

Methodische Untersuchungen zur Schätzung des Verlustes von Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium über den Schweiß am Beispiel eines 10 km Laufes

C. Wenk, M. Kuhnt, P. Kunz und G. Steiner

Institut für Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH Zentrum, Zürich, Schweiz

Methodical studies of the estimation of the electrolytic loss of sodium, potassium, calcium, and magnesium through the skin during a 10 km run

Zusammenfassung: Zur Abschätzung der Elektrolytverluste über die Haut wurde ein 10 km Lauf auf einer 400 m Tartanbahn von 9 männlichen Probanden durchgeführt. Durch die Haut ausgeschiedene Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesiumionen wurden in einer vorbehandelten Kleidung aufgefangen und anschliessend ausgewaschen. Der auf dem Körper verbliebene Teil der Ionen wurde durch Waschen mit entionisiertem Wasser entfernt. Von dem Spülwasser der Kleidung und von dem Waschwasser des Körpers wurden Proben auf einem Atomabsorptionsspektrometer analysiert. Ergänzend wurden Konzentrationen von Hormonen und Metaboliten im Blut vor und nach dem Lauf bestimmt, um Veränderungen des Stoffwechsels zu erkennen.

Bei einer durchschnittlichen Lufttemperatur von 21 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 35 % verloren die Läufer durchschnittlich 1,45 kg an Gewicht, was 1,95 % des Körpergewichtes entsprach. Die mittlere Laufzeit betrug 40:30 Minuten.

Die einzigen signifikanten Veränderungen der Serumkonzentrationen waren Anstiege der Freien Fettsäuren und des Freien Glycerins, welche zusammen mit der tendenzmässigen Zunahme des Glucose- und Abnahme des Insulinspiegels mit der erhöhten sympathoadrenalen Aktivität erklärt werden können.

Durchschnittlich wurden 20 mg Calcium, 5 mg Magnesium, 200 mg Kalium und 800 mg Natrium im Schweiß gefunden. Der Vergleich mit Literaturwerten zeigt, dass sich diese Zahlen in den dort beschriebenen Grössenordnungen bewegen. Die beschriebene Methode kann darum für zukünftige Versuche empfohlen werden.

Summary: An estimation of the electrolytic losses through the skin was evaluated in a run over a distance of 10 km on a 400 m Tartan-trac. Na, K, Ca, and Mg excreted by the skin were collected in standardised clothing and thereafter washed out. The remaining electrolytes on the skin were collected by washing the body with deionized water. In addition, the concentrations of hormones and metabolites in blood before and after the race were ascertained.

Mean ambient temperature and relative humidity amounted to 21 °C and 35 %, respectively. The mean performance was 40.5 min. and the average body weight loss was 1.45 kg.

The only significant changes in the serum concentrations were the increases of free fatty acids and glycerol. This can be explained, together with a slight increase of glucose and a decrease of insulin, by a higher sympathoadrenergic activity.

In the mean 20 mg calcium, 5 mg magnesium, 200 mg potassium, and 800 mg sodium were lost by the skin per kg body weight loss. Those amounts compared well with corresponding data found in literature. The described method can be proposed for further experiments.

Schlüsselwörter: Physische Leistung – Schweißverluste – Mineralstoffverluste – Regulation

Key words: Physical performance – sweat losses – mineral losses – regulation

Einleitung

Langstreckenläufer verlieren durch das Schwitzen grosse Mengen an Wasser und Elektrolyten. Die Bedeutung der Flüssigkeitsverluste während körperlicher Aktivität auf die Gesundheit und die Leistung ist gut bekannt [u.a. 1, 5, 6, 13]. Die an die Umgebung abgegebene Flüssigkeitsmenge kann durch die kurzfristige Körpergewichtsdifferenz relativ einfach abgeschätzt werden.

Über die Menge und Wirkung der Ionenverluste während einer sportlichen Leistung bestehen grosse Unsicherheiten. Dies ist mindestens teilweise auf die Schwierigkeiten zurückzuführen, die bei der Messung der Verluste über das Schwitzwasser auftreten.

Ziel dieser Arbeit war es, die Ausscheidung von Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesiumionen durch die Haut an Läufern zu schätzen. Zur Abklärung von Veränderungen des Stoffwechsels wurden zusätzlich Konzentrationen verschiedener Hormone und Metaboliten im Blut analysiert.

