

Dr. Patrick Wilson

DER DARM TRAINIERT MIT

Wie du Verdauungsbeschwerden
vorbeugst und deine sportliche
Leistung verbesserst

riva

Dr. Patrick Wilson

DER DARM TRAINIERT MIT

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://d-nb.de> abrufbar.

Für Fragen und Anregungen

info@rivaverlag.de

Wichtige Hinweise

Dieses Buch ist für Lernzwecke gedacht. Es stellt keinen Ersatz für eine individuelle medizinische Beratung dar und sollte auch nicht als solcher benutzt werden. Wenn Sie medizinischen Rat einholen wollen, konsultieren Sie bitte einen qualifizierten Arzt. Der Verlag und der Autor haften für keine nachteiligen Auswirkungen, die in einem direkten oder indirekten Zusammenhang mit den Informationen stehen, die in diesem Buch enthalten sind.

Ausschließlich zum Zweck der besseren Lesbarkeit wurde auf eine genderspezifische Schreibweise sowie eine Mehrfachbezeichnung verzichtet. Alle personenbezogenen Bezeichnungen sind somit geschlechtsneutral zu verstehen.

1. Auflage 2021

© 2021 by riva Verlag, ein Imprint der Münchner Verlagsgruppe GmbH

Türkenstraße 89

80799 München

Tel.: 089 651285-0

Fax: 089 652096

Die amerikanische Originalausgabe erschien 2020 bei VeloPress unter dem Titel *The athlete's gut*. © 2020 by Patrick Wilson. All rights reserved.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Übersetzung: Marion Zerbst

Redaktion: Dr. Frauke Bayer

Umschlaggestaltung: Karina Braun nach der Covergestaltung des amerikanischen Originals von Corey Hollister

Umschlagabbildung: Shutterstock.com/asnstudio

Illustrationen: Andrew J. Nilsen

Layout: Erin Farrell, Factor E Creative

Satz: Ortrud Müller, Die Buchmacher – Atelier für Buchgestaltung, Köln

Druck: Florjancic Tisk d.o.o., Slowenien

Printed in the EU

ISBN Print 978-3-7423-1611-0

ISBN E-Book (PDF) 978-3-7453-1301-7

ISBN E-Book (EPUB, Mobi) 978-3-7453-1302-4

Weitere Informationen zum Verlag finden Sie unter

www.rivaverlag.de

Beachten Sie auch unsere weiteren Verlage unter www.m-vg.de

Dr. Patrick Wilson

DER DARM TRAINIERT MIT

**Wie du Verdauungsbeschwerden
vorbeugst und deine sportliche
Leistung verbesserst**

riva

*Dieses Buch widme ich Cecilia
als Dankeschön für ihre Liebe und Unterstützung
und Oscar für die Freude,
die er in mein Leben bringt.*

INHALT

Einleitung 6

Teil 1
.....

SPORTLICHE AKTIVITÄT UND IHR EINFLUSS AUF DIE VERDAUUNG

- 01** Anatomie und Physiologie des Verdauungstrakts 12
- 02** Verdauungsbeschwerden? 40

Teil 2
.....

ERNÄHRUNG UND DAS VERDAUUNGSSYSTEM DES SPORTLERS

- 03** Energie 94
- 04** Kohlenhydrate 107
- 05** Fett 132
- 06** Eiweiß 144
- 07** Flüssigkeitsversorgung 155
- 08** Natrium 172
- 09** Wie kann man sein Verdauungssystem trainieren? 181
- 10** Nahrungsergänzungsmittel 194

Teil 3
.....

PSYCHE UND VERDAUUNG

- 11** Stress und Ängste 222
- 12** Wie geht man mit Stress und Ängsten um? 245

Anhang A: Magen-Darm-Erkrankungen 260

Anhang B: Medikamente, die sich auf die Verdauung auswirken 288

Danksagung 298

Über den Autor 300

Quellen 301

Stichwortverzeichnis 331

EINLEITUNG

6

Bei einer Umfrage nach den wichtigsten körperlichen und anatomischen Merkmalen, die einen großen Sportler auszeichnen, bekäme man wahrscheinlich immer wieder die gleichen Antworten zu hören: kräftige Muskeln, ein starkes Herz, leistungsfähige Lungen, Nerven wie Drahtseile. Hinweise auf das Verdauungssystem würden mit ziemlicher Sicherheit nicht zu den häufigsten Antworten gehören. Natürlich wissen wir alle, dass der Magen-Darm-Trakt unsere Nahrung in ihre Bausteine aufspaltet und dafür sorgt, dass sie ins Blut aufgenommen werden; doch andere lebenswichtige Aufgaben dieses ungefähr neun Meter langen schlauchförmigen Organsystems sind vielen Menschen gar nicht bewusst.

Auch wenn die meisten von uns den Verdauungstrakt nicht als wichtige Voraussetzung für sportlichen Erfolg betrachten, wissen viele Sportler nur zu gut, welche entscheidende Rolle diese Organe spielen können, wenn es darum geht, aufs Siegertreppchen zu kommen oder auch nur bis zum Ende eines Wettlaufs durchzuhalten. Vielen Athleten hat ihr Magen oder Darm bei einem Wettkampf oder einer wichtigen Trainingssitzung schon ein Schnippchen geschlagen. Wahrscheinlich hat fast jeder Sportler schon einmal unter Verdauungsproblemen gelitten; wenn du dieses Buch liest, hast du vermutlich selber schon solche Probleme gehabt oder kennst zumindest einen Sportler, dem es so ergangen ist. Vielleicht musstest du dich schon einmal am Straßenrand ins Gebüsch schlagen, um einen rumorenden Darm zu entleeren. Oder du konntest wegen quälenden Seitenstechens nicht weiterlaufen. Vielleicht hast du vor einem wichtigen Wettkampf vor lauter Nervosität deinen Mageninhalt in hohem Bogen in die Umkleidekabine erbrochen. Oder du gehörst zu den unglücklichen Menschen, die gleich unter mehreren verschiedenen Verdauungsbeschwerden leiden. Keine Sorge: Mit diesem Problem stehst du nicht allein da!

Es ist gar nicht so einfach, allgemeingültige Angaben zur Häufigkeit von Magen-Darm-Beschwerden während des Trainings zu machen (da dies von der Trainingsintensität und -dauer und von der Umfragemethode abhängt); doch die meisten Ausdauersportler und sogar viele Mannschaftssportler haben hin und wieder mit unangenehmen Verdauungsbeschwerden zu kämpfen.¹² Selbst Spitzenathleten sind nicht dagegen gefeit: Bill Russell (Boston Celtics und elfacher NBA-Champion), Steve Young (San Francisco 49ers und

dreimaliger Super-Bowl-Sieger), Jim Ryun (Spitzenläufer der 1960er-Jahre) und Paula Radcliffe (ehemalige Weltrekordmarathonläuferin) sind nur ein paar Beispiele für namhafte Athleten, die vor oder bei Wettkämpfen schon einmal mit schweren oder wiederkehrenden Magen-Darm-Problemen zu kämpfen hatten.

In diesem in drei Teile gegliederten Buch geht es um Ursachen und Behandlungsmöglichkeiten von Verdauungsbeschwerden bei Sportlern. In Teil 1 gehe ich darauf ein, warum so viele Sportler unter Magen-Darm-Beschwerden zu leiden haben, vor allem während ihrer wichtigsten Wettkämpfe. Leider gibt es auf diese Frage keine allgemeingültige Antwort. Denn jedes Symptom – ob es sich nun um Übelkeit, Reflux, Blähungen oder Durchfall handelt – kann andere Ursachen haben. Genau deshalb verfolge ich beim Verständnis und bei der Bewältigung von Verdauungsbeschwerden einen symptombezogenen Ansatz. Denn eine Strategie, die gegen Übelkeit hilft, bringt bei krampfartigen Bauchschmerzen vielleicht kaum etwas; und Tipps zur Vorbeugung von Reflux helfen dir bei quälendem Stuhldrang nicht wirklich weiter. Außerdem kann die optimale Taktik zur Bewältigung eines störenden Verdauungssymptoms von Situation zu Situation anders aussehen. Nehmen wir zum Beispiel Übelkeit: ein lästiges Problem, das nicht nur bei intensiver sportlicher Aktivität wie beispielsweise Sprints, sondern auch bei extrem langen Trainingssitzungen oft sein hässliches Medusenhaupt erhebt. Obwohl sich diese Übelkeit vielleicht in beiden Situationen gleich anfühlt, hat sie doch unterschiedliche Ursachen. Daher muss man ein und dasselbe Symptom je nach den Begleitumständen, unter denen es auftritt, oft mit unterschiedlichen Strategien bekämpfen.

