

Zentrum der Biologischen Chemie der Universität, Frankfurt

Tierexperimentelle Untersuchungen zum Einfluß von pflanzlichen Hydrokolloiden (Quellstoffen) auf die intestinale Resorption

H. Förster und I. Hoos

Mit 8 Abbildungen

(Eingegangen am 12. März 1977)

Die stark wasserbindenden pflanzlichen Hydrokolloide werden seit langer Zeit in zahlreichen Lebensmitteln als „Quellstoffe“, „Bindemittel“ oder „Dickungsmittel“ industriell eingesetzt (8). Zu diesem Zweck sind diese Substanzen allerdings lediglich in sehr niedriger Konzentration erforderlich, um die technologischen Eigenschaften der entsprechenden Lebensmittel zu verbessern. In den letzten Jahren wurden Versuche unternommen, die pflanzlichen Hydrokolloide in größerem Umfang als unverdauliche Füllstoffe zur Herstellung von kalorienverminderten Lebensmitteln zu verwenden. Hierfür sind im Prinzip wesentlich größere Mengen erforderlich als für den früheren Verwendungszweck. Allerdings werden die Möglichkeiten bei einer Verwendung als „Füllstoffe“, d. h. als nicht

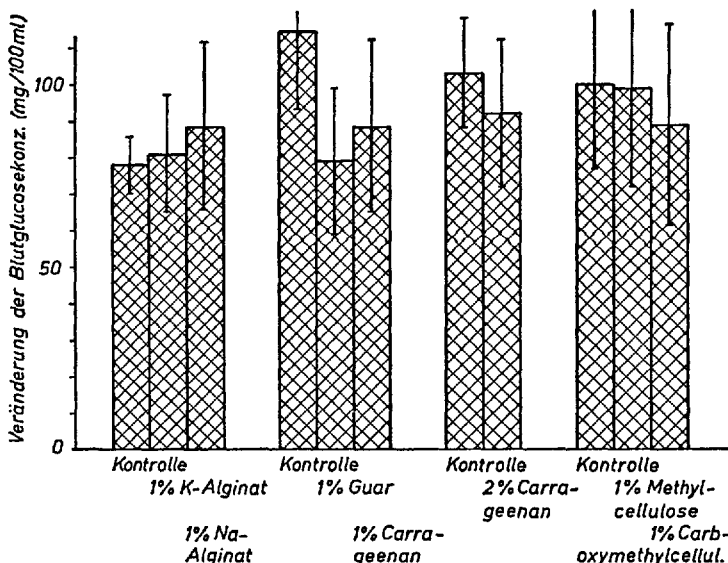


Abb. 1 Einfluß des Zusatzes von verschiedenen nicht resorbierbaren Polysacchariden auf die Veränderung der Blutglukosekonzentration während der Glukoseresorption aus dem Dünndarm von Ratten (5 ‰ = 278 mmol/l).

verwertbare Nahrungsbestandteile, durch das außerordentliche Wasserbindungsvermögen der pflanzlichen Hydrokolloide begrenzt. Beim Einsatz als Quellstoffe sind Konzentrationen von 0,1–1 % dieser Substanzen ausreichend, um das gewünschte Ziel zu erreichen. Bei Konzentrationen von 2 %–3 % an pflanzlichen Hydrokolloiden im verzehrsfertigen Zustand wird in den meisten Fällen die Viskosität der entstandenen Gele oder der gequollenen Verbindungen so groß, daß eine vernünftige Verarbeitung zu Speisen nicht mehr gegeben ist. Trotzdem kann davon ausgegangen werden, daß diese Substanzen über lange Zeiträume (bis zu mehreren Jahren) in recht konstanten und nicht unerheblichen Mengen mit der Nahrung zugeführt werden könnten.

