

*Egal ob's schmeckt oder nicht - der Körper will, dass wir essen, dass er versorgt wird mit Baustoff und Energie. Und sein Verdauungsapparat zerlegt dank eines Arsenal von mechanischen, chemischen und biochemischen Werkzeugen nahezu alles, was mundgerecht ist, in seine elementaren Bestandteile.*

## Das Drama nach der Mahlzeit

Text: Alexandra Rigos

Wissensch.Beratung: Prof. Dr. Stefan Silbernagl

Ein Hamburger besteht aus einem flachen Sesambrötchen, einer platt gedrückten Frikadelle, einem Salatblatt, Tomatenscheiben und Ketchup. Oder aber, aus der Sicht eines Ernährungsexperten, aus durchschnittlich 16 g Eiweiß (Protein), 27 g Kohlehydraten und 12 g Fett, außerdem aus Vitaminen und Mineralstoffen in kleinsten Mengen sowie Ballstoffen und reichlich Wasser. Alles zusammen entspricht einem Nährwert von 273 Kilokalorien - genug Energie, um ungefähr eine halbe Stunde lang schnell schwimmen oder anderthalb Stunden spazieren gehen zu können.

Damit der Körper jedoch die Kraftstoffzufuhr in Aktivitäten umsetzen kann, hat er Vorarbeit zu leisten: Zunächst müssen die Hamburger-Zutaten verdaut, also in ihre molekularen Bestandteile zerlegt werden, und diese müssen ins Blut gelangen. Dieser Vorgang spielt sich im Verdauungstrakt ab, einem bei Erwachsenen gut 5 m langen, schlauchartigen Gebilde, das vom Mund bis zum Anus reicht.

Erst einmal bekommen die Zähne zu tun. Die Schneide- und Eckzähne teilen einen mundgerechten Bissen ab, und die Backen- und Mahlzähne zermalmen ihn zu einem Brei, der sich dabei mit Speichel vermischt. Der rinnt aus drei Paar kleinen Drüsen am Zungenrund und sondert Enzyme, wie etwa die Speichelamylase ab, die sogleich mit der Zersetzung der Stärke im Nahrungsbrei beginnt, also deren Verdauung vorbereiten hilft. Hauptsächlich aber dient die Speichelamylase der Zersetzung von Speiseresten und somit der Reinigung von Mundhöhle und Gebiss.

Ein bis zwei Liter Speichel - je nach Bedarf - produziert der Mensch täglich. Allerdings konnte die Volksweisheit, dass ihm schon beim Geruch oder Anblick einer appetitlichen Speise „das Wasser im Mund zusammenläuft“, bislang experimentell nicht bestätigt werden.

Ist der Speisebrei weich genug, schiebt die Zunge ihn wie ein automatisches Fördersystem portionsweise in Richtung Rachen - normalerweise jeweils eine Menge von fünf bis 15 Millilitern. Während der gesamten „Mundarbeit“ bewegt die Zunge, ein von Schleimhaut überzogener Muskel, die Nahrung hin und her, ohne dass man bewußt kaut oder schluckt.

Gleichzeitig prüft die Zunge mit ihren Geschmacksknospen - je nach Alter zwischen 9 000 und 4 000 - die Qualität der Speise: Schmeckt sie süß und ist sie demnach besonders nahrhaft? Oder ist sie bitter und könnte demnach Giftstoffe enthalten? Über die Geschmacksnerven leiten die Sinneszellen auf der Zunge die Informationen an das Gehirn, das dann etwa mit Appetit auf die Süße des Ketchup oder mit dem Kommando „Ausspucken“ auf ein verdorbenes

Salatblatt reagiert.

Hat die Zunge einen Bissen für akzeptabel befunden, befördert sie ihn in die Speiseröhre. Dort übernimmt ein Mechanismus den Weitertransport, der typisch ist für den gesamten Verdauungstrakt: die Peristaltik. Die etwa 25 bis 30 cm lange Speiseröhre ist ebenso wie der Darm von ringförmigen und längslau-fenden Muskeln umgeben und kann sich daher zusammenziehen und wieder entspannen.

Dort, wo sich ein Nahrungshäppchen befindet, dehnt sich die Speiseröhrenwand. Das löst Nervenimpulse aus, die wiederum bewirken, dass sich die Muskelringe unmittelbar oberhalb dieser Stelle zusammenziehen und „stromabwärts“ erweitern. So wird der Speisebrei in wellenartigen Bewegungen Schritt für Schritt durch den Schlauch gedrückt. Wie stark diese Wellen sind, zeigt sich bei Übelkeit: Pötzlich kehrt sich die Richtung der Peristaltik um, und das Geschluckte wird wieder nach oben aus dem Verdauungstrakt herausgedrückt.

