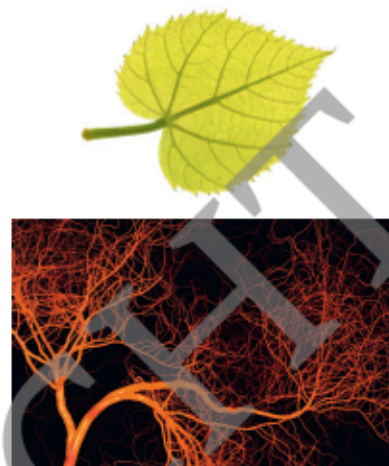


Transportsysteme in der Natur – Bionik zwischen Biologie und Technik

Ein Beitrag von Marianna Leuckefeld, Aachen
Mit Illustrationen von Julia Lenzmann

Welche Gemeinsamkeiten haben Blutgefäße und Transportsysteme höherer Pflanzen? Und wie kann man das Wissen darüber technisch nutzen? Die Bionik gibt Antworten auf diese spannenden Fragen. Sie zeigt, wie wir „clevere“ Lösungen in der Natur für technische Entwicklungen nutzen können.

Die Unterrichtseinheit macht an anschaulichen Beispielen erlebbar, was hinter dem Begriff „Bionik“ steckt. Ihre Schüler untersuchen, messen, experimentieren, arbeiten mit Modellen und gelangen somit zu einer multiperspektivischen Betrachtungsweise.



Fotos: © kazakovmaksim/Stock/Thinkstock,
© Inok/Stock/Thinkstock

Ob Blattader- oder Blutgefäßsystem – die Natur ist der beste Baumeister

Mit Alternativmaterial für
leistungsstärkere Schüler
auf CD!

Das Wichtigste auf einen Blick

Klasse: 9 und 10

Dauer: 3–4 Stunden

Kompetenzen: Die Schüler ...

- können Strömungsgeschwindigkeit, Zeit und Volumenstrom im Bezug zum hydrodynamischen Paradoxon erklären,
- wenden die naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen des Experimentierens und der Arbeit mit Modellen im deduktiv-hypothetischen Erkenntnisweg an,
- können Funktionen natürlicher Transportsysteme anhand ihrer physikalischen Eigenschaften erklären.

Aus dem Inhalt:

- Was sind fraktale Strukturen und wie erkennt man diese?
- Welche Vorteile bietet eine fraktale Strukturierung in der Natur?
- Wie können die in der Natur gefundenen Erkenntnisse für die Technik genutzt werden?

Beteiligte Fächer: Biologie ■ Physik ■ Mathematik ■

Anteil hoch
 mittel
 gering

Die Reihe im Überblick

⌚ V = Vorbereitungszeit Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt
 ⌚ D = Durchführungszeit Fo = Folie * = Materialbedarf pro Forschergruppe
 SV = Schülerversuch  = Zusatzmaterial auf CD

Stunde 1/2: Fraktale Geometrie der Natur entdecken

Material	Thema und Materialbedarf
M 1 (Fo)	Selbstähnlichkeit in der Natur
M 2 (Ab)	Die Natur ist der beste Baumeister
M 3 (SV) ⌚ V: 5 min ⌚ D: 15 min	Wir untersuchen unterschiedliche Blätter auf Selbstähnlichkeit* ☐ Farnblätter ☐ Blätter von Laubbäumen ☐ Lupen
M 4 (SV) ⌚ V: 5 min ⌚ D: 20 min	Wir machen die Blattadern in Blütenblättern sichtbar* ☐ weiße Blüten (Tulpe, Primel) ☐ blaue Tinte ☐ ein Becherglas ☐ Wasser ☐ eine Lupe oder ein Binokular
M 5 (Ab)	Funktion fraktaler Strukturen in der Natur
M 6 (Ab)	Wir beweisen die Funktion fraktaler Strukturen in der Natur ☐ Taschenrechner ☐ evtl. Papier zum Basteln von Quader-Modellen
M 7 (SV) ⌚ V: 5 min ⌚ D: 15 min	Wir untersuchen den Zusammenhang von Blattform und Blattaderstruktur* ☐ Blätter vom Spitzweigerich ☐ eine Lupe ☐ Blätter von der Linde

