

# Knochen

## Ziel der Stunde:

Die Schülerinnen und Schüler verstehen grundlegende Prinzipien von stabilen, das heißt zug-, druck- und biegefesten aber dennoch materialsparenden Konstruktionen.

## Kognitive Lernziele:

Die Schülerinnen und Schüler können aufzählen, welche Bestandteile eines Knochens für die Zug- und welche Bestandteile für die Druckstabilität zuständig sind.

Die Schülerinnen und Schüler können die Schichtfolge des Schaftteiles eines Röhrenknochens von außen nach innen aufzählen.

Die Schülerinnen und Schüler können in eigenen Worten den Vorteil gegeneinander verdrehter Faserverlaufsrichtungen in durch Zug und Druck belasteten technischen und biologischen Geweben erklären.

Die Schülerinnen und Schüler können in eigenen Worten das Prinzip der materialsparenden Konstruktionsweise durch Beschränkung des Materialeinsatzes auf Bereiche hoher Spannung wiedergeben.

Die Schülerinnen und Schüler erkennen den Verlauf von Strukturelementen in einem Knochenlängsschnitt.

## Affektive Lernziele:

Die Schülerinnen und Schüler sind fasziniert von den Eigenschaften ihrer eigenen Knochen.

Die Schülerinnen und Schüler erkennen den (zumindest teilweise) hohen Perfektionsgrad biologischer Problemlösungen.

## Psychomotorische Lernziele:

Die Schülerinnen und Schüler vereinfachen und übertragen Informationen aus einer zweidimensionalen Abbildung in ein dreidimensionales Modell und planen dabei die Reihenfolge ihrer Handlungen.

## Relevanz des Themas:

- a) Schülerrelevanz: Alle Menschen besitzen Knochen.
- b) Gesellschaftsrelevanz: Anhand der Bauweise der Knochen kann die Rolle der Natur als Vorlage für technische Problemlösungen (Bionik) verdeutlicht werden. Die Bauweise der Knochen war vielleicht eine Anregung für die Baumeister der gotischen Kirchen und Kathedralen. Sie ist jedoch sicher eine Anregung für die derzeitige Entwicklung neuer Materialien wie zum Beispiel den Metallschäumen, die sich in ihrer Struktur an den Knochen orientieren und damit die Herstellung stabiler und zugleich materialsparender Bauteile ermöglichen.

## Pädagogisch didaktische Überlegungen:

Zum Thema Knochen bieten sich verschiedene Unterthemen an:

- Aufbau der Knochen
- Knochenwachstum und Heilung von Knochenbrüchen
- Knochenfördernde Ernährung (Calciumreich,...)
- Knochenkrankheiten (Osteoporose, ...).

Grundkenntnisse des Knochenbaus sind für die Behandlung der anderen Unterthemen unabdingbar, so dass der Bereich des Knochenaufbaus nicht wegfallen kann.

Am Aufbau unserer Knochen lassen sich grundlegende Prinzipien stabiler und zugleich materialsparender Konstruktionen verdeutlichen. Der Schwerpunkt dieser Unterrichtsstunde liegt auf die Behandlung dieser Grundprinzipien. Um die Bauweise für jede Schülerin und jeden Schüler direkt erleb- und ‚begreifbar‘ zu machen, ist eine längere schülerzentrierte Arbeitsphase eingeplant. In dieser Phase sollen die Schülerinnen und Schüler aus einer zweidimensionalen Vorlage ein dreidimensionales Knochenmodell erstellen.

Durch den hohen Zeitbedarf dieser schülerzentrierten Arbeitsweise zur Erarbeitung des Knochenaufbaus ist eine sinnvolle Bearbeitung der anderen Unterthemen nicht mehr möglich.

## Zum Stundenablauf:

**Einstieg:** Ein Schüler überprüft die Belastbarkeit eines relativ dünnen Knochens. Durch das überraschende Ergebnis des Versuchs (der Knochen trägt über 100 kg) sollen die Schülerinnen und Schüler aktiviert und motiviert werden. Aus der Faszination über die Eigenschaften der Knochen entwickelt sich direkt die Fragestellung der Stunde: „Warum sind Knochen so stabil?“

Die Demonstration eines ausgeglühten und eines calciumfreien Knochens macht deutlich, dass Druck- und Zugfestigkeit auf verschiedenen Knochenbestandteilen beruhen müssen.

**Arbeitsauftrag:** Welche Bestandteile dies sind und wie ein Knochen genau aufgebaut ist erarbeiten die Schülerinnen und Schüler jetzt anhand eines Arbeitsblattes. Dabei extrahieren sie Informationen aus Text und Abbildungen des Schulbuches. Sie müssen diese Abbildungen auch interpretieren um sie in das Modell eines Knochenröhrchens umzusetzen. Bei der Erkennung von Strukturen in den Knochenbälkchen ist Abstraktionsvermögen verlangt.

**Modellbau:** Durch den Bau des Modells sind die Schülerinnen und Schüler gezwungen, die Abbildungen genau zu betrachten. Insbesondere die Umsetzung der verschiedenen Kollagenfaserverläufe erfordert eine intensive Beschäftigung mit den Vorgaben und ermöglicht zugleich das Erleben und Erlernen mit Hilfe des Tastsinnes. Während des Zusammenbauens werden den Schülerinnen und Schülern einige Unzulänglichkeiten des Modells klar werden.

**Gesamtmodell:** Die Erstellung des Gesamtmodell ermöglicht den Schülerinnen und Schülern die Einordnung ihres Röhrchenmodells in die übergeordnete Struktur. Im Unterrichtsgespräch wird das neu erarbeitete Wissen gefestigt. Der Vorteil sich kreuzender Faserverläufe wird im Unterrichtsgespräch erarbeitet.

**Spannungslinien:** Die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass der Verlauf der Knochenbälkchen den Spannungslinien folgt, und damit die Form der Funktion. Es gilt, dass Material (hier: Knochenbälkchen) dort zu finden ist, wo die Spannungen auftreten, um ebendiese Spannungen aufzufangen und weiterzuleiten.