Bei einer derartigen Verwendung zur Herstellung kalorienverminderter Lebensmittel besteht die Möglichkeit, daß die Hydrokolloide die Resorption von Substanzen im Darmlumen durch Behinderung der Diffusion oder auch durch spezifischere Wirkungen auf einzelne Verdauungsenzyme beeinträchtigen. Ferner wurde die Befürchtung geäußert, daß der Ionenhaushalt bei Zufuhr großer Mengen von Hydrokolloiden beeinflusst werden könnte (6).

Die vorliegenden tierexperimentellen Untersuchungen wurden vorgenommen, um an einem einfachen Modell zu prüfen, ob die Resorption von Glukose und die enzymatische Spaltung von Maltose durch die Zufuhr der verschiedenen Hydrokolloide beeinflusst wird. Gleichzeitig wurden die Veränderungen der Konzentration von Natrium und Kalium im Darmlumen während der Resorptionsvorgänge gemessen. Diese beiden Kationen sind von besonderer Bedeutung, da die sauren Hydrokolloide vielfach in Form ihrer Salze verwendet werden.

Material und Methode

Die Untersuchungen wurden an männlichen Wistarratten (Hoe WISKf [SPF 71]) vorgenommen. Die 300–350 g schweren Tiere wurden durch subkutane Injektionen mit Nembutal (0,1 g/kg Körpergewicht) narkotisiert. Anschließend wurden nach Laparatomie Sonden durch den Magen in das Jejunum und in das untere Ileum eingelegt. Dadurch stand der gesamte Dünndarm für die Resorptionsprüfungen zur Verfügung. Nach Vernähung der Laparatomie wurden 15 ml Lösung mit Zusatz der Hydrokolloide in das Darmlumen injiziert. Als Kontrolle dienten jeweils parallel (d. h. am gleichen Tag) durchgeführte Untersuchungen ohne Hydrokolloidzusatz. Nach einer Stunde wurde der Darminhalt mit 50 ml 0,3 %iger Perchlorsäure herausgewaschen. Die Analyse von Glukose wurde enzymatisch mit Hexokinase / Glukose-6-phosphatdehydrogenase durchgeführt (7). Maltose wurde durch Zusatz von Maltase gespalten und im gleichen Ansatz ebenfalls als Glukose bestimmt. Parallel wurden C¹⁴-markierte Substanzen verwendet, deren Nachweis mit einem Flüssigkeitsszintillations-Spektrometer (Tricarb-Packard) vorgenommen wurde. Natrium und Kalium wurden flammenphotometrisch bestimmt. Alle Analysen erfolgten am gleichen Tag.

Ergebnisse

1. Blutzuckerbestimmungen

Während der einstündigen Resorptionsperiode für Glukose beträgt der Blutglukoseanstieg um 80–100 mg/100 ml (Abb. 1). Die geringen Unterschiede in den einzelnen Gruppen sind offenbar zufälliger Natur. Bei den

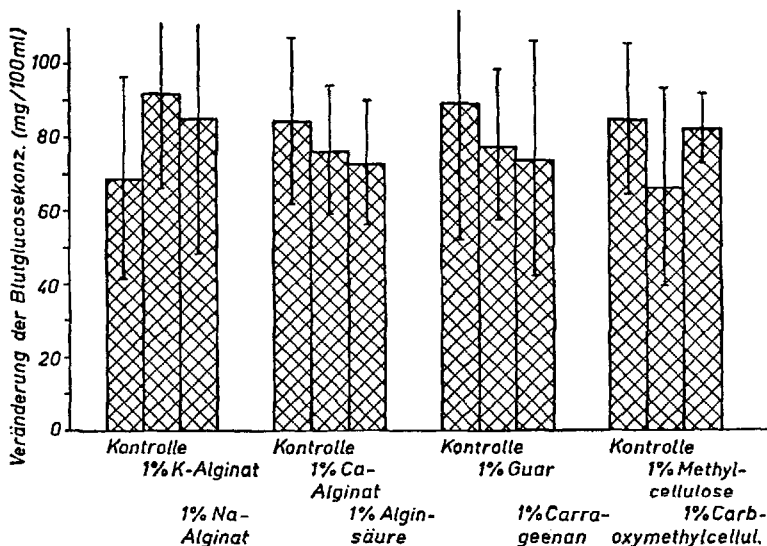


Abb. 2. Einfluß des Zusatzes von verschiedenen nicht resorbierbaren Polysacchariden auf die Veränderung der Blutglukosekonzentration während der Maltoseresorption aus dem Dünndarm von Ratten (5 ‰ = 139 mmol/l).

