die letzte Spur getilgt sein, bevor die neue erscheint.

K. Stern versucht nicht die Schwierigkeiten, welche sich hier bei Annahme rein zufälliger, physiologisch indifferenter Abänderungen ergeben, zu lösen. Es erübrigt sich deswegen, auf diese Fragen näher einzugehen. Wohl will er aber den Tatsachenbeweis dafür führen, daß „wie in der anorganischen Entwicklung alle möglichen Zustände nach Wahrscheinlichkeit und Zufall durchlaufen, so auch im Organischen alle Themen, Ideen und Aufgaben der Natur nach allen Richtungen variiert werden“. Er erinnert an die verschiedenen Lösungen des Flugproblems bei Insekten, fliegenden Fischen, Flugechsen, Fledermäusen und Vögeln und an die verschiedenen Arten der Insektenbestäubung und erklärt diese angeblich „allseits gerichtete“ Mannigfaltigkeit für eine Folge der allseits gerichteten, zufälligen und ungeordneten Einwirkung der Außenwelt auf die Organismen. Dabei verkennt er aber, daß jene Verschiedenheiten im Organischen gar nicht „allseits gerichtet“, sondern eng begrenzt und durch die Natur des sich entwickelnden Genotyps bestimmt sind. So können beim Aufbau der Organe nur die Gewebsarten verwandt werden, welche dem Typus eigentümlich sind. Es müssen daher bei den Fischen, denen das Stratum corneum fehlt, die hornigen Gebilde der höheren Wirbeltiere durch andere ersetzt werden. Ebenso stand den Reptilien und Säugetieren, wenn sie sich in die Lüfte erhoben, das für die Konstruktion des Flugwerkzeugs geeignetste Material, die Feder, nicht zu Gebote. Es traten bei ihnen dafür Flughäute ein. Bei den Säugetieren, welche ein Haarkleid besitzen, konnte die Flugbewegung noch durch einen behaarten Schwanz unterstützt werden. Eine wesentlich andere Konstruktion der Flügel war wieder bei den Insekten durch die ihnen eigentümliche Gewebsart, das Chitin, bedingt. Wenn ferner etwa die Schmetterlinge bei ihrem Schutzkleid mehr die trübe gefärbten, verwelkenden Blätter, die Heuschrecken das hellere Grün des frischen Laubes nachahmen, so ist das ebenfalls zum Teil mit darin begründet, daß in dem Genotyp der verschiedenen Abteilungen der Insekten verschiedene Farbstoffe leichter disponibel sind. Auch die ganze Organisation der betreffenden Tier- und Pflanzenklasse kommt für das Einschlagen der einen oder der anderen Entwicklungsrichtung wesentlich mit in Betracht. Wenn bei den Befruchtungsvorgängen der Blütenpflanzen das die Befruchtung vermittelnde Insekt farbenblind ist, so kann die Farbe nicht als Lockmittel dienen. Auf die Frage, wie es kommt, daß die Aufgaben der Natur in so verschiedener Weise gelöst werden, hat schon Nägeli die richtige Antwort gegeben. Wenn dem Schutz der Pflanze gegen feindliche Tiere in gleicher Weise eine verstärkte äußere Hülle oder die Bewehrung mit Dornen und Stacheln oder eingelagerte Giftstoffe dienen können, dann wird, wie

er sagt, die Natur diejenigen Schutzmittel wählen, bei welchen die vorhandenen Baustoffe die Ausführung am meisten erleichtern. So ist die Natur durch innere Bedingungen gezwungen, ganz verschiedene Wege einzuschlagen, um den gleichen Zweck zu erreichen⁷⁾.

Innere Bedingungen können es auch nur sein, welche die Vervollkommenung physiologisch indifferenter Formen herbeiführen. Daß letzteres der Fall ist, gibt Stern zu. Auch nach ihm „klimmt die Natur allmählich zu immer höheren Stufen empor“. Wie dies bei rein zufälligen Variationen möglich sein soll, zeigt er aber nicht. Nach seinen sonstigen Annahmen könnte die Entwicklung, wie in der Thermodynamik, nur zur Entropie, zur Vernichtung aller Eigenart führen.

Ein Wachstumsgesetz.