**Puffer:** Die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass man auch umgekehrt von der Bauweise aus Rückschlüsse auf die auftretenden Spannungen ziehen kann.

**Bionik:** Anhand von Beispielen aus der Architektur (gotische Kathedrale) und des Maschinenbaus (Flugzeugflügel) werden die Prinzipien einer materialsparenden aber dennoch stabilen Konstruktionsweise wiederholt. Den Schülerinnen und Schülern werden die wirtschaftlichen Vorteile dieser Konstruktionsweise bewusst.

Materialliste:

- Modell zur Knochenbelastung und Knochen (Selbst bauen oder z.B. bei Schlüter)
- Ausgeglühter (spröder) Knochen
- Kalkfreier (biegsamer) Knochen (Säure)
- Arbeitsblatt (Klassensatz)
- Schulbücher Klett Natura 10/11 – S.54
- Für das Knochenmodell: (vgl. Bastelanleitung)
  - o Tapetendreiecke (2 pro Sch.)
  - o Rote Gummischläuche (halber Klassensatz)
  - o Gelbe Fäden (halber Klassensatz)
  - o Knochenzellschicht-Papiere (doppelter Klassensatz)
  - o Modell der Knochenaußenschichten (Papierkorb mit Umhüllungen)
  - o Handtuch/ Schaumstoffrolle
- Folien:
  - o Auto hängt/steht auf Knochen
  - o Spannungslinien
  - o Schienbeinknochen Längsschnitt
  - o Kathedrale und Knochen
  - o Flügelknochen und Flugzeugflügel
  - o Aluschaum und Aluwabenbrett

Stundenverlauf:

| Zeit | $\Delta t$ | Thema   | UF      | Material / Bemerkungen   |
|------|------------|---|---------|--|
|      | 5'         | Versuch: Ein schwerer Schüler steht auf einem Gänse Oberschenkelknochen | V<br>LV | Versuchsaufbau von Schlüter, Gänseknochen<br><br>Nachbildung eines Oberschenkelknochens<br><br>Folie 1 mit Knochen und Autos |



*Ein kleiner Knochen kann einen Schüler tragen, ein menschlicher Oberschenkelknochen wesentlich mehr:*

*→ Druckstabil bis ca. 1,6 t*

*→ Zugstabil ebenfalls bis 1,6 t*

|    |  |    |                     |
|----|--|----|---------------------|
| 1' | Frage: Warum sind Knochen so stabil?   | TA | TA: Frage           |
| 3' | <i>Zu dieser Frage habe ich bereits zwei Versuche durchgeführt, die längere Zeit brauchen. Zum einen wurde ein Knochen 2 Tage lang in verdünnte Salzsäure eingelegt, und ein anderer Knochen eine halbe Stunde lang im Feuer ausgeglüht.</i> | LV | Präparierte Knochen |

|     |   |                                   |   |
|-----|---|-----------------------------------|---|
|     | <p>Sch. untersuchen und beschreiben die beiden behandelten Knochen.</p> <p><i>Wie sieht es aus mit der Druckstabilität? [biegsam]</i><br/><i>Wie sieht es aus mit der Zugstabilität?[spröde]</i></p> <p><i>Durch Feuer wurden also jene Bestandteile zerstört, die für Zugstabilität sorgen und durch die Salzsäure wurden jene Bestandteile zerstört, die für Druckstabilität sorgen.</i><br/><i>Was genau diese Bestandteile sind und wie unsere Knochen aufgebaut sind, sollt ihr jetzt selbst herausfinden. Dazu bearbeitet ihr bitte das Arbeitsblatt.</i></p>   | LSG                               |   |
| 20' | <p>AA:<br/>Bearbeiten der schriftlichen Aufgaben auf dem Arbeitsblatt.</p> <p>Nachbau eines Knochenröhrchens in Partnerarbeit.</p>  | EA<br>oder<br>PA                  | Arbeitsblatt<br><br>Materialien werden während der Arbeitsphase ausgeteilt. |
| 5'  | <p>Gemeinsamer Aufbau eines vereinfachten Knochenmodells aus den gebastelten Knochenröhrchen und vom L. vorbereiteten Elementen. Bereits vorbereitet sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Knochenmark (Handtuch)</li> <li>- äußere Lamellenschicht (Tapeten) und die</li> <li>- Knochenhaut (roter Plastiksack)</li> </ul> <p>Die Sch. benennen alle Teile.</p>   |                                   | vorbereitete Modellteile  |
| 1'  | <p><i>Auch in den äußeren Knochenlamellen sind die Richtungen der Kollagenfasern gegeneinander versetzt. Was könnte der Vorteil dieser wechselnden Anordnung sein?</i></p>  | LSG                               |   |
| 5'  | <p><i>Das ist ein Modell für den Knochenschaft. Am Gelenkkopf sind viele Knochen aber anders gebaut.</i></p> <p><i>Physiker haben auf den Gelenkkopf eines Oberschenkelknochen Druck und Zug ausgeübt und untersucht, was im Inneren des Knochens passiert.</i></p> <p><i>Sie haben die auftretenden Spannungen berechnet und die Spannungsverläufe mit Spannungslinien für Druck und Spannungslinien für Zug abgebildet. Vergleicht diese Spannungslinien mit jenen Linien, die ihr in die Abbildung 2 eingetragen habt. Fällt euch etwas auf?</i><br/>→ gleicher Linienvverlauf</p> <p><i>Warum könnte das so sein?</i><br/>→ Material (hier: Knochenbälkchen) sind dort zu finden wo die Spannungen auftreten, um ebendiese Spannungen aufzufangen und weiterzuleiten.</p> | LV<br><br><br><br><br><br><br>LSG | Folie: Spannungslinien  |