In Teil 2 gehe ich auf die Wechselwirkungen zwischen Ernährung und Verdauungssystem ein. Das ist mit Abstand der längste Teil dieses Buches – was eigentlich auch kein Wunder ist, wenn man bedenkt, dass die Hauptaufgabe des Verdauungstrakts darin besteht, die verschiedenen Nahrungsmittel, die wir tagtäglich zu uns nehmen, zu verdauen und in den Blutkreislauf aufzunehmen. In diesem Teil des Buches erkläre ich, wie die unterschiedlichen Bestandteile deiner Nahrung Magen-Darm-Beschwerden verursachen – oder in manchen Fällen auch lindern – können, und gehe dabei ausführlich auf Kalorien, Kohlenhydrate, Fett, Eiweiß, Flüssigkeit, Natrium und auf die verschiedensten Nahrungsergänzungsmittel ein. Außerdem erfährst du in diesem Teil des Buches, was die Wissenschaft über die Fähigkeit deiner Verdauungsorgane herausgefunden hat, sich in Reaktion auf bestimmte Reize zu verändern. Oder einfach ausgedrückt: Kann man sein Verdauungssystem mit der Zeit so trainieren, dass es eine größere Nahrungs- und

Flüssigkeitsaufnahme während des Trainings verkraftet? Tatsächlich zeigen wissenschaftliche Untersuchungen, dass unsere Verdauungsorgane ebenso wie Muskeln, Lungen und Herz äußerst flexibel und in der Lage sind, sich an die verschiedensten äußeren Bedingungen anzupassen – egal ob es sich dabei um Avocado-Toast oder Cremetörtchen handelt.

Und es gibt auch noch einen weiteren Grund, warum der Teil dieses Buches, in dem es um die Ernährung geht, so lang geraten ist: Dieses Thema stand in den letzten 15 Jahren im Mittelpunkt meiner Berufsausbildung. In den ersten fünf Jahren dieser langen Entdeckungsreise habe ich mich zum Ernährungsberater ausbilden lassen – inklusive eines Bachelor-Abschlusses in Ernährungswissenschaften und eines fast einjährigen Praktikums an der Mayo-Klinik. In den nächsten fünf Jahren erwarb ich einen Master of Science und einen Dokortitel in Sportphysiologie an der University of Minnesota. Während dieser Zeit verlagerte sich mein Interessenschwerpunkt auf das Studium der Verdauungsfunktion bei Sportlern; in meiner Doktorarbeit untersuchte ich den Einsatz einer Kohlenhydrat-Ernährungsstrategie bei Läufern, die zuvor bereits bei Radfahrern mit Erfolg angewendet worden war. Obwohl ich hier nicht auf die Details dieser Strategie eingehen möchte (sie werden in Kapitel 4 behandelt), nimmt man dabei mehrere verschiedene Zuckerarten zu sich mit dem Ziel, die Kohlenhydratverbrennung zu maximieren und unangenehme Magen-Darm-Beschwerden zu verringern. In einer meiner Studien brachte ich rund 100 Stunden damit zu, physiologische Reaktionen und Verdauungssymptome bei 20 Läufern zu untersuchen, die sich in zweieinhalbstündigen Zeitblöcken auf dem Laufband abrackerten. Nachdem ich 2014 meine Doktorarbeit abgeschlossen und ein Jahr lang als Postdoktorand in Nebraska gearbeitet hatte, nahm ich eine Stelle als Lehrkraft an der Old Dominion University in Virginia an. Während dieser Zeit führte ich weiterhin Untersuchungen über die Verdauungsfunktion bei Sportlern durch, von denen ich einige in diesem Buch ausführlich beschreiben werde.

All das erzähle ich nicht, um dich zu beeindrucken. Eigentlich rede ich gar nicht so gern über mich selbst. (Vielleicht ist das immer noch der schüchterne junge Mann aus Minnesota in mir, der lieber kein Aufsehen erregen will.) Trotzdem fühle ich mich dazu verpflichtet, meine Fachkenntnisse offenzulegen. Und Ernährungswissenschaft ist nun mal mein Fachgebiet. Andererseits behandle ich in diesem Buch aber auch ein paar Gebiete, auf denen ich keine offizielle Ausbildung absolviert habe. In Teil 3 geht es zum Beispiel um die Zusammenhänge zwischen Gehirn und Funktionsstörungen des Verdauungssystems. Obwohl ich kein ausgebildeter Psychologe bin, greife ich dabei auf die Untersuchungen

und Erkenntnisse von Wissenschaftlern zurück, die ihre ganze berufliche Karriere damit zugebracht haben, die Zusammenhänge zwischen Darm und Gehirn zu entschlüsseln. Allerdings wirst du in diesem Buch immer wieder warnende Hinweise darauf finden, wenn ich das Gefühl habe, mich in irgendeinem bestimmten Punkt nicht ganz genau auszukennen; denn meiner Erfahrung nach ist jeder, der behauptet, auf allen Gebieten Experte zu sein, und dabei gleichzeitig einfache Lösungen für komplizierte Probleme anbietet, gelinde gesagt ein Klugscheißer.

Nachdem du alle drei Teile dieses Buches gelesen hast, dürftest du viel genauer darüber Bescheid wissen, wie Sport sich auf deine Verdauungsorgane auswirkt, welchen Einfluss deine Ernährung auf deine Magen-Darm-Beschwerden hat und wie die intensive Kommunikation zwischen Darm und Gehirn mit deinen Verdauungsproblemen zusammenhängt. Und ich werde auch immer wieder Geschichten von Verdauungskatastrophen erzählen, die berühmten Athleten im Laufe ihrer Karriere passiert sind, um dir klarzumachen, dass solche Missgeschicke jeden Sportler treffen können – auch die Champions. Vor allem aber werde ich mich in diesem Buch mit den wissenschaftlichen Untersuchungen beschäftigen, die in den letzten zwei Jahrhunderten Licht in die Geheimnisse unseres Magens und Darms gebracht haben: von der Geschichte eines Pelztierjägers mit einem faustgroßen Loch im Bauch bis hin zu Studien, bei denen millionenschwere funktionelle Magnetresonanztomografen zur Untersuchung des Gehirns zum Einsatz kommen. Meine Ausführungen beruhen auf rund 700 Fachartikeln, größtenteils aus wissenschaftlichen Zeitschriften. Denn als Wissenschaftler hat man mir beigebracht, mehr oder weniger alle meine Behauptungen zu belegen. Das macht das Schreiben zwar zu einer ziemlich mühsamen Arbeit (sehr zum Ärger meiner Frau – ohne diese gewissenhafte Vorgehensweise hätte ich mein Buch wahrscheinlich in der Hälfte der Zeit fertigstellen können). Doch andererseits erhältst du damit die Möglichkeit, die Richtigkeit meiner Behauptungen zu beurteilen, falls du das möchtest. Diese streng wissenschaftliche Arbeitsweise ist gerade heute angesichts der vielen dubiosen Gesundheitsbehauptungen und Wirkungsversprechen im Internet und in den sozialen Medien ungeheuer wichtig.

In diesem Buch geht es hauptsächlich um »ganz normale« funktionelle Veränderungen, die beim Training und bei Wettkämpfen auftreten können. Offenbar leiden Millionen von Sportlern weltweit unter Magen-Darm-Erkrankungen. Obwohl sich dieses Buch in erster Linie mit Problemen befasst, die vor und während eines Trainings oder Wettkampfs auftreten können, wäre es ein Versäumnis von mir, wenn ich nicht auch auf ein paar

Beschwerden und Erkrankungen eingehen würde, die sich direkt oder indirekt auf unser Verdauungssystem auswirken. Auch manche Medikamente zur Behandlung von Verdauungsproblemen und -beschwerden haben Auswirkungen auf Sportler. Daher biete ich in Anhang A dieses Buches einen Überblick über Funktionsstörungen und Erkrankungen, die Magen-Darm-Probleme verursachen können. Anhang B enthält eine Übersicht über Medikamente, die oft zur Behandlung von Verdauungsbeschwerden eingesetzt werden oder von denen man weiß, dass sie Nebenwirkungen im Verdauungstrakt hervorrufen. Dabei möchte ich jedoch von vornherein klarstellen, dass meine Ausführungen in diesem Buch – einschließlich der Anhänge – lediglich zu Informationszwecken dienen und nicht dazu bestimmt sind, Magen-Darm-Erkrankungen oder sonstige Krankheiten zu diagnostizieren, zu behandeln oder zu heilen. Ich kann verstehen, dass es keinen Spaß macht, jemandem von ständigen Durchfaller Explosionen oder fruchtlosen Darmentleerungsversuchen auf dem Klo zu erzählen; doch wenn du unter anhaltenden oder lästigen Verdauungsproblemen leidest, solltest du unbedingt einen Arzt um Rat fragen.