Von A. Pütter, Bonn.

Die Massenzunahme, die Tiere und Pflanzen während des Wachstums erfahren, scheint sehr verwickelten Gesetzen unterworfen zu sein. In bestimmten Abschnitten des Wachstums nimmt sie mit der Zeit zu, in anderen wird sie mit der Zeit geringer. Die Versuche, diese Verhältnisse durch eine empirische Formel darzustellen, haben bisher keinen Erfolg gehabt, und noch weniger ist es gelungen, aus allgemein-physiologischen Vorstellungen heraus Wachstumsgesetze abzuleiten und zahlenmäßig zu formulieren.

Trotzdem kann man einmal versuchen, für einen bestimmten, ziemlich verbreiteten Einzelfall aus allgemein-physiologischen Vorstellungen heraus ein Gesetz aufzustellen. Dieser Versuch hat, wie ich habe zeigen können¹⁾, zu einem befriedigenden Ergebnis geführt.

Es ist bekannt, daß bei einer großen Anzahl von Tieren der Stoffumsatz nicht entsprechend der Masse des Tieres steigt, sondern nur entsprechend der Fläche, d. h. dem Quadrat seiner Länge. Wenn also zwei Tiere, die einander geometrisch ähnlich sind, in bezug auf ihre Längen sich wie 1 : 2 verhalten, so verhält sich ihr Stoffumsatz nicht wie 1 : 8, wie ihre Gewichte, sondern nur wie 1 : 4, d. h. so wie ihre Oberflächen. Der Umsatz, bezogen auf die Einheit der Masse, wird also immer kleiner, je größer das Tier wird. Es ist ferner bekannt, daß bei einer bestimmten Ernährung der Aufbau einer gewissen Menge neuer lebender Substanz von spezifischer Struktur, wie sie beim Wachstum erfolgt, eine ganz bestimmte Arbeit erfordert, die durch den Umsatz einer bestimmten Menge von Nahrungsstoffen geliefert

⁷⁾ Vgl. unter der neueren Literatur: Gerhardt, Die Exkretion und ihre Bedeutung im Leben der Pflanze. Naturwissenschaften 1920, S. 43. Göbel, Die Entfaltungsbewegungen der Pflanzen und deren teleologische Deutung, 1919. Neger, Die Biologie der Pflanzen auf experimenteller Grundlage, 1913.

¹⁾ A. Pütter, Studien über physiologische Ähnlichkeit VI. Wachstumsähnlichkeiten. Pflügers Arch. Bd. 180, 1920, S. 298—340.

wird. Da nun die Menge der Nahrungsstoffe, die in der Zeiteinheit umgesetzt werden können, mit zunehmender Größe pro Masseneinheit abnimmt, so muß bei einem größeren Tier auch die Menge neuer lebender Substanz, die in der Zeiteinheit pro Masseneinheit gebildet werden kann, geringer werden.

Wir wissen, daß nicht nur während des Wachstums, d. h. während der Zeit, in der eine Massenzunahme erfolgt, neue lebende Substanz aufgebaut und in die Struktur des Körpers eingefügt werden muß, sondern daß solche Neubildung auch bei dem erwachsenen Tier unentbehrlich ist, da ja dauernd Zellen oder Zellteile im Lebensgetriebe zugrunde gehen. Es sei nur an den dauernden Verlust von Haaren und Nägeln, von roten und farblosen Blutkörperchen erinnert, für die Ersatz geliefert werden muß. Ist die Tätigkeit der Neubildung so gering geworden, daß sie nur noch die normalen Verluste deckt, so sagt man, das Wachstum hat aufgehört, das Tier ist erwachsen. Diese landläufige Ausdrucksweise ist aber nicht richtig: das *Wachstum* hört nicht auf, sondern der *Zuwachs*! Unter Wachstumsfähigkeit verstehen wir eine elementare Eigenschaft lebender Systeme, die den Erwachsenen ebenso zukommt wie den wachsenden. Zuwachs dagegen findet nur statt, wenn das Wachstum stärker ist als der Verlust durch den „Abnutzungstoffwechsel“.

Nehmen wir als den einfachsten Fall an, daß der Verlust durch Abnutzung während des ganzen Lebens für die Masseneinheit konstant sei, so haben wir alle Grundlagen für die Aufstellung eines Wachstumsgesetzes beisammen.

