

# Kapitel I

## Knochen, der starke Kerl

Wenn ich an den Knochen denke, fällt mir sofort der Stahlbeton ein. Nicht dass der Knochen eine tote Masse sei. Nein, der Knochen lebt! Aber die Natur hat den Knochen einzigartig konzipiert. Und sofort zeigt sich dem Ingenieur ein wesentlicher Unterschied zum Stahlbeton. Doch während Stahlbeton sowohl Zug- als auch Druckkräfte aufnehmen kann, ist der Knochen von Natur aus im Wesentlichen dazu ausgelegt, nur Druckkräfte auszuhalten.

Aber was sind dann die Ähnlichkeiten zum Stahlbeton? Dazu müssen wir uns die Mikroarchitektur des Knochens genauer ansehen. Wie der Stahlbeton besteht der Knochen aus zwei mechanisch unterschiedlich wirkenden Bestandteilen. Zum einen haben wir sehr druckfestes Mineralsalz, das Hydroxylapatit. Dieses entspricht im Wesentlichen dem Beton. Das Hydroxylapatit allein würde Zugkräfte aber nicht in ausreichender Weise aufnehmen können, denn dazu ist es zu spröde. Deswegen gibt es in Knochen zusätzlich Kollagenfasern, in die das Hydroxylapatit eingebettet ist. Diese Fasern verhindern, dass das Salz unter der mechanischen Belastung zerbricht. Ähnlich wie der Stahl den Beton, so halten die Kollagenfasern das Hydroxylapatit zusammen. Aber im Gegensatz zum Stahlbeton darf man den Knochen nicht zu fest auseinanderziehen, das halten die Kollagenfasern nicht aus. Daher gilt im Körper eine Arbeitsteilung. Während der Knochen zur Aufnahme der Druckkräfte da ist, gibt es zur Aufnahme der Zugkräfte besser geeignete Strukturen, nämlich Bänder und Sehnen. Gemeinsam mit dem Knochen bilden sie das, was die Orthopädie als Stütz- und Bewegungsapparat bezeichnet.

205 Knochen verrichten im menschlichen Körper ihre Arbeit. Etwa fünf Kilogramm schleppt ein gesunder erwachsener Mensch davon mit sich herum. Und alle sind sie in gleicher Weise aufgebaut. Dabei ist zunächst einmal Energiesparen angesagt. Viel Knochen bedeutet einen hohen Energieeinsatz. Aber was kostet denn eigentlich so viel Energie? Auch wenn der Knochen lebt, macht er nicht viel. Außer da zu sein. Doch allein der Unterhalt kostet. Deshalb ist eben nur so viel Knochen da, wie der Mensch braucht. Und der braucht genau so viel, wie er macht. Bewegt er sich viel, treibt er viel Sport, hebt er schwere Gewichte, braucht er einen starken Knochen. Dann passt sich der Knochen dieser erhöhten mechanischen Belastung an, er wird dicker. Wenn andersherum die mechanische Belastung des Knochens ausbleibt, wird er wieder dünner.

### Wie der Knochenumbau auf der Zellebene funktioniert

Wie geht das nun mit dem Dicker-und-dünn-Werden des Knochens? Dazu gibt es Spezialisten, zwei spezielle Zelltypen. Die einen, die Osteoblasten, nennen wir sie in Stellvertretung Moritz, sind dazu da, den Knochen wachsen und dicker werden zu lassen. Wie macht Moritz das? Eine Zelle hat ja keine Werkzeuge oder Hände, mit denen sie Kollagenfasern verknoten und in diese Netze Hydroxylapatit hineingießen kann. Moritz kann nur eins: Chemie! Aber darin ist er ein Meister. Moritz ist wie jeder Zelltyp im Körper ein Spezialist. Jede Körperzelle stellt spezielle Proteine her, die nur von diesem Zelltyp gebildet werden können. Im Falle von Moritz sind das spezielle Kollagene, die eine hohe Affinität zu Kalziumphosphat aufweisen. Das Kollagen eins und das Kollagen acht sind solche Kandidaten.

**Was ist Kalzium?** Das Leben benötigt vor allem Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff. Dann folgt mit einigem Abstand Kalzium. 1,5 Prozent unseres Körpergewichts entfallen auf dieses Element, das man vielleicht noch aus dem Chemieunterricht kennt. Das Metall verbindet sich wie der Blitz, wenn man ihm ein anderes Material anbietet, zum Beispiel Wasser. Tatsächlich ist Kalzium ein extrem reaktives Element, das in der Natur in unzähligen Verbindungen vorkommt. Davon ist der allseits bekannte Kalk (nur) eine. Kalk heißt chemisch korrekt Kalziumkarbonat. Die Verbindung mit dem Kohlenstoff (Carbonium) ist eine andere leidenschaftliche Liaison des Kalziums. In den Knochen steckt aber kein Kalk, sondern Kalzium als Kalziumphosphat oder Hydroxylapatit. Das ist die harte Substanz, die dem Knochen die Festigkeit verleiht, damit der Mensch nicht als Sofakartoffel sein Leben fristen muss.