Wir erfahren Jahr für Jahr mehr darüber, wie Magen und Darm auf Stressfaktoren wie Training und Sportwettkämpfe reagieren. Zwar gibt es Fragen, auf die wir immer noch keine Antworten wissen; trotzdem soll dieses Buch dir als wissenschaftlich fundiertes Ratgeberbuch und Nachschlagewerk zum Thema Verdauungsprobleme bei Sportlern dienen. Athleten trainieren viele Stunden lang, um ihre Fitness zu steigern und ihre sportlichen Fähigkeiten zu verbessern. Manche geben sogar ein kleines Vermögen für Trainingsgeräte und -technologien aus, obwohl viele davon gar keinen nachhaltigen Einfluss auf ihre sportliche Leistung haben. Nur die allerwenigsten Sportler würden auf die Idee kommen, dass es für ihre körperliche Leistungsfähigkeit auch wichtig sein könnte, ihr Verdauungssystem in Schuss zu halten. Das ist genauso wie mit den Wasserleitungen in deinem Haus: Normalerweise verschwendest du keinen Gedanken daran – aber wehe, wenn etwas schiefeht! Dann kann der Klempner gar nicht schnell genug kommen.

Marathon-Legende Bill Rodgers, der viermal den Boston- und viermal den New York-Marathon gewann, soll einer Gruppe von Läufern erzählt haben, dass »auf den Toiletten mehr Marathons gewonnen oder verloren werden als am Esstisch«. ³ Auch wenn diese Behauptung ein bisschen übertrieben sein mag, trifft sie doch auf sehr viele Athleten weltweit zu. Ich hoffe, dass du durch die Lektüre meines Buches ein besseres Verständnis für das Innenleben deines Verdauungstrakts entwickelst, damit du dir deinen nächsten Wettkampf nicht durch einen in Aufruhr geratenen Magen oder Darm ruinierst!



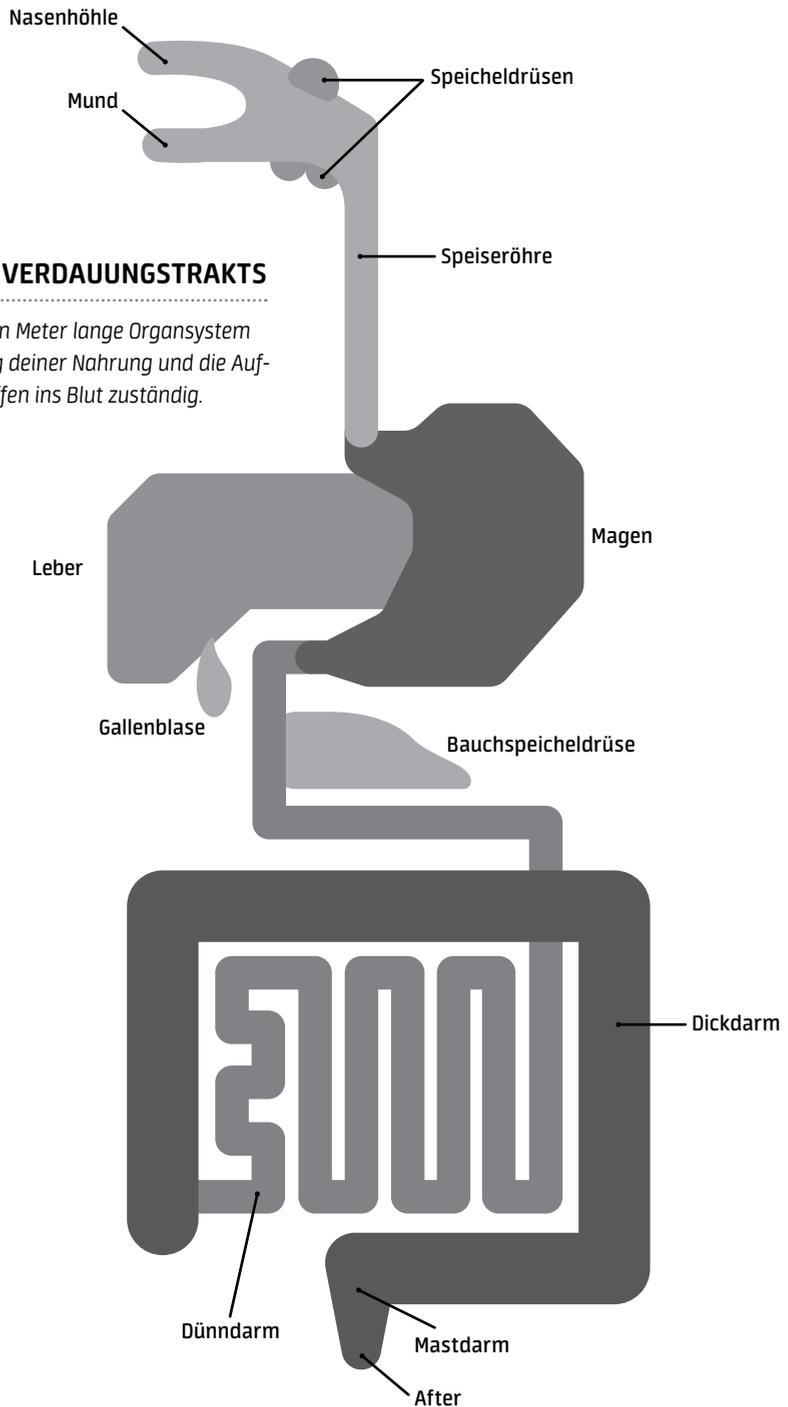
SPORTLICHE AKTIVITÄT

und ihr Einfluß auf die Verdauung

Anatomie und Physiologie des Verdauungstrakts

Bevor wir uns in die wissenschaftliche Erforschung der Zusammenhänge zwischen sportlicher Aktivität und Verdauungssystem vertiefen, möchte ich dir zunächst einmal ein gewisses Grundwissen über die Anatomie und Funktion deiner Verdauungsorgane vermitteln. Wir werden uns also auf eine schrittweise Entdeckungsreise durch deinen Verdauungstrakt begeben – vom Mund bis (ja, du hast es erraten!) zum After. Wie du gleich sehen wirst, besteht dein Verdauungssystem nicht einfach nur aus einem neun Meter langen Schlauch. Vielmehr ist jeder Abschnitt für bestimmte Aspekte des Verdauungsprozesses zuständig. Mit anderen Worten: Der Verdauungstrakt ist so etwas Ähnliches wie ein Fließband, an dem Autos zusammengebaut werden – jeder Abschnitt erfüllt eine andere wichtige Aufgabe und nur wenn alle Teile richtig funktionieren, entsteht am Ende ein funktionsfähiges Auto. Ein Ferrari ohne Räder wird ganz bestimmt nicht mit 300 Stundenkilometern über die Autobahn brettern, egal wie gut der Rest des Autos läuft. Ebenso kann eine Fehlfunktion in irgendeinem Bereich deines Verdauungssystems drastische Auswirkungen darauf haben, welche Bestandteile deiner Nahrung verdaut und ins Blut aufgenommen werden und wie gut dein Körper arbeitet – und normalerweise werden das keine positiven Veränderungen sein.

Keine Sorge: Ich möchte in diesem Kapitel nicht das ganze menschliche Verdauungssystem in allen Details beschreiben, bis du dich zu Tode langweilst, sondern dir nur so viele Informationen liefern, dass du verstehst, wie deine Ernährung und andere Lebensstilentscheidungen sich auf deine Verdauung auswirken. Doch selbst dieser vereinfachte Überblick über das Verdauungssystem enthält zwangsläufig ein paar fachliche



ANATOMIE DES VERDAUUNGSTRAKTS

Dieses ungefähr neun Meter lange Organsystem ist für die Verdauung deiner Nahrung und die Aufnahme von Nährstoffen ins Blut zuständig.

Informationen. Hoffentlich hältst du mich deshalb nicht für einen Pedanten! Mach dir nichts daraus, wenn du nicht jedes Detail genau verstehst; ich will dir einfach nur einen allgemeinen Eindruck davon vermitteln, wie dein Verdauungstrakt aufgebaut ist (die Reihenfolge siehst du auf Seite 13) und wie der Prozess der Verdauung und Nährstoffaufnahme funktioniert.

14

Wenn das Thema Verdauung absolut nicht dein Ding ist, kannst du die nächsten Kapitel gerne überspringen; die meisten praktischen Informationen, um die es später geht, sind auch ohne gründliche Kenntnis des Verdauungsprozesses verständlich. Aber ich warne dich: Wenn du erst später weiterliest, entgehen dir interessante Informationen über Mick Jagger, Shaquille O'Neal, Muggsy Bogues, Blauwale, einen Haifilm, Anakondas, Wettbewerbe im Hotdog-Essen, Sir Michael Caine und Meryl Streep!

