

Von Gullivers Reisen bis Jurassic Park

Größenordnungen in der Natur

Martin Apolin

Die Größenverhältnisse in der Natur sind keineswegs willkürlich, sondern haben einen tieferen Grund. Warum die Größe des Menschen und aller Tiere für die Verhältnisse auf der Erde optimal abgestimmt sind, liegt in den Naturgesetzen, die Kraft, Festigkeit und Wärmeproduktion bestimmen.

Aufgabe 1: Wovon hängt die Kraft eines Muskels ab? (Volumen, Querschnitt oder Länge)

.....

Aufgabe 2: Wovon hängt der Wärmeverlust eines Menschen ab, der ständig durch Verbrennung von Nährstoffen gedeckt werden muß? (Volumen, Größe der Hautoberfläche, Größe der Person)

.....

Aufgabe 3: Stell Dir vor, Du würdest in einem 3D-Kopierer auf das Zehnfache Deiner bisherigen Körpergröße zoomkopiert werden und mit Dir alle Möbel und Einrichtungsgegenstände. Könntest Du feststellen, ob Du gewachsen bist oder nicht?

.....

Aufgabe 4: In Abbildung 1 siehst Du einen Würfel mit der Seitenlänge 1. Die Oberfläche ist daher $1 \times 6 = 6$ und das Volumen $1 \times 1 \times 1 = 1$. Diese Werte sind in der Tabelle eingetragen. Was passiert nun, wenn die Seitenlänge verdoppelt, verdreifacht,... bzw. halbiert, gedrittelt,... wird?

Aufgabe 5: Ein Floh kann etwa 10 cm hoch springen. Wie hoch, glaubst Du, könnte er springen, wenn er so groß wie ein Mensch wäre?

.....

Dr. Martin Apolin unterrichtet Physik und Leibesübungen am BGRG 17, Parhamerplatz, 1170 Wien

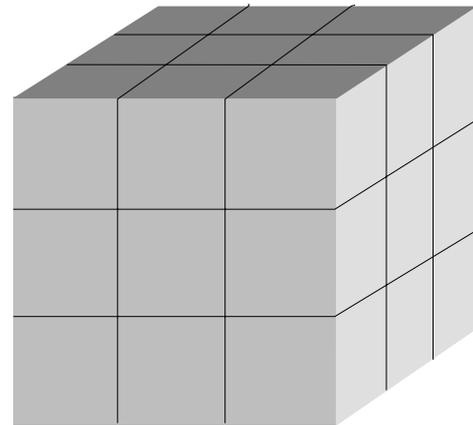
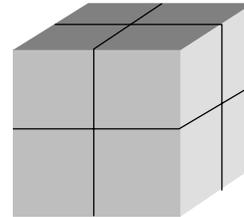


Abb. 1: Wie verändern sich Volumen und Oberfläche eines Würfels, wenn sich die Seitenlänge verändert?

Seitenlänge [m]	Oberfläche [m ²]	rel. Oberfläche	Volumen [m ³]
1/4			
1/3			
1/2			
1	6	1	1
2			
3			
4			

Tabelle 1 zu Aufgabe 4: Trage in die Tabelle Oberfläche und Volumen der Würfel mit unterschiedlicher Seitenlänge ein. Um besser vergleichen zu können, dividiere alle Oberflächen durch 6 und trage sie in die dritte Spalte ein.

Die Kraft eines Muskels (Aufg. 1) hängt von der Anzahl der Muskelfasern und somit von seinem Querschnitt ab. Gewichtshebern oder Bodybuildern sieht man ihre Kraft sofort an.

Der Wärmeverlust eines Menschen (Aufg. 2) bzw. jedes Gegenstandes hängt von der Oberfläche ab. Daher haben z.B. ein Radiator oder die Kühlrippen eines Motors eine sehr große Oberfläche, damit die Wärme besser abgegeben werden kann.

Wie Du in Tabelle 2 bzw. Abb. 2 siehst, wachsen – auf den ersten Blick überraschenderweise – die Oberfläche bzw. das Volumen wesentlich rascher als die Seitenlänge an (Aufg. 4). Eigentlich ist das aber ganz klar. *Wie Du aus den Formeln (siehe Kasten) erkennen kannst, ist die Oberfläche immer proportional zum Quadrat, das Volumen sogar proportional zur dritten Potenz der Seitenlänge.*

Wächst daher die Seitenlänge eines Würfels auf das Doppelte an, so vervierfacht sich die Oberfläche und verachtfacht sich das Volumen. Diese Tatsache gilt für jeden Gegenstand, also auch für alle Lebewesen bzw. den Menschen.