Halte niemand das Hydroxylapatit für eine „tote“ Materie, nur weil es aus anorganischen Quellen kommt. Das in ihm enthaltene Kalzium verwendet der Körper immer dann, wenn es anderweitig, etwa durch Ernährungsmängel, zu wenig von diesem Element gibt. Der Körper nutzt die Knochen tatsächlich als Kalziumbank, von der er abhebt, wenn er klingendes Metall braucht. Und er legt es auch wieder an, wenn genug davon vorhanden ist.

Kommt also so ein Kalziumphosphat aus dem Blut angeschwommen (jawohl, der Knochen ist durchblutet), bindet es an diese Kollagenfasern. Es kommt zu einer Mineralisierung dieser Fasern und letztlich zur Bildung des Hydroxylapatits.

Aber Moritz ist nicht allein. Natürlich ist Max in der Nähe und wartet geduldig auf seine Chance. Max ist ein sogenannter Osteoklast. Dieser Zelltyp hat einen eher destruktiven Charakter. Alles, was Moritz aufgebaut hat, ist Max ein Dorn im Auge. Max hält sich mit seiner Arbeit nur dort zurück, wo es auffällt, nämlich da, wo der Körper den Knochen braucht. An den Stellen aber, an denen der Knochen weniger belastet wird, wartet ein listiges Helferlein, der Osteozyt. Dieser schüttet ein bestimmtes Protein aus, das RANKL. Max wird rasend, wenn der RANKL in seiner Nähe ist. Wie ein Wilder fängt er an, Moritz' sorgsam gebildeten Knochen aufzulösen. Es kommt zu einem lokalen Knochenschwund.

## **Osteoblasten (Moritz) & Osteoklasten (Max)**

Dieser Knochenschwund hat aber auch etwas Gutes. Und das gleich aus mehreren Gründen. Wie bei jedem Material gibt es auch beim Knochen eine Materialermüdung. Wir kennen das von einer Büroklammer. Biegen wir sie einige 100-mal hin und her, wird das Material spröde und bricht schließlich. Das Problem der Büroklammer ist, niemand hilft ihr. Max und Moritz hingegen leisten ganze Arbeit. Da, wo der Knochen die ersten Ermüdungsrisse durch eine zu hohe und lang andauernde mechanische Belastung bekommt, macht Max reinen Tisch. Nachdem er den betroffenen Knochen entfernt hat, kann Moritz diesen wieder neu aufbauen. Was kein in der Technik übliches Material kann, schafft die Natur ganz spielerisch. Allerdings baut Moritz den Knochen nur an den Stellen wieder auf, an denen er wirklich gebraucht wird. So kommt es nicht nur zu einer Reparatur, sondern zu einem ständigen Umbau der Knochenstrukturen, den mechanischen Ansprüchen folgend. Wir sehen also: Keinesfalls ist der Knochen ein totes Material!

## **Der Schwamm (Spongiosa) & die Rinde (Kortikalis)**

Und wie war das mit dem Energiesparen? Der Knochenumbau kann schließlich nicht umsonst sein. Ist er auch nicht. Wir unterscheiden zwei Knochenstrukturen, zum einen den spongiösen, den schwammartigen Knochen, zum anderen den kortikalen, den festen Knochen.

Den löchrigen spongiösen und eher weichen Knochen finden wir insbesondere in den Gelenkbereichen. Je nachdem, wie die Gelenke belastet werden, muss er sich im Bereich der Gelenke besonders oft neuen mechanischen Herausforderungen stellen. Wenn wir zum Beispiel bei unseren Sportgewohnheiten das kniebelastende Joggen durch das kniefreundliche Fahrradfahren ersetzen, bedeutet das für das Hüft- und Kniegelenk eine komplette Umstellung der mechanischen Situation.