MUND

Die erste Station auf unserer Entdeckungsreise durch den Verdauungstrakt ist der Mund. Es gibt verschiedene Techniken zur Messung der Mundgröße; eine Möglichkeit besteht darin, so viel Flüssigkeit wie möglich in den Mund hineinzusaugen, ohne sie zu schlucken. Genau das mussten freiwillige Probanden im Rahmen einer Studie aus dem Jahr 2012 tun.¹ Das Ergebnis: Ein durchschnittlicher Erwachsener kann ungefähr 60 Milliliter Flüssigkeit im Mund behalten, was in etwa der Größe eines Hühnereis entspricht; bei den Studienteilnehmern, die am besten abschnitten, hatte der Mund allerdings ein Fassungsvermögen von mehr als 90 Millilitern. Interessanterweise stellten die Forscher fest, dass eine Korrelation zwischen der Gesichtsgröße und dem Flüssigkeitsvolumen bestand, das die Teilnehmer im Mund behalten konnten. Oder um es ein bisschen laienverständlicher auszudrücken: Mick Jagger und Steven Tyler (das sind Musiker von den Rolling Stones beziehungsweise Aerosmith – nur als kleine Hintergrundinformation für alle, die sich nicht mit Rockmusik auskennen) haben wahrscheinlich größere Chancen, sich möglichst viel Mampfi-Mampfi zwischen die Kauwerkzeuge zu schieben, als die meisten anderen Leadsänger aus der Rockszene. Aber um das herauszufinden, hätte man wahrscheinlich nicht unbedingt eine wissenschaftliche Studie gebraucht ...

Die wichtigste Aufgabe deines Mundes besteht darin, die feste Nahrung, die du zu dir nimmst, mechanisch zu zerkleinern – von Obst und Gemüse bis hin zu Hamburgern, die so riesig sind, dass man die Maulsperre davon kriegen kann (nein, keine Sorge, ich habe überhaupt keine Vorurteile gegen Leute, die gerne viel essen ...). Dieses Kauen und

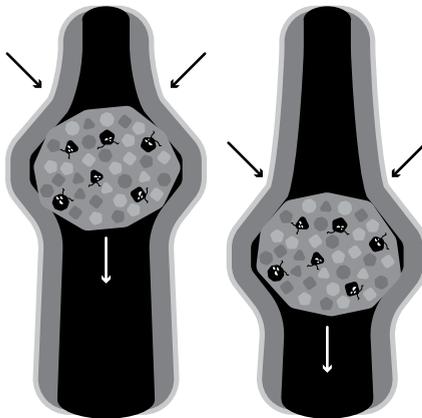
Zermahlen hat eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Zerdrücken von Trauben, bevor sie zu Wein verarbeitet werden. Die physische Zerkleinerung der Nahrung erleichtert den chemischen Verdauungsprozess, denn dadurch vergrößert sich die Oberfläche, auf der die Verdauungsenzyme einwirken können. Eines der ersten Enzyme, mit denen dein Körper diesen Prozess in Gang setzt, ist die aus den Speicheldrüsen in die Mundhöhle freigesetzte Amylase. Die Aufgabe dieser Speichel-Amylase besteht darin, die Bindungen, die große Kohlenhydratmoleküle zusammenhalten, anzugreifen und die Moleküle dadurch in kürzere Ketten aufzubrechen. Ein weiteres Enzym (die Zungenlipase) wird ebenfalls im Mund freigesetzt und leitet die Fettverdauung ein. Bei Tieren wie beispielsweise Mäusen – und auch bei menschlichen Babys – ist die Zungenlipase ein wichtiges Enzym; beim erwachsenen Menschen dagegen wird sie nur noch in kleinen Mengen abgesondert, sodass im Mund lediglich eine minimale Fettverdauung stattfindet.

Der nächste Schritt im Verdauungsprozess nach dem Kauen ist das Schlucken. Obwohl das ein ganz einfacher Vorgang zu sein scheint, erfordert es die Präzision und Koordination eines meisterhaften Tanzteams. Für die meisten Menschen ist dieser hochkomplexe Bewegungsablauf, den unser Körper tagtäglich fünfhundert- bis tausendmal (darunter auch mehrere Dutzend Male im Schlaf) fast fehlerfrei ausführt, eine Selbstverständlichkeit.² Zuerst drückt die Zunge dabei den halbkugelförmigen Speisebrei (den sogenannten Bolus) gegen den Gaumen; dann befördert sie ihn in den Mundrachen oder Oropharynx (den Rachenraum hinter der Mundhöhle). Sinnesrezeptoren erspüren diesen Bolus, was dazu führt, dass der Zungengrund sich nach unten bewegt und das Zäpfchen – der kleine fleischige Vorsprung am hinteren Ende des Mundraums – sich hebt und den Weg in die Speiseröhre freigibt. Um ein Ersticken zu verhindern, finden dabei mehrere automatische Vorgänge statt: Der Kehldeckel (ein steifer Gewebelappen am Zungengrund) verschließt die oberen Atemwege. Diese und andere Bewegungsabläufe müssen genau koordiniert aufeinanderfolgen, um den Schluckvorgang zu ermöglichen. Störungen dieses Prozesses tragen zu den verschiedensten Gesundheitsproblemen bei und führen allein in den USA alljährlich zu mehreren Tausend Todesfällen durch Ersticken.³

SPEISERÖHRE

Die nächste Station auf unserer Reise durch den Verdauungstrakt ist die Speiseröhre (Ösophagus). Sie dient in erster Linie als Transportschlauch zwischen Mund und Magen. Im Durchschnitt ist die Speiseröhre eines erwachsenen Menschen (gemessen von den

Schneidezähnen bis zum Mageneingang) ungefähr 41 Zentimeter lang,⁴ wobei die Länge von verschiedenen Faktoren abhängt, vor allem von der Körpergröße. Bei einer Größe von 2,16 Metern wird Shaquille O'Neal also wahrscheinlich eine 54 Zentimeter lange Speiseröhre haben, während Muggsy Bogues (mit seinen knapp 1,60 Metern der kleinste Basketballspieler in der Geschichte der NBA) schätzungsweise nur eine 41 Zentimeter lange Speiseröhre sein Eigen nennt. Und mit seinen unglaublichen 2,72 Metern hatte der größte Mensch in der Medizingeschichte, Robert Pershing Wadlow, wohl eine 68 Zentimeter lange Speiseröhre, was – wenn du es ganz genau wissen willst – in etwa der Länge einer Schnapschildkröte oder eines kleinen Rotluchses entspricht.



PERISTALTIK

Durch abwechselndes Zusammenziehen und Entspannen der Verdauungsorgane – die sogenannte Peristaltik – wird der Speisebrei durch den Verdauungstrakt transportiert.

Egal ob deine Speiseröhre so lang ist wie die von Shaquille O'Neal oder so kurz wie die von Muggsy Bogues – sie kann den Transport deines Speisebriums erstaunlich gut regulieren. Die Passage eines Bolus durch deine Speiseröhre verläuft sogar in so perfekter Koordination, dass du wie Graf Dracula Blut (oder eine beliebige Nicht-Vampir-Mahlzeit deiner Wahl) schlucken und dabei kopfüber von der Decke herabhängen könntest. (Das erklärt übrigens auch, warum Astronauten in schwerelosere Umgebung überhaupt essen und trinken können.) Dank einem Prozess namens Peristaltik kann deine Speiseröhre der Schwerkraft trotzen und den Speisebrei von oben nach unten transportieren. »Peristaltik« ist der medizinische Fachbegriff für wellenförmige Bewegungen in den Wänden deiner Verdauungsorgane, die durch abwechselndes Zusammenziehen und Entspannen der glatten Muskulatur entstehen. Einfach ausgedrückt ist die Peristaltik genau das Gleiche wie

das Ausdrücken von Zahnpasta aus der Tube oder von Ketchup aus einem Plastiktütchen – nur besser koordiniert. Nach Beginn des Schluckvorgangs dauert es bei einer normal funktionierenden Speiseröhre ungefähr fünf bis zehn Sekunden, bis die Peristaltikwellen einen Bolus von oben bis unten transportiert haben⁵ (siehe Seite 16).

Der Ein- und Austritt eines Bolus in die beziehungsweise aus der Speiseröhre wird durch Schließmuskeln – die Sicherheitsschleusen unserer Verdauungsorgane – reguliert. Das sind Muskelringe, die sich als Reaktion auf Signale des Nervensystems öffnen und schließen. Zum Glück laufen diese Vorgänge größtenteils unbewusst ab. (Nicht multitaskingfähige Menschen würde die bewusste Steuerung ihrer Schließmuskeln nämlich so sehr beschäftigen, dass sie gar kein normales Leben mehr führen könnten.)

Der Eintritt eines Nahrungsbolus in die Speiseröhre wird durch den oberen Speiseröhrenschließmuskel gesteuert; weiter unten kontrolliert der untere Speiseröhrenschließmuskel den Eintritt in den Magen. Eine Funktionsstörung dieser Schließmuskeln (vor allem des unteren) trägt zur Entstehung von Funktionsstörungen wie der gastroösophagealen Refluxkrankheit (GERD) bei, auf die ich in den nächsten Kapiteln noch näher eingehen werde.