|        |    |  |           |  |
|--------|----|--|-----------|--|
| Puffer | 5' | <p><b>Puffer:</b><br/> Abb. Schienbeinknochen:<br/> <i>Beschreibt den Verlauf der Knochenbälkchen. Was würdet ihr – ausgehend vom Verlauf der Knochenbälkchen – über den Verlauf der Spannungslinien vermuten?</i><br/> <i>Schaut euch hier die Nachbildung eines Beinskeletts an. Was spricht dafür, dass eure Vermutung bezüglich der Spannungslinien zutrifft?</i></p>  |           | Folie: Schienbeinknochen Längsschnitt  |
|        | 5' | <p><i>Ähnliche Strukturen wie in unseren Knochen finden sich auch in der Architektur wieder.</i></p> <p>→ Bauweise fängt die auftretenden Kräfte ab, das Bauwerk wird dadurch stabiler. Die kleinen Türmchen dienen dazu die Kräfte nach unten abzulenken und sorgen somit dafür, dass die Kirche nicht auseinander bricht.<br/> → Materialersparnis (evtl. optischer Eindruck einer „leichten“ Konstruktion).</p> <p>falls erforderlich: Abbildung Vogel-/ Flugzeugflügel.<br/> <i>Gibt es noch weitere Vorteile der Bauweise unserer Knochen?</i></p> <p>→ Materialersparnis (leichte Konstruktion).</p> <p>falls erforderlich: Abbildung Aluschaum/Aluwaben.<br/> <i>Welchen Vorteil haben diese Baumaterialien im Maschinen und insbesondere im Fahrzeugbau?</i></p> | LV<br>LSG | Folie: Knochen und Kirche<br><br>Folie: Flügel<br><br>Folie: Aluschaum und Aluwabenbrett |

### Abkürzungsverzeichnis:

|                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| AA: Arbeitsauftrag            | PA: Partnerarbeit   |
| EA: Einzelarbeit              | UF: Unterrichtsform |
| LSG : Lehrer-Schüler-Gespräch | V: Versuch          |
| LV: Lehrervortrag             |                     |

### Literatur:

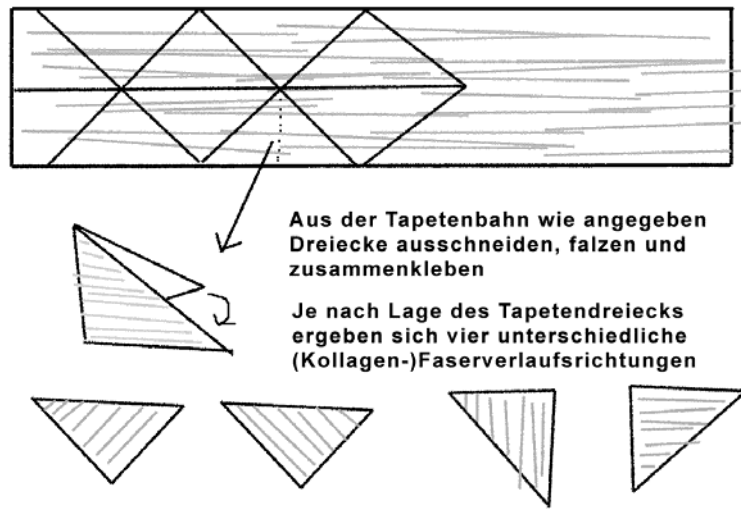
„NATURA 10/11“ Red. Ulrike Fehrmann, 2. Auflage, Ernst Klett Verlag, Stuttgart 2001

## Bastelanleitung Knochenmodell

### Material:

#### a) Für die Knochenröhrchen:

- Tapete mit Längsstreifen (Textilfäden oder Kunststoffschaum) (→ Kollagenfaserstruktur)



- rote Schläuche (→ Blutgefäße)
- gelbe Fäden (→ Nervenfasern)
- Kopien mit Knochenzellen (Druckvorlage vgl. letzte Seite)
- Gummiband

#### b) Für die Knochenhülle:

- Tapete mit Längsstreifen (Textilfäden oder Kunststoffschaum) (→ Kollagenfaserstruktur)
- rotes Tuch oder Plasticsack (→ Aderhaut)
- Papierkorb o.ä. als Gerüst
- Eingerolltes Handtuch o.ä. (→ Knochenmark)

### Ablauf:

Jede Schülergruppe erhielt folgende Materialien:

- 4 Tapetendreiecke
- 4 Knochenzellenpapiere
- roter Gummischlauch
- gelber Faden
- Gummiring

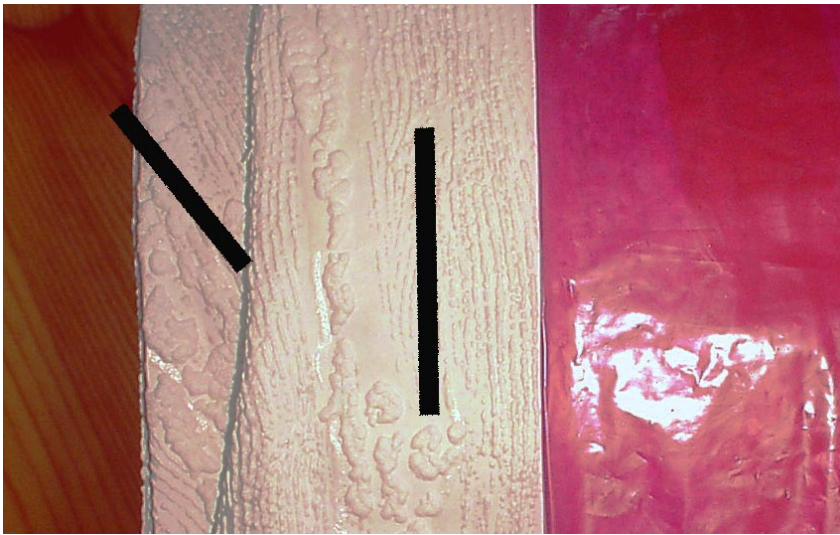
Die Schüler sollten die Informationen aus ihrem Schulbuch in ein dreidimensionales Modell eines Knochenröhrchens übertragen und dabei insbesondere auf die unterschiedlichen Verlaufsrichtungen der Kollagenfaserschichten achten.



Das Ergebnis: Man beachte die gekreuzten Faserverläufe!



