

Trinken am Arbeitsplatz

Über die physiologische Bedeutung der Zusammensetzung von Getränken und Zusätzen für eine ideale Rehydratation zur Optimalisierung der körperlichen und mentalen Leistungsfähigkeit

F. Brouns

Ernährungsforschungszentrum Universität Limburg

Zusammenfassung: Personen, die schwere körperliche Arbeit verrichten, können oft unter durch Schweißverlust, Hyperthermie und energetische Gründe hervorgerufenen Müdigkeitsercheinungen leiden. Bei Sportlern durchgeführte Studien zeigen, daß beträchtliche Schweißverluste physiologische Veränderungen bewirken, welche die kardiovaskulären Funktionen und den Energiestoffwechsel verschlechtern. Hyperthermie setzt, so ist bekannt, die physische Leistungsfähigkeit herab. Eine dabei auftretende zentrale Müdigkeit beeinflusst sowohl die muskulären als auch die mentalen Prozesse. Ein ausreichender Flüssigkeits- und Kohlenhydrat-Ersatz verringert diese Effekte, verbessert einerseits die physiologischen Funktionen und reduziert andererseits die Müdigkeit. Bei körperlichen Schwerarbeitern in Industrie und Armee durchgeführte Studien haben zu ähnlichen Ergebnissen geführt. In allen Untersuchungen, bei welchen Vergleiche gemacht wurden zwischen Gruppen, denen reines Wasser zugeeignet wurde, und solchen mit Elektrolyt-Getränken oder Kohlenhydrat-Elektrolyt-Lösungen (KEL), waren die Resultate deutlich zugunsten der KEL, was die Verbesserung der Leistungsfähigkeit und die Reduktion von subjektiven Müdigkeitsercheinungen sowie das Auftreten von Unfällen betrifft. Laborstudien, bei welchen die Rehydratation und die Energielieferungs-Effizienz verschiedener Getränke getestet wurden, zeigten auf, daß Getränke mit einem Kohlenhydratgehalt von 30–80 g und 400–1200 mg Natrium pro Liter zu einer signifikant besseren Rehydratation und Flüssigkeitsretention im Körper führen, verglichen mit reinem Wasser, Mineralwasser, Fruchtsäften, Softdrinks oder Kombinationen von Fruchtsäften und Mineralwasser. Dieser Artikel umschreibt die wichtigsten Aspekte bezüglich der Dehydratation und Rehydratation während schwerer körperlicher Arbeit.

Drinking During Work: Physiological Significance of the Composition of Drinks and Additives for Optimization of Physical and Mental Capacities: People who are involved in heavy physical work may frequently experience fatigue due to sweat loss, hyperthermia and for energetic reasons. Studies in athletes clearly show that substantial sweat loss induces physiological changes which may impair cardiovascular function and energy metabolism. Hyperthermia is known to suppress physical performance. Induced central fatigue affects both muscular and mental processes. Appropriate fluid and carbohydrate supply reduce these effects and result in improved physiological function as well as reductions in fatigue. Studies in people involved in heavy physical work in the industry and army show similar findings. In all studies where comparisons were made between

groups who received plain water, compared to electrolyte drinks or carbohydrate-electrolyte solutions (CES), the results were strongly in favour of CES in terms of improvement of performance capacity and reduction of subjective fatigue and accidents. Laboratory studies in which the rehydration and energy supply efficacy of different drinks were tested, showed that drinks containing 30–80 g of carbohydrate and 400–1200 mg sodium per liter result in a significantly better rehydration as well as fluid retention in the body, compared to plain water, mineral water, fruit juices, soft drinks or combinations of fruit juice and mineral water. This article describes the most important aspects with regard to dehydration and rehydration during heavy physical work.

Einführung

Der Ursprung des Lebens liegt im Meer. Die Basiskomponente unseres Körpers, die Zelle, enthält noch immer ein Gemisch von Wasser und Salzen, das dem Meerwasser gleicht.

Bei den Einzellorganismen im Meer fand und findet ein kontinuierlicher Wechsel zwischen der Umgebung und dem Zellinnern statt. Bei uns Menschen hat sich dies im Laufe der Evolution entscheidend geändert. Um an Land überleben zu können, haben sich anatomisch-physiologische Systeme entwickelt, welche die Aufnahme und Retention von Flüssigkeit und Elektrolyten aus der Nahrung und Getränken sowie die Exkretion mittels Ventilation, Schweiß, Urin und Fäzes ermöglichen. Die Synergie zwischen diesen Systemen wird Wasserhaushalt genannt.

Beim Erwachsenen beträgt der Wassergehalt $\pm 60\%$. Täglich gehen $\pm 2,5$ Liter dieses Wasservorrates als Exkret verloren. Diese Menge ist essentiell, da mit dem Wasser potentiell toxische Stoffe aus dem Körper entfernt werden müssen. Dies betrifft nicht nur metabolische Abfallprodukte und für den Körper schädliche Stoffe, die aus der Umwelt in unseren Körper gelangen, sondern auch Wärme als „Abfallprodukt“ des Energiestoffwechsels. Das Blutplasma mit einem Flüssigkeitsgehalt von ca. 3–4 Litern ist der wichtigste Intermediär bei sämtlichen Auswechslungsprozessen zwischen unseren Organen und der Umwelt. Ein beträchtlicher Flüssigkeitsverlust verringert nicht nur das Blutplasma, sondern auch die intra- und extrazelluläre Flüssigkeitsmenge und Elektrolytenkonzentration. Dadurch wird die Möglichkeit für eine optimale Abgabe von Schadstoffen und Wärme an die Umwelt eingeschränkt. Der Körper empfindet dadurch einen metabolisch-physiologischen Streß, der zu einer verminderten physischen und mentalen Leistungsfähigkeit führt.

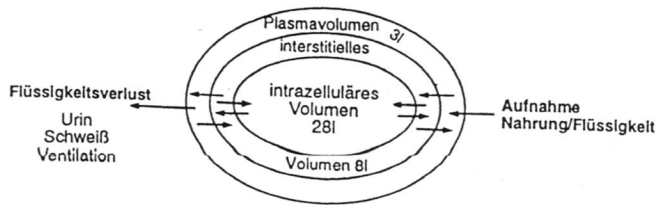


Abb. 1 Darstellung verschiedener Wasserkompartimente im Körper sowie deren Flüssigkeitsaustauschrouten.

Zur Vorbeugung einer fortschreitenden Dehydration verfügt unser Körper über fein abgestimmte Regulationen, die als Folge eines Flüssigkeitsverlustes und/oder Veränderungen der Elektrolytenkonzentration Durst auslösen, was wiederum eine Flüssigkeitsaufnahme nach sich zieht. Dadurch werden bei einer Tätigkeit in der Hitze sowie bei zunehmender Arbeitsintensität durch Durst-Stimuli erhöhte Flüssigkeitsverluste mittels größeren Flüssigkeitseinnahmen kompensiert (Tab. 1, Abb. 1, 2).

Tab. 1

Wasserverlust	durch Urin	1000 – 1500 ml
	durch die Haut	500 ml
	durch die Lungen	400 ml
	durch den Stuhl	100 ml
gesamte tägliche Wasserabgabe		2000 – 2500 ml

(Nach Siegenthaler [75])

Durstgefühl

Generell wird anerkannt, daß Durst als Folge einer Veränderung des Flüssigkeits- oder Elektrolytgehaltes in den intra- und extrazellulären Wasserkompartimenten entsteht, und daß der Durststimulus nach einer Flüssigkeitsaufnahme verschwindet, sobald beide Kompartimente wieder normalisiert sind. Diese Kompartimente sind wegen ihres kontinuierlichen Flüssigkeits- und Elektrolytaustausches untrennbar. Flüssigkeitsverschiebungen zwischen diesen Kompartimenten treten auf als Folge von Wasserverlusten mit dem Schweiß, der Ventilation und dem Urin, aber auch nach einer Mahlzeit oder der Einnahme von salzigen Speisen. Durchfall hat ebenfalls einen großen Einfluß. Beim Entstehen des Durstgefühls spielt eine ganze Reihe von Stimuli eine Rolle. So werden Osmo- und Volumen-Rezeptoren, Elektrolytkonzentrationen, hormonelle und neurale Einflüsse beschrieben, welche im Gehirn, im Mund-Rachen-Raum, im Vaskulum und in der Zelle eine Rolle spielen [27,64]. Generell wird aber anerkannt, daß Veränderungen des Flüssigkeits-/Elektrolyt-Gehalts an der Basis des Durstempfindens stehen.

Es wird aber auch anerkannt, daß der Durststimulus-Mechanismus nicht immer unsere Flüssigkeitseinnahme bestimmt.