Seitenlänge [m]	Oberfläche [m ²]	rel. Oberfläche	Volumen [m ³]
1/4	3/8	1/16	1/64
1/3	6/9	1/9	1/27
1/2	3/2	1/4	1/8
1	6	1	1
2	24	4	8
3	216	9	27
4	384	16	64

Tabelle 2: Lösung zu Aufgabe 4

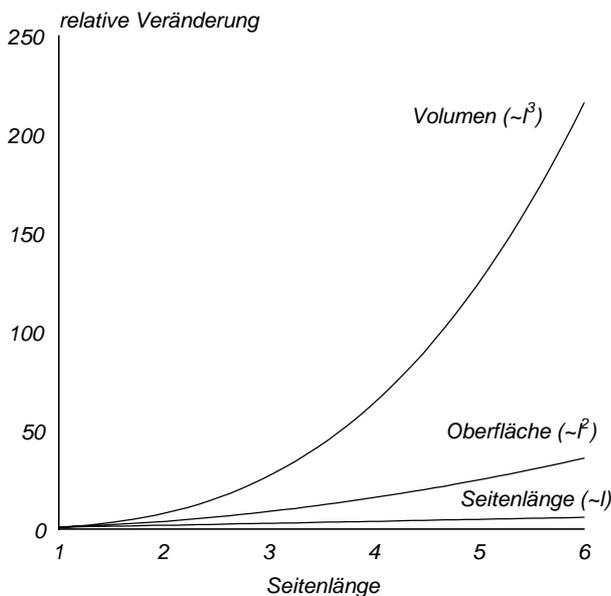


Abb. 2: Veränderung der Oberfläche und des Volumens eines beliebigen Gegenstandes bei Veränderung der Seitenlänge bzw. Größe. Man sieht, daß die Oberfläche und vor allem das Volumen viel rascher anwachsen als die Seitenlänge.

Kreisfläche: $F = r^2\pi$	Kugeloberfläche: $O = 4r^2\pi$
Quadratfläche: $F = a^2$	Würfelvolumen: $V = a^3$
	Kugelvolumen: $V = 4\pi r^3/3$

Warum die Natur keine Riesen geschaffen hat

In "Gullivers Reisen" kommen im Land Brobdingnag Riesen vor, die im Prinzip die Gestalt eines normalen Menschen haben, jedoch zehnmals so groß sind. Was würde mit einem solchen "Menschen" passieren (siehe Aufgabe 3)? Warum gibt es auf der Erde keine solchen großen Menschen?

Wenn ein Mensch zehnmals so groß wäre, wären sein Volumen und somit auch sein Gewicht 1000mal größer. Der Muskel- und Knochenquerschnitt jedoch wäre nur 100mal größer. Das Gewicht nimmt also viel schneller zu als der Knochen- und Muskelquerschnitt (auf das Zehnfache). Der Querschnitt der Knochen ist aber für deren Bruchfestigkeit von Bedeutung. Die Belastung der Knochen für den 10m-Riesen wäre 10mal so groß wie für den "Normalmenschen", und schon beim ersten Schritt würden ihm die Oberschenkelknochen brechen.

Da auch der Muskelquerschnitt nicht so schnell anwächst (der für das Maß der Kraft verantwortlich ist) wie das Gewicht, würde sich der Riese sehr schwach fühlen und könnte sich kaum auf den Beinen halten. Man würde daher sehr wohl merken, daß man selbst und alle anderen Gegenstände vergrößert würden (Aufgabe 3).

In der Natur gibt es in gewisser Weise "Riesen", also Lebewesen ähnlicher Form mit sehr starkem Größenunterschied (siehe Abb. 3). Damit diese Tiere lebensfähig sind, müssen die Muskeln und Knochen im Vergleich jedoch wesentlich dicker und gedrungener sein (siehe auch Abb. 4). Ein "normales Vergrößern" (man sagt auch isometrisches Vergrößern) aller Proportionen ist nicht möglich.