Methodik

9 männliche Probanden im Alter von 22 bis 45 Jahren liefen auf einer 400 m Tartanbahn 25 Runden (10 km). Die ausgewählten Probanden entsprachen einem unterschiedlich gut trainiertem Kollektiv (Freizeitsportler bis Leistungssportler). Sie trainierten im Mittel 3 bis 5mal pro Woche und legten dabei ca. 30–120 km zurück. Am Vortag und am Versuchstag musste eine bilanzierte Ernährung eingehalten werden und zu festgelegten Zeiten verzehrt werden. Alkohol war nicht gestattet, Wasser (kein Mineralwasser) ad libitum erlaubt. Während des Laufes wurde von den Probanden weder Flüssigkeit noch feste Nahrung aufgenommen. Am Versuchstag schien die Sonne, die durchschnittliche Temperatur betrug 21,3°C und die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit 35 %.

Die Läufer wurden zu Beginn des Laufes vor dem Duschen und am Ende des Laufes nach dem Duschen auf 100 Gramm genau gewogen. Am Start und am Ziel wurde den Läufern aus einer Armvene rund 8 ml Blut in ein Serumröhrchen und etwa 3 ml Blut in ein heparinisiertes Röhrchen entnommen (Vacutainer, Becton Dickinson, Basel). Aus der heparinisierten Probe wurde mit einer Hämatokrit-Zentrifuge der Hämatokrit an Ort und Stelle bestimmt.

Die Serumprobe wurde bei Umgebungstemperatur zur Gerinnung gebracht und anschliessend in einer Kühlzentrifuge zentrifugiert. Das Serum wurde in Polystyrolröhrchen abpipettiert und sofort bei –20°C gelagert. Im Labor der Gruppe Physiologie und Hygiene des Institutes für Nutztierwissenschaften der ETH Zürich wurden nach den dort üblichen Methoden folgende Inhaltsstoffe bestimmt: Glucose, Freie Fettsäuren, Freies Glycerin, immunoreaktives Insulin, Calcium und Chlorid.

Die Serumkonzentrationen aller gemessener Blutparameter wurden auf den Anfangshämatokritwert bezogen. Erythrozyten verlassen bei physischer Aktivität die Blutbahn nicht. Deshalb ist nach [16] die Veränderung des Hämatokrits ein Mass für die Hämokonzentration und zur Korrektur anderer Konzentrationswerte (u.a. Wasser) benutzbar.

Die Elektrolytverluste wurden in einer vorbehandelten, standardisierten Kleidung aufgefangen und der auf der Haut verbliebene Teil durch Waschen des Körpers in einer definierten Menge entionisierten Wassers erfasst.

Die standardisierte Kleidung, bestehend aus Langarmleibchen, Laufhose, Unterhose und Socken, wurde vor jedem Gebrauch in einer Waschmaschine mit entionisiertem Wasser und einem Flüssigwaschmittel gewaschen. Die Waschttemperaturen betrugen bei Leibchen, Unterhosen und Socken 40°C, bei Laufhosen 30°C. Nach dem Wasch-

vorgang wurde zweimal gespült und geschwungen. Die Trocknung erfolgte in einem Wäschetrockner bei 40°C. Sämtliches Material, das mit den Kleidungsstücken in Berührung kam, wurde vorher mit entionisiertem Wasser gründlich gespült.

Nach dem Lauf wurden die Leibchen von der übrigen Kleidung getrennt gesammelt. Die Läufer wuschen sich in einem Behälter mit 10 Kilogramm entionisiertem Wasser sorgfältig und entnahmen dann eine Probe von 250 ml in eine Plastikflasche. Die Leibchen und die übrige Kleidung wurden getrennt mit entionisiertem Wasser ausgewaschen. Jede Charge wurde zweimal gespült und geschwungen. Eine Spülung dauerte etwa 8 Minuten, das Schwingen bei 1000 U/min etwa 6 Minuten. Das Spülwasser wurde aufgefangen, die Spülwassermenge gewogen und eine Probe zur Analyse entnommen.