Einerseits existiert ein substantielles, sekundäres Trinkverhalten [21,27], welches nicht auf einem physiologischen Bedarf beruht. Es handelt sich dabei vielmehr um ein angelerntes Verhalten, das auf gutem Geschmack, Geruch, Farbe des Getränks, sozialem Mittrinken usw. beruht. Der Geist verlangt in

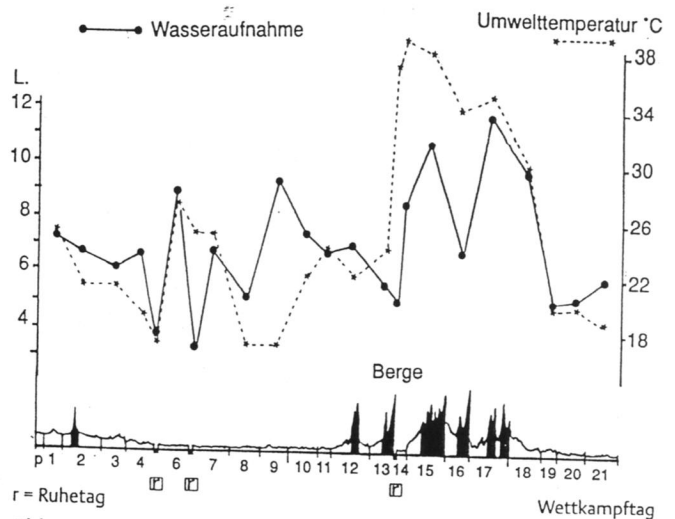


Abb. 2 Wassereinnahme während der Tour de France [4].

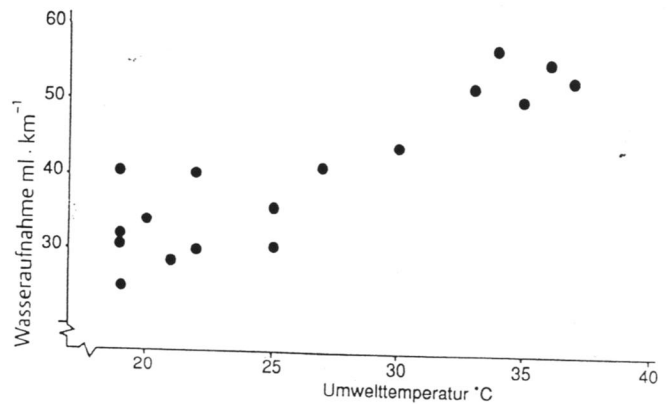


Abb. 3 Wassereinnahme während der Tour de France [4].

diesen Fällen nach Genuß, der durch die Verfügbarkeit von als angenehm empfundenen Getränken stimuliert und andererseits durch deren Nichtvorhandensein unterdrückt wird. Der Körper wird daher manchmal mit Flüssigkeit überflutet. Häufige Toilettenbesuche sind die Folge, ohne daß die Getränkeaufnahme gestoppt wird.

Andererseits wird in bestimmten Situationen durch körperlichen Streß als Folge von körperexternen klimatologischen Bedingungen und/oder körperinternen metabolen Veränderungen das Durstgefühl unterdrückt. So empfinden Sportler während intensiver körperlicher Tätigkeiten, bei welchen ein trockener Mund und große Schweißverluste auftreten, allgemein zu wenig Durst, verglichen mit den effektiven Flüssigkeitsbedürfnissen. Dies führt zu einer Dehydration, die unter Umständen nicht einmal nach 24 Stunden ausgeglichen ist und oft als „willkürliche Dehydration“ (voluntary dehydration) bezeichnet wird [1, 2, 24, 26, 28, 31, 36].

Dieser Befund ist von außerordentlicher Bedeutung, da er uns zeigt, daß unser Durstmechanismus unter Ruhebedingungen in der Lage ist, unsere Flüssigkeitsaufnahme zu steuern, jedoch unter Streßbedingungen „versagen“ kann. Das Anerkennen dieser „willkürlichen Dehydration“ hat dadurch große Bedeutung für alle Arbeitssituationen, in denen der Mensch psy-



chischen oder physischen Streß empfindet und folglich einem chronischen Dehydrationszustand ausgesetzt ist. Dies ist der Fall bei Soldaten, Schwerarbeitern in der Hitze, Piloten, Sportlern und Alpinisten [1,36,73,86].

Körperbelastung und Flüssigkeitsbedarf

Abhängig von der Belastungsintensität und -Dauer entstehen Flüssigkeits- und Elektrolytverschiebungen zwischen den verschiedenen Flüssigkeitskompartimenten. Zu Beginn einer intensiven körperlichen Tätigkeit führen Muskelkontraktionen zur Produktion und Ansammlung von Stoffwechselendprodukten im Zellinneren. Zunächst rufen diese Endprodukte einen osmotischen Gradienten hervor, der zur Nettoaufnahme von Wasser in die Zelle führt.

Gleichzeitig werden Transportvorgänge eingeleitet, und es kommt zu Veränderungen der Membranpermeabilität. Diese bewirken eine Übertragung von Metaboliten und Kalium vom Zellinneren zur Außenseite der Zelle. Dadurch wird das interstitielle Wasser im Vergleich zum Blut hypertonisch (höher konzentriert), was das Abfließen von Wasser aus dem Blut in das Interstitium zur Folge hat, ein Vorgang, der durch Arbeit erhöhten Blutdruck zusätzlich begünstigt wird [15,27,73].

In der Folge nimmt das Plasmavolumen nach Beginn der Belastung sofort um $\pm 10\%$ ab; danach stellt sich die Abnahme allmählich auf einen geringeren Wert von 3–5% ein, falls es nicht zur Dehydratation kommt, die eine sekundäre Hämokonzentration verursacht [73].

Das Muskelvolumen nimmt während der Belastung infolge von Flüssigkeitsbewegungen zur Skelettmuskulatur hin zu. Am stärksten ist diese Zunahme bei hochintensiver anaerober Körperarbeit, die zu einer bedeutenden Produktion und Ansammlung von Milchsäure im Zellinneren führt.

Der interstitielle Flüssigkeitsraum kann während der Belastung von zwei Seiten her beeinflusst werden. Einerseits nehmen die Muskelzellen in der oben beschriebenen Weise Wasser auf, andererseits beginnt das Blut bei andauernden Schweißverlusten, die zur Abnahme des Plasmavolumens und zur Erhöhung der Elektrolytenkonzentration im Blut führen, auch aus dem Interstitium Wasser abzugeben. Dies hat zur Folge, daß der interstitielle Wassergehalt auf niedrige Werte abfällt. Falls diese Situation fortbesteht, wird der eingangs beschriebene Prozeß schließlich umgekehrt, und es kommt zur Austrocknung der Zelle [27,73,74].

Bei fortgesetzter Belastung nimmt der Wassergehalt aller Kompartimente, bedingt durch Schweißverluste und den unmerklichen Wasserverlust aus der Lunge – besonders bei trockener Luft oder in der Höhe – weiter ab. Je nach Belastungsintensität, Fitneßzustand, klimatischen Verhältnissen und Körpergröße können die Schweißverluste einige hundert Milliliter bis > 2 Liter pro Stunde betragen [6,85].

Da die Plasmaflüssigkeit für die Aufrechterhaltung einer normalen Durchblutung der „belastungsaktiven“ Gewebe von vorrangiger Bedeutung ist, kann gefolgert werden, daß durch eine zu große Abnahme des Plasmavolumens die Durchblutung verschlechtert wird. Dies führt automatisch zu einem reduzierten Transport von für die Energieproduktion benötig-

ten Substraten und Sauerstoff zu den Muskeln und von metabolischen Abfallprodukten (inklusive Wärme) vom Muskel zu den Ausscheidungsorganen. ✓

Ersteres kann zu einer Verringerung der Energieproduktionskapazität und zur Ermüdung führen; letzteres führt zu einer verminderten Wärmeabfuhr von den Muskeln zur Haut, mit dem Resultat einer erhöhten Körperkerntemperatur [6,48,73,74].

Besonders bei Militärs, Arbeitern und Sportlern, die unter klimatologisch oder durch die Umgebung bedingt warmen Verhältnissen arbeiten, besteht daher die Gefahr einer Austrocknung, Hitzeerschöpfung und im Extremfall Hitzschlag und Kollaps [56,73,74,79].

Letzteres wird bei Arbeitern in der Hitze kaum auftreten, da die Arbeitsintensität und damit die innere Wärmeproduktion um ein Vielfaches tiefer ist als beim Sportler. Dennoch können andauernde Flüssigkeitsverluste auch bei dieser Gruppe eine dominante Dehydratation hervorrufen, die durch den Durstmeechanismus nicht adäquat korrigiert wird, was zu kardiovaskulären Störungen führen kann. Damit verbunden ist eine verminderte Arbeitsfähigkeit, verbunden mit einer erhöhten Fehlerquote und einem vermehrten Unfallrisiko. Außerdem kann eine sich täglich wiederholende Dehydratation die Nierenfunktionen überbelasten und zur Bildung von Nierensteinen beitragen. Embon [20] untersuchte 819 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 43 Jahren, welche wegen Nierensteinen behandelt wurden. Es stellte sich heraus, daß 19% der Patienten eine chronische Dehydratation empfanden, wobei in 62% der Fälle die Rede von warmen klimatologischen Bedingungen und einem Beruf in der Hitze war, verbunden mit einer ungenügenden Trinkgelegenheit unmittelbar am Arbeitsplatz.

Daraus kann man schließen, daß das Trinkverhalten sowie eine optimale Getränkeauswahl nicht nur beim Sportler, sondern auch beim Industriearbeiter gesundheitsbeeinflussend ist und zum Betriebs-Unterrichtsprogramm gehört. Bevor die Thematik einer optimalen Getränkezusammensetzung besprochen werden kann, sollte erst der Aspekt der Salzverluste mit dem Schweiß erläutert werden.