MAGEN

Im Vergleich zu den anderen Verdauungsorganen kann sich der Magen ungeheuer stark ausdehnen. Er ist so etwas wie der Kugelfisch unseres Verdauungssystems: In leerem Zustand ist er ungefähr faustgroß, doch bei maximaler Auslastung kann er zwei bis vier Liter Speisebrei aufnehmen, was einer 50- bis 75-fachen Volumenvergrößerung entspricht. Das mag auf den ersten Blick ziemlich viel erscheinen, ist im Reich der Säugetiere aber nicht einmal annähernd das größte Magenfassungsvermögen: Schätzungen zufolge erfordert es mehr als eine Tonne Krill, um den Magen eines Blauwals zu füllen.⁶

Interessanterweise hängt die maximale Nahrungsmenge, die der Magen eines Menschen fassen kann, von seinem typischen Essverhalten ab. Wer sich regelmäßig an »All you can eat«-Büfettis den Magen vollschlägt, kann also mit ziemlicher Sicherheit mehr essen als andere Menschen, bevor er sich unangenehm satt fühlt. In einer Studie setzte man drei Gruppen von Frauen Luftballons in den Magen, die allmählich bis zum maximalen Unwohlsein aufgeblasen wurden.⁷ Die ersten Probandinnen, die dabei ein unangenehmes Völlegefühl verspürten, waren Frauen mit normalem Körpergewicht: Sie konnten lediglich ein Aufblasen um ungefähr einen Dreiviertelliter verkraften, bevor sie das Signal zum

Aufhören gaben. Wie es bei Menschen, die so viel essen, dass sie übergewichtig werden, zu erwarten ist, tolerierten die fettleibigen Frauen ein höheres Volumen (etwa 0,9 Liter); doch dieser Durchschnittswert war fast ausschließlich einer Untergruppe von Frauen mit extremen »Fressattacken« zu verdanken. Vor allem bei fettleibigen Probandinnen, die regelmäßig unter solchen Binge-Eating-Attacken litten, ließ sich der Magen problemlos um fast einen Liter aufblasen, während fettleibige Frauen, bei denen solche Essattacken nicht regelmäßig vorkamen, genauso empfindlich darauf reagierten wie Probandinnen mit normalem Körpergewicht. Die beeindruckendste Toleranz gegenüber einer Magenüberdehnung um sage und schreibe 1,2 Liter war bei Frauen zu beobachten, die unter Bulimie litten. (Auch bei dieser Essstörung sind wiederkehrende Binge-Eating-Attacken ein typisches Merkmal.)

Natürlich ist das Aufblasen eines Ballons im Magen nicht mit Essen zu vergleichen. Trotzdem deuten diese Erkenntnisse darauf hin, dass man seinen Magen darauf trainieren kann, große Volumina (also auch viel Nahrung) aufzunehmen. Das extremste Beispiel für diese Trainierbarkeit des Magens stammt aus dem Bereich des Wettkampfsessens: Der (2018 aufgestellte) Weltrekord im Hotdog-Essen, der von Joey Chestnut – dem LeBron James des Wettkampfsessens – gehalten wird, liegt zum Beispiel bei 74 Hotdogs innerhalb von zehn Minuten. (Falls du es ganz genau wissen möchtest: 74 Hotdogs mitsamt Brötchen ergeben zusammen über 20 000 Kilokalorien, wovon ein Normalsterblicher ungefähr sieben bis zehn Tage lang zehren kann).

Leider gibt es nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen darüber, wie Struktur und Funktion des Magens sich durch Wettessen im Lauf der Zeit verändern; doch Forscher der University of Pennsylvania hatten Gelegenheit, im Rahmen eines simulierten Hotdog-Esswettbewerbs Untersuchungen darüber anzustellen. Für diese Studie verzehrten der Wettesser (von dem später bekannt wurde, dass es sich um Tim Janus – in der Tat einen großen Esser vor dem Herrn – handelte) und eine Kontrollperson, die laut Angaben der Wissenschaftler ebenfalls »einen herzhaften Appetit« hatte, Hotdogs in Kombination mit Barium. Das ist eine Substanz, die – mit Wasser vermischt – die Schleimhäute des Verdauungstrakts überzieht, sodass Größe und Form der Verdauungsorgane sich fluoroskopisch sichtbar machen lassen: So entsteht eine Art Videofilm vom Inneren des Verdauungssystems. Was dabei mit Janus' Magen passierte, beschrieben die Forscher in einem Artikel aus dem Jahr 2007 folgendermaßen:

» Die intermittierende Fluoroskopie zeigte die Anhäufung eines immer größer werdenden Volumens von Hotdog-Stücken, die durch Bariumreste im Magen erkennbar waren. ... Nach sechs Minuten hatte sich der Magen in einen erweiterten, schlaffen Sack verwandelt. ... Nach zehn Minuten hatte der Schnellesser insgesamt 36 Hotdogs verzehrt. Jetzt wirkte sein Magen wie ein massiv aufgeblähter, mit Nahrung gefüllter Sack, der den größten Teil seines Oberbauchs einnahm.«⁸

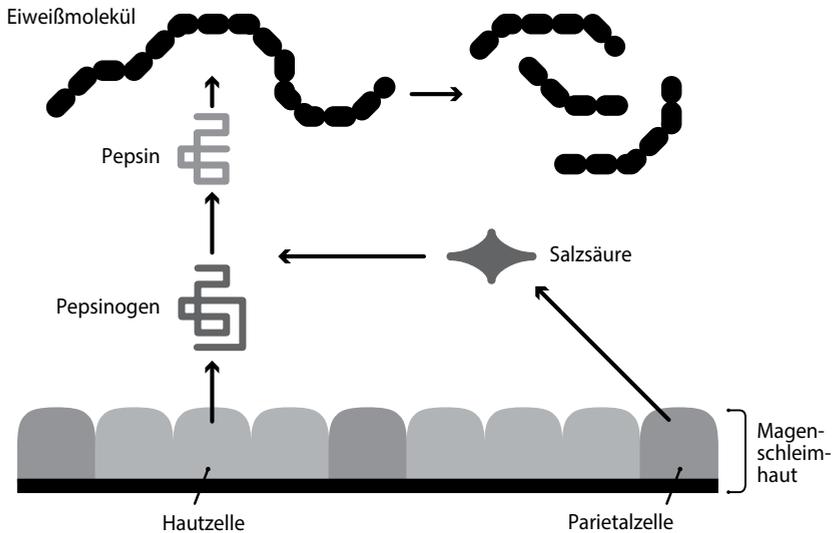
Auf den in diesem Artikel gezeigten Bildern ist Janus' Magen kaum noch wiederzuerkennen: Er sieht eher wie eine Feuerballexplosion aus als wie ein Teil des menschlichen Verdauungstrakts. Und man bedenke, dass dieser Mann »nur« 36 Hotdogs ohne Brötchen gegessen hat, was ungefähr der Hälfte des derzeitigen Weltrekords von 74 Hotdogs mit Brötchen entspricht! Falls du dich fragen solltest, wie weit die Kontrollperson mit dem »herzhaften Appetit« in dem Wettkampf gekommen ist: Sie schaffte nur mickrige sieben Hotdogs, bevor sie erklärte, dass ihr jetzt gleich übel werden würde.

Wettkampffresser und Menschen, die an Bulimie leiden, sind der beste Beweis dafür, dass unser Magen problemlos riesige Nahrungsmengen aufnehmen kann. Man sollte meinen, dass er bei so extremen Fressorgien manchmal zerreißt; doch in Wirklichkeit kommen solche katastrophalen Verletzungen nur sehr selten vor. Es gibt aber doch ein paar Fallberichte von Personen, die an den Folgen solchen Überessens gestorben sind oder zumindest schwere gesundheitliche Schäden davongetragen haben. Ein in der medizinischen Fachzeitschrift *The Lancet* erschienener Artikel berichtet von einem 23-jährigen, an Bulimie leidenden Model, das verstarb, nachdem es auf einmal 8,6 Kilogramm Lebensmittel zu sich genommen hatte – unter anderem verzehrte diese Frau je 0,9 Kilogramm Mohrrüben, Pflaumen, Weintrauben und Nieren.⁹ In einem anderen Fall starb eine Frau, nachdem sie sich zwei Brotlaibe, drei süße Brötchen, zwei Packungen Instantnudeln, 4,3 Liter kohlenensäurehaltiges Wasser und 1,4 Liter Bier einverleibt hatte.¹⁰ Irgendwie verkraftete ihr Magen diese enormen Mengen an Kohlensäure und Kohlenhydraten zwar, ohne zu platzen. Trotzdem wurde ihr dieses »Festmahl« letzten Endes doch zum Verhängnis, denn der überdehnte Magen drückte ihr die untere Hohlvene (ein großes Blutgefäß) und das Herz ab, als sie auf einem Untersuchungstisch im Krankenhaus lag. Zu einem solchen Verschluss großer Blutgefäße kam es auch nach anderen extremen Fressorgien – zum Beispiel bei einem Mann, dessen Aorta abgedrückt wurde, nachdem er Berichten

zufolge beim Mittagessen Nahrungsmittel mit einem Volumen von zehn normalen Mahlzeiten hinuntergeschlungen hatte.¹¹ Das Gleiche passierte einer Frau, nachdem sie eine unbekannte Menge an Speisen verzehrt hatte. (Nach ihrem Tod wurden ihr 15 Liter Mageninhalt entnommen.)¹²

Nach diesen (etwas makabren) Details über das Fassungsvermögen des menschlichen Magens wollen wir uns nun wieder dem eigentlichen Verdauungsprozess zuwenden. Die mechanische Verdauung läuft über die Peristaltik und über starke, koordinierte Muskelkontraktionen ab; dabei wird der Speisebrei durchgeschüttelt und durchgemischt. Das allein reicht aber noch nicht aus; daher muss der Körper auch seine chemischen »Soldaten« – Säure und Enzyme – auf den Speisebrei loslassen. Eine dieser chemischen Substanzen ist die Magenlipase; und im Gegensatz zu der wenigen Zungenlipase in der Mundhöhle leistet die Magenlipase bei der Fettverdauung ganze Arbeit. Auch mit der Kohlenhydratverdauung geht es jetzt weiter voran, da die Speichelamylase den Speisebrei bis in den Magen hinein begleitet. Mit der Zeit wird sie allerdings durch das im Magen herrschende saure Milieu deaktiviert, sodass ein großer Teil der Kohlenhydratverdauung erst im Dünndarm stattfindet.

