± 455	± 340				
La	n	14	11	9	5	4	5
	AM	1029	1039	1100	1496	1569	1673
	σ	± 162	± 277	± 291			
Mi II	n	9	19	8	4	5	3
	AM	979	1655	1700	1498	2177	2430
	σ	± 180	± 317	± 638			
Ku	n	9	15	15	10	21	13
	AM	960	1132	1490	1922	1446	1561
	σ	± 244	± 322	± 443	± 210	± 405	± 532
Pfi	n	10	20	9	10	6	6
	AM	1082	1486	1589	1678	1969	2103
	σ	± 257	± 375	± 322	± 417	± 389	± 620

n = Zahl der Versuche. — AM = arithmetisches Mittel. — σ = Standardabweichung

Elektrolytverlust finden sich in Tabelle 3. Die Schweißmenge blieb bei drei von vier Versuchspersonen während der verschiedenen Ernährungsperioden unverändert. Lediglich bei der Versuchsperson Ku stieg sie während der kaliumarmen Periode von durchschnittlich 1,17 kg auf 1,31 kg an. Da sie aber auch in der Nachperiode in gleicher Höhe erhalten blieb, ist anzunehmen, daß dieser Anstieg unabhängig vom Kaliumgehalt der Nahrung erfolgte. Die Abb. 5, 6 und 7 geben die in den einzelnen Versuchen ausgeschiedenen Natrium-, Chlorid- und Kaliummengen wieder.

Die Natrium- und Chloridausscheidung im Schweiß stieg bei allen Versuchspersonen in der kaliumarmen Periode beträchtlich an. Bei drei von vier Versuchspersonen betrug der Anstieg der mittleren Natrium- und Chlorausscheidung (wenn man die Werte der 1. Woche nicht berücksichtigt) mehr als 100% im Vergleich zur Vorperiode. Am geringsten war der Anstieg bei der Versuchsperson Pfi, wo die durchschnittliche Ausscheidung pro Arbeitsversuch beim Natrium von 434 auf 583 mg und beim Chlorid von 499 auf 641 mg stieg. In der Nachperiode fiel bei allen Versuchspersonen die Ausscheidung von Natrium und Chlorid, bei einigen Versuchspersonen bis auf die Werte der Vorperiode. Die durchschnittliche Ausscheidung des Kaliums im Schweiß war bei allen Versuchspersonen während der kaliumarmen Ernährungsperiode reduziert, doch war im Durchschnitt der Rückgang der Kaliumausscheidung viel geringer als der Anstieg der Natrium- und Chloridexkretion. Am geringsten war der

Tabelle 3. Mittelwerte der Natrium-, Kalium- und Chlorausscheidung im Schweiß bei dreistündigen Arbeitsversuchen in verschiedenen Ernährungsperioden

Name der Versuchsperson	Belastung in mkp/sec	Vorperiode Normalernährung			Hauptperiode* Kaliumarme Ernährung			Gesamte Nachperiode**					
		Schweißmenge in kg	mg/Gesamtmenge	Schweiß	Schweißmenge in kg	mg/Gesamtmenge	Schweiß	Schweißmenge in kg	mg/Gesamtmenge	Schweiß			
			Na	K	Cl		Na	K	Cl		Na	K	Cl
La	n	9	9	9	9	7	7	7	7	7	7	7	7
	AM	1,20	351	153	503	1,16	816	116	1190	1,28	364	155	519
	σ	$\pm 0,1$	± 103	± 31	± 167	$\pm 0,16$	± 217	± 23	± 349	$\pm 0,1$	± 99	± 27	± 141
Mi II	n	10	10	10	10	14	14	14	14	6	6	6	6
	AM	1,78	322	246	352	1,75	820	168	1016	1,67	525	208	609
	σ	$\pm 0,1$	± 83	± 13	± 105	$\pm 0,1$	± 237	± 13	± 339	$\pm 0,07$	± 297	± 34	± 379
Ku	n	11	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11
	AM	1,47	567	165	671	1,31	1110	137	1475	1,32	852	159	1093
	σ	$\pm 0,1$	± 123	± 19	± 171	$\pm 0,1$	± 145	± 9	± 221	$\pm 0,05$	± 341	± 21	± 553
Pfi	n	10	10	10	10	14	14	14	14	7	7	7	7
	AM	1,50	434	206	499	1,54	583	131	641	1,54	373	215	384
	σ	$\pm 0,12$	± 95	± 20	± 44	$\pm 0,13$	± 120	± 21	± 160	$\pm 0,06$	± 98	± 34	± 163

n = Zahl der Versuche; AM = arithmetisches Mittel; σ = Standardabweichung

* Die Werte der 1. Woche nach Beginn der kaliumarmen Kost wurden nicht zur Mittelwertbildung verwendet.

** Die Werte der 1. Woche nach Beendigung der kaliumarmen Kost wurden nicht zur Mittelwertbildung verwendet.

Rückgang bei der Versuchsperson Ku, wo die Ausscheidung von 165 auf 137 mg pro Arbeitsversuch fiel. Bei der Versuchsperson Mi fiel die Kaliumausscheidung zwar von 246 mg auf 168 mg pro Arbeitsversuch ab, trotz-

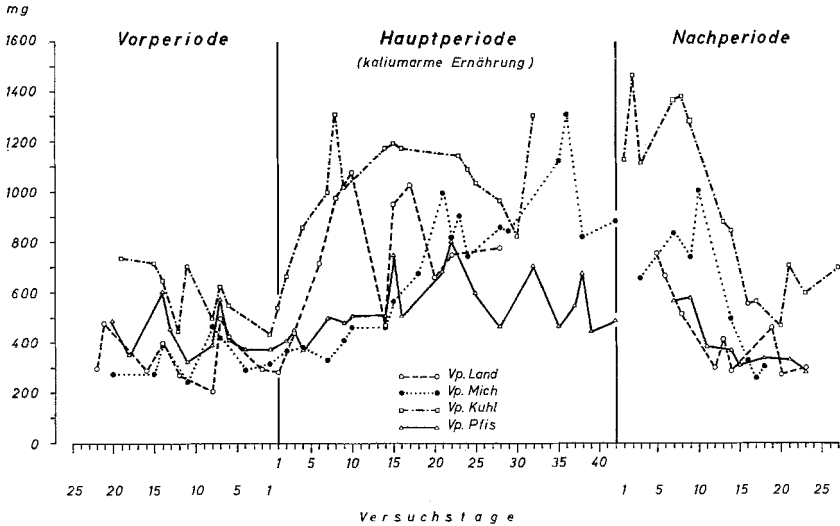


Abb. 5. Natriumausscheidung im Schweiß (mg)

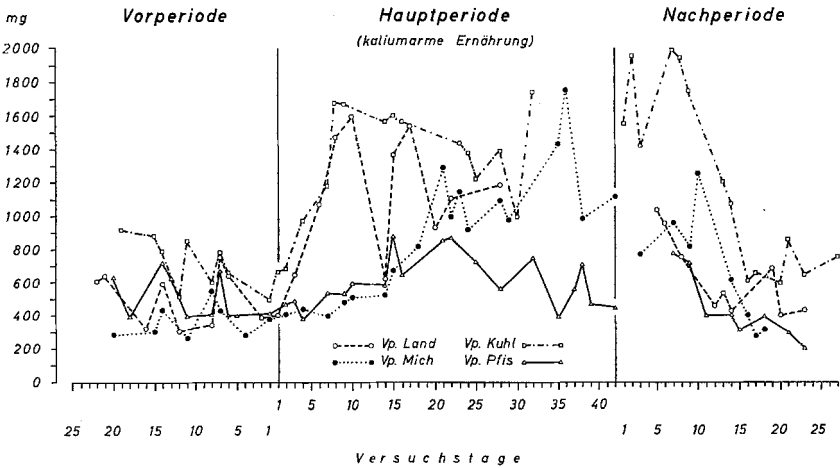


Abb. 6. Chlor im Schweiß (mg)

dem war der Kaliumverlust im Schweiß bei dieser Versuchsperson am höchsten im Vergleich zu den anderen Versuchspersonen.

Berechnet man die Menge Kalium, die pro Liter Schweiß ausgeschieden wurde, so differieren die Mengen von 85 mg/l (Versuchsperson Pfl) bis zu 104 mg/l (Versuchsperson Ku). In der Nachperiode stieg bei allen

Versuchspersonen die Kaliumausscheidung wieder an. Da die Schweißmenge während der verschiedenen Ernährungsperioden bei allen Versuchspersonen praktisch unverändert blieb, ist während der kaliumarmen Ernährung im Vergleich zur Normalernährung die Natrium- und Chloridkonzentration gesteigert, die Kaliumkonzentration herabgesetzt. Es bestanden bei diesen vier Versuchspersonen große individuelle Unterschiede

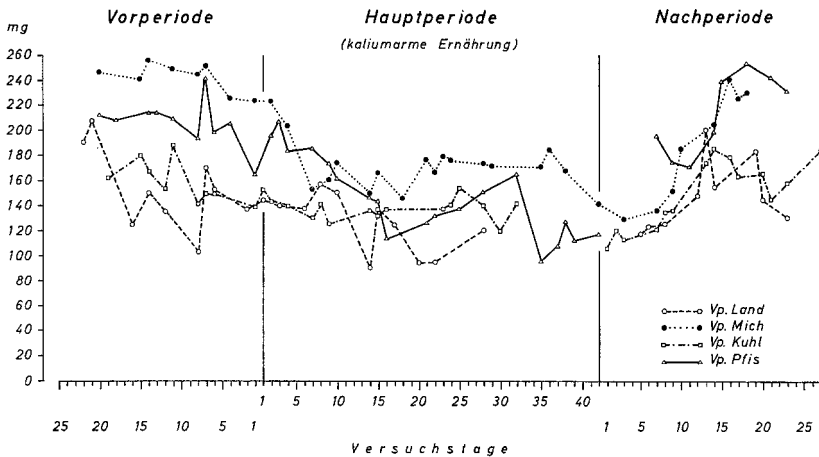


Abb. 7. Kaliumausscheidung im Schweiß (mg)

in der Natrium- und Chloridkonzentration des Schweißes, dagegen sehr kleine in der Kaliumkonzentration. Beim Natrium sind die Extremabweichungen zwischen zwei Versuchspersonen (Normalernährung) mehr als 60%, beim Kalium knapp 10%, wenn man die höchste durchschnittliche Ausscheidung als 100% setzt.