Schweiß und Elektrolytverluste

Die Elektrolytenkonzentration des Schweißes ist geringer als die des Blutes. Dies bedeutet, daß relativ mehr Wasser als Elektrolyte aus dem Blut verloren geht. (Die Elektrolytenkonzentrationen des Schweißes sind in Tab. 2 aufgeführt.)

Die durch Schweißverluste bedingte Dehydratation führt daher zu einer Konzentrationserhöhung der Blutelektrolyten [48]. Dies ist allerdings nur der Fall, wenn kein Wasser eingenommen wird, um die Flüssigkeitsverluste zu kompensieren. So können starke Schweißverluste und eine Kompensation mit gewöhnlichem Wasser sogar zu tieferen Blutnatriumwerten führen.

Hyponatriämie und dadurch bedingte Symptome einer Wasserintoxikation sind bei Marathonläufern und Triathlon-Sportlern beobachtet worden [57,60,61,62]. Das Argument, wonach der Natriumgehalt der nach der Belastung eingenom-

Tab. 2 Der Elektrolytengehalt von im Abspülverfahren gewonnenem Ganzkörperschweiß, ermittelt nach Daten aus 13 Studien. Die Tabellenwerte für die wichtigsten Elektrolyten beruhen auf 274 Messungen an 123 Probanden [6, 8].

Elektrolyte	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Durchschnitt (mmol/l)	28,6	32,7	4,4	1	0,79
Standardabweichung	13,5	14,7	1,3	0,7	0,6
Bereich mg/l	533 – 1495	413 – 1091	121 – 225	(13 – 67)	(4 – 34)
Standardabweichung	481	339	52	27	15
Durchschnitt (mg/l)	1014	752	173	40	19

menen Mahlzeiten genüge, um die Verluste auszugleichen, ist in diesem Zusammenhang irreführend, da diese die während des Trainings bestehenden Verluste nicht kompensieren. Aus diesem Grunde, wie auch wegen seinem günstigen Verhältnis zur Glukose und in der Folge zur Wasserresorption, ist es empfehlenswert, Rehydrationsgetränke während und nach körperlicher Schwerarbeit mit Natrium anzureichern.

Arbeitsadaptationen

Regelmäßige körperliche Belastung, die mit erheblichem Schwitzen verbunden ist, führt zu Anpassungsreaktionen, die eine wirksamere Steuerung des Flüssigkeits- und Elektrolytgleichgewichtes begünstigen. Es kommt zu einer vermehrten Rückresorption von Natrium durch die Schweißdrüsen, und das Plasmavolumen nimmt tendenziell zu. Außerdem wird die Empfindlichkeit der flüssigkeitsregulierenden Hormone erhöht [48,56,85]. Das Schwitzen wird somit „ökonomischer und effizienter“. Trotzdem besteht aber die Gefahr einer Austrocknung während langandauernder Schwerarbeit, vor allem in der Hitze.

Flüssigkeits- und Elektrolytenzufuhr

In der Regel sollte die Flüssigkeitszufuhr dem täglichen Gesamtwasserumsatz entsprechen, der bei Erwachsenen $\pm 4\%$ des Körpergewichts beträgt [58]. Der Gesamtwasserumsatz kann beträchtlich variieren, dies vor allem wegen der Unterschiede hinsichtlich der Stoffwechselrate (die stark von der körperlichen Belastung abhängig ist) und hinsichtlich der unmerklichen Wasserverluste. Letztere können stark von den klimatischen Bedingungen und der Höhe abhängig sein. Auch Durchfälle können akute, ausgeprägte Wasserverluste verursachen. Da der tägliche Flüssigkeitsbedarf der Wassermenge entspricht, die für die Kompensation der unmerklichen Verluste (via Atemluft und Hautoberfläche), für die Versorgung der Niere mit der minimalen Flüssigkeitsmenge, die dieses Organ für die Ausscheidung von Stoffwechselendprodukten und Elektrolyten braucht, sowie für Verluste durch den Schweiß während intensiver Arbeit benötigt wird, kann keine allgemeingültige Regel betreffend die Menge des aufzunehmenden Wassers aufgestellt werden. Die minimale Flüssigkeitsaufnahme dürfte jedoch bei einem 70 kg schweren Mann bei 1,5–2,0 l/Tag liegen, wenn Störungen der Stoffwechselfunktionen vermieden werden sollen.

Eine Flüssigkeitszufuhr von 1 ml pro kcal Energieverbrauch kann als allgemeine Empfehlung gelten [58]. Bei einem Bergrennen im Rahmen der Tour de France, bei dem 6000 kcal/Tag verbraucht werden, müßten demnach 6 l Flüssigkeit eingenommen werden. Tatsächlich liegen Berichte über eine Flüssigkeitsaufnahme von 6 l unter solchen Umständen vor [70].

Bei einem Marathonlauf (Energiebedarf ± 3000 kcal [59]) wäre eine zusätzliche Zufuhr von 3 l Flüssigkeit erforderlich.

Die 1989 vom National Research Council (USA) ausgearbeiteten minimalen Bedarfsempfehlungen für Erwachsene betreffend Natrium, Chlorid und Kalium – die wichtigsten Elektrolyten, die an der Flüssigkeitshomöostase aktiv beteiligt sind und auch mit dem Schweiß verlorengehen – betragen 500, 750 bzw. 2000 mg. Gemäß der Deutschen Gesellschaft für Ernährung [19] betragen diese 550, 830 resp. 2000 mg. Die mit der täglichen Normalkost zugeführten Elektrolytmengen übertreffen diese Werte in der Regel bei weitem, so daß eine Supplementierung unter normalen Verhältnissen nicht empfehlenswert ist.

Im Falle beträchtlicher Verluste jedoch – z.B. bei akuten Durchfällen oder im Gefolge langdauernden und regelmäßigen Schwitzens – können die Plasma- und Gewebe-Elektrolytkonzentrationen jedoch beträchtlich beeinflußt werden. In solchen Situationen ist es ratsam, den Rehydrationsgetränken Elektrolyte beizufügen.

Rehydrationsgetränke

Getränke für Personen, die körperlich intensiv arbeiten, wie Sportler, Alpinisten und Schwerarbeiter, sollten in der Regel so zusammengesetzt sein, daß mit dem Schweiß verlorene Flüssigkeit und Mineralstoffe ersetzt und zusätzlich begrenzte Energiemengen in Form von KH zugeführt werden. Alle drei Substanzen, die bei Ausdauerbelastung verloren-/verbraucht werden, sind wechselseitigen Einflüssen ausgesetzt.

Höhere Belastungsintensitäten erfordern eine vermehrte Energieproduktion, wobei KH als Energieträger am besten geeignet sind. Mit steigender Belastungsintensität wird entsprechend mehr metabolische Wärme erzeugt. In der Folge kommt es zu verstärkter Schweißbildung und erhöhtem Schweißverlust, und es werden mehr Elektrolyte ausgeschieden. Je länger die Belastung dauert, desto größer ist die Menge an Flüssigkeit, Elektrolyten und KH, die ersetzt werden müssen, um die entstandenen Verluste zu kompensieren.

Es bestehen große individuelle Unterschiede hinsichtlich Schweißrate, Elektrolytengehalt des Schweißes, Ausmaß der KH-Utilisation etc. Diese Unterschiede können durch klimatische Faktoren weiter verstärkt werden. Es ist somit unmöglich, ein Getränk zur Verfügung zu stellen, das bei jeder Person in jeder beliebigen Situation die entstandenen Verluste exakt ausgleichen kann. Aus diesem Grunde sollten Rehydrationsgetränke im allgemeinen so formuliert werden, daß sie den Bedarf einer breiten Population aktiver Personen unter verschiedenen Bedingungen zu decken vermögen. Dabei handelt es

sich notwendigerweise um einen Kompromiß, den der verantwortliche Manager machen muß.

Allgemeine Empfehlungen für die Zusammensetzung von Rehydrationsgetränken/arbeitsunterstützenden Getränken sind vor kurzem aufgrund zahlreicher Studien ausgearbeitet worden, in denen Magenentleerung, Darmresorption, den Flüssigkeitshaushalt regulierende Faktoren sowie Ermüdung/Leistung untersucht wurden und deren Resultate in einer Reihe hervorragender Forschungsberichte zusammengefaßt worden sind [6, 7, 13, 15, 22, 47, 48, 54, 57, 65, 67, 68, 71, 72].

Magenentleerungsrate

Aus vielen, mit Hilfe von Magensonden durchgeführten Studien, läßt sich ableiten, daß die Anreicherung von Getränken mit kleinen bis mäßigen KH- und Natriummengen die Magenentleerung nicht verzögert. Neuere Studien haben gezeigt, daß vor allem der Kohlenhydratgehalt (Energiedichte des Getränks) die Magenentleerung bestimmt (Abb. 4, 5), und daß die Getränke-Osmolalität eine untergeordnete Rolle spielt [10, 81, 82].

Die Zugabe anderer Elektrolyte in kleinen Mengen, die dem effektiven Verlust mit dem Ganzkörperschweiß entsprechen, beeinflusst weder die Magenentleerung noch die Resorption [65, 66]. Der KH-Anteil im Getränk trägt zusätzlich zur Aufrechterhaltung normaler Blutglukosewerte bei und führt zur Schonung der endogenen KH-Reserven [18, 29, 53, 63]. Letztere können den Zeitpunkt der Ermüdung hinauszögern und sich somit positiv auf die Leistung auswirken [5, 14, 16, 17, 47, 55, 83, 84].

Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten zeigen, daß verschiedene Arten von KH in Konzentrationen von 30–80 g/l und Natrium in Konzentrationen von 400–1100 mg/l zu einer maximalen Magenentleerungsrate und Flüssigkeitsresorption führen [22, 48]. Das eingenommene Volumen spielt dabei insofern eine wichtige Rolle, daß größere Volumina die Magenentleerungsgeschwindigkeit beschleunigen. Bei größeren Schweißverlusten und einer erwünschten schnellen Rehydratation sind

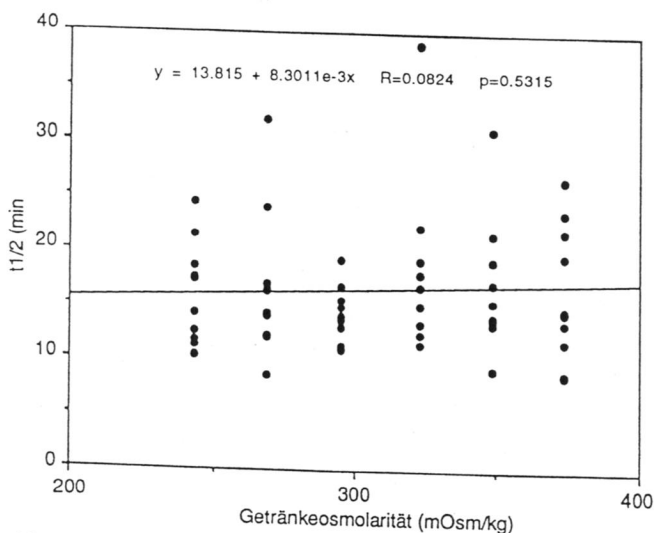


Abb. 4 Zusammenhang zwischen Getränkeosmolalität und Magenentleerungsgeschwindigkeit.

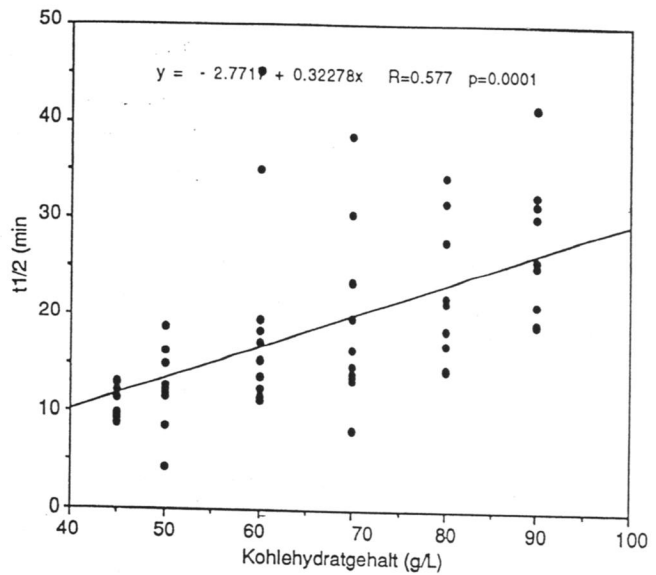


Abb. 5 Zusammenhang zwischen Kohlenhydratgehalt der Getränke und Magenentleerungsgeschwindigkeit.

deshalb regelmäßige, großen Flüssigkeitsportionen frequenten kleinen Portionen vorzuziehen.

In der Literatur finden sich kaum Studien, die sich mit den Effekten von Fruchtsäften auf die Magenentleerungsrate befassen. Es besteht jedoch kein Zweifel darüber, daß der Kohlenhydratgehalt dieser Getränke (ca. 11–12%) hoch genug ist, um deren Magenentleerungsrate beträchtlich zu verzögern. Dasselbe gilt für cola-artige Erfrischungsgetränke, die normalerweise einen Zuckergehalt von 10–11% aufweisen. Zu den übrigen Faktoren, die zu einer Verzögerung der Magenentleerung führen können, gehört die Anwesenheit von bestimmten organischen Stoffen und Säuren [33]. Beide sind in den meisten Fruchtsäften enthalten. Aus diesem Grund sind Softdrinks und Fruchtsäfte zur Rehydratation am Arbeitsplatz ungeeignet, um so mehr, da der relativ hohe KH-Gehalt bei häufigem Konsum als ungünstig zu betrachten ist.

Resorptionsrate

Die Bestimmung der Absorption ist in Segmenten des menschlichen Dünndarms möglich durch die Anwendung eines Perfusions-Modells, bei dem die Rate gemessen wird, mit der Wasser und gelöste Teilchen aus dem Darmlumen verschwinden (76). Dieses Modell wurde ausführlich angewandt, um Lösungen zur Behandlung von Diarrhö-Erkrankungen zu evaluieren. Seit kurzem findet dieses Modell auch Anwendung bei der Verbesserung der Formeln von Rehydrationsgetränken für gesunde Personen, die körperlich aktiv sind. Diese Studien haben zu der unzweifelhaften Einsicht geführt, daß die Wasserabsorption, ein völlig passiver Prozess, der von den physiologischen Prozessen der Osmose und dem „gelöste-Teilchen-Sog“ – der beim aktiven Transport von Nährstoffen auftritt – abhängig ist, nur sehr langsam stattfindet, wenn dem Darm reines Wasser zugeführt wird. Die Zugabe von Glukose, das aktiv durch die Zellen in der Darmwand transportiert wird, und Natrium, das zusammen mit Glukose transportiert wird, stimuliert diese Prozesse und erhöht die Wasserabsorptionsrate [22, 48, 58, 76]. Saccharose oder kurzkettige Maltodextrine

sind ebenso effektiv bei der Anregung der Wasserabsorption wie Glukosemonomere. Mit Ausnahme von Natrium haben Elektrolyte keinen nachweisbaren Effekt auf diesen Prozeß, die Zugabe von Natrium ohne Glukose hat ebenfalls kaum oder gar keinen Effekt [23, 42]. Werden zuviele Nährstoffe zugefügt, wodurch die Osmolalität zu hoch wird, fließt Wasser in die Gegenrichtung vom Körper ins Darmlumen.

Es wurde nachgewiesen, daß hypertonische Lösungen die Nettoflüssigkeitsresorption reduzieren, da sie eine Wassersekretion in den Gastrointestinaltrakt hervorrufen, um eine Isotonie mit dem Blut zu erreichen; außerdem können sie die Magenentleerungsrate verringern. Letztere Erscheinung kann die Menge der eingenommenen Flüssigkeit beeinflussen/begrenzen [6, 7, 46, 48, 49, 67].

Die Art der verwendeten KH wirkt sich auf die Osmolalität des Getränkes aus. Monosaccharide erhöhen die Osmolalität stark, Polysaccharide relativ wenig. Damit keine sehr starken Osmolalitäten entstehen, muß die Menge der gelösten Monosaccharide also kleiner als die der Di- und Polysaccharide sein.

Im Vergleich zu reinem Wasser oder Mineralwasser, die normalerweise Wasserabsorptionsraten in der Größenordnung von rund 1 ml/cm Dünndarm/Stunde aufweisen, haben Sportgetränke im isotonischen Bereich, die ungefähr 6–8% Kohlenhydrate und ca. 20–25 mmol/l Natrium enthalten, eine Wasserabsorptionsrate von ungefähr 3–4 ml/cm/Stunde [22, 23, 42, 43, 52, 67, 71, 72]. Hypotone orale Rehydrations-Lösungen (ORL) mit einem Kohlenhydratgehalt von nur 16–20 g und 60 mmol/l Natrium können zu einer schnelleren Wasserabsorption führen [34, 42]. Aufgrund der zur Aufrechterhaltung einer tiefen Osmolalität bestehenden Limiten können sie jedoch nur eine beschränkte Menge an Kohlenhydraten liefern. Als Folge davon sind hypotone ORL weniger effektiv zur Aufrechterhaltung der körperlichen Leistungsfähigkeit, vor allem in Situationen, in denen physische Schwerarbeit geleistet wird.

Die Osmolalität von cola-artigen Erfrischungsgetränken beträgt im allgemeinen > 600 mosmol/kg, diejenige von Fruchtsäften liegt generell zwischen 700 und 1000 mosmol/kg

Tab. 3

Getränk	Osmol/kg	pH
Blutplasma	± 290	7,3
Lagerbier	140	4,2
Fanta orange	790	2,6
Bitter Lemon	788	2,6
Pepsi Cola	706	2,5
Coca Cola	650	2,5
Seven-up	484	3,2
Kaffee	72	4,9
Lipton-Tee	8	5,5
Trinkwasser Frankfurt	0,006	8,4
Milch	284	7,0
Orangensaft	935	2,6
Apfelsaft	870	2,9
Isostar	281	3,74
Punica Sport	464	3,47
Gatorade	378	3,24
Aquarius	388	2,76

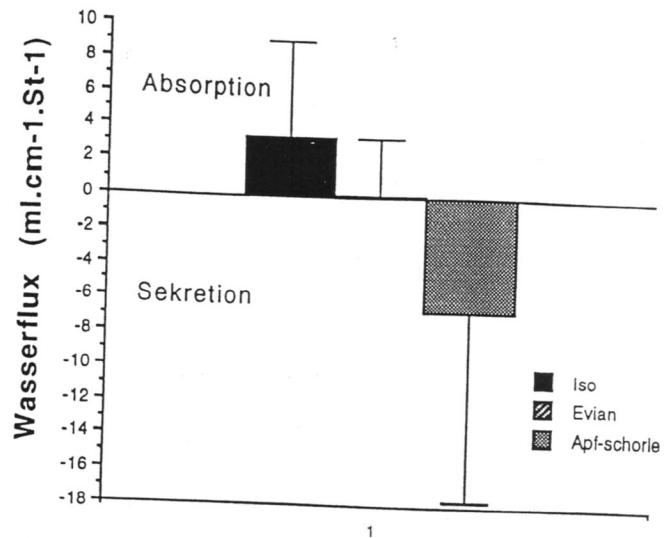


Abb. 6 Die Absorptionsrate eines Getränkes wird vorwiegend bestimmt durch seine Zusammensetzung. Eine isotonische Kohlenhydrat-Elektrolytenlösung wird schneller absorbiert als Mineralwasser. Apfelschorle verursacht eine temporäre Wassersekretion im Darm [52].