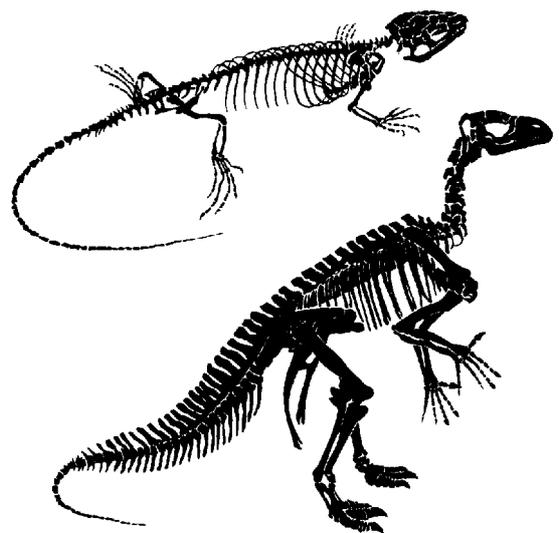


Abb. 3: Das Skelett einer Eidechse (oben) und eines Sauriers im Vergleich. Der Maßstab wurde so gewählt, daß beide Skelette gleich groß sind. Man sieht, daß der Knochenbau des Sauriers aufgrund der stärkeren Knochenbelastung wesentlich plumper ist. Gleiches gilt etwa auch für den Knochenbau einer Hauskatze und eines Königstigers. (aus SEXL/RAAB/STREERUWITZ 1980, S.11)

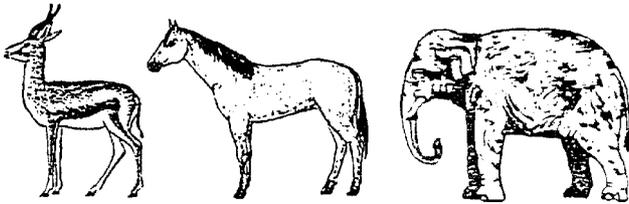


Abb.4: Vergleich des Körperbaus zwischen Gazelle (80 kg), Pferd (600 kg) und Elefant (5-6 t). Zunehmende Größe bedingt eine erhebliche Veränderung der Form. (aus SCHWAIGER 1994, S. 16)

Das größte lebende Tier – und auch das größte von allen Tieren, die jemals gelebt haben – ist der Blauwal. Ein ausgewachsener Blauwal kann mehr als 22 Meter lang werden und über 100 Tonnen wiegen. An Land ist er jedoch nicht lebensfähig, weil ihm sein großes Gewicht sofort die Rippen brechen würde (siehe Abb. 5).

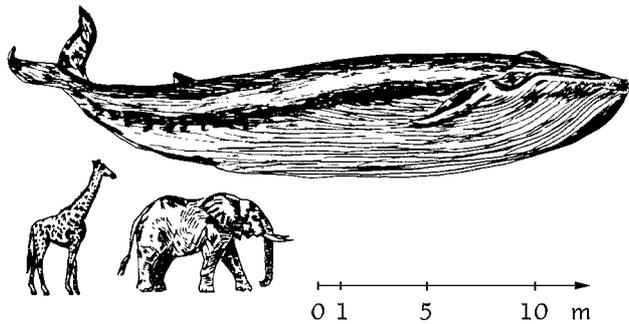


Abb. 5: Größenvergleich der größten Landsäugetiere mit dem Blauwal (Masse über 100 Tonnen). (aus SCHWAIGER 1994, S. 15)

Riesenmenschen hätten weiters noch mit folgenden Problemen zu kämpfen: Die Oberflächen von Lunge und Darm wären für die benötigte Aufnahme von Nährstoffen und Sauerstoff nicht groß genug, wodurch der Riese einerseits zu wenig Luft bekäme, andererseits über den Darm nicht genug Nährstoffe aufnehmen könnte (Abb. 6/7). King Kong hätte also nicht nur mit Flugzeugen, sondern mit noch ganz anderen Problemen zu kämpfen.

Auch Zwerge haben's schwer

Was wäre nun, wenn ein Mensch (wie in Gullivers Reisen) auf 1/12 der normalen Körpergröße schrumpfen (etwa 15 cm) und somit zum Zwerg würde? Welche Vor- und Nachteile würde dies mit sich bringen?

Die Wärmeproduktion eines Lebewesens hängt von seinem Volumen ab. Diese Produktion würde in unserem Fall auf $1/12^3$ bzw. $1/1728$ des Normalwertes absinken. Der Wärmeverlust hängt – wie zu Beginn erwähnt – von der Hautoberfläche ab, die nur auf $1/12^2$ bzw. $1/144$ sinken würde. Ein kleiner Mensch würde daher sehr viel Wärme verlieren und müßte pausenlos Nahrung aufnehmen. Tatsächlich haben in der Natur die kleinsten Tiere, bezogen auf das Körpergewicht, den größten Nahrungsumsatz (Abb. 8). Sie sind daher auch viel aktiver als große Lebewesen. Ohne Veränderungen am Körper könnten wir daher auch nicht geschrumpft werden, weil wir erfrie-