Alle Knochenröhrchen und die restlichen Materialien wurden vom Lehrer zu einem Gesamtmodell zusammengebaut und von den Schülern wurden die einzelnen Komponenten benannt.

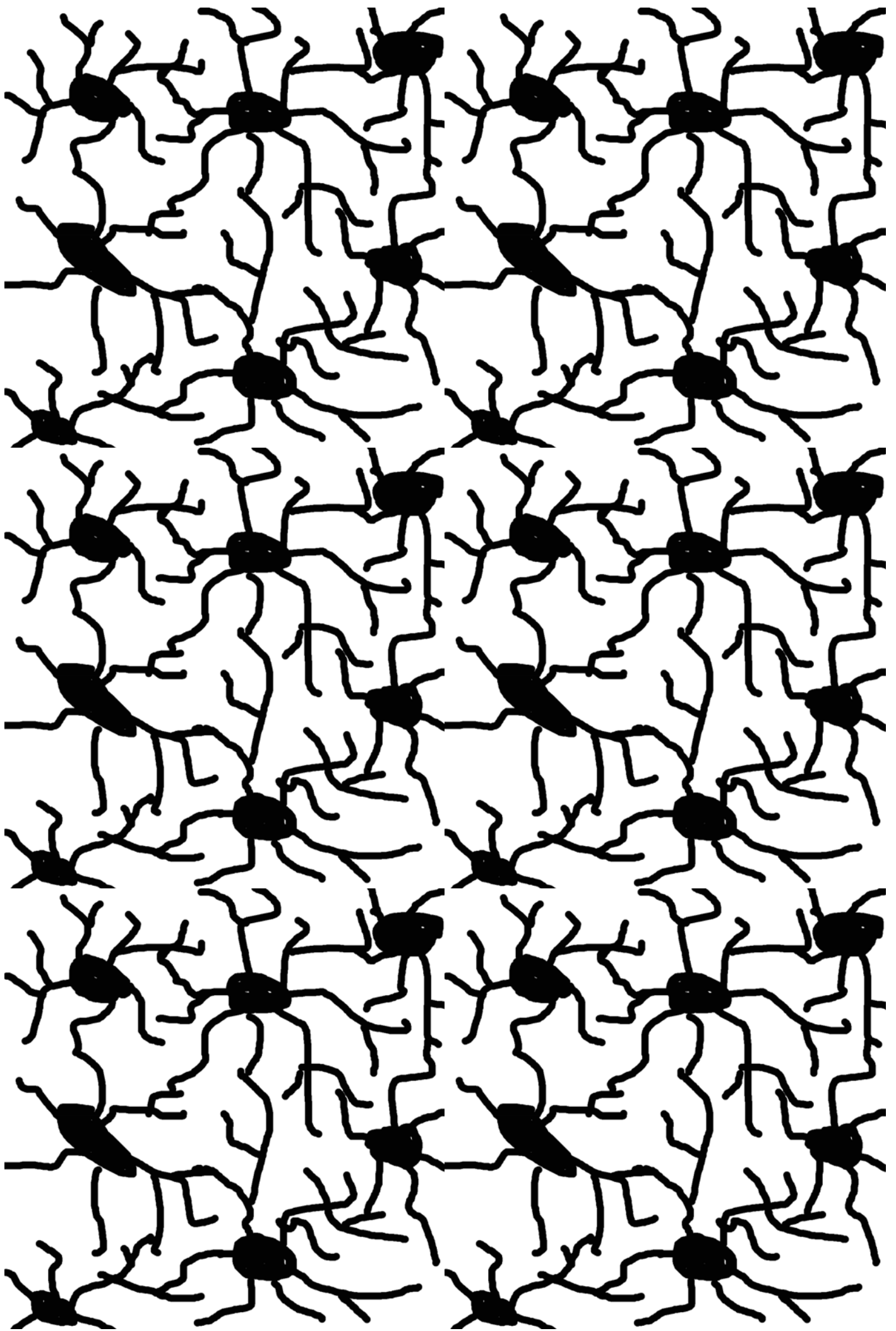


Detail mit Faserverläufen



Gesamtergebnis





# Warum sind Knochen so stabil?

Bearbeite die folgenden Aufgaben. Informationen findest du im Buch auf Seite 54.

Aufgabe 1:

Beschrifte die Abbildung 1:  
(vgl. Abb. a und b im Buch)

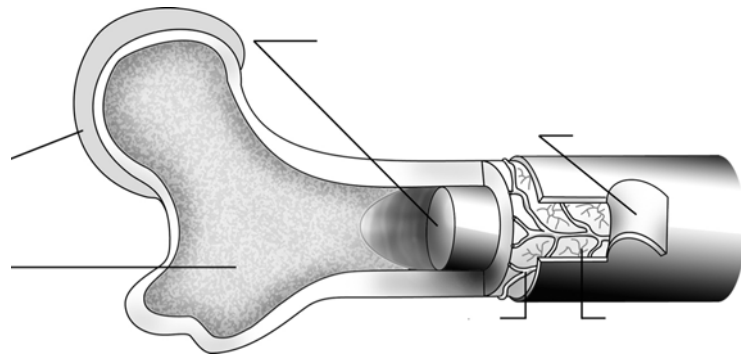


Abb. 1

Aufgabe 2: Welche Bestandteile der Knochensubstanz ermöglichen

- a) die Zugfestigkeit der Knochen?
- b) die Druckfestigkeit der Knochen?