Stunde 3/4: Bionik – Konzepte der Natur

Material	Thema und Materialbedarf
M 8 (SV) ⌚ V: 10 min ⌚ D: 10 min	Wir untersuchen Verzweigungsarten eines Transportsystems* ☐ 3 m durchsichtiger Schlauch des Durchmessers $d = 0,7$ cm ☐ zwei U-förmige Glasrohre ☐ sechs Y- und sechs T-Stücke ($d = 0,7$ cm) ☐ zwei Bechergläser mit Knete ☐ zwei Trichter ☐ eine Schere ☐ eine Stoppuhr ☐ ein Messbecher ☐ zwei Stative mit Klemmen und Muffen ☐ Wasser ☐ ein Lineal ☐ ein Taschenrechner

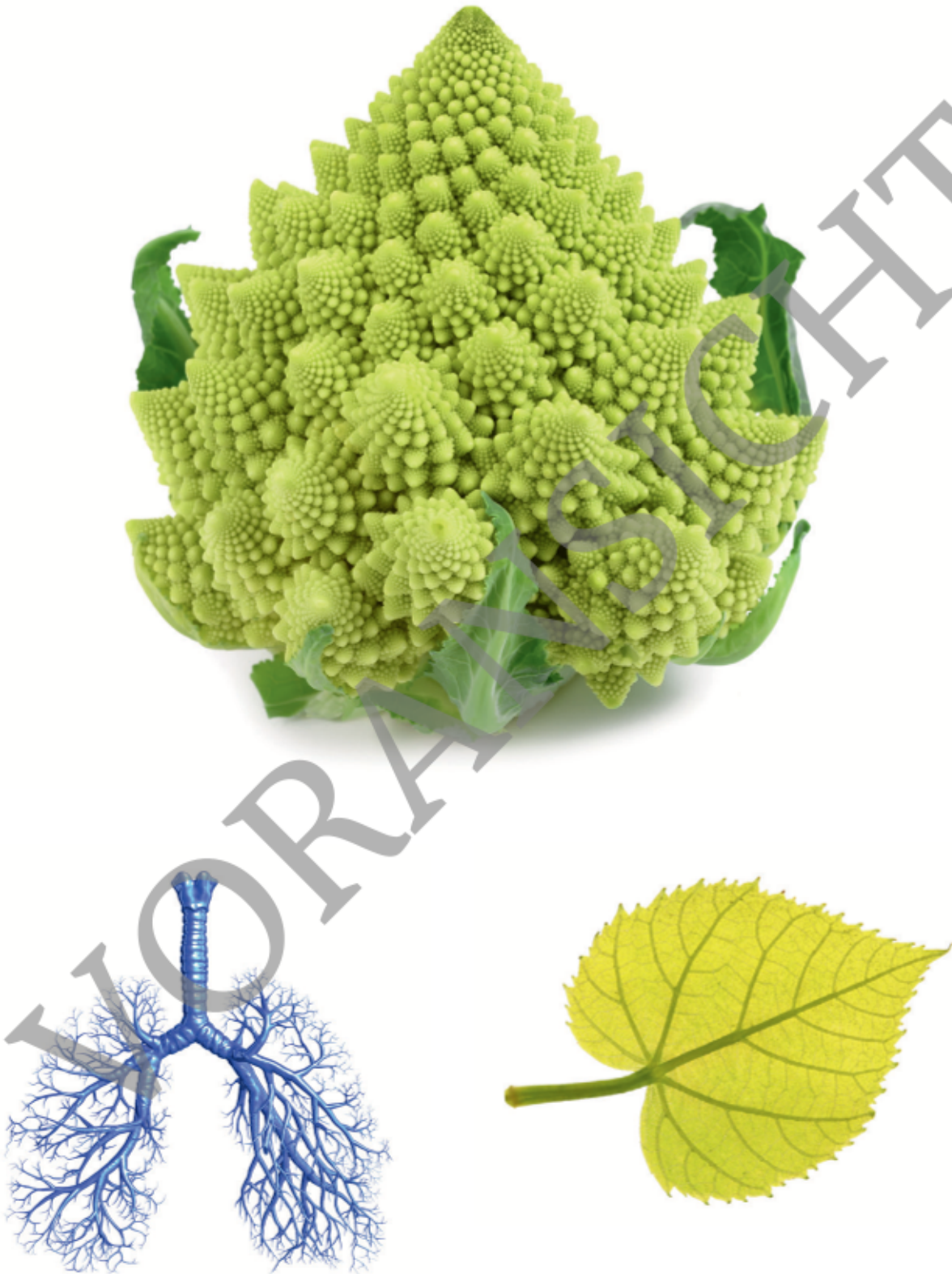
M 9 (SV) ⌚ V: 10 min ⌚ D: 10 min	Wir untersuchen Volumenstrom und Strömungsgeschwindigkeit in einem Transportsystem* ☐ 4,5 m durchsichtiger Schlauch (jeweils 1,5 m des Durchmessers $d = 0,4 \text{ cm}$, $d = 0,7 \text{ cm}$, $d = 1 \text{ cm}$) ☐ ein Becherglas mit Knete ☐ 18 Y-Stücke (jeweils 6 mit $d = 0,4 \text{ cm}$, $d = 0,7 \text{ cm}$, $d = 1 \text{ cm}$) ☐ ein wasserfester Filzstift ☐ ein Trichter ☐ eine Schere ☐ ein Stativ mit Klemmen und Muffen ☐ ein Messzylinder (gefüllt mit 200 ml Wasser) ☐ ein U-förmiges Glasrohr ☐ eine Stoppuhr ☐ ein Taschenrechner
M 10 (Ab)	Technische Anwendung bionischer Transportsysteme