Die bei diesem Verfahren in den Kleidern verbleibende Wassermenge wurde in einem Vorversuch bestimmt und bei der Auswertung berücksichtigt. Diese Waschmethode erwies sich in Vorversuchen zudem als sehr zuverlässig für die Bestimmung der durch das Schwitzen in der Kleidung aufgefangenen Mineralstoffionen.

Aus den entnommenen Proben wurde Natrium im Institut für klinische Chemie des Universitätsspitals Zürich mit Flammenemission bestimmt. Die Bestimmung von Magnesium (Verdünnung 1:50) und Kalium (Verdünnung 1:500) erfolgte auf einem Atomabsorptionsspektrometer (Varian SpectrAA System) im Labor für Bodenkunde der ETH Zürich.

Als nachgewiesene Ionen wurde die Summe der Ionen (z.B. Natrium) bezeichnet, die in den Fraktionen Waschwasser, Spülwasser 1 und 2 des Leibchens sowie Spülwasser 1 und 2 der übrigen Kleidung gefunden wurde. Die Anzahl Spülungen pro Fraktion war durch den grossen Zeitaufwand beschränkt. In einem Test mit den Leibchen konnte jedoch festgestellt werden, dass nach zweimaligem Waschen über 95 % der Ionen erfasst werden konnten.

Die nachgewiesenen Ionen wurden einerseits als ausgeschiedene Gesamtmenge und andererseits als Ionen pro kg Gewichtsverlust dargestellt. Letztere Grösse wurde gewählt, da nicht gemessen werden konnte, wieviel Wasser als „destilliertes Wasser“ den Körper über die Atemwege verliess und wieviel als Mineralstoffe enthaltender Schweiß. Somit war eine Berechnung der Konzentration der Ionen im Schweiß allein nicht möglich.

Bei folgenden Bestimmungen ergaben sich Probleme:

Calcium im Serum: Lipämische Seren ergeben fälschlich hohe Werte. Zwei Werte aus lipämischen Seren wurden deshalb nicht berücksichtigt.

Kalium im Serum: Schon eine minimale Hämolyse erhöht den Kaliumgehalt des Serums, da der Kaliumgehalt der Erythrozyten etwa 20mal höher ist als derjenige des Serums. Eine Probe wies eine deutliche Verfärbung auf, die auf eine Hämolyse hinwies. Aus diesem Grunde wurde sie in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse sind in Form von Mittelwerten (\bar{x}) und Standardabweichungen (sd) dargestellt (Tabelle 1). Die Mittelwertvergleiche wurden mit dem T-Test für nicht verbundene Stichproben durchgeführt. Für signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) ist das Signifikanzniveau angegeben.

Ergebnisse und Diskussion

Blutparameter

Tabelle 1 enthält die Serumkonzentrationen der gemessenen Blutparameter vor und nach dem 10 km Lauf. Aufgeführt sind die Mittelwerte von 9 Läufern, die die Strecke in 34:24 bis 52:06 Minuten (Mittel 40:30) zurückgelegt hatten. Dabei ergab sich ein mittle-

Tab. 1. Hämatokrit und Serumkonzentrationen der gemessenen Blutparameter am Start und Ziel des 10 km Laufes (N=9)

	Start		Ziel		Differenz		sign.
	x	sd	x	sd	x	sd	
Hämatokrit [%]	44.0	1.6	45.3	1.7	1.3	0.7	ns
Calcium [mmol/l]	2.45	0.15	2.46	0.12	0.01	0.01	ns
Magnesium [mmol/l]	0.95	0.15	0.84	0.14	-0.11	0.12	ns
Kalium [mmol/l]	4.80	0.43	4.78	0.37	-0.02	0.41	ns
Natrium [mmol/l]	144.0	1.7	142.6	3.4	-1.4	2.7	ns
Chlorid [mmol/l]	111.5	3.6	110.6	3.4	-0.9	3.9	ns
Glucose [mmol/l]	4.95	0.51	5.41	0.87	0.46	0.93	ns
Fr. Glycerin [mmol/l]	0.081	0.036	0.204	0.063	0.124	0.046	***
Fr. Fettsäuren [mmol/l]	0.328	0.119	0.785	0.419	0.457	0.371	**
immunoreaktives Insulin [U/ml]	17.04	9.22	12.88	7.72	-4.16	7.41	ns

sign.: Irrtumswahrscheinlichkeiten der Unterschiede zwischen Start- und Zielwert:

- signifikante: ** $p \leq 0.01$
- *** $p \leq 0.001$
- nicht signifikante ns $p \geq 0.05$

rer Gewichtsverlust von 1,45 kg (1,28 bis 1,74 kg) oder 1,95 % (1,72 bis 2,34 %) des Anfangskörpergewichtes.