(Tab. 3). Durch die Wassersekretion aus dem Blut ins Darmlumen fällt die Osmolalität dieser Getränke rasch ab, sobald sie in den Darm gelangen. Dies führt nicht nur zu einer Verzögerung ihrer Absorption, sondern, was viel eingreifender ist, zu einer kurzfristigen Verstärkung der Dehydration, da Wasser ins Lumen des Darmtrakts aufgenommen wird. Perfusionsstudien zeigen deutlich, daß Soft-Drinks und Fruchtsäfte diesen Effekt haben [43]. Werden solche Getränke in den Darm perfundiert, werden pro Stunde ungefähr 3–7 ml Wasser/cm Darm ins Darmlumen ausgeschieden, was zu einer vorübergehenden Dehydration der Testperson führt. Selbst wenn die Menge Mineralwasser auf das Niveau von Körperflüssigkeit reduziert wird, findet trotzdem eine Wassersekretion in den Darm statt (Abb. 6). Dies deutet auf die Präsenz einer Komponente hin, die die Wasseraufnahme verhindert [35, 44]. Eine Anzahl organischer Stoffe in Fruchtsäften könnten diesen Effekt bewirken. Diese Studien zeigen klar auf, daß sowohl Zusammensetzung als auch Osmolalität wichtige Faktoren sind für die Beeinflussung der Absorptionsrate von Getränken. Obwohl oft behauptet wird, daß Apfelsaft oder eine Mischung von Fruchtsaft und Mineralwasser für eine schnelle Flüssigkeitsabsorption optimal seien, besteht kein Beweis dafür, daß dies wirklich der Fall ist ([52], Abb. 6).

Urinproduktion

Obwohl die Magenentleerungs- und Absorptionsgeschwindigkeit maßgebend sind für eine rasche Rehydration, sollte man nicht vergessen, daß der Grad der GetränkeRetention nach der Absorption für das Instandhalten der Rehydration mitbestimmend ist. So zeigen mehrere Studien, daß die Flüssigkeitsretention im Körper während und nach der Belastung mit zunehmendem Natriumgehalt vergrößert wird. Nicht nur wird das Plasmavolumen wesentlich erhöht [12], es wird auch weniger Urin ausgeschieden ([11, 45, 50, 51], Abb. 7).

Kaffein und Theophilin induzieren Diuresis. Aus diesem Grund sind Xantin-haltige Getränke für Arbeiter, die dehydriert wer-

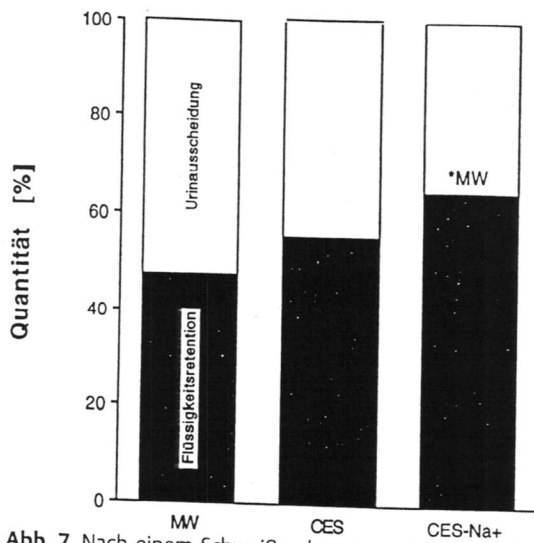


Abb. 7 Nach einem Schweißverlust von 2,5 l wurden 3,0 l eines Getränks eingenommen. Nach 6 Stunden hatte Mineralwasser einen schlechten Retentionsgrad. Ein isotonisches Getränk mit 70 g Kohlenhydrat und 600 mg Natrium (Iso-star®) führte zu einer signifikant größeren Rehydration [11].

den, nicht zu empfehlen. Ein tiefer PH-Wert und eine Karbonisierung, die PH-erniedrigend wirkt, sind ebenfalls ungünstig, da saure Getränke ebenfalls eine verstärkte Diurese induzieren ([25], Tab. 3). Rehydrationsgetränke für Arbeiter sollten deshalb einen relativ hohen PH-Wert ($> 3,5$) und eine möglichst tiefe Karbonisierung haben.

Sensorische Aspekte

Geschmack, Mundgefühl, Temperatur und Nachempfinden sind von außerordentlicher Bedeutung für die Wirksamkeit von Rehydrationsmaßnahmen. Ein Getränk kann physiologisch noch so gut zusammengesetzt sein, wenn es nicht schmeckt und erfrischend wirkt, wird es nicht in genügendem Maß getrunken.

Obwohl die physikochemische Zusammensetzung die Magenentleerungsgeschwindigkeit und die Absorption im Darm bestimmt und dadurch ein Völlegefühl im Magen oder Darm beeinflusst, sind Mund-Rachen-Stimuli und davon beeinflusste subjektive Empfindungen wichtig zur Instandhaltung einer regelmäßigen Flüssigkeitszufuhr.

So ist aus mehreren Studien bekannt, daß man ad libitum mehr von einem gesüßten Getränk einnimmt als von reinem Wasser [25, 32, 50].

Sohar [77] studierte die willkürliche Flüssigkeitseinnahme bei 19 Männern, die in 21 Tagen ± 600 km in der Hitze marschierten, beladen mit einem 16 kg schweren Rucksack. Den Männern wurde eine ganze Reihe von Getränken zur Verfügung gestellt. Tab. 4 zeigt die Präferenz der Getränkeinnahme als Mittelwert von 11 Meßpunkten während des Marsches. Alle Getränke wurden mit einer Temperatur von 1 °C verabreicht. Wasser wurde nicht gekühlt. Die Daten zeigen klar, daß kühle, gesüßte Getränke, welche leicht sauer schmecken, am beliebtesten waren. Deshalb sollte man bei Sportlern die individuellen Vorlieben testen und bei Arbeitergruppen 2-3 Getränke selektieren, aufgrund der höchsten Gruppenbeliebtheit.

Tab. 4

Getränk	mittlere Bevorzugung von Getränken am meisten bevorzugt	am wenigsten bevorzugt
Zitronensaft-Getränk	3	0
Zitronensirup-Getränk	3	0
kalter Zitronentee	2	1
kalt Wasser	2	1
Mineralwasser, (kohlenensäurehaltig)	1	1
Cola	0	0
Milch	0	0
Bier	0	1
karbonisierte Limonade	0	3
warmes Wasser	0	4

(Nach Sohar et al. [77])

Eine Karbonisierung der Getränke wird allgemein als ungünstig angesehen, da die Gasbildung im Magen ein Völlegefühl verursacht, und dadurch die quantitative Flüssigkeitseinnahme eingeschränkt wird. Außerdem wird die Möglichkeit eines Magensäurerückflusses vergrößert.

Leicht karbonisierte Getränke haben diese Nachteile nicht. Es wurde nachgewiesen, daß sie die Magenentleerungsgeschwindigkeit nicht verringern und keine negativen Einflüsse auf andere physiologische und leistungsbestimmende Parameter haben [30, 39, 40, 69, 87, 88].

Effekte auf die physische und mentale Leistungsfähigkeit

Der wichtigste Test, um ein Rehydrations- oder Energieersatz-Getränk auf seine Effektivität in einer Arbeitssituation zu untersuchen, ist dessen Effekt auf die körperliche und mentale Leistungsfähigkeit zu prüfen. Die vielzähligen Sportstudien auf diesem Gebiet waren Thema einer Reihe von umfassenden Übersichtsarbeiten [38, 48, 49, 54, 74]. Es besteht kein Zweifel darüber, daß Dehydration die Leistungskapazität reduziert, und zwar sowohl bei Ausdauer- als auch bei hochintensiven Kurzzeit-Leistungen. Die verfügbaren Beweise zeigen klar auf, daß die Einnahme von reinem Wasser, wie auch einer Reihe von anderen Getränken, die Leistungsfähigkeit im Falle einer Dehydration zwar verbessern kann, ausgewogen formulierte Getränke jedoch die effektivste Antwort auf das Problem der Wasser-, Energie-, Substrat- und Elektrolytversorgung sind. Dies gilt sowohl für den Elitesportler als auch für den Individualisten, der Rekreations-sport betreibt. Es bestehen keine Berichte über Studien, bei welchen die Aufnahme von Wasser, Soft Drinks, Fruchtsäften oder Mineralwasser/Fruchtsaft-Gemischen gleich gut oder besser bewertet wurde als die von Sportgetränken [38, 49].