Minimalplan

Wenn Ihnen weniger Zeit zur Verfügung steht, können Sie auch auf die Versuche zum Einfärben der Blattadern (M 4) und zur Untersuchung der Beziehung zwischen Form des Blattes und Struktur der Blattadern (M 7) verzichten. Damit reduziert sich die Einheit auf **drei Unterrichtsstunden**.

M 1

Selbstähnlichkeit in der Natur



© scisetiaffro/iStock/Thinkstock, © DmitryDanilchenko/iStock/Thinkstock, © kazakovmaksim/iStock/Thinkstock

Die Natur ist der beste Baumeister

M 2

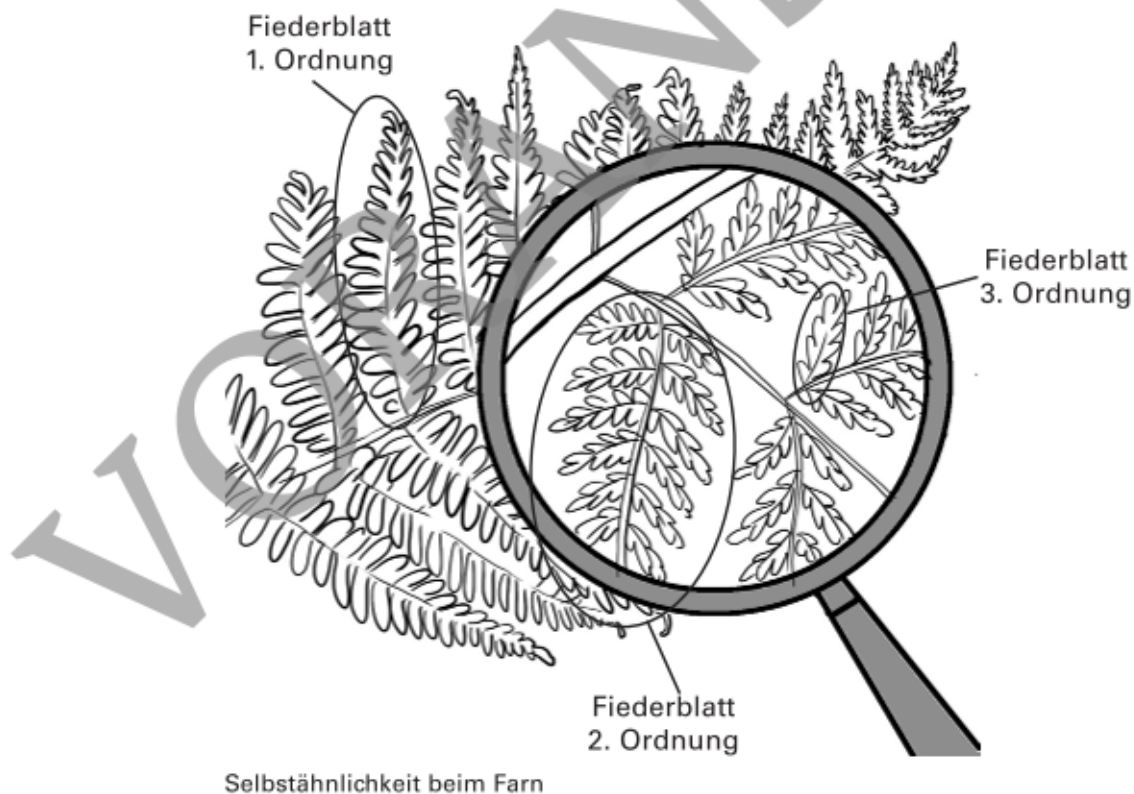
„Die Natur ist der beste Baumeister.“ Diesen Satz hast du bestimmt auch schon einmal gehört. Schaut man sich die Struktur und den Aufbau von Blättern und Blüten an, so ist man schnell beeindruckt von den perfekt anmutenden Mustern, die man in der Natur finden kann. Da die Herausbildung von Eigenschaften aber ohne theoretisches Wissen erfolgte, konnte es nur mithilfe von evolutionären Prozessen zu einer immer besseren Optimierung kommen. Welche geometrische Form besonders wirkungsvoll ist, sollst du nun klären.