Diese Grundlagen lassen sich folgendermaßen formulieren: Der Zerfall, die Abnutzung, sei pro Masseneinheit gemessen durch die Zahl k' , dann ist der gesamte Zerfall in der Zeiteinheit $k'l^3$, wenn wir mit l die Länge oder, schärfer ausgedrückt, eine Größe von der Dimension $\sqrt[3]{G}$ bezeichnen, wobei G das Körpergewicht bedeutet.

Durch Wachstumsvorgänge entsteht eine gewisse Menge neuer Körperstoffe, die wir k nennen wollen, wenn wir das Wachstum auf die Oberfläche, d. h. auf eine Größe von der Dimension l^2 beziehen. Die Menge der neu gebildeten Körperstoffe ist also $k \cdot l^2$. Hieraus ergibt sich der Zuwachs als die Differenz von Aufbau und Zerfall gleich

$$kl^2 - k'l^3.$$

Der Zuwachs wird Null, wenn Zerfall und Aufbau gleich sind, d. h. wenn die Beziehung gilt: $kl^2 = k'l^3$. In diesem Falle erreicht die Länge l ihren größten Wert, den wir als L bezeichnen und wir erhalten

$$kL^2 = k'L^3, \\ L = \frac{k}{k'}.$$

Die größte Länge, die das Tier im Wachstum erreicht, ist also bestimmt durch das Verhältnis

der Zahlen, die den Aufbau und den Zerfall messen.

Die Geschwindigkeit, mit der sich die Länge des Tieres dieser Grenzgröße nähert, wird um so geringer sein, je näher der Grenze das Tier bereits ist, denn maßgebend für diese Geschwindigkeit ist ja der Ausdruck $(kl^2 - k'l^3)$.

Wir können dann die Länge l , die in der Zeit t erreicht wird, durch die Gleichung ausdrücken:

$$l = L \left(1 - \alpha e^{-\frac{ct}{L}} \right).$$

In dieser Gleichung bedeutet L die größte im Wachstum erreichbare Länge, l die Länge zur Zeit t und c eine Zahl, die die Geschwindigkeit des Zuwachses mißt und die demnach durch die Differenz der beiden Werte k und k' bestimmt ist. Die Zahl α bedeutet eine Integrationskonstante, deren Zahlenwert davon abhängt, wie groß die Länge l des Tieres zur Zeit $t=0$ ist, d. h. zu der Zeit, in der die Beobachtung beginnt. Diese Zeit braucht nicht die Zeit zu sein, in der das Wachstum beginnt, es kann vielmehr ein willkürlich gewählter Zeitpunkt sein, ja es wird im allgemeinen stets ein Moment sein, der mehr oder weniger weit vom Anfang des Wachstums entfernt liegt, denn für das erste Stück des Wachstumsverlaufs, das sich an die Teilung der Eizelle anschließt, dürften die Voraussetzungen, die wir bei der Entwicklung des Wachstumsgesetzes gemacht haben, nicht zutreffen.

Die Theorie ergibt die Forderung, daß die jeweilige Länge eines wachsenden Tieres in einer verhältnismäßig einfachen Beziehung zur Wachstumszeit stehen soll, wenn der Stoffwechsel proportional dem Quadrat der Länge ist, und der Zerfall lebender Substanz im Abnutzungstoffwechsel proportional dem Gewicht, d. h. der dritten Potenz der Länge ist. Unter „Länge“ ist aber hier eine bestimmte, am Körper des Tieres abmeßbare Strecke nur dann verstanden, wenn sich die Proportionen während des Wachstums nicht ändern, d. h. wenn große und kleine, alte und junge Tiere einander *geometrisch ähnlich* sind. Bei solchen Tieren ist es dann aber auch ganz gleichgültig, welche Länge man als Längenmaß des Tieres wählt, ob die ganze Körperlänge oder die Länge irgendeines Körperteils, denn bei geometrisch ähnlichen Körpern stehen alle homologen Stücke in dem gleichen Verhältnis.