Säure-Basen-Gleichgewicht. Die Ergebnisse der Messungen, die zur Beurteilung des Säure-Basen-Gleichgewichtes im Blut herangezogen werden können, finden sich in der Tabelle 4. Sie enthält die Mittelwerte von jeder der drei Versuchspersonen, an denen die Messungen in den verschiedenen Ernährungsperioden durchgeführt werden konnten. Bei der Mittelwertbildung sind hier ebenfalls wieder die Werte der 1. Woche der Haupt- und Nachperiode unberücksichtigt geblieben. Der mittlere pH-Wert des Blutes verschob sich bei den Versuchspersonen in der kaliumarmen Periode nur sehr geringfügig um durchschnittlich 0,02 zum alkalischen Bereich. Die Standardbicarbonatwerte lagen in der kaliumarmen Periode höher als in der Vor- und Nachperiode. Dieser Unterschied war am deutlichsten ausgeprägt bei Messungen, die 2½ Std nach Beginn der Arbeits- bzw. Ruheversuche vorgenommen wurden. Die Werte, die morgens nach ca. 45 min Ruhe erhalten wurden, lagen in der Hauptperiode im Durchschnitt nur um 0,6—1,8 mVal/l höher als in der

Tabelle 4. Durchschnittliche pH-, pCO₂- und Standardbicarbonatwerte des Blutes während der verschiedenen Ernährungsperioden bei den einzelnen Versuchspersonen. Die Werte in der 1. Woche der Haupt- und Nachperiode wurden bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt

Name der Versuchsperson		Arbeitsversuche						Ruheversuche					
		Aktueller pH-Wert		pCO ₂ -Wert mm Hg		Standardbicarbonat mVal/l		Aktueller pH-Wert		PCO ₂ -Wert mm Hg		Standardbicarbonat mVal/l	
		vor*	während**	vor	während	vor	während	vor	während	vor	während	vor	während
<i>Vorperiode (Normalernährung)</i>													
Mi II	n	3	4	3	3	3	3	—	—	—	—	—	—
	AM	7,39	7,42	46,4	45,1	25,9	26,7	—	—	—	—	—	—
	σ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ku	n	9	10	7	10	7	10	1	—	1	—	1	1
	AM	7,39	7,41	45,8	42,4	25,7	25,6	7,39	—	50,8	—	26,9	27,2
	σ	±0,02	±0,02	±3,2	±2,6	±1,2	±1,1	—	—	—	—	—	—
Pfi	n	12	15	12	15	12	15	2	3	2	3	2	3
	AM	7,39	7,40	45,6	42,5	25,3	24,8	7,39	7,39	47,5	46,0	26,4	25,3
	σ	±0,01	±0,01	±3,6	±3,0	±1,7	±0,9	—	—	—	—	—	—
<i>Hauptperiode (kaliumarme Ernährung)</i>													
Mi II	n	16	16	15	15	15	16	4	4	4	4	4	4
	AM	7,42	7,43	47,6	47,5	27,7	29,2	7,42	7,44	49,0	48,0	27,7	29,4
	σ	±0,02	±0,02	±4,8	±2,4	±1,5	±1,4	—	—	—	—	—	—
Ku	n	10	10	10	10	10	10	2	2	2	2	2	2
	AM	7,41	7,44	45,9	43,8	26,7	27,7	7,43	7,44	44,3	45,1	27,1	28,8
	σ	±0,02	±0,02	±2,4	±2,6	±0,9	±0,9	—	—	—	—	—	—
Pfi	n	16	16	16	16	16	16	5	5	4	5	4	5
	AM	7,41	7,43	44,5	42,3	25,9	26,9	7,39	7,42	45,7	46,2	25,0	27,8
	σ	±0,01	±0,02	±3,0	±2,8	±0,9	±1,0	—	—	—	—	—	—
<i>Nachperiode (Normalernährung)</i>													
Mi II	n	5	5	4	5	4	5	3	2	3	2	3	2
	AM	7,40	7,43	43,9	42,8	25,5	26,7	7,40	7,44	44,2	42,3	25,2	26,6
	σ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ku	n	8	8	7	8	7	8	2	2	2	2	2	2
	AM	7,40	7,42	44,1	42,9	25,2	26,3	7,40	7,42	41,8	41,8	24,9	25,8
	σ	±0,01	±0,02	±1,5	±2,2	±0,8	±0,5	—	—	—	—	—	—
Pfi	n	7	7	6	6	6	6	2	2	2	2	2	2
	AM	7,39	7,40	44,6	42,7	25,0	25,3	7,40	7,41	43,5	43,4	25,3	25,6
	σ	±0,02	±0,02	±3,7	±2,0	±0,7	±0,9	—	—	—	—	—	—

n = Zahl der Versuche; AM = arithmetisches Mittel; σ = Standardabweichung.

* vor: vor der Arbeit.

** während: ohne Unterbrechung der Arbeit nach zweieinhalbständiger Arbeitszeit.

Vorperiode; die entsprechenden Werte nach 2½ Std Versuchsdauer lagen dagegen um mehr als 2 mVal/l höher als in der Vorperiode. Dieser erhöhte Anstieg der Standardbicarbonatwerte nach 2½ Std Versuch wurde in der

kaliumarmen Periode durch ein Ansteigen des Standardbicarbonatwertes im Verlaufe des Vormittages hervorgerufen. Dieser Anstieg innerhalb von ca. 3 Std trat in der kaliumarmen Ernährungsperiode bei allen untersuchten Versuchspersonen auf und war unabhängig davon, ob die Zeit mit schwerer Arbeit oder mit Ruhe im Liegen verbracht wurde. Die leichte Verschiebung während der kaliumarmen Ernährungsperiode nach

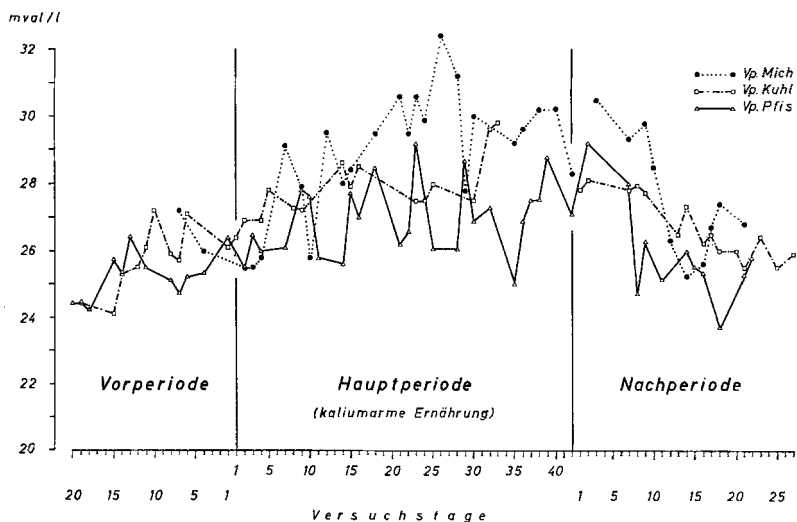


Abb. 8. Standardbicarbonat im Blut (Blutentnahme ca. 11.45 Uhr)

der alkalischen Seite wird am deutlichsten in der Abb. 8, in der die Einzelwerte jeder Messung am Mittag aufgetragen sind. Der Kohlendioxidpartialdruck des Blutes zeigte während der kaliumarmen Ernährung keine Änderung, die außerhalb der in der Vorperiode beobachteten Schwankungsbreite lag.