Die Hauptfunktion eines Blattes ist die Fotosynthese. Es sind Blattadern vorhanden, die dafür sorgen, dass der Ab- und Antransport von Fotosyntheseprodukten, Wasser sowie Nährsalzen funktioniert. Diese Blattadern verzweigen sich so, dass keine Pflanzenzelle um mehr als sieben Zellen von der nächsten Blattader entfernt ist. Diese Verzweigungsform garantiert eine energieeffiziente Versorgung und eine gleichmäßige Durchströmung mit Wasser und Nährsalzen. Die Verzweigungen folgen dabei einem festen Schema, dem Prinzip der **Selbstähnlichkeit**.



Forschfrage: Was bedeutet Selbstähnlichkeit?

Selbstähnlichkeit bedeutet, dass man beispielsweise in ein Blatt hineinzoomen kann und trotzdem Formen erkennt, die der Grundform der Blattaderstruktur entsprechen. Diese Selbstähnlichkeit ist ein Hauptmerkmal von Fraktalen (vom lateinischen Wort „fractus“, was so viel wie gebrochen bedeutet). So werden Strukturen dieser Art bezeichnet. Beispielhaft wurde in der unten stehenden Abbildung die Selbstähnlichkeit des Farnblattes dargestellt.



M 5 Funktion fraktaler Strukturen in der Natur

Fraktale, also selbstähnliche, sich immer weiter verzweigende Strukturen, wie du sie beim Laubblatt gesehen hast, gibt es auch im menschlichen Körper.



Forscherfrage: Welche Vorteile haben solche Strukturen?

© DmitryDanilchenko/Stock/Thinkstock



Abbildung 1: Luftführende Gefäße der menschlichen Lunge

Vorteile bei der Lunge

Ein Beispiel für selbstähnliche Strukturen im menschlichen Körper ist das feinverzweigte luftführende Gefäßsystem der Lunge (Abbildung 1).

Nur dadurch erreicht die Lunge ihre entsprechend **hohe Effizienz** und eine **große Oberfläche** von ca. 100 m², was etwa der Fläche eines Beachvolleyballfeldes entspricht.

Vorteile beim Blutkreislauf

Beim Blutkreislauf und seinen kapillaren Verzweigungen ist es ebenso. Die Blutversorgung verzweigt sich zwischen acht und 30 Mal, bevor sie jede Körperstelle erreicht. Abbildung 2 stellt die zunehmend kleiner werdenden Verzweigungen des Blutgefäßsystems beispielhaft dar.

Das luftführende Gefäßsystem sowie das Blutgefäßsystem sind also nach dem Prinzip der Selbstähnlichkeit aufgebaut.