Es gibt aber noch einen anderen Grund, warum der Knochen im Bereich der Gelenke weich und anpassungsfähig sein muss. Über diesem Knochen liegt der Gelenkknorpel, ein wirklich sensibler Kerl, dem man es kaum recht machen kann. Wird er zu wenig belastet, wird er dünner, wird die Belastung zu groß, geht er kaputt. Nach den Gesetzen der Physik hängt dabei die Last, die auf den Knorpel wirkt, stark von der Auflage des Knorpels auf dem Knochen ab. Je härter diese Auflage ist, umso unkomfortabler wird es für den Knorpel. Wir sehen, die Spongiosa muss viel leisten. Umsonst ist das nicht. Während der kortikale Knochen sehr genügsam ist, braucht der ständige Knochenumbau im Bereich der Spongiosa viel Energie. Daher leistet sich der Körper auch, nur circa zwanzig Prozent seines Knochens als spongiösen Knochen auszubilden.

Warum hat es dagegen der kortikale Knochen so leicht? Auch hier weiß der Mechaniker die Antwort. Während der spongiöse Knochen sich ständig mit den neuen Sportgewohnheiten seines Arbeitgebers abplagen muss, überträgt der kortikale Knochen eine genau definierte Belastung von Gelenk A auf Gelenk B. Das funktioniert meistens

ohne große Probleme. Nur wenn den Knochenbesitzer der Ehrgeiz packt und er seine sportlichen Aktivitäten steigert, muss der kortikale Knochen etwas dicker oder aber bei einem Faulenzer entsprechend dünner werden. Viel mehr ist nicht zu tun. Bis auf eine Kleinigkeit. Geht nämlich der Knochenbesitzer mit seinem Stütz- und Bewegungsapparat nicht sorgsam um, stürzt er oder erleidet einen Unfall und es kommt zu einer Knochenfraktur, müssen sowohl die Spongiosa wie auch der kortikale Knochen sich beweisen. Dann wächst der kortikale Knochen manchmal über sich hinaus. Wird ein solcher Knochenbruch nämlich nicht richtig eingerichtet, sodass der Knochen schief zusammenwächst, leistet der kortikale Knochen ganze Arbeit. Dabei helfen ihm die Gesetze der Physik. Da an den Stellen, die innerhalb des Knicks liegen, große Druckkräfte wirksam werden, fängt Moritz an zu schaufeln, was das Zeug hält, und schüttet Knochen an die hochbelasteten Stellen, damit sich die Druckkräfte auf mehr Knochenmasse verteilen können. Der Knochen wird also in diesen Bereichen dicker. Auf der Außenseite des Knicks dagegen herrschen Zugkräfte. Das mag der Knochen gar nicht, und Max fängt an, den Knochen an diesen Stellen wegzuhacken. Innen Knochenwachstum, außen Knochenabbau. In der Folge wird aus dem krummen wieder ein gerader Knochen (s. Abb. 1).