Die Werte, die die Wasserstoffausscheidung im Harn betreffen, sind in der Tabelle 5 wiedergegeben. Der durchschnittliche pH-Wert des 24-Std-Harnes verschiebt sich in der kaliumarmen Periode, verglichen mit der Vorperiode, geringfügig nach der sauren Seite. Eine Ausnahme macht der erste Versuch mit der Versuchsperson Mi, wo der Mittelwert sogar um 0,1 pH alkalischer wird. Der größte Abfall des pH-Wertes findet sich im 24-Std-Harn bei der Versuchsperson Mi II. Aber auch hier beträgt er nur 0,6 pH-Einheiten, wobei der pH-Wert von 6,74 in der Vorperiode auf 6,14 in der kaliumarmen Ernährungsperiode fiel. Der pH-Wert des Harnes, der während schwerer körperlicher Arbeit gebildet wurde, lag im Durchschnitt in allen Ernährungsperioden um einige Zehntel pH-Einheiten tiefer als in dem entsprechenden 24-Std-Harn. Der nach Ruheversuchen abgegebene Harn war in allen Ernährungsperioden alkalischer als der entsprechende 24-Std-Harn. Es war also — unabhängig

Tabelle 5. *Mittlere pH-Werte und Wasserstoffausscheidung im Harn bei den*

Name der Versuchsperson	Arbeitsversuche										
	Arbeits- und Erholungsharn					24 Std.-Harn					
	pH	NH ₄ ⁺ mVal/h	H ₂ PO ₄ ⁻ mVal/h	HCO ₃ ⁻ mVal/h	H ⁺ mVal/h	pH	NH ₄ ⁺ mVal/h	H ₂ PO ₄ ⁻ mVal/h	HCO ₃ ⁻ mVal/h	H ⁺ mVal/h	
<i>Vorperiode (Normalernährung)</i>											
Mi I	n	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
	AM	5,51	2,154	0,522	0,024	2,609	5,70	1,667	0,624	0,207	2,084
	σ	±0,34	±1,03	±0,139	±0,046	±0,936	±0,26	±0,333	±0,089	±0,182	±0,507
La	n	11	12	11	11	11	11	12	11	11	
	AM	5,87	1,798	0,343	0,148	1,991	6,52	1,317	0,456	0,232	1,532
	σ	±0,47	±0,206	±0,087	±0,179	±0,414	±0,25	±0,137	±0,177	±0,279	±0,546
Mi II	n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
	AM	6,36	1,08	0,302	0,589	0,794	6,74	1,11	0,315	0,683	0,745
	σ	±0,60	±0,40	±0,284	±1,115	±1,539	±0,29	±0,24	±0,181	±0,519	±0,75
Ku	n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
	AM	5,90	1,105	0,652	0,127	1,630	6,82	0,972	0,321	0,548	0,746
	σ	±0,56	±0,479	±0,269	±0,280	±0,388	±0,56	±0,298	±0,399	±0,356	±0,983
Pfi	n	10	9	10	10	9	10	9	8	10	7
	AM	5,46	2,655	0,533	0,008	3,189	6,79	2,018	0,362	0,667	1,714
	σ	±0,28	±0,774	±0,102	±0,010	±0,802	±0,23	±0,310	±0,184	±0,526	±0,962
<i>Hauptperiode (kaliumarme Ernährung)</i>											
Mi I	n	8	8	8	7	8	8	8	8	8	
	AM	5,75	2,642	0,321	0,016	2,949	5,80	2,322	0,678	0,015	2,984
	σ	±0,21	±0,54	±0,131	±0,020	±0,518	±0,21	±0,244	±0,152	±0,021	±0,305
La	n	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
	AM	6,27	1,577	0,558	0,163	1,972	6,30	1,535	0,746	0,088	2,192
	σ	±0,33	±0,361	±0,186	±0,168	±0,549	±0,30	±0,295	±0,244	±0,076	±0,325
Mi II	n	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
	AM	5,91	1,81	0,673	0,050	2,428	6,14	1,81	0,926	0,108	2,631
	σ	±0,33	±0,30	±0,201	±0,05	±0,342	±0,23	±0,25	±0,153	±0,114	±0,388
Ku	n	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	AM	6,59	1,125	0,395	0,140	1,380	6,41	1,126	0,571	0,076	1,621
	σ	±0,20	±0,235	±0,170	±0,121	±0,320	±0,24	±0,198	±0,212	±0,067	±0,319
Pfi	n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
	AM	5,93	2,590	0,620	0,066	3,144	6,35	2,337	0,690	0,158	2,869
	σ	±0,30	±0,567	±0,155	±0,068	±0,579	±0,26	±0,526	±0,262	±0,236	±0,337
<i>Gesamte Nachperiode</i>											
Mi I	n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	AM	5,93	2,161	0,358	0,026	2,492	6,04	1,952	0,559	0,129	2,382
	σ										
La	n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
	AM	5,74	1,513	0,633	0,087	2,059	6,10	1,233	0,788	0,308	1,712
	σ	±0,61	±0,302	±0,203	±0,125	±0,55	±0,66	±0,317	±0,399	±0,374	±0,974
Mi II	n	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
	AM	6,13	1,05	0,442	0,402	1,088	6,80	1,20	0,376	0,904	0,674
	σ	±0,81	±0,33	±0,237	±0,451	±0,853	±0,31	±0,43	±0,206	±0,731	±1,114
Ku	n	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	AM	6,09	1,036	0,542	0,145	1,433	6,62	0,820	0,410	0,342	0,888
	σ	±0,618	±0,270	±0,275	±0,158	±0,556	±0,40	±0,145	±0,201	±0,357	±0,601
Pfi	n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
	AM	5,67	2,374	0,742	0,047	3,069	6,40	1,718	0,595	0,366	1,947
	σ	±0,36	±0,999	±0,462	±0,060	±1,354	±0,37	±0,532	±0,213	±0,322	±0,767

n = Zahl der Versuche; AM = arithmetisches Mittel; σ = Standardabweichung.

einzelnen Versuchspersonen während verschiedener Ernährungsperioden

Ruheversuche									
Arbeits- und Erholungsharn					24 h-Harn				
pH	NH ₄ ⁺ mVal/h	H ₂ PO ₄ ⁻ mVal/h	HCO ₃ ⁻ mVal/h	H ⁺ mVal/h	pH	NH ₄ ⁺ mVal/h	H ₂ PO ₄ ⁻ mVal/h	HCO ₃ ⁻ mVal/h	H ⁺ mVal/h
<i>Vorperiode (Normalernährung)</i>									
2 7,89	2 0,991	2 -0,031	2 5,362	2 -4,397	2 6,98	1 1,264	1 0,621	2 1,239	— —
5 7,16	5 1,344	5 0,061	5 1,993	5 -0,589	5 6,62	5 1,378	5 0,370	5 0,280	5 1,468
4 7,53	4 1,29	4 0,001	4 3,756	4 -2,470	4 6,67	4 1,81	4 0,362	4 0,600	4 1,573
2 7,21	2 1,151	2 0,096	2 2,682	2 -1,436	2 7,14	2 1,047	2 0,343	2 1,509	2 -0,119
2 7,77	2 1,436	2 -0,035	2 5,954	2 -4,553	2 7,08	2 2,045	2 0,143	2 0,993	2 1,196
<i>Hauptperiode (kaliumarme Ernährung)</i>									
4 6,6	4 2,115	4 0,128	4 0,331	4 1,895	4 6,17	4 2,071	4 0,546	4 0,120	4 2,494
4 7,04	4 1,859	4 0,084	4 1,568	4 0,375	4 6,81	4 1,610	4 0,323	4 0,408	4 1,526
5 7,31	5 1,25	5 0,020	5 2,556	5 -1,287	5 6,67	5 1,65	5 0,418	5 0,521	5 1,543
4 7,21	4 1,200	4 0,052	4 1,059	4 0,194	4 6,92	4 1,083	4 0,197	4 0,289	4 0,990
6 7,22	6 1,963	6 0,058	6 2,423	6 -0,403	6 6,79	6 2,734	6 0,337	6 0,641	6 2,430
<i>Gesamte Nachperiode</i>									
1 7,56	1 1,390	1 0,003	1 3,830	1 -2,423	1 6,60	1 1,568	1 0,510	1 0,867	1 1,742
5 6,76	5 1,514	5 0,225	5 1,054	5 0,685	5 6,48	5 1,414	5 0,526	5 0,382	5 1,559
3 7,02	3 1,48	3 0,093	3 2,776	3 -1,200	3 6,75	3 1,26	3 0,284	3 0,858	3 0,683
3 7,19	3 0,696	3 0,194	3 1,690	3 -0,909	3 6,85	3 0,675	3 0,259	3 0,528	3 0,406
3 7,19	3 0,904	3 0,031	3 3,092	3 -2,157	3 6,32	3 1,686	3 0,590	3 0,445	3 1,830

vom Kaliumgehalt der Nahrung — der nach schwerer Arbeit abgegebene Harn saurer als der entsprechende Harn, der während der Ruhe gebildet wurde. Die H-Ionen-Ausscheidung, errechnet aus dem pH-Wert des Harnes, dem anorganischen Phosphat, Ammoniak und Bicarbonat, war bei allen Versuchspersonen in der kaliumarmen Periode im Vergleich zur Vorperiode geringfügig gesteigert. In der Vorperiode wurden im 24-Std-Harn durchschnittlich 0,75—2,08 mVal H⁺/Std, d. h. 18—50 mVal/Tag, ausgeschieden. Diese Ausscheidung stieg in der kaliumarmen Periode auf 1,6—2,9 mVal/Std, also auf 38—70 mVal/Tag an und fiel in der Nachperiode wieder auf etwa die Werte der Vorperiode. Im Arbeits- und Erholungsharn war dieser Anstieg der Wasserstoffionenausscheidung in der kaliumarmen Periode nicht bei allen Versuchspersonen zu finden.