Beim Blutgefäßsystem wird eine große Ader, die Aorta, in eine Vielzahl von kleinen Adern, die Kapillaren, aufgespalten. Dadurch ergibt sich eine **große Oberfläche** und eine **hohe Effizienz** bei der Versorgung der einzelnen Gewebe.

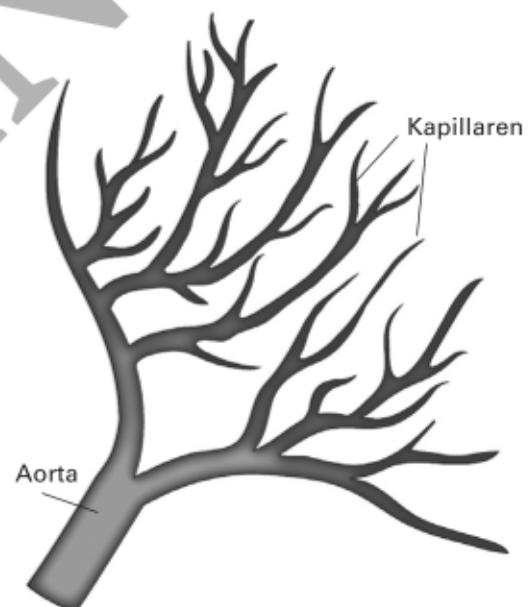


Abbildung 2: Schematische Darstellung von Verzweigungen im Blutgefäßsystem

Wir untersuchen Verzweigungsarten eines Transportsystems

M 8

Nun sollt ihr ermitteln, welche Eigenschaften ein ideales Transportsystem haben muss. In einem ersten Versuch vergleicht ihr dazu zwei Verzweigungsarten: eine **Verzweigung mit einem Y-Stück** und eine **Verzweigung mit einem T-Stück**.



Forschfrage: Welche Verzweigung leitet Wasser besser?

Vermutung:

☐ Verzweigung mit Y-Stücken

☐ Verzweigung mit T-Stücken

Das benötigt ihr in eurer Forschergruppe

- | | |
|--|--|
| ☐ 3 m durchsichtigen Schlauch des Durchmessers $d = 0,7$ cm | ☐ zwei Bechergläser mit Knete |
| ☐ sechs Y- und sechs T-Stücke ($d = 0,7$ cm) | ☐ eine Schere |
| ☐ zwei Trichter | ☐ einen Messbecher |
| ☐ eine Stoppuhr | ☐ Wasser |
| ☐ zwei Stative mit Klemmen und Muffen | ☐ ein Lineal |
| ☐ zwei U-förmige Glasrohre | ☐ einen Taschenrechner |

Aufgabe 1: Baue die Transportsysteme mit Verzweigungen aus Y-Stücken und T-Stücken so zusammen, wie es in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt ist, und hänge sie an jeweils ein Stativ. Schneide dazu zunächst den Schlauch in 20 gleich lange Stücke (≈ 15 cm Länge).