Die leichte (nicht signifikante) Zunahme des Hämatokrits lässt vermuten, dass der Wasserverlust des extrazellulären Kompartimentes in dieser kurzen Zeit nicht vollständig durch interstitielles Wasser ersetzt werden konnte [siehe auch 11, 14]. Keine grossen Veränderungen des Plasmavolumens, auch bei grossen Wasserverlusten, wurden von [7] bei Untersuchungen von Dehydratation durch Hitze, durch physische Belastung und physische Belastung in der Hitze gefunden. Die Untersuchungen erstreckten sich jedoch über einen wesentlich längeren Zeitraum.

Gegen Ende des Laufes liefen einige Läufer wahrscheinlich im anaeroben Bereich. Nach [16] bleiben bei anaerober Belastung die Konzentrationen von Calcium und Magnesium unter Berücksichtigung der Hämokonzentration weitgehend gleich, d.h. dass Magnesium und Calcium nicht vermehrt aus dem Muskel freigesetzt werden. Die

Natrium- und Kaliumkonzentrationen werden jedoch vom pH-Wert des Blutes beeinflusst, da möglicherweise die Natrium-Kalium-Pumpe um so mehr gehemmt wird, je grösser die Wasserstoffionenkonzentration ist. Wir müssen davon ausgehen, dass zusätzliches Kalium die Muskelzelle verlässt und Natrium vermehrt in die Muskelzelle hineingelangt, wenn der pH-Wert sinkt [16].

Im Gegensatz zu der von [16] beschriebenen Konstanz der Plasmakonzentration von Magnesium stehen die Ergebnisse in unserem Versuch. Magnesium zeigte die deutlichste, allerdings nicht signifikante Abnahme (relativ) aller Ionen.

Über eine Abnahme des Mg-Spiegels im Serum berichten ebenfalls [4, 8]. [18] spricht bei Azidose von einer Erniedrigung der Kaliumkonzentration in den Zellen und einer Erhöhung im Extrazellulärraum und damit auch im Plasma. Auch bei Eiweiss- und Glycogenabbau wird Kalium aus den Zellen freigesetzt. Umgekehrt führt Glucoseaufnahme in die Zellen und Glycogenaufbau in den Zellen zu einer Kaliumverschiebung in die Zellen.

Die Kaliumkonzentration in unserem Versuch hat sich im Serum nicht verändert. Keine Veränderung des Kaliumserumspiegels stellten auch [10, 14, 21] fest. Hingegen berichten [2, 11] über einen Kaliumanstieg im Blut bis zu 5 %. [15] führt die gefundenen Konzentrationsunterschiede von Kalium auf den variablen Zeitpunkt der Blutentnahme, vor allem unter Feldbedingungen, zurück. In der post-exercise-Periode erreicht der Plasma-Kaliumgehalt wieder rasch den Normalwert [15].

Von allen gemessenen Blutkonzentrationen kam es nur bei den Freien Fettsäuren und bei dem Freien Glycerin zu einem signifikanten Anstieg während des Laufes über 10 km. Tendenzmässig konnte ein Anstieg der Glucose und ein Rückgang des Insulins im Serum festgestellt werden. Während der Gehalt für verschiedene Elektrolyte weitgehend konstant blieb, wurde für Magnesium ein nicht signifikanter Rückgang beobachtet.

Die Konzentrationsveränderungen von Glucose (nicht signifikant), Freien Fettsäuren (signifikant), Freiem Glycerin (signifikant) und immunoreaktivem Insulin zeigen die Auswirkungen der von [5] und auch anderen Autoren beschriebenen erhöhten sympathoadrenalen Aktivität.

Ionenausscheidung durch die Haut

Die während des 10 km Laufes durch die Haut ausgeschiedenen Ionen sind sowohl als Summe der nachgewiesenen Ionen wie auch als Ionen pro kg Gewichtsverlust aus Tabelle 2 ersichtlich.