Citronensäure im Serum und Harn. Die Tabelle 6 enthält die Mittelwerte des Citronensäuregehaltes des Serums und der Citronensäureausscheidung im Harn der einzelnen Versuchspersonen in den verschiedenen Ernährungsperioden. In der Tabelle 6 sind wegen des starken Abfalles bzw. Anstieges der Citronensäureausscheidung im Harn ebenfalls die Werte von wenigstens der ersten Woche nach Umstellung der Ernährung unberücksichtigt gelassen worden. Wie aus der Tabelle 6 ersichtlich ist, fällt der Citronensäuregehalt des Serums bei allen Versuchspersonen während der kaliumarmen Periode geringfügig ab. Relativ am größten ist der Abfall bei der Versuchsperson Pfi, wenn man die Mittelwerte der Messungen nach dem Versuch in der Vorperiode mit den entsprechenden Werten in der Hauptperiode vergleicht. Hier fallen sie von 2,8 mg-% auf 2,2 mg-%. Auffällig ist, daß in den meisten Versuchen der durchschnittliche Citronensäuregehalt im Serum am Mittag niedriger liegt als am Morgen; da in allen Ruheversuchen der Mittagswert ebenfalls niedriger liegt als am Morgen, kann dieser Effekt nicht durch die Arbeit bedingt sein. Dem sehr geringfügigen Abfall des Citronensäuregehaltes im Serum steht eine starke Reduktion des Citronensäuregehaltes im Harn während der kaliumarmen Ernährung gegenüber. Die Citronensäureausscheidung im Harn beträgt im Durchschnitt nur etwa 20% der Ausscheidung bei Normalernährung. Die stärkste Reduktion ist bei der Versuchsperson Ku zu finden, wo sie ca. 84% beträgt, die geringste bei der Versuchsperson La, wo sie etwa 77% ausmacht.

ATP-Gehalt des Blutes. Der ATP-Gehalt des Blutes wurde nur bei zwei Versuchspersonen in der kaliumarmen Periode ermittelt und mit Werten, die die Versuchspersonen bei Normalernährung aufwiesen, verglichen (Tabelle 7). Dabei ließ sich in den verschiedenen Ernährungsperioden keine Änderung im ATP-Gehalt des Blutes nachweisen, die in einen Zusammenhang mit der kaliumarmen Diät gebracht werden konnte.

Catecholamin- und 17-21-Dihydroxy-20-Ketosteroidausscheidung im Harn. Die Tabellen 8a und 8b enthalten Werte, die ein Maß für die

Tabelle 6. Citronensäureausscheidung im Harn und Citronensäuregehalt im Serum bei den einzelnen Versuchspersonen in den verschiedenen Ernährungsperioden

Name der Versuchsperson	Vorperiode Normalernährung				Hauptperiode Kaliumarme Ernährung				Nachperiode Normalernährung			
	n	Gehalt des Serums in mg-% vor dem Versuch	Arbeits- und Erholungs-harn mg/Std	24 Std-Harn mg/Std	n	Gehalt des Serums in mg-% vor dem Versuch	Arbeits- und Erholungs-harn mg/Std	24 Std-Harn mg/Std	n	Gehalt des Serums in mg-% vor dem Versuch	Arbeits- und Erholungs-harn mg/Std	24 Std-Harn mg/Std
Mi I	3 AM	2,2 2,0	5 16,79	5 18,84	6	2,0 2,0	2 2,14	2 2,88	7	3 2,3	2 15,07	2 17,81
La	5 AM	2,6 2,4	13 23,97	14 22,72	10	6 2,3	5 4,49	6 5,10	7	7 2,3	7 14,09	7 17,11
	σ	$\pm 0,42$	$\pm 5,57$	$\pm 3,02$		$\pm 0,21$	$\pm 0,14$	$\pm 2,56$		$\pm 0,12$	$\pm 6,19$	$\pm 6,98$
Mi II	9 AM	2,4 2,4	9 23,16	9 24,94	12	14 2,3	14 4,34	14 4,55	7	6 2,4	6 24,70	6 32,13
	σ	$\pm 0,20$	$\pm 5,33$	$\pm 3,62$		$\pm 0,20$	$\pm 0,22$	$\pm 0,70$		$\pm 0,17$	$\pm 4,31$	$\pm 6,11$
Ku	8 AM	2,5 2,5	9 15,54	9 18,81	13	9 2,3	8 2,00	9 2,97	7	12 2,9	12 16,70	11 17,53
	σ	$\pm 0,33$	$\pm 4,20$	$\pm 2,36$		$\pm 0,27$	$\pm 0,32$	$\pm 1,30$		$\pm 0,24$	$\pm 3,57$	$\pm 4,57$
Pfi	10 AM	3,1 2,8	10 22,81	10 33,20	14	12 2,8	12 6,63	12 6,40	9	6 3,0	6 22,97	6 29,96
	σ	$\pm 0,30$	$\pm 4,00$	$\pm 4,16$		$\pm 0,25$	$\pm 3,69$	$\pm 2,39$		$\pm 0,09$	$\pm 2,75$	$\pm 5,54$

Arbeitsversuche

n = Zahl der Versuche; AM = arithmetisches Mittel; σ = Standardabweichung

* Wegen des starken Abfalles zu Beginn der kaliumarmen Periode wurden erst nach der angegebenen Zahl von Tagen die Werte zur Bildung der Mittelwerte benutzt.

** Wegen des starken Anstieges nach Beendigung der kaliumarmen Periode wurden erst nach der angegebenen Zahl von Tagen die Werte zur Bildung des Mittelwertes benutzt.

Tabelle 7. Mittlerer ATP-Gehalt (mg-%) des Blutes

Name der Versuchsperson		Normalkost		Kaliumarme Ernährung		Extremkost mit normalem Kaliumgehalt		Normalkost	
		vor dem Versuch*	nach dem Versuch*	vor dem Versuch*	nach dem Versuch*	vor dem Versuch*	nach dem Versuch*	vor dem Versuch*	nach dem Versuch*
Mi I	n	10	11	4	4			2	2
	AM	30,8	30,3	26,8	26,3			26,8	26,4
	σ	$\pm 2,27$	$\pm 1,91$						
Pfi	n			4	5	6	5	6	5
	AM			31,1	30,9	34,0	34,4	33,1	33,8
	σ					$\pm 0,82$		$\pm 0,92$	

n = Zahl der Versuche. — AM = arithmetisches Mittel. — σ = Standardabweichung. — * Versuch heißt 3 Std Arbeit + 1 Std Erholung

Ausscheidung der Catecholamine im Harn darstellen. Sie wurden bei der Versuchsperson La nach dem von PETERSON beschriebenen chromatographischen Verfahren und der fluorometrischen Methode von v. EULER u. FLODING gewonnen. Reines Noradrenalin wurde bei diesem Vorgehen im Durchschnitt zu 71% wiedergefunden. Bei Zusatz zum Harn betrug die Wiedergewinnung jedoch nur ca. 50%. Bei dieser Methode trat bereits eine Reduktion der Fluoreszenz ein, wenn man 1 cm³ der Harneluat einer reinen Noradrenalinlösung vor der Fluoreszenzmessung zusetzte, was auf fluoreszenzlöschende Substanzen im Harn schließen läßt, die bei der Chromatographie nicht quantitativ entfernt wurden und sich noch in den Harneluaten fanden.

Da bei einem pH-Wert von 6,2 die Fluoreszenz gegen Noradrenalin als Standard gemessen wurde, wurde nur die Summe von Adrenalin und Noradrenalin erfaßt. Bei dieser Bestimmungsart wurde keine Änderung der Ausscheidung während der kaliumarmen Periode festgestellt. Wegen der schlechten Wiedergewinnung der Zusätze zum Harn bei obiger Methode und des geringeren Harnvolumens, das man bei dem Verfahren

Tabelle 8a. Ausscheidung der Catecholamine im Harn während verschiedener Ernährungsperioden (gegen Noradrenalin als Standardsubstanz gemessen)

Name der Versuchsperson		Hauptperiode Kaliumarme Ernährung			Gesamte Nachperiode Normalernährung + Extremkost mit normalem Kaliumgehalt		
		$\gamma/24$ Std-Harn	% Wiedergewinnung von 10 γ Noradrenalin		$\gamma/24$ Std-Harn	% Wiedergewinnung von 10 γ Noradrenalin	
			als reine Lösung	als Zusatz zum Harn		als reine Lösung	als Zusatz zum Harn
La	n	10	9	10	7	7	7
	AM	39	67	50	35	76	42
	σ	$\pm 9,3$	$\pm 5,0$	$\pm 12,0$	$\pm 10,0$	$\pm 3,0$	$\pm 12,0$

n = Anzahl der Versuche. — AM = arithmetisches Mittel. — σ = Standardabweichung

von v. EULER u. LISHAJKO benötigt, wurde bei der Versuchsperson Ku der Harn nach v. EULER u. LISHAJKO chromatographiert, so daß auch der in kleineren Mengen anfallende Arbeitsharn untersucht werden konnte. Bei diesem Verfahren war die Wiedergewinnung von reiner Adrenalinlösung und den Harnzusätzen praktisch gleich und betrug ca. 70%. Die fluorometrische Bestimmung erfolgte ebenfalls nach v. EULER u. FLODING. Es wurde jedoch Adrenalin als Standard verwendet. Auch unter diesen Bedingungen ließ sich keine Änderung der Catecholamin-ausscheidung im Harn während der kaliumarmen Ernährung feststellen.

Die im Harn nach Behandlung mit β -Glucuronidase gefundene Menge an 17-21-Dihydroxy-20-Ketosteroiden ist ebenfalls während der kaliumarmen Periode bei allen Versuchspersonen unverändert, wie aus der Tabelle 9 ersichtlich ist.