Nebst einer großen Anzahl Studien aus dem Leistungssport, die einen positiven Effekt einer Rehydration mittels Kohlenhydrat-Elektrolytlösungen, während und nach der Belastung, auf die körperliche Leistungsfähigkeit und den Wasserhaushalt nachweisen, gibt es auch in der Schwerindustrie durchgeführte Studien, die zu ähnlichen Befunden führten.

So untersuchten bspw. Spioch und Nowara [78] 77 Stahlarbeiter während der Arbeit mit einem täglichen arbeitsinduzierten Schweißverlust von ± 5 kg. Die Arbeiter wurden in Zweier-

Tab. 5 Orale Rehydrationslösungen für die kombinierte flüssige Kohlenhydrat- und Elektrolytzufuhr bei Schwerarbeitern [8, 9].

notwendig	optional		
Kohlenhydrate	30–80 g/l**	Chlorid*	max. 1500 mg/l
Natrium*	max. 1100 mg/l	Kalium*	max. 225 mg/l
Osmolalität	< 500 mOsm/l*** vorzugsweise ≤ Isotonie	Magnesium*	max. 100 mg/l
Kohlenhydrat-Träger:		Kalzium*	max. 225 mg/l
		maximale KH-Menge (um starke Hypertonie oder zu hohe Konzentration** des Getränkes zu vermeiden)	
Fruktose		35 g ****	
Glukose		55 g	
Saccharose		80 g	
Maltose		80 g	
Maltodextrine		80 g	

* Mengen gemäß Tab. 2. Die höchste Zahl bezeichnet den höchsten akzeptablen Wert für die Mineralstoff-Ersetzung.

** Die Wasserresorption wird mit ca. 30 g KH/Liter maximiert. Dieser Wert entspricht auch ungefähr der minimalen KH-Menge, die zur Erreichung meßbarer Wirkungen auf den Glukose-/Energie-Stoffwechsel benötigt wird. Der obere Wert (100 g) wird angegeben, weil die Magenentleerungsraten und somit die Flüssigkeitsverfügbarkeit bei höheren Konzentrationen zu sehr vermindert sind. Außerdem wirkt sich deren osmotische Belastung zunehmend auf die Reduktion der Nettoflüssigkeitsresorption aus. Höher konzentrierte Lösungen können nicht als Rehydrationsgetränke gelten, sondern stellen vielmehr Energie-(KH)-Supplemente dar.

*** Die nach der Magenentleerung erfolgende Nettowasserresorption im Darm wird hauptsächlich durch die Substratresorption (welche Wasser mitzieht) und die osmotischen Gradienten bestimmt. Höhere (Kohlenhydrat) Lösungskonzentrationen führen zu einer Erhöhung der Lösungsresorption und somit der Wasserresorption. Eine Erhöhung der osmotischen Belastung intensiviert jedoch die osmotische Flüssigkeitssekretion im Darm. Die Nettoflüssigkeitsresorption resultiert aus den beiden gegenläufigen Wasserströmungen (Resorption-Sekretion). Eine Hyperosmolalität der Lösung wirkt somit dem Vorteil der durch den Lösungstransport bedingten Wasserresorption entgegen. Osmolalitäten von > 500 mOsm/l sind deshalb zu vermeiden.

**** Fruktose kann, bei Verwendung als einzige KH-Quelle, in Konzentrationen von > 35 g/l Gastrointestinalbeschwerden hervorrufen. Dies ist jedoch nicht der Fall, wenn sie mit anderen KH (z. B. Sukrose) kombiniert wird

gruppen verteilt. Der einen Gruppe wurde eine Elektrolytlösung verabreicht, der anderen gewöhnliche Getränke wie Wasser, Mineralwasser und Sodawasser. Unter Elektrolytgetränkeinnahme wurde die tägliche Körperhydratation verbessert und es traten weniger körperliche Beschwerden auf. Außerdem wurden geringere Ermüdung, ein verbesserter subjektiver Gefühlszustand sowie eine verbesserte Arbeitsleistung registriert.

Brooke und Toogood [3] berichten über den Einfluß der Kohlenhydratverfügbarkeit mittels Glukosegetränken bei 85 Arbeitern in einer Metallgießerei. Eine mangelhafte Kohlenhydratverfügbarkeit erhöhte die Unfallgefahr. Die Einnahme von Glukosesirupgetränken verringerte die Unfallzahl.

In einer anderen durch Brooke und Toogood [3] durchgeführten Studie bei 58 Schmiede-Arbeitern wurden ähnliche Befunde gemacht.

Indulski und Spioch [36] untersuchten 5806 Arbeiter aus der Stahl- und Glasindustrie. Das Zur-Verfügung-Stellen von Elektrolytgetränken verringerte den Dehydrationsgrad im Vergleich zu Arbeitern, die normale Getränke wie Wasser und Mineralwasser einnahmen. Als Folge wurden Ermüdungsercheinungen, ein subjektiv negativer Gefühlszustand sowie deren Einfluß auf die Arbeitsleistung verringert.

Thielen [80] untersuchte 1800 Beschäftigte in der Schwer- und weiterverarbeitenden Industrie und zeigte mittels Gewichtskontrollen nach der Schicht auf, daß viele Arbeiter täglich de-

hydriert den Arbeitsplatz verlassen. Dabei traten vorzeitige Ermüdungserscheinungen sowie Kreislaufstörungen auf. Interessanterweise wurde eine Beziehung zwischen einer ad libitum Getränkeverfügbarkeit direkt am Arbeitsplatz und der Dehydratation festgestellt. Die Aufstellung eines Teeautomaten resultierte in einer verbesserten Flüssigkeitssubstitution und geringerer Ermüdung.

Feuerwehrarbeiter, Militärs und andere Gruppen, die mit Schutzkleidung und/oder Gasmasken arbeiten müssen, sind einem großen kardiovaskulären und thermoregulatorischen Streß ausgesetzt [86], was zu einer raschen Ermüdung und Hyperthermie führt. Ähnlich wie bei Sportlern mit Schutzkleidung (American Football, Eishockey, Fechten) ist eine genügende Verabreichung von kohlenhydrat-elektrolythaltigen Getränken essentiell, um eine optimale physische und mentale Arbeitsleistung bei niedrigem Unfallrisiko zu gewährleisten.

Keul et al. [37] verabreichte 15 gesunden Männern 200 ml Wasser mit 20 g Glukose während einer 70 Minuten Fahrleistung im Kraftfahrzeugsimulator und fand eine signifikante Senkung der Fahrfehlerquote, im Vergleich zu reinem Wasser.

Schlußfolgerungen

Faßt man diese Daten zusammen, läßt sich ähnlich wie im Sport schließen, daß Arbeiter, die unter Streßbedingungen hoch konzentriert arbeiten müssen, von regelmäßigen Kohlenhydratgaben in flüssiger oder fester Form profitieren können. Beinhaltet die Arbeit außerdem in der Hitze stattfindende

physische Schwerarbeit, ist eine regelmäßige Einnahme von Kohlenhydrat-Elektrolytgetränken mehr als empfehlenswert. Für solche Rehydrationsgetränke gelten die folgenden Kriterien und Empfehlungen:

- Die Einnahme größerer Getränkevolumina bewirkt eine schnellere Rehydration als frequente kleinere Volumina.
- Die Getränketemperatur für Gruppen-Arbeiter oder Sportler, die als angenehm erfahren wird, und wenig gastrointestinale Beschwerden bewirkt, beträgt 10–15 °C.
- Wasser ist kein optimales Rehydrationsgetränk, da es
 - a) aus Geschmacksgründen das Trinken relativ schnell unattraktiv macht,
 - b) die Elektrolytkonzentrationen im Blut herabsetzt, wodurch der Durststimulus unterdrückt wird,
 - c) eine schlechte Retention im Körper hat.
- Ein Zusatz von Kohlenhydraten und Natrium beschleunigt einerseits die Absorptionsgeschwindigkeit, vermindert andererseits die Urinproduktion, und hat dadurch einen besseren Flüssigkeits-Retentionsgrad.
- Karbonisierte Getränke führen rasch zu einem Völlegefühl im Magen, was eine optimale Rehydration verhindert.
- Leicht karbonisierte Getränke haben keinen negativen Einfluß.
- Die üblichen Softdrinks haben einen zu hohen Kohlenhydratgehalt (> 100 g/l), zu viel Kohlensäure, einen zu tiefen Säuregrad (< 3,0) sowie eine zu hohe Osmolalität (> 500 mOsm/l). Sie sind deshalb für einen quantitativ bedeutsamen Flüssigkeitsersatz ungeeignet.
- Getränke für körperlich relativ inaktive Arbeiter in der Hitze (LKW-Fahrer, Piloten, Büroangestellte etc.) sollten relativ wenig Kohlenhydrate enthalten, da sie sich sonst bei täglichen größeren Flüssigkeitseinnahmen ungünstig auf den Kohlenhydratstoffwechsel und das Körpergewicht auswirken. 30–40 g KH/l werden empfohlen.
- Getränke für Schwerarbeiter sollten 40 maximal 80 g KH pro Liter enthalten und nicht stark hypertonisch sein (d.h. < 500 mOsm oder vorzugsweise ≤ 300 mOsm).