Aufgabe 3:

Die Knochenbälkchen im Oberschenkelknochen (vgl. Abb. a) verlaufen in bestimmten Richtungen. Zeichne diese Richtungen schematisch in die Abbildung 2 ein:

Aufgabe 4:

Zeichne in Abb. 3 den Verlauf der Kollagenfasern in den einzelnen Schichten (= konzentrische Knochenlamellen) des Knochenröhrchens ein. (vgl. Abb. b)

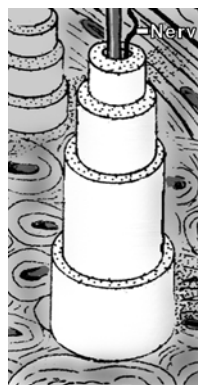


Abb. 3

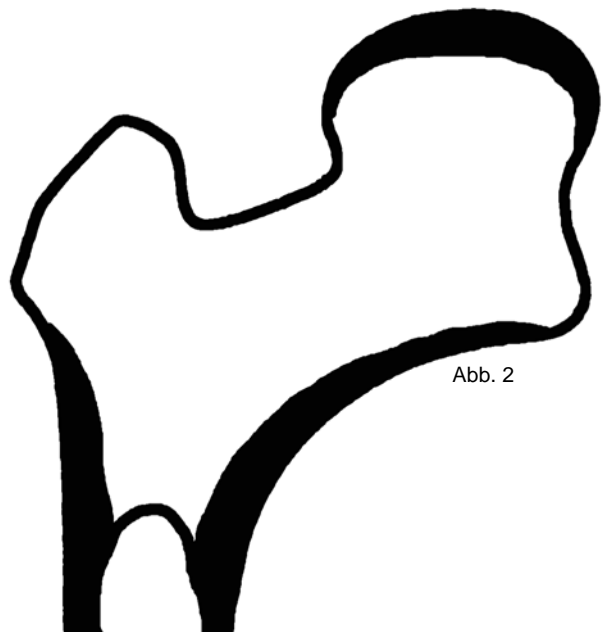


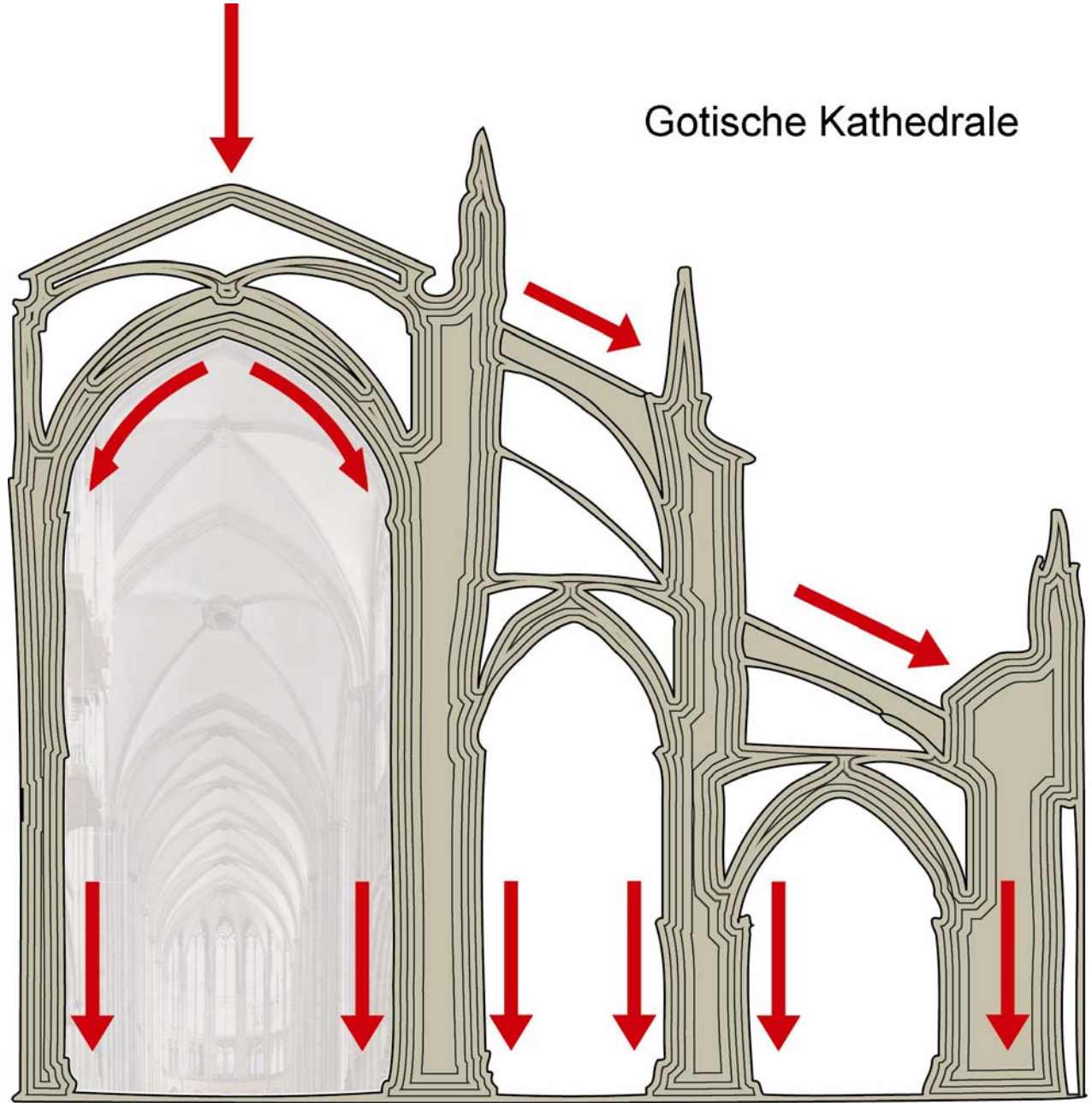
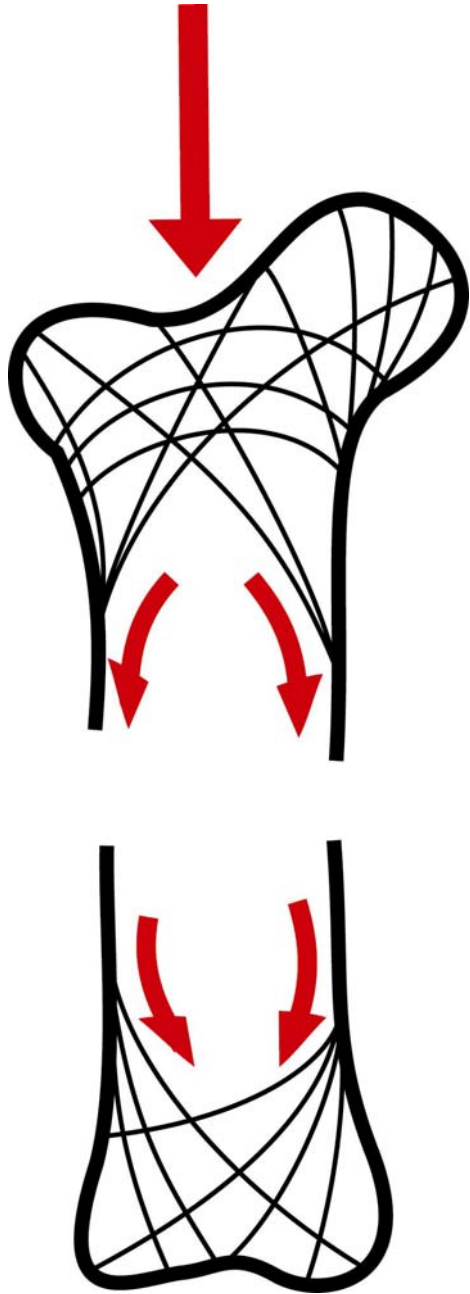
Abb. 2