Pulsfrequenz, Leistungs-Puls-Index, Maximalkraft und subjektives Befinden der Versuchspersonen. In der Tabelle 10 sind die Durchschnittswerte des Leistungs-Puls-Index und der Fahrzeiten bis zum Erreichen eines Amplituden-Frequenz-Produktes von 10000 (A.-F.-Produkt) sowie der Pulsfrequenzen der einzelnen

Tabelle 8b
Ausscheidung der Catecholamine im Harn während verschiedener Ernährungsperioden (gegen Adrenalin als Standardsubstanz gemessen)

Name der Versuchsperson	Vorperiode			Hauptperiode			Nachperiode		
	Arbeits- und Erholungsharn	24 Std.-Harn	Arbeits- und Erholungsharn	24 Std.-Harn	Arbeits- und Erholungsharn	24 Std.-Harn	Arbeits- und Erholungsharn	24 Std.-Harn	
	% Wiedergewinnung von 1 γ Adrenalin γ /Std reine Lösung zum Harn	% Wiedergewinnung von 1 γ Adrenalin γ /Std reine Lösung zum Harn	% Wiedergewinnung von 1 γ Adrenalin γ /Std reine Lösung zum Harn	% Wiedergewinnung von 1 γ Adrenalin γ /Std reine Lösung zum Harn	% Wiedergewinnung von 1 γ Adrenalin γ /Std reine Lösung zum Harn	% Wiedergewinnung von 1 γ Adrenalin γ /Std reine Lösung zum Harn	% Wiedergewinnung von 1 γ Adrenalin γ /Std reine Lösung zum Harn	% Wiedergewinnung von 1 γ Adrenalin γ /Std reine Lösung zum Harn	
Ku	7	6	14	9	9	6	13	7	6
AM	1,07	0,62	1,00	73	0,70	76	1,08	70	72
σ	$\pm 0,27$	$\pm 0,34$	$\pm 0,21$	$\pm 8,9$	$\pm 0,21$	$\pm 6,4$	$\pm 0,31$	$\pm 7,8$	$\pm 4,3$

n = Anzahl der Versuche; AM = arithmetisches Mittel; σ = Standardabweichung.

Tabelle 9. Die 17-21-Dihydroxy-20-Ketosteroid-Ausscheidung im Harn in verschiedenen Ernährungsperioden in mg/24 Std

Name der Versuchsperson		Vorperiode Normal- ernährung	Hauptperiode kaliumarme Ernährung	Gesamte Nachperiode Extremkost und Normalernährung
La	n	23	29	26
	AM	11,1	13,0	10,8
	σ	$\pm 2,35$	$\pm 2,55$	$\pm 2,0$
Mi II	n	21	42	20
	AM	10,0	10,3	9,67
	σ	$\pm 2,0$	$\pm 1,7$	$\pm 2,64$
Ku	n	17	24	26
	AM	6,6	5,8	6,48
	σ	$\pm 1,93$	$\pm 0,75$	$\pm 1,20$
Pfi	n	20	42	23
	AM	9,76	10,50	9,17
	σ	$\pm 1,12$	$\pm 1,78$	$\pm 1,33$

n = Zahl der Versuche. — AM = arithmetisches Mittel. — σ = Standardabweichung.

Versuchspersonen in den verschiedenen Ernährungsperioden enthalten. Bei der Auswertung der Ergebnisse ist die Arbeit eines jeden Versuchstages in Halbstundenabschnitte geteilt und für jeden dieser Abschnitte die durchschnittliche Pulsfrequenz ermittelt worden. Die Mittelwerte der Pulsfrequenzen der verschiedenen Ernährungsperioden mit den dazugehörigen Standardabweichungen wurden aus den einander entsprechenden Halbstundenwerten der einzelnen Versuchstage gebildet. Um vergleichbare Werte zu erhalten, blieben in der ersten halben Stunde die zur Messung des Leistungs-Puls-Index bei steigender Belastung erhaltenen Pulsfrequenzen unberücksichtigt.

Wie aus der Tabelle 10 ersichtlich ist, änderte sich der Leistungs-Puls-Index während der kaliumarmen Periode im Vergleich zur Vorperiode nicht signifikant. Lediglich bei der Versuchsperson Pfi kam es zu einem Anstieg des mittleren Leistungs-Puls-Index von 2,09 auf 2,46 in der Hauptperiode und zu einem Abfall auf 2,13 in der Nachperiode. Doch waren z. B. die beiden letzten Werte in der kaliumarmen Periode 1,91 und 1,93, was gegen die Annahme eines Anstieges des Leistungs-Puls-Index mit zunehmender Kaliumverarmung spricht. Die Fahrzeit bis zur Erreichung eines Amplituden-Frequenz-Produktes von 10000 fiel zwar bei allen Versuchspersonen während der kaliumarmen Periode geringfügig ab, doch ist dieser Abfall nicht statistisch zu sichern. Auch läßt sich aus den Einzelwerten kein Abstieg gegen Ende der kaliumarmen Periode erkennen.

Unter den Versuchspersonen war La der Schwächste; während Mi und Pfi 12 mkp/sec ohne Schwierigkeit leisteten, war La mit 10 mkp/sec nach

Tabelle 10. *Leistungs-Puls-Index, Amplituden-Frequenz-Produkt und durchschnittliche Pulsfrequenz/min bei den einzelnen Versuchspersonen in den verschiedenen Ernährungsperioden*

Name der Versuchsperson		LPI	A.F.-Produkt	Ruhepuls		Be- lastung mkg/ sec	Arbeitsdurchschnittspuls der					
				Sitzen	Liegen		1. hal- ben Std.	2. hal- ben Std.	3. hal- ben Std.	4. hal- ben Std.	5. hal- ben Std.	6. hal- ben Std.
Vorperiode (Normalernährung)												
La	n	12	12	3	5	10	10	11	11	11	11	11
	AM	3,7	5,93	80	71		120	123	125	129	135	137
	σ	$\pm 0,7$	$\pm 0,95$				± 7	± 5	± 4	± 5	± 8	± 9
Mi II	n	3	13	8	5	12	8	12	12	13	13	13
	AM	3,61	6,61	71	65		114	111	112	110	110	114
	σ		$\pm 1,09$				± 5	± 4	± 6	± 6	± 5	± 6
Ku	n	12	10	8	11	10	14	14	14	14	14	14
	AM	4,14	8,87	68	65		116	114	111	110	111	115
	σ	$\pm 0,38$	$\pm 0,84$	± 3	± 3		± 5	± 6	± 6	± 5	± 5	± 4
Pfi	n	10	10	9	9	12	10	10	10	10	10	10
	AM	2,09	6,93	90	76		114	113	113	115	116	118
	σ	$\pm 0,30$	$\pm 1,19$	± 5	± 4		± 3	± 3	± 3	± 3	± 5	± 4
Hauptperiode (kaliumarme Ernährung)												
La	n	11	11	3	9	10	7	11	11	11	11	11
	AM	4,00	5,33	73	68		122	126	125	125	129	131
	σ	$\pm 0,6$	$\pm 1,12$		± 4		± 7	± 4	± 4	± 5	± 5	± 8
Mi II	n	18	19	18	9	12	19	19	19	19	19	19
	AM	3,68	5,54	73	69		114	112	109	105	103	107
	σ	$\pm 0,39$	$\pm 0,66$	± 4	± 4		± 4	± 4	± 5	± 5	± 4	± 5
Ku	n	15	15	12	15	10	15	15	15	15	15	15
	AM	4,10	7,62	72	66		116	114	112	111	111	113
	σ	$\pm 0,40$	$\pm 0,81$	± 5	± 5		± 4	± 4	± 5	± 5	± 4	± 5
Pfi	n	20	20	20	19	12	20	20	20	20	20	20
	AM	2,46	6,29	84	75		112	111	109	108	108	108
	σ	$\pm 0,38$	$\pm 0,80$	± 5	± 4		± 4	± 4	± 4	± 4	± 4	± 5
Nachperiode (Normalernährung)												
La	n	9	9		9	10	7	8	9	9	9	9
	AM	4,20	5,84	—	72		122	122	123	123	126	130
	σ	$\pm 1,0$	$\pm 1,73$		± 5		± 6	± 5	± 6	± 6	± 5	± 6
Mi II	n	8	8	8		12	6	8	8	8	8	8
	AM	3,01	5,79	78	—		115	112	109	105	106	111
	σ	$\pm 0,33$	$\pm 1,02$	± 8			± 5	± 5	± 6	± 8	± 8	± 9
Ku	n	16	16	14	16	10	16	16	16	16	16	16
	AM	3,99	8,52	73	64		113	111	107	105	105	109
	σ	$\pm 0,37$	$\pm 0,70$	± 5	± 5		± 5	± 6	± 6	± 5	± 4	± 5
Pfi	n	8	8	8	7	12	8	8	8	8	8	8
	AM	2,13	6,62	89	78		113	112	111	111	110	111
	σ	$\pm 0,41$	$\pm 0,93$	± 4	± 6		± 4	± 5	± 4	± 4	± 3	± 3

n = Zahl der Versuche. — AM = arithmetisches Mittel. — σ = Standardabweichung

Tabelle 11. Kraftmessungen bei den einzelnen Versuchspersonen in verschiedenen Ernährungsperioden

Name der Versuchsperson	Untersuchte Maximalkraft im normal ernährten Zustand						Untersuchte Maximalkraft am Ende der kaliumarmen Ernährung											
	Unterarm-beuger Kraft-kg		Unterarm-strecker Kraft-kg		Pronation mkp		Supination mkp		Tretkraft kp		Tretkraft kp							
	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.						
La	33,5	34,6	22,0	26,4	1,12	1,31	1,75	1,56	122,6	119,0	10,7	11,0	0,75	1,11	1,13	1,02	106,6	91,4
Mi II	35,0	38,4	23,5	23,3	1,50	1,75	1,30	1,33	179,6	184,8	22,4	24,5	1,55	1,84	1,29	1,35	199,6	207,7
Ku	23,6	24,4	18,3	21,6	1,65	1,16	1,44	1,20	229,8	213,0	16,7	19,1	1,25	0,94	1,17	0,91	176,6	174,4
Pf	33,1	34,0	21,4	21,9	1,35	1,42	1,60	1,28	317,0	297,4	12,3	15,2	1,55	1,39	1,32	0,97	281,0	298,0

dreistündiger Arbeit erschöpft. Er gab an, in der letzten halben Stunde nur mit größter Mühe das vorgeschriebene Arbeitspensum bewältigt zu haben. Während der Arbeit stieg die Pulsfrequenz bei ihm stetig an und erreichte an manchen Tagen in der letzten halben Stunde einen Durchschnitt von 151 Pulsen/min. Weder bei dieser Versuchsperson, die sicher an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit arbeitete, noch bei allen anderen läßt die Betrachtung der Pulsfrequenzen Anzeichen erkennen, die auf eine Verschlechterung der Leistungsfähigkeit in der kaliumarmen Periode hindeuten. Auch subjektiv wurde die Arbeit in der kaliumarmen Periode nicht als schwerer empfunden.