Tab. 2. Mittlere Ionenausscheidung während des 10 km Laufes durch die Haut: gesamthaft gefundene Ionen und Ionen pro kg Gewichtsverlust (N=9)

Ionen	gesamthaft gefunden		pro kg GV	
	x	sd	x	sd
	[mg]		[mg/kg]	
Calcium	19	4,6	13	3,1
Magnesium	5	2,1	3	1,5
Kalium	207	47	143	25
Natrium	801	319	556	214
Total Ionen	1032	350	716	234

GV: Gewichtsverlust

Die gesamten nachgewiesenen Ionenverluste über die Haut betrugen rund 0,7 g pro kg Gewichtsverlust. Der überragende Anteil bezog sich auf Natrium und Kalium. Dagegen waren die Calcium- und Magnesiumverluste klein. Sie dürften in dieser Grössenordnung für Überlegungen einer speziellen Ernährung nicht von Bedeutung sein.

Der durchschnittliche von uns bestimmte Natrium/Kalium-Quotient betrug 3.82 ($s = 1.19$). Dieser Wert liegt nach [22] zwischen den Tabellenwerten für Schweiß bei normaler (5.23, $s = 2.09$) und kochsalzarmer (3.31, $s = 2.21$) Diät. Nach [12] hat der Primärschweiß eine isotone Elektrolytkonzentration in bezug auf das Plasma. Natrium wird im Ductus der Schweißdrüse aktiv rückresorbiert, so dass die Konzentration von Natrium im Endschweiß kleiner ist. Bei steigender Schweißrate nimmt die Natriumkonzentration zu. Die Natriumkonzentration des Endschweißes liegt zwischen 460 und 2300 mg/l [12]. Die Kaliumkonzentration nimmt ebenfalls von 195 mg/l im Primärschweiß auf 390–1365 mg/l im Endschweiß zu. Bei steigender Schweißrate geht sie jedoch bis gegen die Primärschweißkonzentration zurück [12]. Bei teilweiser anaerober Belastung kann die extrazelluläre Kaliumkonzentration aufgrund der von [16] und [18] beschriebenen Auswirkungen (vgl. oben) ansteigen.

Die Menge gefundener Kaliumionen korrelierte mit der Laufgeschwindigkeit. Je schneller die 10 km gelaufen wurden, desto mehr Kaliumionen wurden gefunden (Korrelationskoeffizient 0.70, signifikant mit $p \leq 0.05$). Der Vergleich der eigenen Ergebnisse mit jenen von [1, 6, 9, 14] zeigt eine relativ gute Übereinstimmung der analysierten Ionenverluste im Schweiß.

Nach einer Literaturschau ausgewählter Studien, in denen der Schweiß ebenfalls unter Anwendung eines Ganzkörper-Abspülverfahrens unter verschiedenen Bedingungen untersucht wurde [1], liegt der von uns ermittelte Natriumgehalt im Ganzkörperschweiß im mittleren, der Kaliumgehalt jedoch im oberen Bereich der Spanne der verglichenen Studien. Sehr gute Übereinstimmung des Kaliumgehaltes im Ganzkörperschweiß ergibt sich jedoch mit der Studie von [6]. Die Werte für Calcium und Magnesium befanden sich in unserer Studie im Vergleich zu [1] im unteren Bereich.

Die Abhängigkeit des Elektrolytverlustes durch den Schweiß von der Flussrate wird kontrovers diskutiert [3, 9 u.a.].

Die Interpretation der Schweißanalysen zwischen den einzelnen Studien bereitet Schwierigkeiten, da ein direkter Vergleich nur bei Übereinstimmung der angewendeten Methodik (Ganzkörper-Schweißanalyse oder Schweiß-Sammlung an einzelnen Körperregionen) möglich ist.

Hinzukommende Differenzen können zurückzuführen sein auf Unterschiede im Trainingszustand und der Akklimatisation der Athleten, auf individuelle Schwankungen der Elektrolytzusammensetzung des Schweißes sowie auf Unterschiede in der Intensität des Schwitzens [1, 9].