In der Regel aber nimmt der anderthalb Liter fassende Magen die Nahrung auf und übernimmt gleich mehrere Funktionen: Er dient zum einen als Voratsbehälter, der selbst eine üppige Mahlzeit zwischenlagert, sie - wiederum durch peristaltische Wellen - gründlich durchmischt, mechanisch zerkleinert, das Fett darin emulgiert (also in kleinere Tröpfchen zerlegt) und das Ganze schließlich, wieder portionsweise, an den Darm weitergibt.

Außerdem spielen sich im Magen bereits wichtige Schritte des chemischen Verdauungsprozesses ab. So genannte Belegzellen in der Magenwand sondern Salzsäure ab, die den größten Teil der mit den Speisen eingeschleppten Keime abtötet. In diesem aggressiven Bad, gegen das der Magen selbst durch eine dicke Schleimhaut geschützt ist, lösen sich auch die Nahrungspartikel auf. Dazu trägt wesentlich das Enzym Pepsin bei, das von der Magenwand gebildet wird und Eiweiße spaltet.

Der Hamburger hat sich mittlerweile ziemlich verflüssigt. Der Magen, dessen Wände bei einem nüchternen Menschen aneinander liegen, hat sich nun um einiges gedehnt. Druckempfindliche Nervenzellen in der Magenwand messen den Füllstand permanent und melden ihn dem Gehirn. Dehnt sich der Magen weiter als um etwa 20%, stellt sich Sättigungsgefühl ein.

Allerdings tragen noch andere Einflüsse zur Mengenregulierung bei. Vom ersten Bissen an schütten verschiedene Organe im Verdauungstrakt, aber auch das Gehirn, Hormone aus. Die Zusammensetzung dieses Cocktails ändert sich im Laufe der Verdauungsprozedur. Dutzende dieser Botenstoffe wirken wie Rädchen in einem komplizierten Gewirr von Regelkreisen, das die widerstreitenden Gefühle von Appetit und Sättigung steuert.

**So** beginnen die „Inselzellen“ in der Bauchspeicheldrüse beispielsweise, das Hormon Insulin freizusetzen, wenn sich der Zuckerspiegel im Blut infolge der Nahrungsaufnahme erhöht. Kommt die Speise im Darm an, läuft die Insulinproduktion schon auf Hochtouren. Dieses Hormon ebnet dem im Blut kreisenden Zucker den Weg in die Körperzellen, wo er als Energielieferant benötigt wird. Ein zu niedriger Blutzuckerspiegel löst Heißhunger aus. Bei Diabetikern ist dieser Mechanismus gestört, denn bei ihnen fällt die Insulinproduktion ganz oder teilweise aus.

Am unteren Ende des Magens öffnet sich von Zeit zu Zeit der Magenpförtner, ein kräftiger Muskelring, der sich dann entspannt - und lässt etwas Brei in den

Dünndarm rinnen. Und dort beginnt die eigentliche Verdauungsarbeit. Denn was Zähne, Säure, Enzyme und Magenmotorik bislang zur Zerlegung des Hamburgers geleistet haben, war nur das Vorspiel.

Der Dünndarm ist ein drei bis vier Meter langer Schlauch von gerade einmal 2,5 Zentimeter Durchmesser. Und doch weist er eine Oberfläche von etwa 100 Quadratmetern auf - also reichlich Auffangfläche für die Nährstoffe aus dem Darminhalt. Die wundersame Flächenvermehrung bewirken die etwa 600 Ringfalten, die jeweils mit Tausenden von Darmzotten - etwa 1 mm langen fingerartigen Ausstülpungen - besetzt sind. Aus diesen wiederum stülpen sich Millionen von winzigen, gut ein Tausendstelmillimeter langen, ebenfalls fingerförmigen „Mikrovilli“, die somit den Löwenanteil der Darmfläche ausmachen.