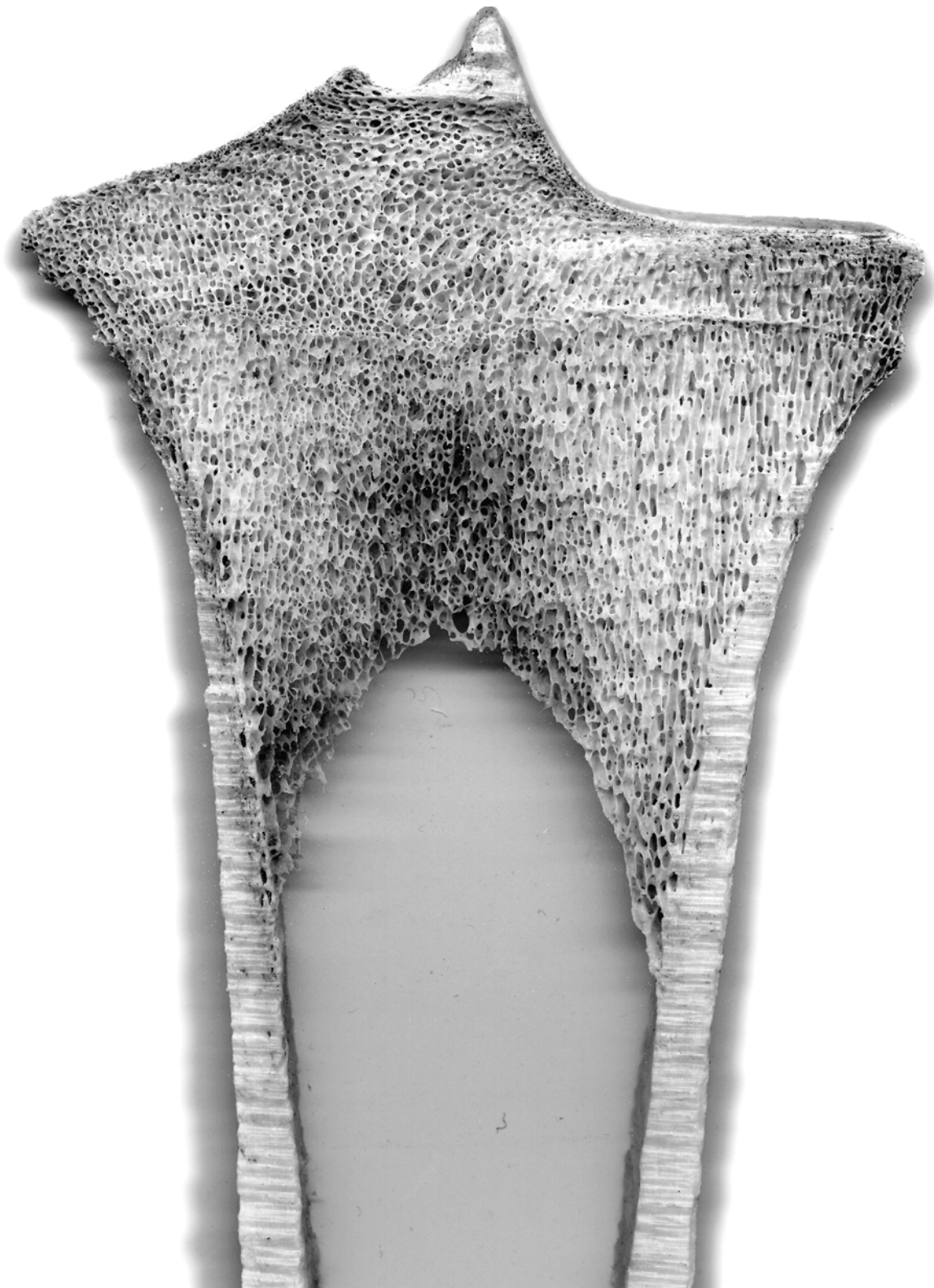
Aufgabe 5:

Baue mit deiner Nebensitzerin oder deinem Nebensitzer ein einzelnes Knochenröhrchen nach. Folgende Materialien stehen dir zur Verfügung:

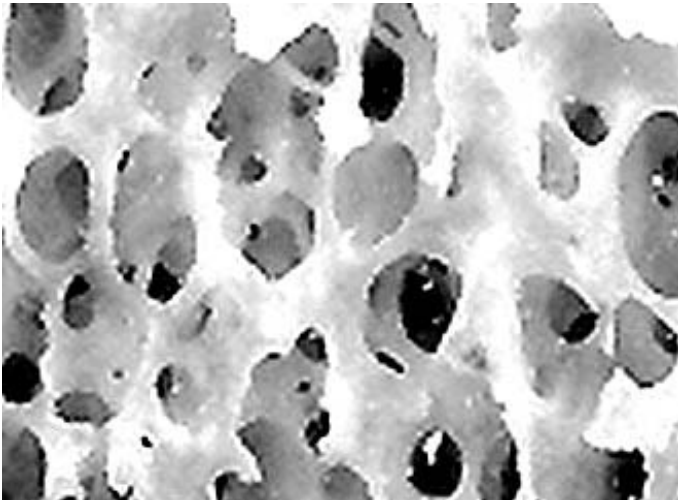
| Modell                    | Original  |
|---------------------------|---|
| roter Schlauch            | Blutgefäß   |
| gelbe Schnur              | Nervenfasern (verläuft parallel zum Blutgefäß)  |
| Tapetenstücke             | Knochenlamellen   |
| Längsstreifung der Tapete | Kollagenfasern: Achtung! Sie können in vier verschiedenen Verlaufsrichtungen angeordnet werden. |
| bedruckte Blätter         | Knochenzellen   |



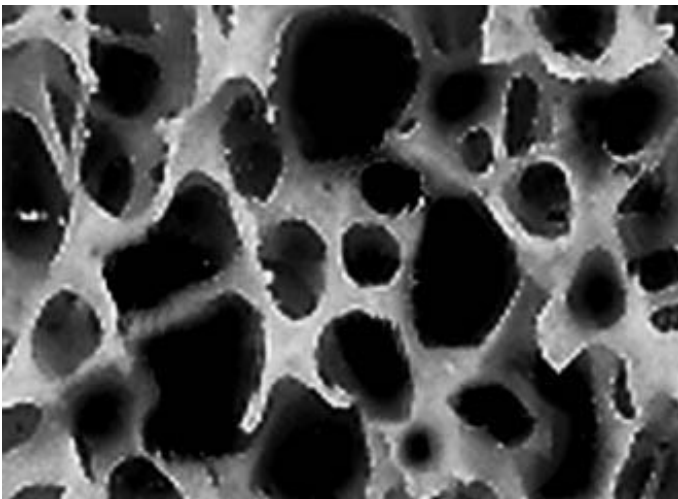




Schienbein Kuh



Knochenstruktur normal



Osteoporose



Eiffelturm

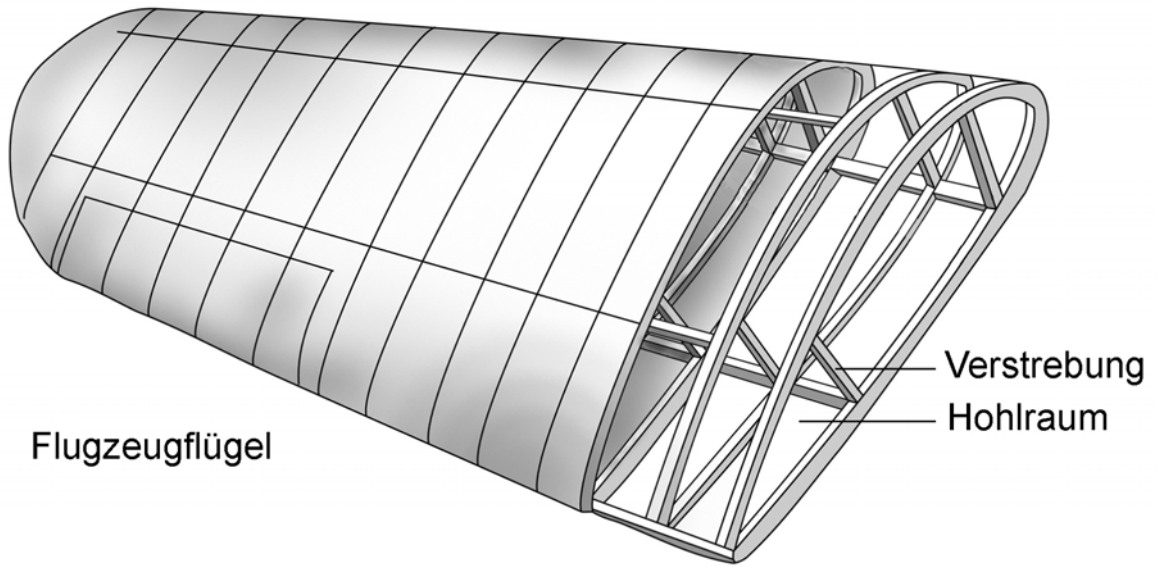
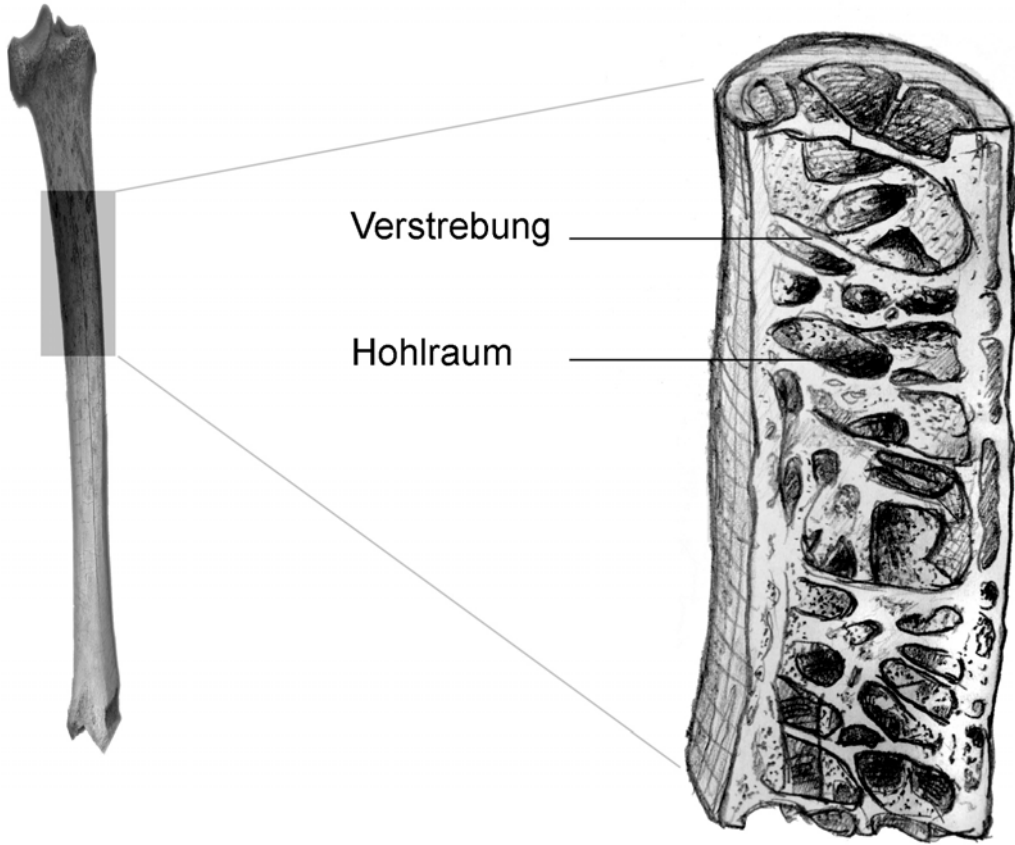