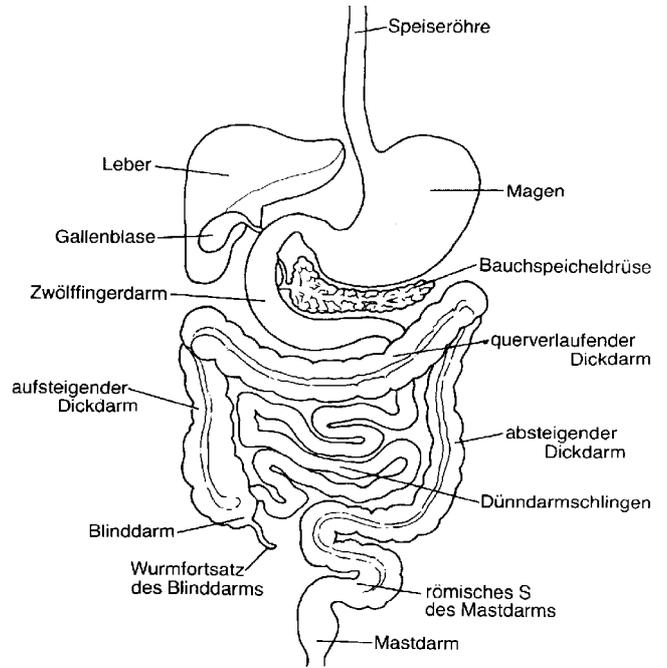


Abb. 6: Schon bei einem Lebewesen der Größe eines Menschen muß der Darm sehr verschlungen und gefaltet sein, um die Oberfläche zu erhöhen und die Nährstoffaufnahme durch die Darmwand zu gewährleisten. Bei kleinen Lebewesen besteht der Darm nur aus einer Art geradem Schlauch. (aus KONOPKA 1996, S.108)

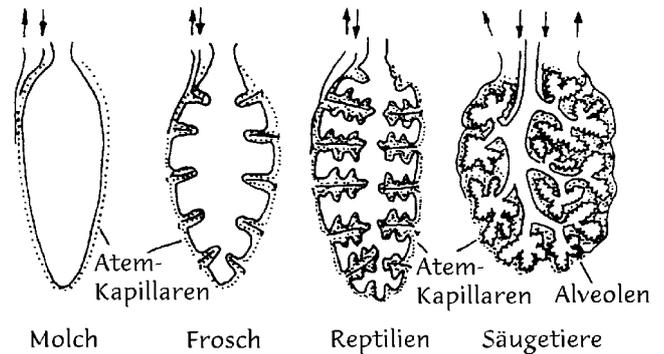


Abb. 7: Bei einem Tier, das zehnmal so groß ist wie ein anderes, müßte durch jeden Quadratmillimeter der Lunge zehn mal so viel Sauerstoff dringen. Das ist nicht möglich. Daher müssen die Lungen der größeren Tiere sehr viele Verästelungen aufweisen, um genügend Sauerstoffaufnahme zu gewährleisten. (aus SCHWAIGER 1994, S.108)

ren würden und unser Darm für eine derart hohe Nahrungsaufnahme nicht geeignet ist.

Steigen wir aus der Badewanne, so haftet an unserer Haut eine Wasserschicht mit einer Dicke von etwa 1/2 mm. Das gesamte Gewicht dieser Schichte beträgt weniger als 1% unseres Körpergewichts, und wir merken es kaum. Ganz anders bei einem kleinen Lebewesen. Eine nasse Maus muß etwa ihr Eigengewicht an Wasser mitschleppen, eine nasse Fliege ein Mehrfaches des Eigengewichts. Ein Insekt, das mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit benetzt ist, befindet sich daher in einer äußerst bedenklichen Situation. Viele Insekten bedienen sich daher der Trockenreinigung.

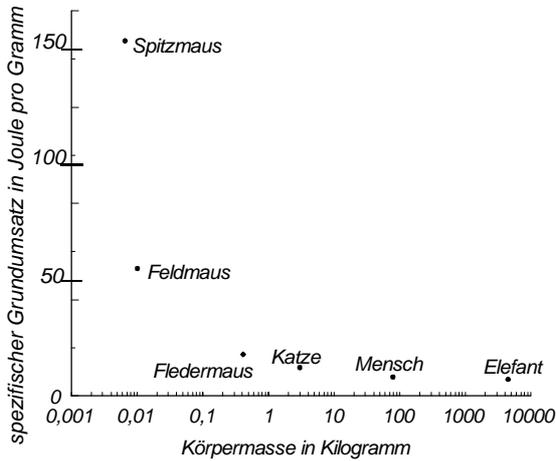


Abb.8: Trägt man den Grundumsatz (Energieverbrauch für Aufrechterhaltung der Körperfunktionen, u.a. Wärmeproduktion, hier in der veralteten Einheit Kalorien dargestellt) eines Lebewesens über seiner Körpermasse auf, so sieht man, daß kleine Lebewesen in Relation zu ihrem Gewicht viel mehr Nahrung zu sich nehmen müssen; oft sogar ein Vielfaches des Körpergewichts. (nach McMAHON/BONNER 1985, S.52)