Eine auf heutigen Erkenntnissen und Beweisen beruhende allgemeine Empfehlung für die Zusammensetzung von Rehydrationsgetränken, welche einerseits schnell rehydrieren und andererseits eine hohe physische und mentale Arbeitsbereitschaft aufrechterhalten sollen, ist in Tab. 5 zu finden.

Danksagung

Ein Dankeschön geht an meine Frau Martina Brouns für die hervorragende Bearbeitung des deutschen Manuskripts.

Literatur

- ¹ Adolph, E. F.: Physiology of man in the desert. New York, Interscience Publishers (1947)
- ² Armstrong, L. E., R. W. Hubbard, P. C. Szlyk et al.: Voluntary dehydration and electrolyte losses during prolonged exercise. *Aviat Space Environ Med* 56 (1985) 765–770
- ³ Brooke, J. D., S. Toogood, L. F. Green, R. Bagley: Dietary pattern of carbohydrate provision and accident incidence in foundrymen. *Proc Nutr Soc* 32 (1973) 44A–45A
- ⁴ Brouns, F., W. H. M. Saris, N. J. Rehrer: Abdominal complaints and gastrointestinal function during long-lasting exercise. *Int J Sports Med* 8 (1987) 175–189

- ⁵ Brouns, F., W. H. M. Saris, E. Beckers et al.: Metabolic changes induced by sustained exhaustive cycling and diet manipulation. *Int J Sports Med* 10 (1989) S49–S62
- ⁶ Brouns, F.: Heat-sweat-dehydration-rehydration: a praxis oriented approach. *J Sports Sci* 9 (1991 a) 143–152
- ⁷ Brouns, F.: Gastrointestinal symptoms in athletes: physiological and nutritional aspects. *Advances in Nutrition and topsport*. Basel, Karger (1991 b) 166–199
- ⁸ Brouns, F., W. Saris, H. Schneider: Rationale for upper limits of electrolyte replacement during exercise. *Int J Sport Nutr* 2 (1992) 229–238
- ⁹ Brouns, F.: Die Ernährungsbedürfnisse von Sportlern. Heidelberg, Springer-Verlag (1993)
- ¹⁰ Brouns, F., J. Senden, E. J. Beckers, W. H. M. Saris: Osmolarity does not affect the gastric emptying rate of oral rehydration solutions. *J Parenteral Enteral Nutr* 19 (1995 a) 403–406
- ¹¹ Brouns, F., J. Senden, E. Kovacs, W. H. M. Saris: The effect of different rehydration solutions on post-exercise fluid balance in trained cyclists. *Proc. Nottingham Conference "Dehydration, Rehydration and Exercise in the Heat"* (1995b)
- ¹² Candas, V., J. P. Libert, G. Brandenberger, J. C. Sagot et al.: Hydration during exercise. Effects on thermal and cardiovascular adjustments. *Eur J Appl Physiol* 55 (1986) 113–122
- ¹³ Costill, D. L.: Gastric emptying of fluids during exercise. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Fluid Homeostasis During Exercise*. Carmel, Benchmark Press (1990) 97–127
- ¹⁴ Coyle, E. F., A. R. Coggan: Effectiveness of carbohydrate feeding in delaying fatigue during prolonged exercise. *Sports Med* 1 (1984) 446–458
- ¹⁵ Coyle, E. F., M. Hamilton: Fluid replacement during exercise: effects on physiological homeostasis and performance. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Fluid Homeostasis During Exercise*. Carmel, Benchmark Press (1990) 281–308
- ¹⁶ Coyle, E. F.: Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery. *J Sports Sci* 9 (1991) 29–52
- ¹⁷ Coyle, E. F.: Carbohydrate feedings: effects on metabolism, performance and recovery. *Advances in nutrition and topsport*. Basel, Karger (1991)
- ¹⁸ Décombaz, J., D. Sartori, M.-J. Arnaud et al.: Oxidation and metabolic effects of fructose or glucose ingested before exercise. *Int J Sports Med* 6 (1985) 282–286
- ¹⁹ DGE and D. G. f. Ernährung: Empfehlungen für die Nährstoffzufuhr. Frankfurt/Main, DGE (1991)
- ²⁰ Embon, O. M., G. A. Rose, T. Rosenbaum: Chronic dehydration stone disease. *Br J Urol* 66 (1990) 357–362
- ²¹ Fitzsimons, J. T.: The physiology of thirst and sodium appetite. Cambridge, Cambridge University-Press (1979)
- ²² Gisolfi, C. V., R. Summers, H. Schedl: Intestinal absorption of fluids during rest and exercise. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Fluid Homeostasis During Exercise*. Carmel, Benchmark Press (1990) 129–180
- ²³ Gisolfi, C. V., R. W. Summers, H. P. Schedl, T. L. Bleiler: Intestinal water absorption from select carbohydrate solutions in humans. *J Appl Physiol* 73(1992) 2142–2150
- ²⁴ Greenleaf, J. E., F. Sargent: Voluntary dehydration in man. *J Appl Physiol* 20 (1965) 719–724
- ²⁵ Greenleaf, J. E.: The consequences of exercise on thirst and fluid intake. *Thirst – Physiological and psychological aspects*. London, Springer-Verlag (1991) 413–421
- ²⁶ Greenleaf, J. E.: Problem: thirst, drinking behavior, and involuntary dehydration. *Med Sci Sports Exerc* 24 (1992) 645–656
- ²⁷ Grossman, S. P.: Thirst and sodium appetite: physiological basis. New York, Academic Press (1990)