Im Gegensatz hierzu zeigt die Messung der Maximalkräfte ein völlig anderes Bild, wie die Tabelle 11 zeigt. Von den vier untersuchten Versuchspersonen läßt sich bei dreien eine deutliche bis starke Reduktion der Maximalkräfte am Ende der kaliumarmen Ernährungsperiode nachweisen. Die stärkste Reduktion trat bei der Versuchsperson La auf, die auch subjektiv das Absinken der Körperkraft am stärksten empfand. Nach 4 Wochen kaliumarmer Ernährung war La nicht mehr in der Lage, einen Liegestütz auszuführen, obwohl er, wie oben betont, die Arbeit auf dem Fahrradergometer nicht schlechter als in der Vorperiode leistete. Die Maximalkraft der Unterarmstrecker betrug bei ihm weniger als die Hälfte des Normalwertes. Bei der Versuchsperson Ku ist die Maximalkraft aller gemessenen Muskelgruppen reduziert bis auf die des linken Unterarmbeugers, wobei bemerkt werden muß, daß diese Versuchsperson im Zivilberuf Kellner war und gerade diese Muskelgruppe besonders gut trainiert hatte. Bei der Versuchsperson Mi trat keine Reduktion der Maximalkräfte auf. Diese Versuchsperson machte allerdings an 3—4 Tagen pro Woche an den Nachmittagen — unab-

hängig von den hier aufgeführten Versuchen — mehrstündige Versuche mit statischer Haltearbeit. Das hierdurch bedingte Training hat also wohl das Absinken der Muskelkraft kompensiert. Bei diesen Versuchen reichte allerdings in den letzten 14 Tagen kaliumarmer Ernährung die von ROHMERT angegebene Länge der Erholungspause nicht mehr aus, um einen Pulsanstieg zu verhindern.

Die Angaben der Versuchspersonen über ihr Befinden waren während der kaliumarmen Ernährungsperiode unterschiedlich, obwohl die am Ende der kaliumarmen Periode erreichten Kaliumverluste zwischen 14 und 18 g lagen (KAUL, JEKAT, STARLINGER), also bei den einzelnen Versuchspersonen nicht sehr differierten. Rechnet man jedoch die Kaliumverluste aus den Bilanzversuchen auf das Körpergewicht der Versuchspersonen um, so erreichte die Versuchsperson La schon nach 4 Wochen mit einer Abnahme von ca. 249 mg/kg Körpergewicht das größte und die Versuchsperson Mi innerhalb von 6 Wochen mit etwa 180 mg/kg Körpergewicht das kleinste Defizit. Mi fühlte sich während des ganzen Versuches wohl, klagte aber am Ende der kaliumarmen Periode über das Auftreten von Muskelkrämpfen, die an der Hand z. B. schon durch leichte Stauung des Armes bei der Blutabnahme hervorgerufen wurden. Die Versuchsperson Pfi war subjektiv bis zum Ende des Versuches beschwerdefrei. Erst am 2. Tage nach Umstellung der Ernährung, bei der unter Beibehaltung der sonstigen Diät ca. 1,1 g Kalium mit der Milch aufgenommen worden war, klagte er am Morgen vor Beginn des Arbeitstestes über Übelkeit. Da bei dieser Versuchsperson das Kaliumdefizit nach KÜHNS u. HOSPES bestimmt werden sollte, trank die Versuchsperson während desfahrens auf dem Fahrradergometer schluckweise eine Lösung von primärem und sekundärem Phosphat, die in 200 cm³ 6 g Kalium enthielt. 25 min nachdem er die Lösung getrunken hatte, erbrach er. Nach dem Erbrechen war ihm weiterhin so übel, daß der Versuch nach 2½ Std abgebrochen werden mußte. Weder die Pulsfrequenz, die während der fünften halben Stunde in diesem Versuch durchschnittlich 106 Schläge/min betrug und damit um 10 Schläge niedriger lag als im Durchschnitt während der fünften halben Stunde in der Vorperiode, noch der Leistungspuls-Index oder das Amplituden-Frequenz-Produkt gaben einen Hinweis auf eine verminderte Leistungsfähigkeit. Auf eine Blutentnahme nach dem abgebrochenen Versuch wurde wegen des schlechten Befindens der Versuchsperson verzichtet. Wie sich später herausstellte, war an diesem 2. Tag nach Beendigung der kaliumarmen Periode der Kaliumgehalt des Serums am Morgen vor der Arbeit auf 8,5 mg-% abgesunken. Dies war der niedrigste Wert, der überhaupt während der Versuche gemessen wurde. Wie aus der Abb. 1 ersichtlich ist, kam es im Anschluß an die kaliumarme Periode nach Umstellung der Diät auf kaliumhaltige Kost bei mehreren Versuchspersonen zu einem weiteren Absinken des Serumkaliumspiegels. Es könnte angenommen werden, daß dieser Effekt bei

Kaliumzufuhr durch vermehrte Kaliumwanderung in die verarmten Zellen bedingt ist.

Elektrokardiographische Untersuchungen und Staub-Traugott-Test. Von den elektrokardiographischen Untersuchungen sind in der Tabelle 12 der Übersichtlichkeit halber nur die Befunde der drei Standardableitungen

Tabelle 12. *Elektrokardiographische Befunde (Ableitungen I, II und III) während der kaliumarmen Perioden und der Vor- und Nachperioden*

Versuchsperson	QT in Sekunden		ST in Sekunden		T in Sekunden	
	Vor- und Nachperiode	kaliumarme Periode	Vor- und Nachperiode	kaliumarme Periode	Vor- und Nachperiode	kaliumarme Periode
<i>La</i> in Ruhe	0,34—0,42	0,34—0,39	0,25—0,32	0,26—0,29	0,15—0,26	0,14—0,18
nach Bel.	0,31—0,39	0,24—0,38	0,21—0,32	0,19—0,30	0,16—0,18	0,16—0,18
<i>Pfi</i> in Ruhe	0,30—0,34	0,34—0,37	0,22—0,26	0,23—0,27	0,15—0,20	0,15—0,19
nach Bel.	0,30—0,35	0,31—0,34	0,21—0,26	0,20—0,25	0,15—0,18	0,14—0,18
<i>Ku</i> in Ruhe	0,36—0,38	0,36—0,37	0,28—0,29	0,26—0,27	0,17—0,19	0,16—0,17
nach Bel.	0,30—0,33	0,32—0,33	0,22—0,24	0,21—0,25	0,17—0,18	0,15—0,16
<i>Mi</i> in Ruhe	0,36—0,41*	0,40—0,45	0,27—0,31**	0,32—0,35	0,15—0,18	0,23—0,26
nach Bel.	0,36—0,38	0,36—0,38	0,25—0,29	0,26—0,30	0,14—0,19	0,18—0,22

* Ohne Nachperiodenwert vom 2. Tag nach Ende der Hauptperiode 0,36—0,39.

** Ohne Nachperiodenwert vom 2. Tag nach Ende der Hauptperiode 0,27—0,28.

gen wiedergegeben worden, da die sechs verschiedenen präkordialen Ableitungen nicht mehr erkennen ließen als die hier angeführten Standardableitungen. Während der kaliumarmen Periode findet sich lediglich eine QT-Verlängerung in Ruhe bei den Versuchspersonen *Pfi* und *Mi*. Von den

Tabelle 13. *Durchschnittliche tägliche Ausscheidung von Kalium im Harn und Kot während der Kaliummangeldiät*

Woche der Mangeldiät	Zahl der Vpn.	Kaliumausscheidung/Tag in mg	
		Harn	Kot
1.	4	977	272
2.	4	398	184
3.	4	275	237
4.	4	234	201
5.	3	197	134
6.	2	220	153

übrigen Größen war nur bei der Versuchsperson *Mi* während der Kaliumverarmung ein längeres ST und ein breiteres T nachweisbar. Der Grad der Kaliumverarmung, die subjektiven Beschwerden und die Reduktion der Maximalkraft zeigten keine Korrelation zum Auftreten der EKG-Symptome. Bei der Versuchsperson *La* mit der stärksten Reduktion der Maximalkraft und den stärksten subjektiven

Beschwerden traten keine erkennbaren Unterschiede im EKG auf, während bei *Mi*, der keine Reduktion der Maximalkraft zeigte und auch subjektiv fast symptomlos blieb, Unterschiede im EKG während der kaliumarmen Periode verglichen zur Normalperiode vorhanden waren.