Auch Eiweiß wird im Magen verdaut – vielleicht sogar in noch stärkerem Maß als Fett und Kohlenhydrate. Eiweiße (Proteine) haben im Magen keine großen Überlebenschancen, was hauptsächlich daran liegt, dass die sogenannten Parietalzellen in der Magenschleimhaut ätzende Salzsäure absondern (siehe Seite 21). Diese Salzsäure erfüllt bei der Eiweißverdauung gleich mehrere Aufgaben: Erstens entwirrt sie in einem Prozess namens Denaturierung die dreidimensionale Struktur der Proteine; dabei werden die Peptidbindungen angegriffen, die das Eiweiß zusammenhalten. Man kann sich die Denaturierung von Eiweiß ungefähr so vorstellen, als würde man sich an einem kalten Wintertag nackt ausziehen, sodass man den Elementen völlig ungeschützt ausgesetzt ist: Ebenso sind die Eiweiße den Verdauungsenzymen durch die Denaturierung schutzlos preisgegeben. Außerdem aktiviert die Salzsäure ein eiweißverdauendes Enzym namens Pepsin. Die inaktive Version dieses Enzyms (Pepsinogen) wird von einer anderen Zellgruppe, den sogenannten Hauptzellen, freigesetzt. Pepsinogen selbst kann zwar kein Eiweiß verdauen; doch in Gegenwart von Salzsäure wandelt es sich in Pepsin um. (Pepsinogen ist so etwas Ähnliches wie der harmlose Clark Kent, während Pepsin die Rolle des Superman übernimmt.) Das aktivierte Pepsin spaltet die Eiweiße dann in kleinere Moleküle wie Peptone und Polypeptide auf. (Das sind Ketten aus Aminosäuren, den Eiweiß-Grundbausteinen.)



EIWEISSVERDAUUNG

Dank der Freisetzung von Salzsäure und der Aktivierung von Pepsinogen zu Pepsin – zwei im Magen stattfindender Prozesse – spielt dieses Organ bei der Eiweißverdauung eine wichtige Rolle.

Die Tatsache, dass dein Magen ein wichtiger Schauplatz der Eiweißverdauung ist, hat gleich mehrere wichtige Konsequenzen: Logischerweise dauert es bei einer eiweißreichen Mahlzeit länger, bis Salzsäure und Pepsin dieses Protein abgebaut haben. Man weiß, dass der Magen nach einer eiweißreichen Mahlzeit (wenn man zum Beispiel ein halbes Pfund Burger oder eine ganze Putenkeule gegessen hat) länger braucht, um sich wieder zu entleeren; das ist einer der Gründe, warum eiweißreiche Diäten offenbar stärker sättigen als andere Ernährungsformen.¹³ Gleichzeitig bedeutet das aber auch, dass man eine Stunde vor Beginn intensiver sportlicher Aktivität nicht unbedingt noch ein dickes, saftiges Steak essen sollte.

Eine weitere wichtige Aufgabe des Magens besteht darin, den Transport bestimmter Substanzen in den Dünndarm zu regulieren. Denn wenn halb verdaute Nahrung (sogenannter Speisebrei) zu schnell vom Magen in den Dünndarm gelangt, kann das den Dünndarm überfordern, was wiederum oft zu Beschwerden wie Bauchschmerzen, Blähungen und Durchfall führt. Um das zu verhindern, hat dein Verdauungstrakt ein elegantes Rückkopplungssystem entwickelt, das dem Magen signalisiert, auf die »Bremse« zu

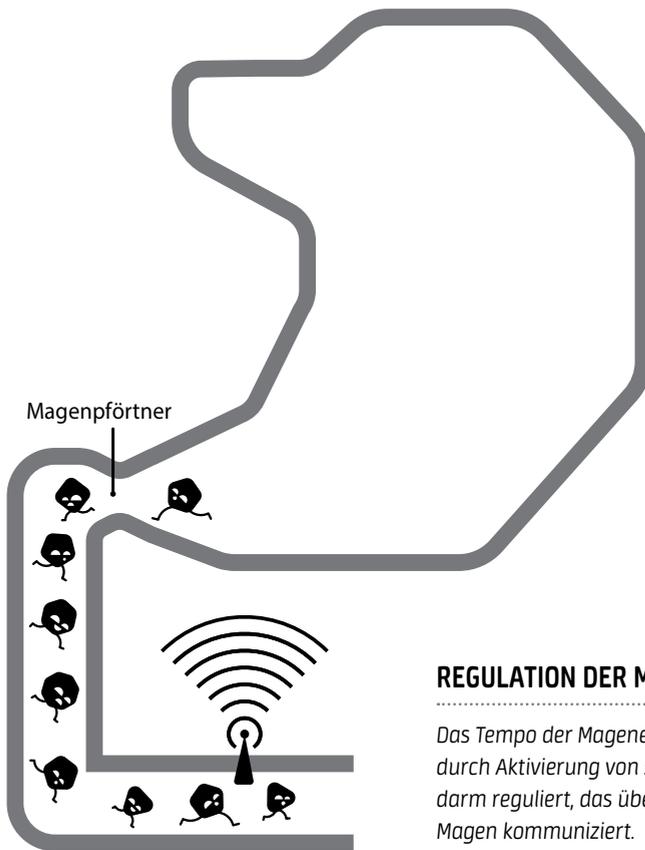
treten, wenn sensorisches Gewebe im Dünndarm eine zu hohe Konzentration bestimmter Substanzen wahrnimmt. Das ist mit der Vorgehensweise von Ingenieuren vergleichbar, die den Wasserfluss eindämmen, indem sie einen Bergdamm bauen, nachdem sie erfahren haben, dass zu viel Wasser aus dem Gebirge ins darunterliegende Tal fließt.

Es gibt verschiedene Substanzen, die die Magenentleerung hemmen, wenn sie im Dünndarm wahrgenommen werden. Wenn zum Beispiel Salzsäure, Polypeptide (Produkte der Eiweißverdauung), Zucker (vor allem Glukose) oder freie Fettsäuren in den Dünndarm gelangen, nehmen die Kontraktionen der Magenwände ab, was letztendlich den Transport von Speisebrei aus dem Magen in den Dünndarm verzögert.¹⁴ Ebenso behindern Flüssigkeiten, die hyperton oder hypoton sind (also weit über oder unter der Konzentration deines Blutes liegen) die Magenentleerung. Die Hersteller von Sportgetränken wissen das schon seit Langem; deshalb sind die meisten Sportgetränke so formuliert, dass sie ungefähr sechs Prozent Kohlenhydrate enthalten (damit die Osmolalität nicht zu stark von der des Blutes abweicht). Die meisten Getränke, die deutlich mehr als sechs Prozent Kohlenhydrate enthalten, behindern die Entleerung der Flüssigkeit aus dem Magen in den Darm. Du kannst die Kohlenhydratkonzentration eines Sportgetränks berechnen, indem du die in einer Portion enthaltenen Gramm Kohlenhydrate (die in der Nährwerttabelle aufgeführt sind) durch das Volumen einer Portion in Millilitern teilst.

Die Entleerung des Speisebreis wird aber auch durch das Öffnen und Schließen des Magenpförtners (Pylorus) reguliert, der als Tor zwischen Magen und Dünndarm dient. (Der wissenschaftliche Fachbegriff *Pylorus* leitet sich vom griechischen Wort für »Torhüter« her.) Tatsächlich ist dein Magenpförtner nichts anderes als ein Türsteher, der den Eingang zum »Dünndarm-Club« bewacht und dafür sorgt, dass nicht zu viele Partygäste auf einmal hineinströmen und den Abend verderben. Eine visuelle Darstellung dieser Feedback-Reaktionen (die durch Verbindungen zwischen Darm und Nervensystem reguliert werden) findest du auf Seite 23.