Um unser Wachstumsgesetz zu prüfen, müssen wir also nach Tieren suchen, von denen schon bekannt ist, daß sich ihre Proportionen mit dem Wachstum nicht ändern, d. h. daß ihre Gewichte sich wie die Kuben ihrer Längen verhalten und daß die Intensität ihres Stoffwechsels proportional dem Quadrat ihrer Länge ist.

Beides trifft für die *Fische* zu. Daß das Gewicht eines Fisches aus seiner Länge leicht berechnet werden kann, und daß sich die Gewichte verschieden großer Fische derselben Art wie die dritten Potenzen ihrer Längen verhalten, ist in der Biologie der Fische eine längst feststehende

Tatsache. Daß der Sauerstoffverbrauch der Fische dem Quadrat ihrer Lineardimension proportional ist, habe ich schon 1909¹⁾ nachgewiesen und diese Tatsache ist später anderweitig bestätigt worden.

Es ist ein glücklicher Umstand, daß über das Wachstum einiger Nutzfische so ausgedehnte Untersuchungen vorliegen, wie kaum über andere Tiere, so daß die Entscheidung, ob die theoretische Formel brauchbar ist oder nicht, keine Schwierigkeiten bereitet. In einer größeren Untersuchung habe ich die vorliegenden Daten über das Wachstum des Herings, Dorsches, Schellfisches, der Scholle und Forelle mit den Forderungen der Theorie verglichen und eine weitgehende Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung gefunden. Auch für den Hummer trifft die Beziehung vom Entwicklungsstadium IV an sehr gut zu. Als Beispiel mag das Wachstum der Scholle in der südlichen Nordsee dienen. Wie die folgende Tabelle 1 zeigt, gibt die Theorie ein sehr vollkommenes Bild der Wachstumsverhältnisse.

Tabelle 1.

Wachstum der Scholle.

Alter in Jahren	Länge in cm	
	beobachtet	berechnet
0 ²⁾	5	5
I	11 (12,2)	12,2
II	19 (19,7)	19,4
III	24 (24,4)	25,0
IV	28	30,5
V	35	35,5
VI	40	40,0
VII	45	43,5
VIII	48	47,2
IX	50	50,2
X	52	53,0
XI	54	55,9
XII	55	58,0
XV	—	63,4
XX	—	69,7
XXV	—	72
XXXVIII	77,0	76,8

Zur Kennzeichnung des Wachstums brauchen wir stets zwei Zahlen: einmal die größte Länge L , der das Wachstum zustrebt, und zum anderen die Zuwachszahl c , deren Größe die Geschwindigkeit des Zuwachses mißt. Für dieselbe Fischart sind diese beiden Zahlen nur dann konstant, wenn die untersuchten Tiere unter gleichen Lebensbedingungen herangewachsen sind. Während z. B. die Schollen der Nordsee einer Grenzgröße von 78 cm zuwachsen, wachsen die aus der Barentsee (bei Spitzbergen)

einer Länge von 95 cm zu und die der Ostsee (westlicher Teil) nur einer solchen von 40 cm. Die Zuwachsgeschwindigkeit ist dabei in der Barentsee am kleinsten ($c = 2,56$), in der Nordsee am größten ($c = 8,4$), in der Ostsee ($c = 7,24$) nur wenig verschieden von der in der Nordsee. Die Tabelle 1 für die Schollen der Nordsee ist berechnet nach der Gleichung:

$$l = 78 \left(1 - 0,936 e^{-\frac{8,4 t}{78}} \right).$$

In ähnlich vollkommener Weise lassen sich auch die Wachstumsverhältnisse von Schellfisch und Dorsch, Hering und Forelle rechnerisch darstellen. Außerhalb des Wirbeltierkreises liegen nur wenige genügende Beobachtungen vor, so z. B. für den Hummer, und auch sie fügen sich der entwickelten Gleichung.

Die Fig. 1 erläutert wohl am besten, daß sich die Längen einfacher darstellen lassen als die Gewichte. Sie gibt Längen und Gewichte des Herings in ihrer Abhängigkeit von der Wachstumszeit. Die Kurve der Gewichte hat einen Wendepunkt, die Kurve der Längen dagegen nicht.

Fig. 1. L = Länge des Herings in Zentimetern; G = Gewicht in Gramm. Abszisse = Alter in Jahren, Ordinate rechts = Gewicht in Gramm, links = Länge in Zentimetern.