Kontrollversuchen der Gruppe 2 (Zusatz: 1‰ Guar, 1‰ Carrageenan) sind anscheinend überhöhte Werte gemessen worden, welche sich auch von den Kontrollwerten der übrigen Gruppen unterscheiden. Diese Ergebnisse legen nahe, bei der isolierten Interpretation von Blutglukosekonzentrationsänderungen vorsichtig zu sein.

Der Anstieg der Blutglukosekonzentration während der Maltoseresorption (Abb. 2) unterscheidet sich nur unwesentlich von den Verhältnissen bei der Glukoseresorption. Auch hier sind die geringfügigen Differenzen in den einzelnen Gruppen anscheinend zufälliger Art.

2. Einfluß auf die Glukoseresorption

Die gewählte Glukosekonzentration 5 ‰ (= 278 mmol/l) ist dem Blut isoosmotisch. Sie ermöglicht eine Prüfung der maximalen intestinalen Glukoseresorption (4, 5). Auch bei der Interpretation dieser Ergebnisse lassen sich keine eindeutigen Hinweise auf eine Veränderung der intestinalen Resorption durch den Zusatz von Hydrokolloiden gewinnen (Abb. 3). Lediglich Zusätze von Alginaten und Carrageenan haben eine Hemmung der Resorption um etwa 25 ‰ zur Folge. Bei Verdoppelung der Carrageenankonzentration ist jedoch keine Resorptionshemmung mehr festzustellen. Auch dieses Ergebnis mahnt zur Vorsicht vor einer zu weitgehenden Interpretation.

3. Einfluß auf die Maltoseresorption

Insgesamt gesehen ist die Maltoseresorption mit der Glukoseresorption weitgehend identisch (Abb. 4). Die relative Erhöhung der Maltoseresorption in Gegenwart von Guar um etwa 20 ‰ (Abb. 4) hat wahrscheinlich

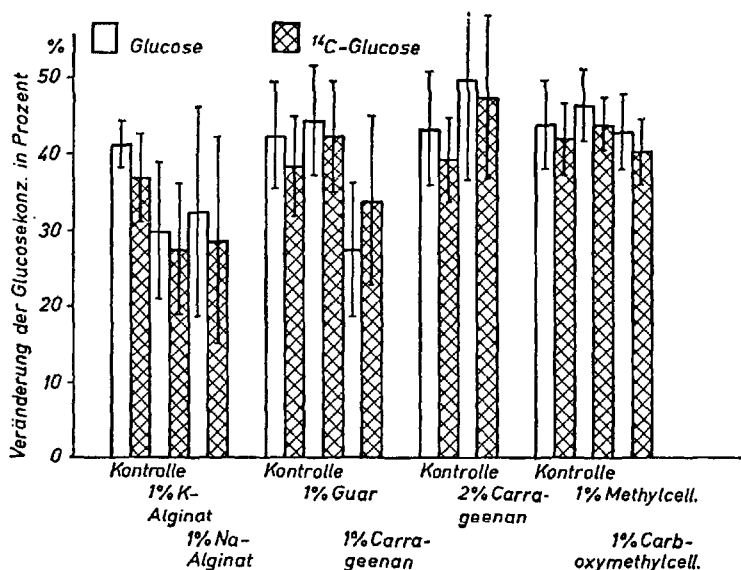


Abb. 3. Einfluß eines Zusatzes von verschiedenen nicht resorbierbaren Polysacchariden auf die Resorption von Glukose aus dem Dünndarm von Ratten (Glukosekonzentration: 5 % = 278 mmol/l).