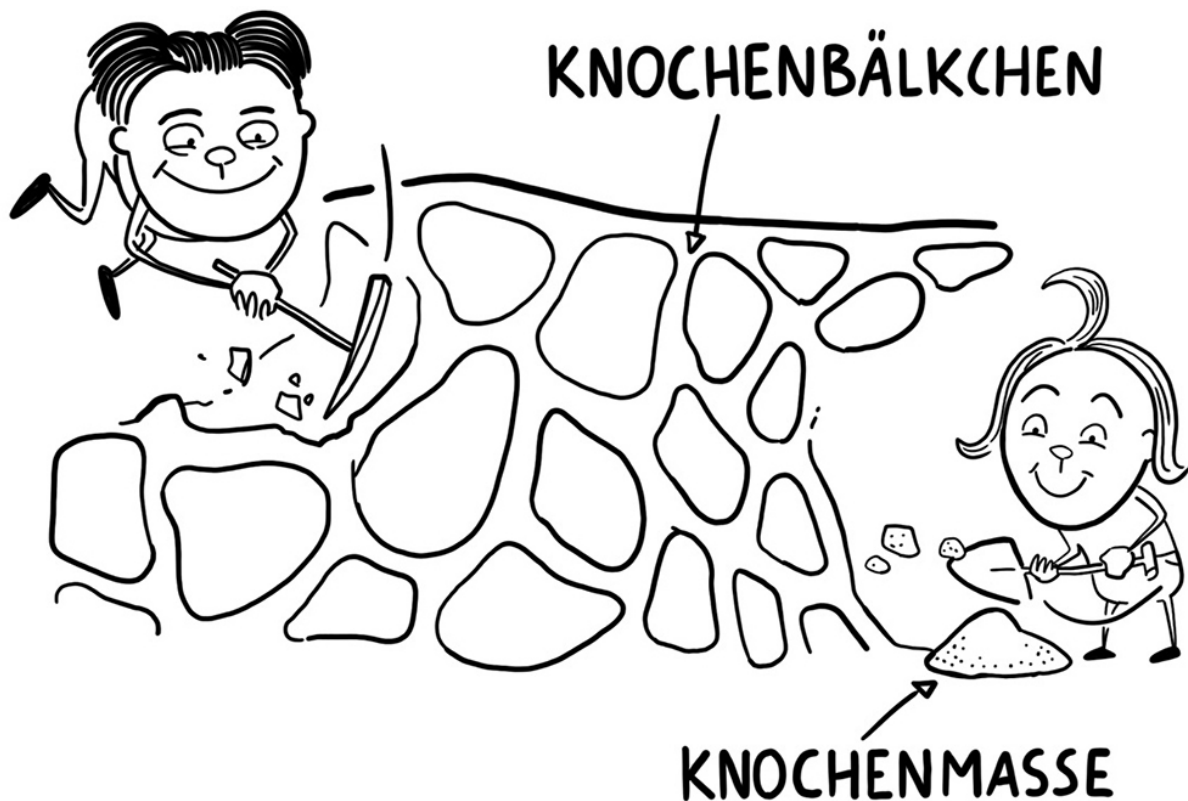


Abb. 1: Max und Moritz werkeln in unseren Knochen

## Max und Moritz und die Chemie

Das alles hört sich an, als würden sich Max und Moritz nur um die Physik kümmern. Doch eigentlich sind sie Chemiker, die in ihrem Zelllabor Kollagene und anderes herstellen. Und als Chemiker hören sie auf die Chemie. Es gibt eine Reihe von Substanzen, die sie in ihrer Aktivität anregen oder hemmen. Vitamine, Hormone, Kalziummangel, all das kann den Knochenauf- und -abbau anregen oder stören. Gerade das Kalzium. Neunundneunzig Prozent des im Körper vorhandenen Kalziums ist im Knochen gespeichert. Ohne das Kalzium bekommt der Knochen keine Härte. Es ist wesentlicher Bestandteil des oben erwähnten Hydroxylapatits. Und wegen der vielen Knochenumbauprozesse braucht der Knochen ständig Nachschub. Den bekommt er über die Nahrung. So ungefähr ein Gramm Kalzium pro Tag braucht jede und jeder Erwachsene täglich.

Doch so einfach kommt das Kalzium gar nicht in die Knochen hinein, dazu braucht es ein bestimmtes Vitamin, das Vitamin D. Haben wir davon nicht genug, nützt das Kalzium in der Nahrung wenig. Und mit dem Vitamin D ist es so eine Sache. Zwar kann der Körper Vorstufen davon selbst herstellen, aber richtig fertigstellen kann er es nicht. Dazu muss eine Vorstufe des Vitamins D in den Epithelien, den Zellschichten der Haut, noch ausreifen. Und hierfür braucht es Sonnenlicht. Leider haben wir davon alle viel zu wenig, ein kurzer Sommerurlaub im Jahr reicht nicht aus. Tatsächlich ist der Vitamin-D-Mangel in der „zivilisierten“ Gesellschaft zu einem relevanten Problem geworden. In jedem Fall lohnt es sich, den Vitamin-D-Spiegel im Blut regelmäßig messen zu lassen. In vielen Fällen bewegt er sich im unteren Normbereich. Dann lohnt es sich, dem Körper Vitamin D zuzuführen, damit das Kalzium seinen Weg in den Knochen findet.

**Das Power-Couple Kalzium und Vitamin D.** Ohne Kalzium bekämen unsere Knochen keinen Werkstoff für ihre Bautätigkeit, ohne Vitamin D würde die Lieferkette von Kalzium und Phosphor zusammenbrechen. Das Sonnenscheinvitamin, das erst im Körper gebildet wird und daher eigentlich ein Hormon ist, ist also mindestens ebenso wichtig für unsere Knochen, wie es die Mineralstoffe sind. Bemerkenswert am Knochenstoffwechsel ist außerdem, wie sehr er mit der Natur verbunden ist. Salze und Metalle aus der Erde und Sonnenlicht aus dem Himmel, das ist es, was wir bis in die Knochen brauchen.

## Der Gasträum fürs Knochenmark

Der Knochen hat eine weitere sehr liebenswerte Eigenschaft, er ist sehr gastfreundlich. In seinen Hohlräumen, die in der Spongiosa reichlich vorhanden sind, beherbergt er das Knochenmark. Darin wiederum leben eine ganze Reihe sehr wichtiger Zellen. Die gesamte Blutbildung findet im Knochenmark statt. Und da wird wirklich etwas geleistet. So eine Blutzelle, der Erythrocyt, lebt nämlich nicht lange, nur circa 30 bis 120 Tage. Das Blut muss also ständig erneuert werden, und das findet im Knochen statt. Auch die weißen Blutkörperchen, die für das Immunsystem so wichtig sind, die Blutplättchen oder