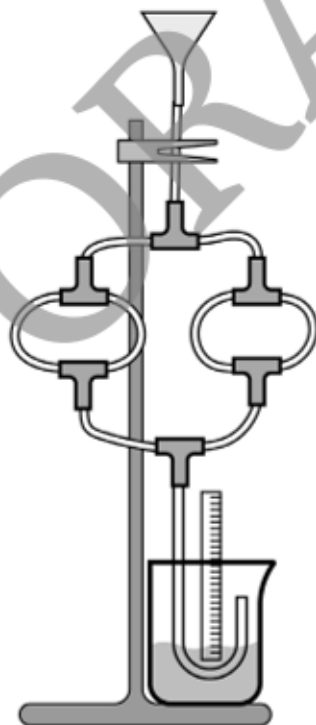


Abbildung 1: Leitungssystem mit T-Stücken

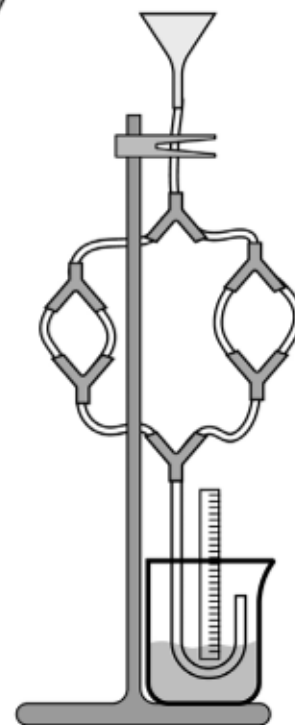


Abbildung 2: Leitungssystem mit Y-Stücken

Technische Anwendung bionischer Transportsysteme

M 10

Nun sollst du dir eine technische Anwendung für bionische Transportsysteme anschauen. Um den Nutzen von bionischen Transportsystemen zu verstehen, sollst du dich den bereits bestehenden Transportsystemen zweier verschiedener Typen von Wärmetauschern widmen. Aber welchen Nutzen haben hydraulische Wärmetauscher eigentlich und wo kommen sie vor?

Hydraulische Wärmetauscher transportieren warmes Wasser durch eine Struktur und erwärmen so zum Beispiel als Fußbodenheizung den Boden. Dabei müssen alle Areale gleichmäßig versorgt und durchströmt werden.

Übliche Wärmetauscher weisen in der Regel hintereinander (= seriell) oder parallel angeordnete Kanalstrukturen auf (vgl. Abbildung 1). Mit diesen sind jedoch oft Nachteile wie **hoher Druckverlust** bzw. **ungleichmäßige Durchströmung** verbunden.

Du hast bereits gesehen, dass in der Natur Stoffe in vernetzten Strömungskanälen effizient transportiert werden können. Diese Kanäle besitzen jedoch weder serielle noch parallele, sondern meist mehrfach verzweigte Strukturen, die man auch als Fraktale bezeichnet. Bioniker verbesserten die vorhandenen Wärmetauscherstrukturen nach dem Vorbild natürlicher Transportsysteme.

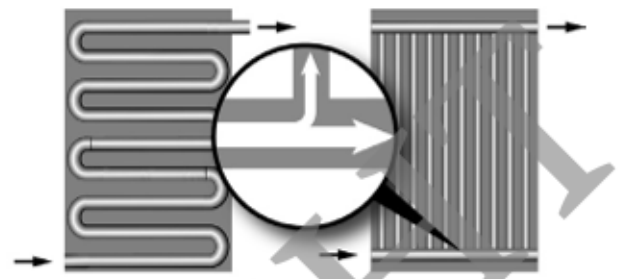


Abbildung 1: links: serieller Wärmetauscher, rechts: paralleler Wärmetauscher



Forschfrage: Kann das Blutgefäßsystem als Vorbild für hydraulische Wärmetauscher dienen?

Bioniker verwendeten für Transportsysteme Strukturen nach natürlichen Vorbildern und konstruierten einen **bionischen Wärmetauscher**.

Aufgabe 1: Betrachte vergleichend die Abbildungen 2 und 3.



Abbildung 2: Ausschnitt eines FracTherm®-Solarabsorbers (nach biologischem Vorbild entwickelt)

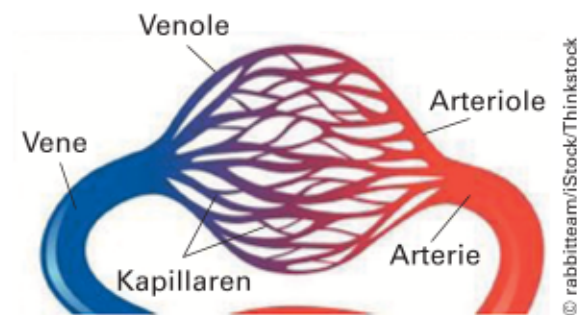


Abbildung 3: Ausschnitt aus dem Blutgefäßsystem

Aufgabe 2: Nenne Verbesserungen nach dem Vorbild des Blutgefäßsystems, die bei dem bionischen Wärmetauscher (Abbildung 2) im Gegensatz zu herkömmlichen (Abbildung 1) umgesetzt wurden.

Aufgabe 3: Mache Vorschläge, welche Veränderungen in die Y-Struktur eingefügt werden müssten, damit aus dieser Struktur eine „bionische“ Struktur wird.