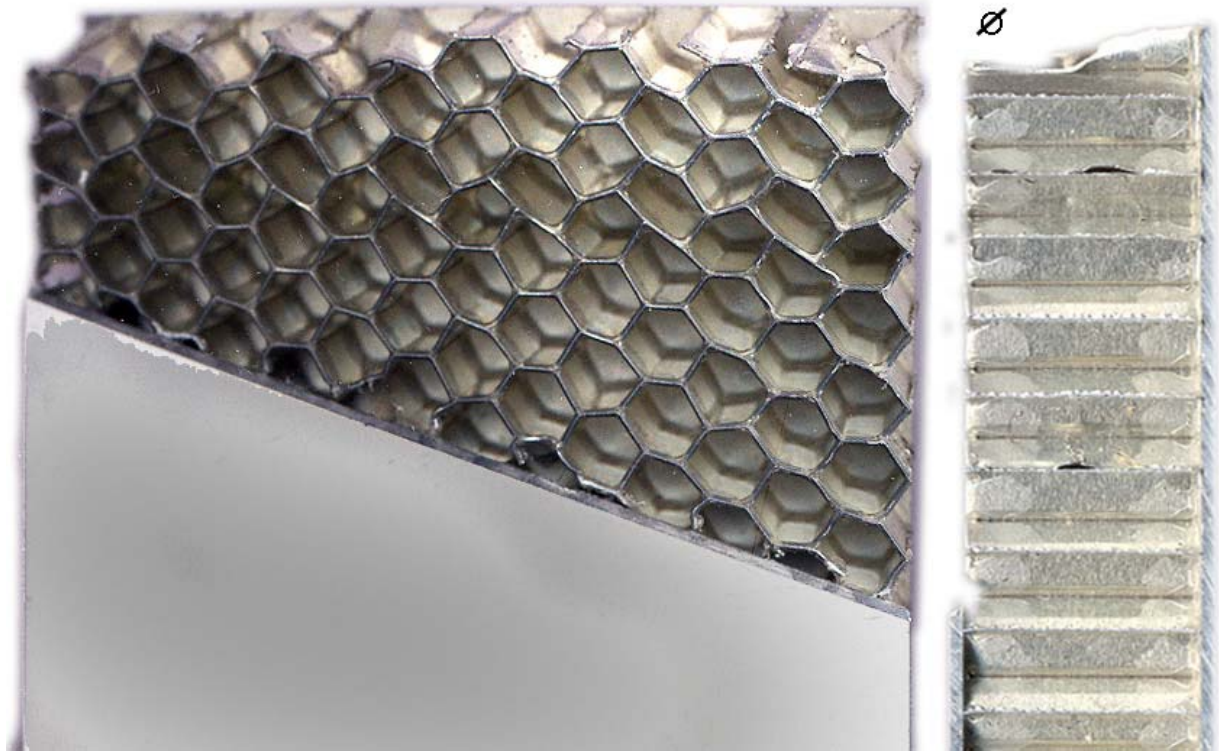
Knochenstruktur



Aluminium-Schaum







Aluminium-Wabenplatte

Erläuterungen zu den Folien:

Das Prinzip einer materialsparenden Bauweise kam auch in den **gotischen Kathedralen** zur Anwendung.

Der Materialeinsatz wurde – wie im Knochen – auf jene Bereiche beschränkt, in denen auch tatsächlich Kräfte auftreten.

Die kleinen Türmchen drücken mit ihrem Gewicht nach unten und helfen mit, die über die Bögen wirkenden seitlichen Scherkräfte nach unten abzuleiten.

### **Puffer:**

Am **Schienbeinknochen der Kuh** kann aus den Hauptverlaufsrichtungen der Knochenbälkchen die Hauptbelastungsrichtungen ablesen: Von oben nach unten und ziemlich waagrecht von links nach rechts. Im oberen Bereich kann man anhand der leichten Biegung der Linien erkennen, dass die Spannungen nicht nur nach unten, sondern auch nach links verlaufen. Die beiden vorstehenden Gelenkhöcker sind im Inneren verstärkt.

**Osteoporose:** Die „porösen Knochen“ zeigen sich in im der geringeren Zahl und dem verringerten Durchmesser der Knochenbälkchen.

Der **Eiffelturm** wurde nach ähnlichen Prinzipien erbaut.

Der **Aluminumschaum** wird für verschiedene Metallkonstruktionen eingesetzt. Geringes Gewicht wird dabei mit einem nur geringen Stabilitätsverlust erreicht. Während die Knochenbälkchen strukturiert entlang der Spannungslinien gebildet wurden, ist der Aluminiumschaum amorph/ungeordnet. Anwendungsbeispiele unter [www.gleich.de](http://www.gleich.de)

Noch eine Veranschaulichung: **Vergleich der Bauweise** eines Vogelknochens mit der (hypothetischen) Bauweise eines Flugzeugflügels.

In der Produktion deutlich aufwändiger sind diese **Aluminium-Wabenplatten** die mehrere hundert Kilo tragen können (Abb. in Originalgröße)