In den ersten, nur 20 bis 30 Zentimeter langen Abschnitt des Dünndarms, den Zwölffingerdarm, sondern Gallengang und Bauchspeicheldrüse höchst wirksame Verdauungssäfte ab. Das Sekret der Bauchspeicheldrüse etwa enthält ein ganzes Gemisch von Enzymen: Trypsin und Chymotrypsin zerschneiden Eiweißstoffe, Lipasen machen sich über die Fette her, und die Pankreas-Amylase baut die Stärke ab. Stärke besteht aus Hunderten ringförmiger Traubenzuckermoleküle, die sich zu langen, manchmal verzweigten Ketten zusammenlagern. Die Pankreasamylase kappt nun die Nahtstellen zwischen den Kettengliedern, sodass kürzere Abschnitte und nach einiger Zeit auch kleine, aus zwei oder drei Zuckermolekülen bestehende Stückchen entstehen.

Diese und andere bereits aufgenommene Zucker gleiten an die Zellen der Darmschleimhaut, Enzyme in den Zellmembranen zerlegen die Zuckertrümmer in deren Grundbausteine, im wesentlichen Glucose (Traubenzucker), Fruktose (Fruchtzucker) und Galaktose (Bestandteil des Milchzuckers).

Die nunmehr jeweils nur noch aus einem Ring bestehenden Zuckerteilchen werden von der Zelle durch spezielle Transportmoleküle aufgenommen und an das Netz feinsten Blutgefäße weitergereicht, an das jede Darmzotte angeschlossen ist. Die Transportmoleküle sind so etwas wie winzige Pforten, die jeweils nur bestimmte Substanzen passieren lassen und Glukose und Galaktose sogar regelrecht hindurchschubsen.

Alle Nährstoffe, die wie die Stärke chemisch aus Zuckerringen aufgebaut sind, fallen unter den Oberbegriff „Kohlenhydrate“. Die Zucker wiederum sind die wichtigsten Kraftquellen des Organismus. Mit dem Blut erreichen sie die Zellen und werden dort unter Energiegewinn zu Kohlendioxid und Wasser „verbrannt“. Zuckerüberschüsse kann die Leber in das Kettenmolekül Glykogen oder in Fett umwandeln und speichern.

Auch die Zellulose, Hauptbestandteil etwa des Salatblattes und der Tomatenscheibe, ist ein Kohlenhydrat und besteht aus vielen Glukosemolekülen. Diese aber sind anders miteinander gekoppelt, sodass die Amylase diese Ketten nicht aufbrechen kann. Zellulose passiert den Dünndarmen deshalb wie auch einige andere Zuckerverbindungen weitgehend unverdaut - als Ballstoff.

Auf andere Weise widerspenstig geben sich die Fette, die in der Frikadelle reichlich enthalten sind. Bei Fetten, auch Lipide genannt, handelt es sich um eine Gruppe ziemlich unterschiedlicher Stoffe, die schlecht oder gar nicht wasserlöslich sind. Dass sie dennoch im wässrigen Milieu des Darms löslich

werden, schaffen die Gallensäuren.

Diese bilden zusammen mit den Fettbruchstücken winzige Bläschen, und da die Zellmembranen der Darmschleimhaut selbst fetthaltig sind, lassen sie das Fettige in den Bläschen passieren. Im Innern der Schleimhautzellen werden die Lipidteilchen wieder zu Fetten zusammengesetzt, mit Proteinen verpackt und gelangen in dieser Form über die Lymphe ins Blut, das sie zu den Verbrauchern, also vor allem zur Muskulatur, oder in die Depots, also ins Fettgewebe befördert.

Wie Kohlenhydrate dienen Fette somit als Energielieferant, sie spielen jedoch auch eine wichtige Rolle als Baustoffe etwa für Zellmembranen.

Nicht anders als Zucker und Fette wird auch Eiweiß (Protein) im Dünndarm zerlegt: in die Aminosäuren. Die Eiweiße im Hackfleisch der Bulette bestehen wie sämtliche Proteine des Tierreichs aus nur 21 Aminosäuren. Doch aus diesen bilden sich - ähnlich wie die Buchstaben eines Alphabets ganze Bibliotheken füllen - all jene Proteine, die das Leben in Gang halten.

Denn die sind nicht nur das wichtigste Baumaterial des Körpers, sie überbringen auch - etwa als Hormone - Botschaften, dienen als Antikörper der Infektionsabwehr, sitzen als Rezeptormoleküle auf Zellmembranen, zerschneiden als Enzyme chemische Verbindungen und bauen daraus wiederum andere Substanzen auf. Der Mensch verfügt über rund 50 000 Varianten von Proteinen.