Die einfachen theoretischen Überlegungen, die zu so guter Darstellung einer Reihe von Wachstumskurven bei Fischen geführt haben, enthalten die Voraussetzung, daß die lebenden Systeme, die ein Tier aufbauen, keinerlei Altersveränderungen erleiden; daß also der langsamere Zuwachs, den wir an älteren Tieren beobachten, nur indirekt vom Alter der Tiere abhängt, nämlich nur insofern, als ältere Tiere ihrer Grenzgröße schon näher sind und aus diesem Grunde auch dann langsamer wachsen müssen, wenn die elementare physiologische Fähigkeit des Wachstums bei ihnen gar nicht geringer geworden ist. Bei großen (alten) Tieren gelangt ja eine immer geringere Menge von Baustoffen an die Stellen, an denen die Baustoffwechseltätigkeit (das Wachstum) erfolgt, so daß die Menge der in der Zeiteinheit neu gebildeten Substanz kleiner werden muß, auch wenn die Wachstumsfähigkeit gar keine Ände-

¹⁾ A. Pütter, Die Ernährung der Fische, Z. f. allgem. Physiol. Bd. 9, 1909, S. 147—242.

²⁾ Alter von 0 Jahren bedeutet Tiere, die weniger als ein volles Jahr alt sind. Das wirkliche Alter beträgt etwa $\frac{1}{2}$ Jahr, ebenso wie das der höheren Altersklassen immer ein halbes Jahr höher ist, als die Zahl angibt.

rung erfahren hat. Träfe diese einfache Annahme allgemein zu, so müßten die Tiere einer Grenzgröße zustreben, die sie nach unendlich langer Zeit erreichen würden, und die älteren Tiere müßten — unter sonst gleichen Bedingungen — auch stets die größeren sein. Nun können wir aber — nicht nur bei Fischen — beobachten, daß ältere Tiere nicht immer notwendig größer zu sein brauchen als jüngere, daß vielmehr von einem gewissen Alter an nicht nur keine Zunahme, sondern geradezu eine Abnahme der Länge erfolgt. Diese Beobachtung zwingt uns zur Annahme einer Veränderung der Eigenschaften der Tiere, die von der bereits durchgemessenen Lebenszeit abhängt, also zur Annahme von *Alternsveränderungen*. Es würde hier zu weit führen, die genauere theoretische Ableitung zu geben, aus der hervorgeht, in welcher Weise die Wirkung einer solchen Alternsveränderung auf die Grenzgröße in Ansatz gebracht werden muß¹⁾. Führt man diese Erweiterung der Theorie ein, so wird eine weitere Reihe von Beobachtungen der Rechnung zugänglich. Als Beispiel hierfür führe ich das Wachstum des Herings bei Island an. Die Beobachtungen sind teils durch direkte Längenmessungen gewonnen, teils durch Messungen des Jahreszuwachses der Schuppen. Für die Berechnung macht das keinen Unterschied; die Länge ergibt sich stets aus der Gleichung:

$$l = L \left(1 - 0,755 e^{-\frac{11,0 t}{L}} \right),$$

wenn L dargestellt wird, durch die Gleichung:

$$L = 50 \frac{3,55 - 0,0377 t}{4,55 - 0,0377 t},$$

wobei 0,0377 den Alternsfaktor bedeutet.

Die gute Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung zeigt die folgende Tabelle:

Tabelle 2.

Wachstum des Herings (Island).

Alter in Jahren	Länge in cm beobachtet	berechnet
I	9,6	9,6
II	17,6	16,9
III	23,6	22,7
IV	27,5	26,3
V	29,8	29,4
VI	31,6	31,5
VII	33,1	33,1
VIII	34,2	34,2
IX	34,9	35,2
X	35,5	36,0
XI	35,6	36,2
XII	35,8	36,6
XIII	36,4	36,8
XIV	36,7	37,0

Will man die Wachstumsformeln, die sich für die Fische bewährt haben, auf Säugetiere anwenden, so ergibt sich die Schwierigkeit, daß diese beim Wachsen ihre Proportionen verändern,

¹⁾ Siehe hierüber die Originalarbeit.