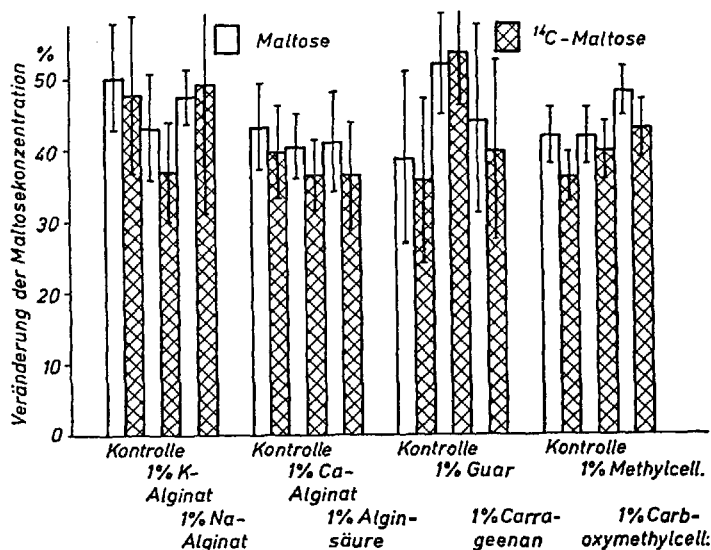


Abb. 4. Einfluß eines Zusatzes von verschiedenen nicht resorbierbaren Polysacchariden auf die Resorption von Maltose aus dem Dünndarm von Ratten (Maltosekonzentration: 5 % = 139 mmol/l).

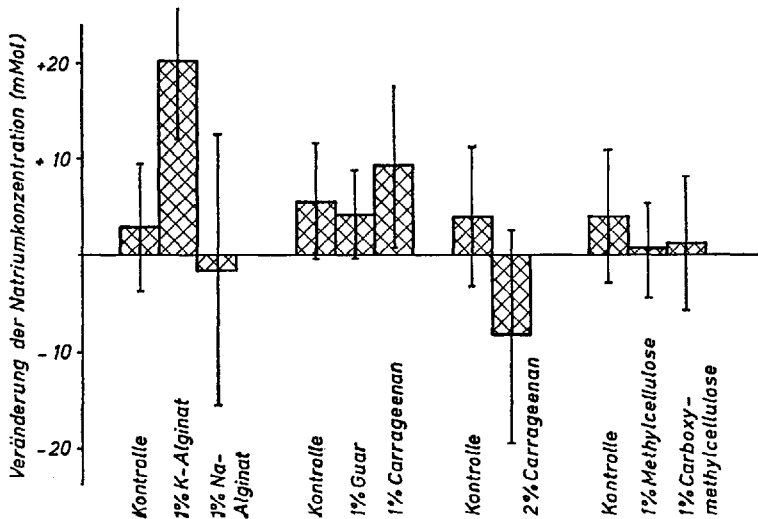


Abb. 5. Einfluß des Zusatzes von verschiedenen nicht resorbierbaren Polysacchariden auf die Veränderung der Natriumkonzentration im Dünndarm von Ratten bei gleichzeitigem Zusatz von Glukose (5 % = 278 mmol/l) und von NaCl (0,45 % = 77 mmol/l).

ebensowenig Bedeutung wie die Verminderung der Glukoseresorption durch die gleiche Substanz (Abb. 3). Es sollte darauf hingewiesen werden, daß die Maltaseaktivität der Darmepithelzellen höher ist als die Fähigkeit zur Resorption von Maltose. Infolgedessen nahm die Konzentration an freier Glukose im Darmlumen während des Versuchs ständig zu.