- ²⁸ Grucza, R., J.-L. Lecroart, G. Carette et al.: Effect of voluntary dehydration on thermoregulatory responses to heat in men and women. *Eur J Appl Physiol* 56 (1987) 317–322
- ²⁹ Guezennec, C. Y., P. Satabin, F. Duforez et al.: Oxidation of corn starch, glucose, and fructose ingested before exercise. *Med Sci Sports Exerc* 21 (1989) 45–50
- ³⁰ Hickey, M. S., D. L. Costill, S. W. Trappe: Drinking behavior and exercise-thermal stress: role of drink carbonation. *Int J Sport Nutr* 4 (1994) 8–21
- ³¹ Hubbard, R. W., B. L. Sandick, W. T. Matthew et al.: Voluntary dehydration and alliesthesia for water. *J Appl Physiol: Respir Environ Exercise Physiol* 57 (1984) 868–875
- ³² Hubbard, R. W., P. C. Szlyk, L. E. Armstrong: Influence of thirst and fluid palatability on fluid ingestion during exercise. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Fluid Homeostasis During Exercise*. Carmel, Benchmark Press (1990) 39–95
- ³³ Hunt, J. N., M. T. Knox: Regulation of gastric emptying. *Handbook of Physiology - Alimentary Canal*. (1968) 1917–1935
- ³⁴ Hunt, J. B., E. J. Elliott, P. D. Faiclough et al.: Water and solute absorption from hypotonic glucose-electrolyte solutions in the human jejunum. *Gut* 33 (1992) 479–483
- ³⁵ Hyams, J. S., A. M. Leichter: Apple juice: an unappreciated cause of chronic diarrhea. *Am J Dis Child* 139 (1985) 503–505
- ³⁶ Indulski, J. A., F. M. Spioch: Heat stress and voluntary dehydration in steelworkers. *Polish J. Occup. Med* 1 (1988) 286–297
- ³⁷ Keul, J., G. Huber, M. Lehmann, A. Berg: Einfluss von Dextrose auf Fahrleistung, Konzentrationsfähigkeit, Kreislauf und Stoffwechsel im Kraftfahrzeug-Simulator (Doppelblindstudie in cross-over-design). *Akt Ernähr* 7 (1982) 7–14
- ³⁸ Lamb, D. R., G. R. Brodowicz: Optimal use of fluids of varying formulations to minimize exercise-induced disturbances in homeostasis. *Sports Med* 3 (1986) 247–274
- ³⁹ Lambert, C. P., D. L. Costill, G. K. McConell et al.: Fluid replacement after dehydration: influence of beverage carbonation and carbohydrate content. *Int J Sports Med* 13 (1992) 285–292
- ⁴⁰ Lambert, G. P., T. L. Bleiler, R. T. Chang et al.: Effects of carbonated and noncarbonated beverages at specific intervals during treadmill running in the heat. *Int J Sports Nutr* 3 (1993) 177–193
- ⁴¹ Leiper, J. B., R. J. Maughan: Effect of bicarbonate or base precursor on water and solute absorption from a glucose-electrolyte solution in the human jejunum. *Digestion* 41 (1988a) 39–45
- ⁴² Leiper, J. B., R. J. Maughan: Comparison of absorption rates from two hypotonic and two isotonic rehydration solutions in the intact human jejunum. *Clinical Science* 75 (1988b) 22P
- ⁴³ Leiper, J. B., R. J. Maughan: Comparison of absorption rates from an oral rehydration solution (ORS) and five commercial soft drinks (abstr.). *Clin Sci* 82 (1992) 24P
- ⁴⁴ Leiper, J. B., F. Brouns, R. J. Maughan: Hyperosmolality of apple juice is not the main factor which promotes water secretion in the intact human jejunum. *Proc Nutr Soc in press* (1995)
- ⁴⁵ Mack, G., R. Wemple, E. Nadel: Influence of ingested Na⁺ on body fluid restoration following exercise induced dehydration (abstr.). *Med Sci Sports Exerc* 25 (1994) S4
- ⁴⁶ Maughan, R. J., C. E. Renn, M. Gleeson and J. B. Leiper: Metabolic and circulatory responses to the ingestion of glucose polymer and glucose/electrolyte solutions during exercise in man. *Eur J Appl Physiol* 56 (1987) 356–362
- ⁴⁷ Maughan, R. J.: Effects of diet composition on the performance of high intensity exercise. *Nutrition et Sport* (1990) 201–211
- ⁴⁸ Maughan, R. J.: Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise. *J Sports Sci* 9: 117–142, 1991
- ⁴⁹ Maughan, R. J., T. D. Noakes: Fluid replacement and exercise stress – a brief review of studies on fluid replacement and some guidelines for the athlete. *Sports Med* 12 (1991) 16–31
- ⁵⁰ Maughan, R. J., J. B. Leiper: Post-exercise rehydration in man: effects of voluntary intake of four different beverages (abstract). *Med Sci Sports Exerc* 26 (1994a) S2
- ⁵¹ Maughan, R. J., J. H. Owen, S. M. Shirreffs, J. B. Leiper: Post-exercise rehydration in man: effects of electrolyte addition to ingested fluids. *Eur J Appl Physiol* 69 (1994b) 209–215
- ⁵² Maughan, R. J., J. B. Leiper, F. Brouns: Rehydration bei Sportlern: Die optimale Zusammensetzung eines Getränks für schnellen Flüssigkeitsersatz. *Dt Zt Sportmed* 46 (1995) 313–317
- ⁵³ Mosora, F., M. Lacroix, A. Luyckx et al.: Glucose oxidation in relation to the size of the oral glucose loading dose. *Metabolism* 30 (191) 1143–1149
- ⁵⁴ Murray, R.: The effects of consuming carbohydrate-electrolyte beverages on gastric emptying and fluid absorption during a following exercise. *Sports Med* 4 (1987) 322–351
- ⁵⁵ Murray, R., J. G. Seifert, D. E. Eddy et al.: Carbohydrate feeding and exercise: effect of beverage carbohydrate content. *Eur J Appl Physiol* 59 (1989) 152–158
- ⁵⁶ Nadel, E. R.: Temperature regulation and prolonged exercise. *Prolonged Exercise*. Indianapolis, Benchmark Press (1988) 125–151
- ⁵⁷ Nadel, E. R., G. W. Mack, H. Nose: Influence of fluid replacement beverages on body fluid homeostasis during exercise and recovery. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Fluid Homeostasis During Exercise*. Carmel, Benchmark Press (1990) 181–205
- ⁵⁸ National Research Council: Recommended Dietary Allowances. Washington, National Academy Press (1989)
- ⁵⁹ Newsholme, E. A., A. R. Leech: *Metabolism in Exercise*. Biochemistry for the medical sciences. Chichester, Wiley (1983) 357–381
- ⁶⁰ Noakes, T. D., N. Goodwin, B. L. Rayner, T. Branken et al.: Water intoxication: a possible complication during endurance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 17 (1985) 370–375
- ⁶¹ Noakes, T. D., B. A. Adams, K. H. Myburgh et al.: The danger of an inadequate water intake during prolonged exercise. *Eur J Appl Physiol* 57 (1988) 210–219
- ⁶² Noakes, T. D., R. J. Norman, R. H. Buck et al.: The incidence of hyponatremia during prolonged ultraendurance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 22 (1990) 165–170
- ⁶³ Pallikarakis, N., B. Jandrain, R. Pirnay et al.: Remarkable metabolic availability of oral glucose during long-duration exercise in humans. *J Appl Physiol* 60 (1986) 1035–1042
- ⁶⁴ Ramsey, D. J., D. A. Booth: Thirst – physiological and psychological aspects. London, Springer-Verlag (1991)
- ⁶⁵ Rehrer, N. J., E. Beckers, F. Brouns et al.: Exercise and training effects on gastric emptying of carbohydrate beverages. *Med Sci Sports Exerc* 21 (1989) 540–549
- ⁶⁶ Rehrer, N. J.: Gastric emptying, secretion, and electrolyte flux at rest, after ingestion of beverages with varying electrolyte compositions. Limits to fluid availability during exercise (PhD thesis). Haarlem, De Vrieseborch (1990) 85–108
- ⁶⁷ Rehrer, N. J.: Aspects of dehydration and rehydration during exercise. *Advances in Nutrition and Top sport*. Basel, Karger (1991) 128–146
- ⁶⁸ Rehrer, N. J., F. Brouns, E. J. Beckers, W. H. M. Saris: The influence of beverage composition and gastrointestinal function on fluid and nutrient availability during exercise. *Scand J Med Sci Sports* 4 (1994) 159–172
- ⁶⁹ Ryna, A. J., A. E. Navarre, C. V. Gisolfi: Consumption of carbonated and noncarbonated sports drinks during prolonged treadmill exercise in the heat. *Int J Sport Nutr* 1 (1991) 225–239
- ⁷⁰ Saris, W. H. M., M. A. Erp-Baart van, F. Brouns et al.: Study on food intake and energy expenditure during extreme sustained exercise: the Tour de France. *Int J Sport Med* 10 (1989) S26–S31
- ⁷¹ Saris, W. H. M., F. Brouns, E. J. Beckers, N. J. Rehrer: Flüssigkeits- und Nährstoffverfügbarkeit während körperlicher Belastung. Einfluß der Getränkezusammensetzung und der gastrointesti-

- nalen Funktion (Teil 1). *Ernährungs-Umschau* 39 (1992) 355–361
- ⁷² Saris, W. H. M., F. Brouns, E. J. Beckers, N. J. Rehrer: Flüssigkeits- und Nährstoffverfügbarkeit während körperlicher Belastung. Einfluß der Getränkezusammensetzung und der gastrointestinalen Funktion (Teil 2). *Ernährungs-Umschau* 39 (1992) 410–412
- ⁷³ Sawka, M. N.: Body fluid responses and hypohydration during exercise-heat stress. *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*. Indianapolis, Benchmark Press (1988) 227–266
- ⁷⁴ Sawka, M. N., K. B. Pandolf: Effects of body water loss on physiological function and exercise performance. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Fluid Homeostasis During Exercise*. Carmel, Benchmark Press (1990) 1–38
- ⁷⁵ Siegenthaler, W. et al.: *Klinische Pathophysiologie*. Stuttgart, Georg Thieme Verlag (1979)
- ⁷⁶ Sladen, G. E. G.: *Methods of studying intestinal absorption in man. Intestinal absorption in man*. London, Academic Press (1975) 1–49
- ⁷⁷ Sohar, E., J. Kaly, R. Adar: The Prevention of voluntary dehydration. Symposium on Environmental physiology and psychology in arid conditions, Paris, United Nations Educational Scientific and Cultural Organizations (1962)
- ⁷⁸ Spioch, F. M., M. Nowara: Voluntary dehydration in men working in heat. *Int Arch Occup Environ Health* 46 (1980) 233–239
- ⁷⁹ Sutton, J. R.: Clinical implications of fluid imbalance. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Fluid Homeostasis During Exercise*. Carmel, Benchmark Press (1990) 425–455
- ⁸⁰ Thielen, R. G.: Trinkgewohnheiten in der Schwerindustrie. *ASA* 7 (1972) 317–321
- ⁸¹ Vist, G. E., R. J. Maughan: Gastric emptying of ingested solutions in man: effect of beverage glucose concentration. *Med Sci Sports Exerc* 26 (1994) 1269–1273
- ⁸² Vist, G. E., R. J. Maughan: The effect of osmolality and carbohydrate content on the rate of gastric emptying of liquids in man. *J Physiol* 486 (1995) 523–531
- ⁸³ Wagenmakers, A. J. M., E. J. Beckers, F. Brouns et al.: Carbohydrate supplementation, glycogen depletion, and amino acid metabolism during exercise. *Am J Physiol* 260 (1991) E883–E890
- ⁸⁴ Wagenmakers, A. J. M.: Role of Amino acids and ammonia in Mechanisms of fatigue. *Med Sport Sci. Basel, Karger* 34 (1992) 69–86
- ⁸⁵ Wenger, C. B.: Human heat acclimatization. *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*. Indianapolis, Benchmark Press (1988) 153–197
- ⁸⁶ White, M. K., T. K. Hodous: Reduced work tolerance associated with wearing protective clothing and respirators. *Am Ind Hyg Assoc J* 48 (1987) 304–310
- ⁸⁷ Zachwieja, J. J., D. L. Costill, J. J. Widrick et al.: Effects of drink carbonation on the gastric emptying characteristics of water and flavored water. *Int J Sport Nutr* 1 (1991) 45–51
- ⁸⁸ Zachwieja, J. J., D. L. Costill, G. C. Beard et al.: The effects of a carbonated carbohydrate drink on gastric emptying, gastrointestinal distress, and exercise performance. *Int J Sport Nutr* 2 (1992) 239–250

Dr. F. Brouns

Ernährungsforschungszentrum
Universität Limburg
Maastricht
Niederlande