Der Staub-Traugott-Test wurde bei den Versuchspersonen *Mi*, *La* und *Ku* in den verschiedenen Ernährungsperioden durchgeführt und zeigte keine Änderung während der kaliumarmen Periode.

4. Diskussion

Während der Kaliumspiegel des Serums bei allen Versuchspersonen gegen Ende der kaliumarmen Periode unterhalb des physiologischen Bereiches lag, war das Standardbicarbonat in den Messungen am Morgen unmittelbar vor Versuchsbeginn während der kaliumarmen Periode nur recht wenig erhöht. Die Tendenz zur Alkalose während der Kaliumverarmung wurde erst in den Messungen nach 2½ Std Testarbeit sichtbar. Wir konnten diese während des Vormittags auftretende Steigerung des Standardbicarbonates im Blut weder in der Vor- noch in der Nachperiode beobachten. Zur Prüfung, ob tageszeitliche Schwankungen des Standardbicarbonates auch bei normaler Ernährung auftreten, wurde bei sechs Versuchspersonen an 10—20 Tagen das Standardbicarbonat in Abhängigkeit von der Tageszeit untersucht und in keinem Fall systematische Abweichungen festgestellt. Da außerdem in einem Versuch parallel zu dem Standardbicarbonat einer normal ernährten Versuchsperson das einer kaliumarm ernährten gemessen wurde und nur bei der kaliumarm ernährten Versuchsperson die Erhöhung während des Vormittags auftrat, dürfte diese im Zusammenhang mit der Kaliumverarmung des Körpers stehen. In Übereinstimmung mit den Befunden von SQUIRES u. HUTH, die unter ähnlichen Bedingungen wie wir beim gesunden Menschen eine in gleicher Höhe liegende Kaliumverarmung hervorriefen, sprechen aber weder die Blut- noch die Harnanalysen für eine größere Verschiebung des Säure-Basen-Gleichgewichtes.

Die stark reduzierte Citratausscheidung im Harn während der kaliumarmen Ernährung (die auch von FOURMAN u. ROBINSON beobachtet wurde) läßt sich beim Fehlen einer ausgeprägten extracellulären Alkalose nur schwer deuten. Ein starker Abbau der Citronensäure im Nierengewebe wurde bei Kaninchen und Katzen von MARTENSSON, bei Hunden von FREEMAN u. CHANG festgestellt. CRAWFORD, MILNE u. SCRIBNER konnten bei Ratten eine eindeutige Reduktion der Citronensäurekonzentration im Nierengewebe bei fallendem pH-Wert nachweisen. Auch bei diabetischer Acidose ist die Citratausscheidung stark reduziert. Eine Erklärung für die bei Kaliummangel herabgesetzte Citronensäureausscheidung wäre daher in dem Vorliegen einer intracellulären Acidose des Nierengewebes zu sehen, wie sie CLARKE, EVANS u. MACINTYRE in ihren Untersuchungen zeigen konnten. Eine intracelluläre Acidose könnte in unseren Versuchen durch das Einwandern von Wasserstoff in die kaliumverarmte Zelle hervorgerufen worden sein und sollte von einer extracellulären Alkalose begleitet sein. Ob die von uns gefundene Tendenz zur extracellulären Alkalose mit einer so starken intracellulären Acidose verknüpft war, daß sie als Erklärung für die Reduktion der Citronensäureausscheidung ausreicht, läßt sich auf Grund unserer Versuchsergebnisse nicht entscheiden. Die von YARBRO gefundene Beziehung zwischen den verschiedenen Kostfaktoren und der Citratausscheidung im Harn kann

in unseren Versuchen als Ursache der reduzierten Citratausscheidung ausgeschlossen werden, da der Anstieg der Citratausscheidung in der Nachperiode bereits bei einer Kost einsetzte, die sich lediglich im Elektrolytgehalt der Milch von der kaliumarmen Ernährung unterschied.

Eine veränderte Nierenfunktion war in der kaliumarmen Periode nur in bezug auf den abgeflachten Tag/Nacht-Rhythmus der Elektrolytexkretion festzustellen. Während der Arbeitszeit bzw. Ruhe verhielt sich die Elektrolytexkretion wie in der Vorperiode und, übereinstimmend zu früheren Untersuchungen, wurde auch in der kaliumarmen Periode während der Arbeit die Natriumausscheidung im Gegensatz zur Kaliumausscheidung reduziert. Die bei zwei Versuchspersonen gemessene endogene Kreatinin-Clearance gab ebenfalls keinen Hinweis auf eine veränderte Nierenfunktion.

Die während der kaliumarmen Ernährung im Schweiß eindeutig erhöhte Natriumausscheidung bei nur wenig reduzierter Kaliumausscheidung könnte der Ausdruck einer intracellulären Verschiebung des Natrium/Kalium-Verhältnisses sein. Als Regulationsorgan für das Ionen-gleichgewicht des Körpers funktionieren die Schweißdrüsen erwartungs-gemäß schlechter als die Niere, so daß die Kaliumausscheidung im Schweiß in einigen Fällen schon während der dreistündigen Arbeit über der täg-lichen Kaliumausscheidung im Harn lag.

Die Tatsache, daß keine meßbare Beeinträchtigung der Leistungs-fähigkeit für Arbeit gefunden wurde, deren Schweregrad so bemessen war, daß sie mehrere Stunden verrichtet werden konnte, und gleichzeitig eine sehr starke Reduktion der Maximalkraft bemerkt wurde, läßt sich verschieden interpretieren. Eine Deutungsmöglichkeit ergibt sich aus der Theorie des „Kaliumspeichers“ (FLECKENSTEIN), wonach der Energie-gehalt dieses Speichers der Summe der Konzentrationsarbeit für die Kaliumstapelung in der Zelle und der Natriumelimination aus der Zelle entspricht. Nach FLECKENSTEIN liegt der Energiegehalt dieses Speichers in der gleichen Größenordnung wie der des Kreatinphosphatspeichers. Die Muskelfaser wäre danach also eine Art Kaliumbatterie, die sich unter Freisetzung der Kontraktionsenergie entlädt und durch den Stoffwechsel wieder aufgeladen werden muß. Da bei der Erzeugung einer Maximalkraft die größte Zahl von willkürlich innervierbaren Muskelfasern in Tätigkeit ist und infolge der gestörten Ionenkonzentration die „Kalium-batterie“ nicht voll aufgeladen ist bzw. bei der tetanischen Kontraktion nicht wieder maximal geladen werden kann, ist eine Reduktion der Maximalkraft leicht vorstellbar. Bei einer Arbeit, bei der nur ein Teil der Maximalkraft eingesetzt wird, dürfte sowohl die Kontraktionsfähig-keit der Einzelfaser reduziert sein als auch die Regenerationsfähigkeit, ohne daß aber dies bemerkbar wird, da immer nur ein Bruchteil der vor-handenen Fasern in Tätigkeit ist.

Eine durch Kaliumverarmung des Körpers hervorgerufene Beein-trächtigung der Maximalkraft ist — wie schon einleitend betont — beim

gesunden, kalorisch ausreichend ernährten Menschen infolge des hohen Kaliumgehaltes der meisten Nahrungsmittel so gut wie ausgeschlossen. Bei einer einseitigen, kalorischen Mangelernährung und ungünstigen Klimabedingungen ist jedoch zu diskutieren, wieweit der Kaliumverlust durch den Schweiß zu einem Kaliumdefizit des Körpers beitragen kann.

Unsere Untersuchungen ergaben in etwa 1,2—1,8 l Schweiß einen Kaliumverlust von ca. 130 mg (Tabelle 2). In der Tabelle 13 sind die täglichen Kaliumverluste durch Harn und Kot als Wochenmittelwerte aller Versuchspersonen während der kaliumarmen Ernährung eingetragen. Man sieht, daß im Harn auch nach der starken Reduktion der Kaliumausscheidung in der 4. Woche der Kaliumverlust noch 234 mg/Tag betrug; im Kot gingen 201 mg/Tag verloren. Legt man diese Mittelwerte zugrunde, die in der 4. Woche der kaliumarmen Kost von vier Versuchspersonen erhalten werden konnten, so beträgt der Verlust durch Harn und Kot noch 435 mg/Tag. Eine Kalorienzufuhr von ca. 1900 kcal in Form von glaciertem Reis würde diese Ausscheidung gerade kompensieren (100 g glacierte Reis enthält etwa 80 mg Kalium und 350 kcal). Jeder zusätzliche Kaliumverlust im Schweiß würde aber bei dieser Ernährung zu einer Kaliumverarmung des Körpers führen. Schweißmengen von 3 bis 4 l verursachen unter den angegebenen Bedingungen schon nach wenigen Wochen ein Defizit, das in der gleichen Größenordnung liegt, wie wir es unter unseren Versuchsbedingungen fanden. Hinzu kommt, daß der Verlust im Harn in der 1. Woche einer Kaliummangeldiät viel höher ist, wodurch die Verarmung noch beschleunigt wird.