4. Einfluß auf die Veränderung der Natriumkonzentration

Während der Glukoseresorption ist in der Regel eine Ausscheidung von Natriumionen in das Darmlumen festzustellen, wie die positiven Veränderungen anzeigen (Abb. 5). Doch weisen die großen Werte für die Streuung der Einzelwerte darauf hin, daß diesen Veränderungen nicht zuviel Gewicht gegeben werden sollte. Lediglich die besonders große Ausscheidung von Natrium bei Zusatz von Kaliumalginat könnte eine gewisse Aussagekraft haben. Man könnte folgern, daß Natrium gegen Kalium ausgetauscht wird.

Die Ergebnisse für die Veränderungen der Natriumkonzentration während der Maltoseresorption sind ähnlich, allerdings ist die Gesamttendenz in Richtung Natriumaufnahme verschoben (Abb. 6). Die Aussagekraft der relativ geringen Veränderungen bei hoher Streuung sollte nicht überbewertet werden. Auch bei diesen Versuchen ist die Natriumausscheidung bei Zusatz von Natriumalginat bemerkenswert.

5. Einfluß auf die Veränderung der Kaliumkonzentration

Die Lösungen waren primär kaliumfrei, insofern ist insbesondere bei den Kontrollversuchen eine Kaliumausscheidung zu erwarten, d. h., die Veränderungen sind in der Regel positiv (Abb. 7 und Abb. 8). Im Vergleich

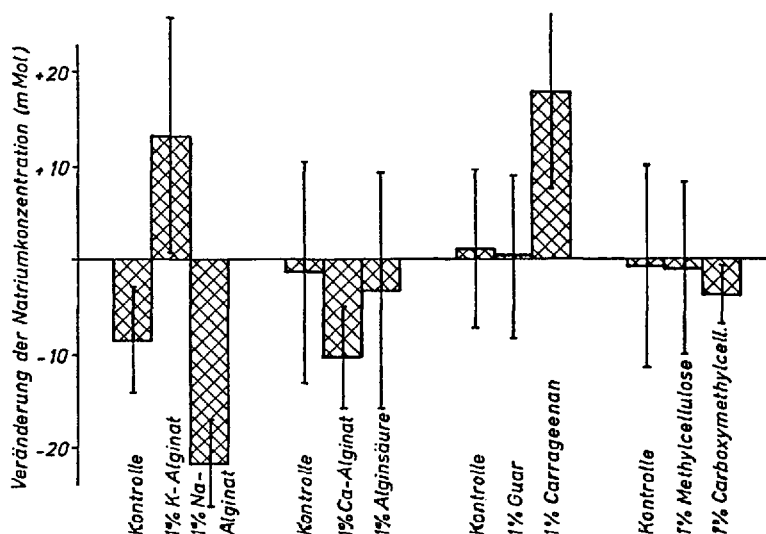


Abb. 6. Einfluß des Zusatzes von verschiedenen nicht resorbierbaren Polysacchariden auf die Veränderung der Natriumkonzentration im Dünndarm von Ratten bei gleichzeitigem Zusatz von Maltose (5 % = 139 mmol/l) und von NaCl (0,45 % = 77 mmol/l).



Abb. 7. Einfluß des Zusatzes von verschiedenen nicht resorbierbaren Polysacchariden auf die Veränderung der Kaliumkonzentration im Dünndarm von Ratten bei gleichzeitigem Zusatz von Glukose (5 % = 278 mmol/l) und von NaCl (0,45 % = 77 mmol/l).