Das Kleinsein hat jedoch auch einen Vorteil: Das Volumen und somit das Gewicht sinken rascher ab als der Querschnitt der

Muskulatur. Wir würden daher, relativ gesehen, wesentlich kräftiger. Ameisen können ein Vielfaches ihres Körpergewichts tragen, jedoch nicht aufgrund eines speziellen Körperbaus, sondern aus diesen physikalischen Gründen (siehe Tabelle 3). Auch der Floh kann nur deshalb so hoch springen, weil sein Kraft-Last-Verhältnis so günstig ist. Wäre er so groß wie ein Mensch, könnte er aufgrund des dann schlechteren Kraft-Last-Verhältnisses trotzdem nur 10cm hoch springen. Umgekehrt könnte der Mensch, wäre er so klein wie eine Ameise, ebenfalls ein Vielfaches seines Körpergewichts heben.

Tier	Masse [g]	max. hebbare Masse [g]	rel. Muskelkraft
Ameise	0,01	0,5	50
Biene	0,07	1,7	24
Grashüpfer	2	30	15
Mensch	80	40	0,5

Tabelle 3: Die relative Muskelkraft ist umso größer, je kleiner das Tier ist. (aus SCHWAIGER 1994, S.61)

Aufgabe 6: Erkläre stichwortartig, warum es weder Riesen noch Zwerge geben kann.

.....

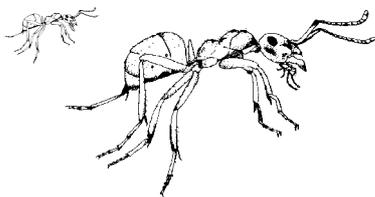


Abb. 9 zu Aufgabe 7 (nach SCHMID 1980, S. 13)

Aufgabe 7: In Horrorfilmen kommen oft Rieseninsekten vor. Was würde mit der Ameise in Abb. 9 passieren, wenn sie so groß wie ein Mensch wäre?

.....

Aufgabe 8: Wie würde sich für einen Riesen das Verhältnis von Wärmeproduktion und -verlust verändern? Wie würde sich das für einen Riesen bemerkbar machen?

.....

Aufgabe 9: Im Kasten sind die Bergmannsche und die Allensche Regel beschrieben. Versuche, sie mit Hilfe des eben Gelernten zu erklären.

.....

Bergmannsche Regel: Innerhalb eines Verwandtschaftsgrades sind die Angehörigen in den kalten Gebieten größer als in den warmen. Z.B. sind die Kaiser- und Königspinguine in der Antarktis die größten ihrer Art. Südafrikanische Pinguine sind bedeutend kleiner.

Allensche Regel: Bei Tieren in kalten Klimaten bleiben Körperteile, die leicht auskühlen (z.B. Ohren), klein, während sie bei Verwandten in warmen Gegenden wesentlich größere Ausmaße erlangen.

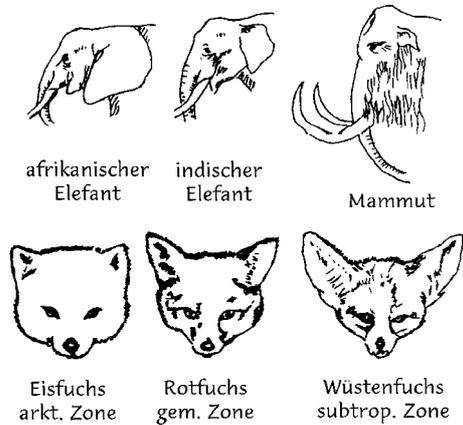


Abb. 10: Die Allensche Regel (aus SCHWAIGER 1994, S.32)

Literatur

Haldane J., Warum die Natur keine Riesen schuf; in: bild der wissenschaft 1981/2
 Konopka P., Sporternährung; blv 1996
 Mathelitsch L., Natur und Physik; Physik-compact; hpt 1992
 McMahon Th., Bonner J., Form und Leben; Spektrum-Verl. 1985
 Schwaiger E., Größenordnungen in der Natur; hpt 1994
 Schmid F., Wunderwelt der Ameisen; Hallwag Tb. 26, 1980
 Sexl, Raab, Streeruwitz, Physik Teil 1A, Ueberreuter 1980