Nach diesen Betrachtungen ist es verständlich, daß die Symptome der Beriberi, die bei der Ernährung mit geschältem Reis auftraten, nicht nur durch einen Vitaminmangel hervorgerufen wurden, sondern durch Kaliummangelerscheinungen überlagert waren. Andererseits ist der Kaliumgehalt von unglacierte Reis bei gleichem Kaloriengehalt etwa viermal so hoch wie bei glacierte Reis. Schon die Aufnahme von 1900 kcal würde hierbei eine Zufuhr von etwa 1,8 g Kalium bedeuten und damit eine Größe erreichen, bei der der Verlust auch durch größere Schweißmengen bei gesunden Menschen durch eine Einschränkung der Kaliumausscheidung im Harn noch ausgeglichen werden kann.

Zusammenfassung

In fünf langfristigen Versuchen wurde die Auswirkung einer kaliumarmen Ernährung auf die Arbeitsfähigkeit und die physiologischen Reaktionen von vier gesunden männlichen Versuchspersonen untersucht.

In der vier- bis sechswöchigen kaliumarmen Periode wurde eine bis auf den Kaliumgehalt vollwertige Nahrung aufgenommen, deren Kaliumgehalt auf 200 bis 400 mg pro Tagesration reduziert war. Verglichen wurden die erhaltenen Daten mit Ergebnissen, die aus mehrwöchigen Vor- und Nachperioden stammen.

Obwohl bei allen Versuchspersonen die Kaliumausscheidung im Harn sehr stark reduziert war, blieben auch für das Kalium die tageszeitlichen Ausscheidungsschwankungen erhalten, wenngleich die Unterschiede der Elektrolytexkretion zwischen Tag und Nacht weniger stark waren als bei Normalernährung. Im Serum sank der Kaliumspiegel in der Regel bis auf 10 mg-% ab. Die Reduktion des Kaliumgehaltes in den Blutkörperchen war relativ kleiner als im Serum. Der Natrium- und Calciumspiegel des Serums blieb unverändert. Die Messungen des Standardbicarbonates im Blut zeigten eine Tendenz zur Alkalose, obwohl weder das pH des Harnes noch die Ausscheidung an Ammoniak, primärem Phosphat oder Gesamtwasserstoff zu Rückschlüssen auf eine Alkalose berechtigten. Die Citratausscheidung im Harn wurde bei wenig verändertem CTS-Serumspiegel auf ca. 20% der Normalwerte reduziert.

Das Arbeitsvermögen für dreistündige schwere körperliche Dauerarbeit (10—12 mkg/sec) wurde durch eine vier- bis sechswöchige kaliumarme Kost nicht beeinträchtigt. Ebenso wenig war eine Veränderung des Leistungs-Puls-Index oder der mit Hilfe des Amplituden-Frequenz-Produktes gemessenen Leistungsfähigkeit festzustellen. Dagegen sank bei drei von vier Versuchspersonen die Maximalkraft stark ab. Bei einer Versuchsperson betrug der Abfall in einigen Muskelgruppen mehr als 50%. Das Elektrokardiogramm zeigte nur bei einer Versuchsperson in der kaliumarmen Periode Veränderungen im Vergleich zur Vorperiode. Zwischen dem Abfall der Maximalkraft bzw. den subjektiven Beschwerden und den elektrokardiographischen Befunden zeigte sich keine Korrelation.

Im Schweiß kam es während des Kaliummangels bei unveränderter Wassermenge zu einem starken Anstieg der Natrium- und Chloridausscheidung und zu einer nur geringfügigen Einschränkung der Kaliumausscheidung. Bei Kaliummangel kann die Ausscheidung im Schweiß daher entscheidend werden.

Literatur

- ASTRUP, P., K. JØRGENSEN, O. SIGGAARD ANDERSEN u. K. ENGEL: Der Säure-Base-Stoffwechsel. Eine neue Darstellung. *Lancet* **1960/II**, 1035—1039.
- BLACK, D. A. K., and M. D. MILNE: Experimental potassium depletion in man. *Clin. Sci.* **11**, 397—415 (1952).
- CLARKE, E., B. M. EVANS, J. MACINTYRE, and M. D. MILNE: Acidosis in Experimental Electrolyte Depletion. *Clin. Sci.* **14**, 421—440 (1955).
- CRAWFORD, M. A., M. D. MILNE, and B. H. SCRIBNER: The effects of changes in acid-base balance on urinary citrate in the rat. *J. Physiol. (Lond.)* **149**, 413—423 (1959).
- CREMER, H. D., u. E. OPITZ: Bestimmung des Harnammoniaks in der Destillationsapparatur nach K. LANG. *Klin. Wschr.* **18**, 1453 (1939).
- EULER, U. S., v., and I. FLÖDING: Fluorimetric Estimation of Noradrenaline and Adrenaline in Urine. *Acta physiol. scand.* **33** (Suppl. 118) 57 (1955).
- and F. LISHAJKO: The Estimation of Catechol Amines in Urine. *Acta physiol. scand.* **45**, 122—132 (1959).
- FISKE, C. H., and Y. SUBBAROW: The Colorimetric Determination of Phosphorus. *J. biol. Chem.* **66**, 375 (1925).

- FLECKENSTEIN, A.: Der Kalium-Natrium-Austausch als Energieprinzip in Muskel und Nerv. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1955.
- FOURMAN, P., and J. R. ROBINSON: Diminished urinary excretion of citrate during deficiencies of potassium in man. *Lancet* **1953/II**, 656.
- FREEMAN, S., and T. S. CHANG: Rôle of the kidney and of citric acid in production of a transient hypercalcemia following nephrectomy. *Amer. J. Physiol.* **160**, 335 (1950).
- HUTH, E. J., R. D. SQUIRES, and J. R. ELKINTON: Experimental potassium depletion in normal human subjects. II. Renal and hormonal factors in the development of extracellular alkalosis during depletion. *J. clin. Invest.* **38**, 1149—1165 (1959).
- JEKAT, F.: unveröffentlicht.
- JOHNSON, R. B.: An improved method for the chemical determination of urinary catechol amines. *J. Lab. clin. Med.* **51**, 956—963 (1958).
- KAUL, A., F. JEKAT, u. H. STARLINGER: Bestimmung von Kaliummangelzuständen beim Menschen durch Messung des Gesamtkörperkaliumgehaltes und Bilanzversuche. *Int. Z. angew. Physiol* **21**, 62—68 (1965).
- KÜHNS, K., u. K. HOSPES: Schweiz. med. Wschr. 783 (1956); zit. n. M. SCHWAB u. K. KÜHNS: Die Störungen des Wasser- und Elektrolytstoffwechsels. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1959.
- KUSCHINSKY, G., u. H. LANGECKER: Eine mercurimetrische Bestimmung des Chlors im Harn. *Biochem. Z.* **318**, 164 (1944).
- LANG, K.: Eine Verbesserung der Methodik der Chloridbestimmung im Blut. *Biochem. Z.* **290**, 289 (1937).
- LEHMANN, G., u. H. MICHAELIS: Die Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit. *Arbeitsphysiologie* **11**, 376 (1941).
- MÄRTENSSON, J.: On the citric acid metabolism in mammals. *Acta physiol. scand.* **1** (Suppl. 2), 9—73 (1940).
- MÜLLER, E. A.: Der Leistungs-Puls-Index als Maß der körperl. Leistungsfähigk. im Beruf. Methoden des Max Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie, Dortmund 1962.
- u. TH. HETTINGER: Der Verlauf der Zunahme der Muskelkraft nach einem einmaligen maximalen Trainingsreiz. *Int. Z. angew. Physiol.* **16**, 184 (1956).
- NATELSON, S., J. B. PINCUS, and J. K. LUGOVOY: Microestimation of citric acid, a new colorimetric reaction for pentabromoacetone. *J. biol. Chem.* **175**, 745 (1948).
- PETERS, J. P., u. D. D. VAN SLYKE: Gasometrische Methoden zur Analyse von Blut u. and. Lösungen. In: *Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden* von E. ABDERHALDEN, Abt. V, Bd. 10, S. 269. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg 1934.
- ROHMERT, W.: Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen. *Int. Z. angew. Physiol.* **18**, 123—164 (1960).
- SILBER, R. H., and C. C. PORTER: The determination of 17—21-Dihydroxy-20-Ketosteroids in urine and plasma. *J. biol. Chem.* **210**, 923—932 (1954).
- SQUIRES, R. D., and E. J. HUTH: Experimental potassium depletion in normal human subjects. I. Relation of ionic intakes to the renal conservation of potassium. *J. clin. Invest.* **38**, 1134—1148 (1959).
- STARLINGER, H., u. R. BANDINO: Der Einfluß von Arbeit bei hoher Temperatur auf die Inulin- und PAH-Clearance sowie die Elektrolyt- und 17—21 Dihydroxy-20-Ketosteroidausscheidung im Harn. *Int. Z. angew. Physiol.* **18**, 285—305 (1960).
- STAUB-TRAUGOTT: Kohlenhydrat-Toleranzprüfung. Zit. n. L. HALLMANN in *Klinische Chemie und Mikroskopie*, S. 534. Stuttgart: Thieme 1960.
- WELT, G. L., W. HOLLANDER, and W. B. BLYTHE: The consequences of potassium depletion. *J. chron. Dis.* **11**, 213—254 (1960).
- YARBRO, C. L.: The influence of the diet on urinary citrate excretion. *J. Urol.* **75**, 216—222 (1956); zit. n. *Ber. ges. Physiol.* **183**, 258 (1956).

Dr. H. STARLINGER, 46 Dortmund, Rheinlanddamm 201,
Max Planck-Institut für Arbeitsphysiologie