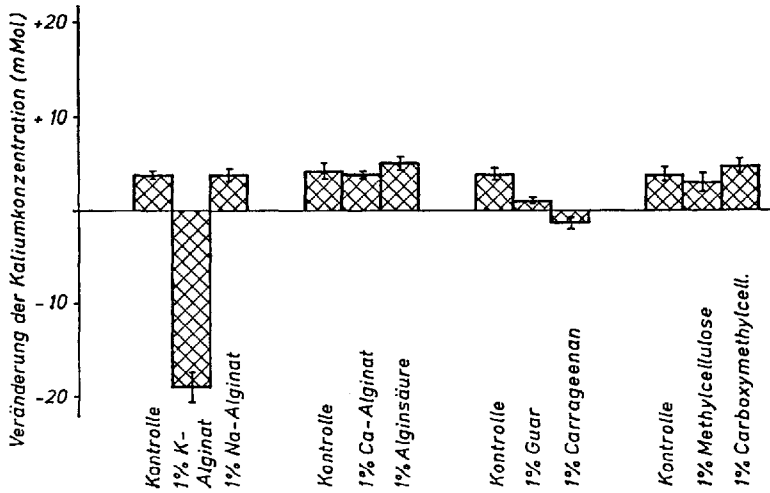


Abb. 8. Einfluß des Zusatzes von verschiedenen nicht resorbierbaren Polysacchariden auf die Veränderung der Kaliumkonzentration im Dünndarm von Ratten bei gleichzeitigem Zusatz von Maltose (5 % = 139 mmol/l) und von NaCl (0,45 % = 77 mmol/l).

zu den großen Streuungen der Ergebnisse bei den Natriumveränderungen (Abb. 5 und Abb. 6) ist die relativ geringe Streuung bei den Werten für die Kaliumveränderungen auffallend. Die Ursache hierfür ist vor allen Dingen in den wesentlich einheitlicheren Bedingungen und der verhältnismäßig niedrigen Konzentration zu sehen.

Eine Kaliumresorption (mit negativen Änderungen) kann nur eintreten, wenn infolge des Hydrokolloidzusatzes primär Kalium im Darmlumen enthalten war. Dies gilt insbesondere für die Versuche mit Kaliumalginat, hierbei war in beiden Versuchsserien eine deutliche Kaliumresorption festzustellen (Abb. 7 und Abb. 8). Auch Carrageenan enthielt offenbar Kalium, es ist ebenfalls eine Kaliumaufnahme festzustellen.

Die deutlich verminderte Kaliumausscheidung bei Guarzusatz ist ebenfalls eine Folge des Kaliumgehaltes von Guar.

Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse führen zunächst zu der Schlußfolgerung, daß die als Füllstoffe verwendeten pflanzlichen Hydrokolloide die intestinale Resorption einfacher Substanzen nicht behindert. Weder die Resorption von Glukose noch von Maltose wird unter den verwendeten Bedingungen durch den Zusatz von Hydrokolloiden behindert. Die verwendete Glukosekonzentration erlaubt eine Messung der maximalen Glukose-resorptionskapazität des Darmlumens, wie sie unter physiologischen Bedingungen wohl kaum jemals ausgenutzt wird. Diese Resorptionsleistung entspricht umgerechnet etwa 2 g/kg Körpergewicht und Stunde. Da lediglich um 50 % der applizierten Glukosemenge aus dem Darmlumen verschwindet, ist davon auszugehen, daß während der gesamten Prüfperiode

eine genügende Glukosekonzentration im Darmlumen vorhanden ist. Die fehlende Beeinflussung der Maltoseresorption spricht ebenfalls dafür, daß die (gelierten) Substanzen die Diffusion von nichtpolaren Substanzen nicht wesentlich beeinträchtigen. Auch die Maltaseaktivität wird anscheinend nicht verändert, wie die konstant hohen Konzentrationen von freier Glukose im Darmlumen am Ende des Versuches anzeigen. Die Maltase ist an dem Bürstensaum des Darmepithels gebunden, es handelt sich hierbei also nicht um ein „klassisches“ Verdauungsenzym, welches etwa nach Sekretion aus dem Pankreas im Darmlumen wirkt. Trotzdem hätten mögliche Störungen der Maltaseaktivität zu meßbaren Veränderungen der Maltoseresorption führen müssen.