Zwar kann der Organismus in Zeiten des Mangels Aminosäuren auch zur Energiegewinnung heranziehen, doch eigentlich sind diese Stoffe für ihn zu kostbar, um sie zu verbrennen. Deshalb nutzt er die in Aminosäuren zerlegten Eiweiße aus der Nahrung vorwiegend, um eigene Proteine zu bauen.

**R**und acht bis zehn Stunden, nachdem der Hamburger vertilgt worden ist, hat das Gros der zerlegten Nährstoffe - einfache Zucker, Aminosäuren, Fett-Abbauprodukte - den Blutstrom erreicht. Aber auch Mineralstoffe wie Eisen (aus dem Fleisch) oder Vitamin C (aus dem Salat) und andere Vitamine haben dann die Darmschleimhaut passiert. Solche „essentiellen Nährstoffe“ sind für diverse Stoffwechselfvorgänge nötig, doch kann der menschliche Organismus sie nicht selbst herstellen.

Im letzten Abschnitt des Dünndarms hat sich der Körper auch gut 90% der Gallensäuren aus dem Restbrei zurückgeholt: Sie sind ebenfalls durch die Darmwand ins Blut gelangt, werden dann von der Leber pro Tag bis zu zehnmal recycelt und jeweils wieder der Galle zugemischt. Was jetzt noch von der Mahlzeit übrig bleibt, ist reif für die letzte Station des Verdauungssystems - den Dickdarm.

Hier wird dem ausgelaugten Brei das meiste restliche Wasser samt einigen Mineralstoffen entzogen. Vor allem aber ist diese etwa 1,5 m lange und sechs Zentimeter dicke Röhre ein Fermenter, in dem sich Billionen Bakterien über bislang unverdaute Nahrungsbestandteile hermachen.

Jeder Mensch beherbergt mehr als 100 Bakterienarten und bildet mit ihnen eine einzigartige Lebensgemeinschaft, die sich in ihrer jeweiligen Zusammensetzung bei keinem zweiten Individuum wiederfindet. Manche Mikroben gewinnen aus dem Abbau von Ballaststoffen Substanzen, die für den Organismus nützlich sind, etwa das für die Blutgerinnung wichtige Vitamin K oder kurzkettige Fettsäuren.

Bei solcher Resteverwertung produzieren sie aber auch Gase. Insbesondere

wenn die Darmbakterien langkettige Kohlenhydrat-Verbindungen in Kohl, Zwiebeln oder Hülsenfrüchten knacken, fällt viel luftiger Abfall an: unter anderem Wasserstoff und Methan, aber auch Spuren anderer Gase wie etwa Schwefelwasserstoffverbindungen.

Ein Teil der Gase wird vom Dickdarm absorbiert, über den Blutkreislauf zur Lunge transportiert und ausgeatmet. Nur etwa 0,5 bis 1,5 Liter Gase, je nach Nahrung - bläst der Darm in 24 Stunden über den Anus aus, meist in unauffälligen Portionen.

Die bakterielle Schlussbehandlung des Speiserestes braucht ihre Zeit. Nach der schnellen Reise durch den Dünndarm verweilen die Relikte zwischen 20 und 50 Stunden im mikroskopischen Gewimmel des Dickdarms. Wie schnell sie ausgeschieden werden, hängt nicht zuletzt davon ab, wie viel Ballaststoffe die Nahrung enthalten hat. Solche weithin unverdaulichen Substanzen quellen im Darm kräftig auf und regen dessen Aktivität an.

Nur zu einem kleinen Teil enthält der nun ausscheidungsbereite Kot noch Stoffe, die mit dem Hamburger verzehrt worden sind, etwa unverdauliche Ballaststoffe. Hauptsächlich finden sich in ihm Enzymrückstände sowie unangenehm riechende Stoffwechselprodukte, abgeschilferte Darmzellen und jede Menge lebender und abgestorbener Darmbakterien. Sie allein machen bis zu 60% der Trockenmasse aus.

Früher oder später quetschen peristaltische Wellen den Stuhl - 60 bis 80 Gramm durchschnittlich pro Tag bei gemischter Kost - ins Rektum. Wann er sich aber der Fäkalien entledigt, entscheidet der Mensch, der auf das Verdauungsgeschehen zuvor keinerlei bewussten Einfluss hatte, nun wieder selbst.

Meistens jedenfalls.

#### Literaturquelle:

Geo kompakt Nr. 2

Gruner und Jahr Verlag Hamburg 2005

S. 61 - 67