DÜNNDARM

Der Dünndarm ist bei Weitem der längste Bereich des Darms. Damit dieses ganze Gewebe in der Bauchhöhle überhaupt Platz findet, ist dieser Teil des Darms eng in sich verschlungen. Obwohl die Länge je nach Art der Messung variiert (und auch davon abhängt, ob bei einem toten oder lebendigen Menschen gemessen wird), ist der Dünndarm normalerweise drei bis sieben Meter lang.¹⁵ Um dir eine Vergleichsmöglichkeit zu geben: Das entspricht



REGULATION DER MAGENENTLEERUNG

Das Tempo der Magenentleerung wird unter anderem durch Aktivierung von sensorischem Gewebe im Dünndarm reguliert, das über das Nervensystem mit dem Magen kommuniziert.

in etwa der Länge einer weiblichen Grünen Anakonda. Ja, du hast ganz richtig gehört: In deinem Bauch befindet sich das Äquivalent einer Anakonda – wenn auch ein ziemlich dünnes, hohles Exemplar.

Dein Dünndarm besteht aus drei Abschnitten mit komisch klingenden Namen (von oben nach unten): Zwölffingerdarm (*Duodenum*), Leerdarm (*Jejunum*) und Krummdarm (*Ileum*). Der wissenschaftliche Name *Duodenum* leitet sich von der lateinischen Übersetzung eines altgriechischen Begriffs her, der »zwölf Fingerbreiten« bedeutete. (Bei Autopsien im Museion von Alexandria beobachtete der griechische Anatom Herophilus von Chalkedon, dass der erste Teil des Darms zwölf Fingerbreiten lang war.¹⁶⁾ Wenn Speisebrei in den Zwölffingerdarm eintritt, übernimmt die Bauchspeicheldrüse (Pankreas) den Verdauungsprozess von Kohlenhydraten, Fett und Eiweiß. Diese Drüse, die pro Tag schätzungsweise 2,5 Liter Verdauungssaft in den Darm abgibt, ist das Arbeitspferd deines

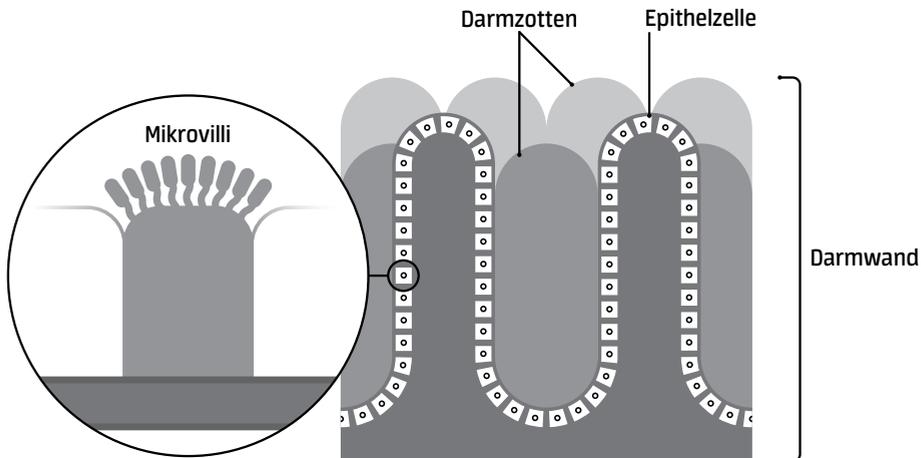
Verdauungssystems.¹⁷ Oder um einen Vergleich aus der Welt des Films heranzuziehen: Ich stelle mir die Bauchspeicheldrüse gern als den Michael Caine des Verdauungssystems vor – sie arbeitet und arbeitet und arbeitet. Laut der Website IMDb.com hatte Sir Caine 175 Filmauftritte (Stand: 2020), darunter eine Rolle als sorgloser Pilot Hoagie Newcombe in *Der weiße Hai – Die Abrechnung*, der allgemein als einer der schlechtesten Filme aller Zeiten gilt. (Aber so furchtbar der Film auch ist: Es lohnt sich, dir das Ende auf YouTube anzuschauen, wenn du etwas zu lachen haben willst.) Um Caine Gerechtigkeit zu erweisen: Ihm wurden auch zwei Oscars für den besten Nebendarsteller verliehen.

Der Fluss von Bauchspeicheldrüsensäften wird durch Magensäure (und andere Substanzen) angeregt, die mit der Zwölffingerdarmschleimhaut in Berührung kommen. Das wiederum führt zur Ausschüttung von Hormonen (zum Beispiel Sekretin und Cholecystokinin) ins Blut. Diese Hormone gelangen über den Blutkreislauf zur Bauchspeicheldrüse und geben ihr das Signal, ihre Säfte in den Dünndarm zu entleeren (siehe Seite 25). Eine der wichtigsten Substanzen, die die Bauchspeicheldrüse freisetzt, ist Bikarbonat (ein Säurepuffer). Im Gegensatz zum Magen – der sich durch Produktion von Schleim vor der Magensäure schützt – kann der Dünndarm den ständigen Ansturm starker Säuren nicht verkraften; daher sondert die Bauchspeicheldrüse Bikarbonat ab. Zusätzlich zum säureneutralisierenden Bikarbonat setzt die Bauchspeicheldrüse aber auch noch mehrere Enzyme frei, die Fett-, Eiweiß- und Kohlenhydratmoleküle aufspalten. Die Pankreaslipase verdaut Fettmoleküle (Tri- und Diglyceride), während die Pankreasamylase Stärke und andere Kohlenhydrate aufspaltet. Der Prozess der Eiweißverdauung setzt sich durch die Freisetzung von Vorläuferenzymen namens Trypsinogen und Chymotrypsinogen fort, die zu Trypsin und Chymotrypsin aktiviert werden. Genau wie andere Teile deines Darms ist auch der Dünndarm auf die Peristaltik angewiesen, um Speisebrei und Verdauungssäfte in Bewegung zu halten.

Neben der Bauchspeicheldrüse spielt auch die Leber eine wichtige Rolle bei den im Dünndarm stattfindenden Verdauungsprozessen. In der Leber wird Galle gebildet, in der Gallenblase zwischengelagert und schließlich in den Dünndarm abgegeben. Diese Galle emulgiert Fettklumpen und spaltet sie zu kleineren Fetttropfchen auf. Diese Fettemulgierung ist notwendig, weil die Pankreaslipase wasserlöslich ist; das heißt, sie kann nicht in große Fettklumpen eindringen, um ihre Verdauungsaufgabe zu erfüllen. Durch die Aufspaltung dieser Fettklumpen in kleinere Tröpfchen vergrößert sich die Oberfläche, an der Lipasen das Fett angreifen können, sehr stark.

den Körper aufgenommen. Nur für den Fall, dass du noch einen Beweis für die wichtige Bedeutung dieses Darmabschnitts brauchst: Die chirurgische Entfernung großer Teile des Dünndarms hat im Vergleich zur Resektion anderer Darmteile schwerwiegende gesundheitliche Folgen.¹⁸ Um zu unserem Vergleich aus der Filmbranche zurückzukehren: Wenn die Bauchspeicheldrüse dem Michael Caine unseres Verdauungstrakts entspricht, dann ist der Dünndarm so etwas Ähnliches wie Meryl Streep – er leistet ausschließlich wichtige Arbeit. (Bis zum Jahr 2020 hat Streep sage und schreibe 21 Oscar-Nominierungen erhalten).

Diese enorme Resorptionskapazität verdankt der Dünndarm seiner Anatomie. Er weist zahlreiche ringförmige Falten auf, die den Bereich vergrößern, in dem die Resorption (Aufnahme von Nährstoffen) stattfinden kann. Würde man diese Falten unter dem Vergrößerungsglas betrachten, so sähe man, dass die Epithelzellen, die den Dünndarm auskleiden, kleine Vorsprünge (sogenannte Darmzotten) bilden. Bei noch weiterer Vergrößerung würde man winzig kleine haarähnliche Strukturen namens Mikrovilli sehen, die aus der äußeren Membran der Epithelzellen in den Darm hineinragen. Diese Membran wird oft auch als Bürstensaum bezeichnet, weil sie unter dem Mikroskop einem kleinen Bürstchen ähnelt (guck dir dazu einfach mal die Abbildung unten an, dann weißt du, was ich meine).



DARMZOTTEN UND MIKROVILLI

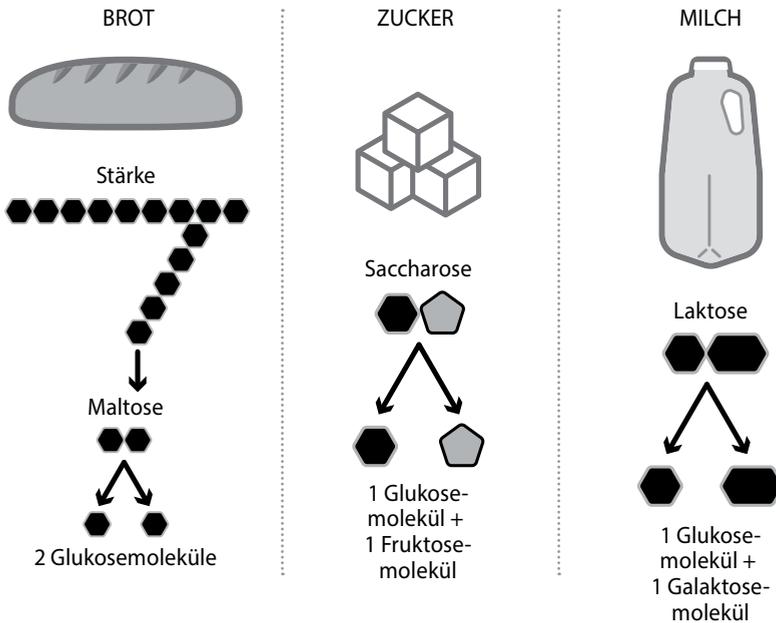
Durch diese finger- und haarähnlichen Vorsprünge vergrößert sich die Oberfläche, an der die Resorption von Nährstoffen im Dünndarm stattfindet, sehr stark.