Nach der Beurteilung der Veränderungen der Ionenkonzentration ist zu berücksichtigen, daß die Messungen im Dünndarm erfolgen. Verwendet wurden gegenüber Blut hyperosmolare Lösungen (besonders bei Untersuchungen der Glukoseresorption). Die Ionenkonzentration innerhalb des Darmlumens strebt einem Wert von 100–150 mmol/l für Natrium und 5–10 mmol/l für Kalium zu. Infolgedessen sind auch bei den ohne Quellstoffzusatz durchgeführten Kontrollversuchen wesentliche Veränderungen festzustellen. Zunächst ist bei primär kaliumfreiem Untersuchungsgut eine Ausscheidung von Kalium in das Darmlumen nachzuweisen, dies gilt auch für die Kontrollversuche. Hingegen findet eine Kaliumresorption statt bei den Versuchen, bei welchen das Kaliumsalz der Alginsäure verwendet wurde. Auch bei den Versuchen mit Zusatz von Guar und Carrageenan war Kalium mit den Quellstoffen in das Darmlumen gelangt, dies läßt sich bereits an den Ergebnissen ablesen. Eine Resorption von Kalium findet aus dem Dünndarm immer dann statt, wenn die Kaliumkonzentration im Darmlumen auf mehr als 10 mmol/l ansteigt (siehe auch bei 2, 3, 4). Unterschiede grundsätzlicher Art zwischen den Versuchen mit Maltose und mit Glukose bestehen nicht. Auch die relativ einheitlichen Werte für die Kontrollversuche weisen darauf hin, daß es sich um einfache Vorgänge handeln muß.

Bei den Veränderungen der Natriumkonzentration im Darmlumen ist zunächst zu bemerken, daß die Werte für die einzelnen Untersuchungen wesentlich stärker streuen als bei Kalium. Dies steht mit verschiedenen Ursachen in Zusammenhang. Der osmotische Druck war bei den Maltoseversuchen deutlich niedriger als bei den Glukoseversuchen, da Maltose infolge seines höheren Molekulargewichtes einen entsprechend niedrigeren osmotischen Druck besitzt. Insofern waren die Anpassungsvorgänge bei diesen Versuchen anderer Art als bei „Glukoseversuchen“. Unabhängig vom vorhandenen Zucker wurde Natrium in das Darmlumen ausgeschieden, sofern das Kaliumsalz der Alginsäure vorlag. Besonders stark ausgeprägt war hingegen bei den Maltoseversuchen die Natriumresorption bei Zusatz von Natriumalginat. Im übrigen überwog die Natriumresorption bei den Maltoseversuchen (Abb. 6) und die Natriumausscheidung bei den Glukoseversuchen (Abb. 5).

Aus den Ergebnissen bei der Resorption im Dünndarm kann man folgern, daß bei den Ionen eine Tendenz zur Anpassung an die physiologischen Konzentrationen im Extrazellularraum besteht. Es ist sicherlich absolut ausgeschlossen, daß die anionischen Hydrokolloide (Carboxy-

methylcellulose, Alginsäure, Carrageenan) als freie Säuren ausgeschieden werden. Diese Substanzen liegen im gesamten Intestinaltrakt als Salze vor. Offenbar wird im Dünndarm die Ausbildung der Natriumsalze bevorzugt, Kalium wird bei Alginaten (auch bei Carrageenan) gegen Natrium ausgetauscht. Dies ist natürlich noch nicht die endgültige Situation, da anschließend noch Veränderungen im Dickdarm stattfinden können. Es ist wahrscheinlich, daß hier Natrium zumindestens teilweise gegen Kalium ausgetauscht wird (siehe auch 3).

Entsprechende Untersuchungen wurden bislang nicht durchgeführt. Bei vorsichtiger Schätzung würden Natrium und Kalium wohl etwa zur Hälfte an der Salzbildung aus sauren Quellstoffen beteiligt sein.