Die Ganzkörper-Schweißanalyse, wie hier dargestellt, ist jedoch der regionalen Einzelanalyse überlegen, weil letztere vor allem zu einer Überschätzung einzelner Werte (z.B. Kalium) führen kann [1].

In Übereinstimmung mit anderen Autoren [3, 1 u.a.] scheint uns deshalb die getestete Methode der Ganzkörper-Schweißanalyse geeignet zu sein.

Literatur

1. Brouns F. (1992) Sport-Wärme-Schweiß-Dehydratation-Rehydratation. Leistungssport 5
2. Costill DL et al. (1976) Exercise induced sodium conservation: changes in plasma renin and aldosterone. Medicine and Science in Sports and Exercise 8:209–13

3. Costill DL (1977) Sweating: its composition and effects on body fluids. *Annals of the New York Academy of Science* 301:160–174
4. Franz KB et al (1985) Physiological changes during a marathon, with special reference to magnesium. *Journal of the American College of Nutrition* 4:187–194
5. Galbo H, Gollnick PD (1984) Hormonal changes during and after exercise. *Med Sci Sports* 17:97–110
6. González-Alonso J, Heaps CL, Coyle EF (1992) Rehydration after exercise with common beverage and water. *Int J Sports Med* 13:399–406
7. Kozłowski S, Saltin B (1964) Effect of sweat loss on body fluids. *J Appl Physiol* 19:1119–1124
8. Mader et al (1990) Magnesiumsubstitution im Höhenttraining der Rudernationalmannschaft in Vorbereitung auf die Olympischen Spiele – Ergebnisse einer kontrollierten Studie. *Magnesium-Bulletin* 12:69–78
9. Maughan RJ (1992) Fluid and electrolyt loss and replacement in exercise. In: Williams C and Delvin JT (eds) *Foods, Nutrition and Sports Performance*. E & FN Spon, London
10. Meytes I et al (1969) Physiological and biochemical changes during a marathon race. *International Journal of Biometeorology* 13:317
11. Rehrer NJ (1990) Limits to fluid availability during exercise. *Uitgeverij De Vrieseborch-Haarlem*, 165 ff
12. Sato K (1977) The Physiology, Pharmacology, and Biochemistry of the Eccrine Sweat Gland. *Rev Physiol Pharmacol* 79, Springer Verlag
13. Sawka MN, Greenleaf JE (1992) Current concepts concerning thirst, dehydration, and fluid replacement: overview. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 643
14. Schwyn M (1990) Energiehaushalt und Mineralstoffwechsel bei einem Lauf mit unterschiedlich gut trainierten Versuchspersonen sowie unterschiedlicher Kohlenhydratzufuhr über 40 km. Diplomarbeit ETH Zürich, Institut für Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung
15. Stansbie D et al. (1992) 1982 zit. In: Williams C and Delvin JT (eds) *Foods, Nutrition and Sports Performance*, Kap 9. E & FN Spon, London
16. Stegemann J (1984) *Leistungsphysiologie*. 3. Auflage, Thieme-Verlag, Stuttgart New York
17. Suter E (1989) Langzeiteffekte von Ausdauertraining auf kardiovaskuläre Risikofaktoren. Diss ETH Zürich Nr 9028
18. Ullrich KJ (1979) Wasserhaushalt. In: Keidel W (Hrsg) *Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie*. 5. Auflage, Thieme, Stuttgart
19. Verde T et al. (1982) Sweatcomposition in exercise and heat. *J Appl Physiol* 53:1540
20. Weissmann N, Pileggi VJ (1974) Inorganic ions. In: Henry RJ, Cannon DC, Winkelmann JW. *Clinical chemistry: Principles and technisc*, 2nd edition. Medical Department, Harper & Row, Hagerstown, Maryland
21. Whiting PH, Maughan RJ, Miller JDB (1984) Dehydration and serum biochemical changes in runners. *Europ J Appl Physiol* 52:183–187
22. *Wissenschaftliche Tabellen Geigy* (1977) Teilband Körperflüssigkeiten. 8. Auflage, Basel

Eingegangen 8. Februar 1993
akzeptiert 7. Juni 1993

Für die Verfasser:

Prof. Dr. C. Wenk, Institut für Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH Zentrum,
8092 Zürich, Schweiz