So wie die Borsten eines Pinsels eine große Oberfläche zum Auftragen von Farbe auf eine Wand bieten, vergrößern die Darmzotten und Mikrovilli die Oberfläche, an der die Resorption von Nährstoffen stattfindet. Obwohl manche Quellen die Dünndarmoberfläche mit 100 Quadratmetern beziffern, liegen neuere Schätzungen eher bei 30 Quadratmetern,¹⁹ was in etwa der Größe eines normalen amerikanischen Wohnzimmers entspricht.

Sobald die Bauchspeicheldrüsenenzyme mit der Verdauung von Kohlenhydraten, Eiweißen und Fetten fertig sind, müssen die Verdauungsprodukte noch die Zellbarriere überwinden, die den Darm vor der unfreundlichen Außenwelt schützt. Die Produkte der Eiweißverdauung – Aminosäuren und kleine Peptide (zwei bis drei miteinander verbundene Aminosäuren) – binden sich zu diesem Zweck an Trägermoleküle im Bürstensaum der Darmzellen. Wie schnell diese Aminosäuren und Peptide ins Blut aufgenommen werden, hängt von ihrer Struktur und ihren chemischen Eigenschaften ab. Zum Beispiel werden verzweigt-kettige und essenzielle Aminosäuren (die der Körper nicht selbst herstellen kann) normalerweise schneller resorbiert als nicht essenzielle Aminosäuren.

Bevor die Kohlenhydratresorption stattfinden kann, müssen die länger-kettigen Kohlenhydratmoleküle durch Enzyme am Bürstensaum erst noch in kurze Glukoseketten oder einzelne Glukosemoleküle aufgespalten werden. In ähnlicher Weise werden Disaccharide wie Saccharose (Haushaltszucker), Laktose (Milchzucker) und Maltose (zwei aneinandergelagerte Glukosemoleküle) durch Enzyme zu einzelnen Zuckermolekülen abgebaut. Diese Zuckermoleküle (Glukose, Fruktose, Galaktose) werden dann mithilfe von Transportproteinen (von denen die beiden wichtigsten SGLT1 und GLUT5 heißen) in die Darmzellen aufgenommen. Auf diese Transporter werde ich in Kapitel 4 noch näher eingehen, weil sie wichtige Auswirkungen darauf haben, wie viele Kohlenhydrate dein Verdauungssystem während des Trainings vertragen kann. Die Abbildung auf Seite 27 bietet einen vereinfachten Überblick über die Kohlenhydratverdauung.

Im Gegensatz zur Aufnahme von Kohlenhydraten und Aminosäuren erfolgt die Fettaufnahme meist durch einfache Diffusion: Kleine emulgierte Fetttropfen aus Fettsäuren und Monoglyceriden werden zum Bürstensaum transportiert, wo sie durch die fettlösliche Zellmembran hindurchdiffundieren. Im Inneren der Darmzellen werden diese Fettsäuren und Monoglyceride dann in Triglyceride umgepackt, die sich wiederum mit anderen fettlöslichen Substanzen zu Chylomikronen verbinden – einem Konglomerat aus Eiweiß, Cholesterin, Triglyceriden und Phospholipiden. Diese Chylomikronen werden dann aus den Darmzellen ins Lymphsystem freigesetzt und fließen ins Blut hinein.



KOHLLENHYDRATVERDAUUNG

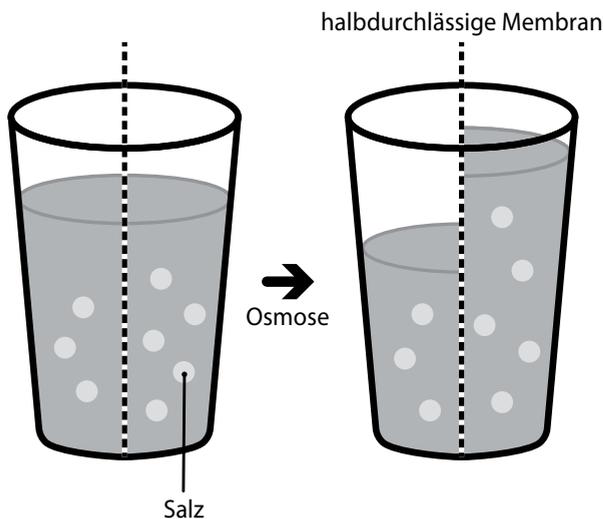
Um Kohlenhydrate aufnehmen zu können, muss der Körper Kohlenhydratketten in einzelne Zuckermoleküle aufspalten.

Auch Vitamine und Mineralstoffe können im Dünndarm problemlos resorbiert werden – meist über spezielle Trägermoleküle oder Transportsysteme. Dein ganzer Dünndarm kann Vitamine und Mineralstoffe aufnehmen; doch die höchsten Resorptionsraten finden sich im Zwölffingerdarm und in der oberen Hälfte des Leerdarms. Eine bemerkenswerte Ausnahme stellt Vitamin B₁₂ dar, das hauptsächlich im untersten Dünndarmbereich – dem distalen Krummdarm – resorbiert wird.²⁰

Ein letzter wichtiger Nährstoff, der im Dünndarm resorbiert wird, ist Wasser. Die meisten Stubenhocker, die in gemäßigten Klimazonen leben, müssen zwei bis drei Liter Flüssigkeit pro Tag zu sich nehmen, um den Wasserverlust durch Kacken, Pinkeln und Schwitzen auszugleichen. Ein Sportler, der stundenlang bei glühender Hitze trainiert, muss dagegen unter Umständen die zwei- bis dreifache Menge Flüssigkeit aufnehmen, um seinen Schweißverlust auszugleichen. Natürlich spielt der Darm aufgrund seiner Rolle bei der Resorption von Wasser aus den Flüssigkeiten und Nahrungsmitteln, die wir zu uns nehmen, eine wichtige Voraussetzung für die Flüssigkeitsversorgung. Die Menge an

Wasser, die du trinkst, ist geringer als die Flüssigkeitsresorption im Darm, und zwar deshalb, weil dein Körper täglich ungefähr sieben Liter (fast eine Kiste Bier) Flüssigkeit ins Darmlumen absondert. Diese Flüssigkeitssekretion erfolgt zu Verdauungszwecken (zum Beispiel in Form von Magen- und BauchspeicheldrüSENSÄFTEN) und zur Verringerung der Osmolalität hoch konzentrierter Flüssigkeiten, die in deinen Darm gelangen. (Auf dieses Thema werde ich gleich noch näher eingehen.) Diese ausgeschütteten Verdauungssäfte fließen allerdings nicht als wässriger Stuhl durch deinen Körper hindurch, sondern dein Darm reabsorbiert über 95 Prozent davon – zumindest bei normaler Funktion. Dieses Recyclingsystem ist ein raffinierter Anpassungsmechanismus, durch den sich die Menge an Flüssigkeit, die du täglich aufnehmen musst, drastisch verringert.

Das Gros der Wasserresorption – vielleicht bis zu 80 Prozent – findet im Dünndarm statt²¹ und erfolgt über Osmose. Für den Fall, dass du als Jugendlicher im Naturkundeunterricht geschlafen hast, möchte ich an dieser Stelle noch einmal erklären, wie Osmose funktioniert: Die Wasserbewegung hängt von der Konzentration von Molekülen auf beiden Seiten einer halbdurchlässigen Membran ab. Wasser bewegt sich von der Seite mit der niedrigeren auf die Seite mit der höheren Konzentration von Molekülen, was letztlich zu einer gleichen Molekülkonzentration auf beiden Seiten führt. (Der Fachbegriff zur Beschreibung der Konzentration von Molekülen in einer Flüssigkeit lautet »Osmolalität«). Ein einfaches Experiment, mit dem man die Funktionsweise der Osmose nachvollziehen kann, besteht darin, zwei Kartoffelscheiben in getrennte Schalen zu legen, die unterschiedliche Flüssigkeiten enthalten: eine mit Leitungswasser und eine mit Salzwasser.



OSMOSE

Die Flüssigkeitsbewegung in den Darm hinein und aus ihm heraus hängt hauptsächlich von der Konzentration der im Darmlumen und im Körper gelösten Stoffe (Natrium, Zucker und so weiter) ab.