Zusammenfassung

Im Tierversuch wurde der Einfluß von verschiedenen Hydrokolloiden (Quellstoffen) auf die intestinale Resorption von Glukose und von Maltose untersucht. Parallel wurden die Veränderungen der Konzentrationen von Natrium und von Kalium bestimmt. Untersucht wurden Alginate (Natrium, Kalium, Calcium), Carrageenan, Guar, Methylzellulose und Carboxymethylzellulose.

Die Resorption von Glukose (Konz.: 5 ‰ = 278 mmol/l) und von Maltose (Konz.: 5 ‰ = 139 mmol/l) wurde durch den Zusatz von Hydrokolloiden (Konz.: 1 ‰–2 ‰) nicht beeinflusst. Offenbar wurde auch die Hydrolyse von Maltose nicht verändert. Natrium wurde lediglich dann resorbiert, wenn die Konzentration im Darm höher als 120–150 mmol/l war, anderenfalls wurde Natrium in das Darmlumen ausgeschieden. Kalium wurde aus dem Darmlumen resorbiert, sofern die Kaliumkonzentration im Darmlumen höher als 6–10 mmol/l war, anderenfalls wurde Kalium in das Darmlumen ausgeschieden. Infolgedessen wurden Kaliumsalze der Hydrokolloide im Dünndarm zu Natriumsalzen umgewandelt. Die neutralen Hydrokolloide hatten keinen Einfluß auf die Ionenänderungen.

Die Hydrokolloide hatte demnach keinerlei Einfluß auf Verdauung und Resorption von Maltose und Glukose. Die sauren Hydrokolloide wurden im Dünndarm zu Natriumsalzen übergeführt, im Dickdarm wurde Natrium gegen Kalium ausgetauscht.

Summary

The influence of various gums on the intestinal absorption of glucose and maltose was investigated in the experimental animal. The alterations in the concentrations of sodium and potassium were determined additionally. The following gums were used: alginate (sodium, potassium, calcium salts), Carrageenan, guaran, methylcellulose, carboxymethylcellulose.

The absorption of glucose (concentration: 5 ‰ = 278 mmol/l) and maltose (concentration: 5 ‰ = 139 mmol/l) was not influenced by the addition of gums (concentration: 1 ‰–2 ‰). The hydrolysis of maltose was not inhibited also. Sodium was absorbed from the intestinal lumen if the concentration was higher than 120–150 mmol/l, otherwise sodium was excreted into the lumen. Potassium was absorbed if the potassium concentration was raised above 6–10 mmol/l, otherwise potassium was excreted into the lumen. The neutral gums did not influence the alterations in ion concentration.

The gums tested do not influence the digestion and absorption of maltose or glucose. The acid gums are present in the small intestine in the form of their sodium salts. In the large intestine, sodium is exchanged for potassium.

Literatur

1. Aurichio, S., A. Rubino, R. Tosi, G. Semenza, M. Landolt, H. Kistler, A. Prader, *Enzym. biol. clin.* **3**, 193 (1963). – 2. Fernandez, L. B., E. Gonzales, A. Marzi, M. I. Paolo, *New Engl. J. Med.* **284**, 295 (1971). – 3. Fordtran, J. S., *New Engl. J. Med.* **284**, 329 (1971). – 4. Förster, H., B. Menzel, *Z. Ernährungswiss.* **11**, 24 (1972). – 5. Förster, H., *Habilitationsschrift*, Frankfurt 1969. – 6. Nelson, R. A., in: *Nutrients in processed foods* (P. L. White, D. C. Fletcher eds.), p. 125 (Acton, Mass. 1975). – 7. Schmidt, F. H., *Klin. Wschr.* **39**, 1244 (1961). – 8. Whistler, R. L., ed., *Industrial gums*, 2nd ed. (New York 1973).

Anschrift der Verfasser:

H. Förster und I. Hoos, Zentrum der Biologischen Chemie der Universität,
Theodor-Stern-Kai 7, 6000 Frankfurt/M.