so daß große und kleine (alte und junge) Tiere einander nicht geometrisch ähnlich sind. Man kann daher keine irgendwie abmeßbare Länge als Ausdruck der Lineardimension ansehen. Trotzdem kann man mit den Gleichungen rechnen, wenn man eine ideale Lineardimension einführt, die ausgedrückt ist durch die dritte Wurzel aus dem Gewicht ($\sqrt[3]{G}$). Wir wollen dabei die Lineardimension eines Säugetiers, das 10 kg schwer ist, als 100 bezeichnen. Will man die Anwendbarkeit der Wachstumsgleichungen prüfen, so berechnet man aus den Gewichten die idealen Lineardimensionen und vergleicht entweder diese direkt mit den berechneten, oder man leitet aus den berechneten Lineardimensionen die Gewichte ab und vergleicht diese mit den beobachteten Gewichten. Beide Arten der Vergleichung gestattet die folgende Tabelle 3, die das Wachstum der weißen Ratte darstellt. Beobachtung und Berechnung stimmen wieder befriedigend überein.

Tabelle 3.

Wachstum der weißen Ratte.

Alter in Tagen nach der Geburt	Gewicht		Lineardimension	
	beobachtet		beobachtet	berechnet
	g			g
0	5,4		8,12	5,4
10	12,2		10,7	12,4
21	21,2		12,8	25,2
31	31,8		14,6	39,5
55	68,5		19,0	79,0
70	106,6		22,0	107
92	152,3		24,7	141
112	183,8		26,4	170
138	209,7		27,5	209,7
178	239,4		28,7	232
216	252,9		29,2	252
365	279,0		30,2	279

Die Berechnung ist nach der Gleichung

$l = 30,4 \left(1 - 0,741 e^{-\frac{0,425 t}{30,4}} \right)$ ausgeführt. Soll die die Zahl c , die den Zuwachs mißt, mit den entsprechenden Zahlen für die Fische verglichen werden, so muß sie mit 365 multipliziert werden, denn jene Zahlen beziehen sich auf das Jahr als Zeiteinheit, diese auf den Tag. Es ist also für die Ratte $c = 0,425 \cdot 365 = 155$.

Es lassen sich also in der Tat eine ganze Anzahl von Fällen mit Hilfe der theoretisch entwickelten Wachstumsgleichungen darstellen.

Voraussetzung für ihre Anwendbarkeit ist aber, daß der Stoffwechsel der Tiere proportional dem Quadrat der Lineardimension ist. Trifft dies nicht zu, dann können die Formeln nicht angewendet werden.

Da wir wissen, daß bei Insekten die genannte Abhängigkeit des Stoffwechsels von der Lineardimension nicht besteht, so dürfen wir bei ihnen nicht erwarten, daß die Gleichungen gelten, und wirklich zeigt z. B. der Verlauf des Wachstums

bei der Raupe des Seidenspinners einen grundsätzlich anderen Typus. In den Fällen aber, in denen die Gleichungen anwendbar sind, gestatten sie eine viel einfachere Beschreibung des Wachstums, als das bisher möglich war.

Es hatte bisher große Schwierigkeiten, die Zuwachsgeschwindigkeit zu messen. Gleichviel ob man den absoluten Längenzuwachs in der Zeiteinheit oder die absolute Gewichtszunahme oder die Gewichtszunahme in Prozenten des Anfangsgewichtes pro Zeiteinheit oder die Zeit der Gewichtsverdoppelung als Maß für den Zuwachs wählte, stets bekam man Werte, die nur für einen Moment Geltung hatten, die daher für möglichst viele Zeitpunkte berechnet werden mußten, um nur einen einigermaßen vollständigen Überblick über den Verlauf des Zuwachses zu geben. Diese Schwierigkeit ist durch die abgeleiteten Formeln behoben. Für alle die Fälle, die sich dem hier abgeleiteten Wachstumsgesetz fügen, brauchen wir zur Kennzeichnung der Zuwachsgeschwindigkeit nur eine Zahl, nämlich die Beizahl der Zeit, d. h.

den Ausdruck $\frac{c}{L}$. Eine Tabelle, wie die folgende die die Größen L und c für eine Reihe Tiere enthält, gibt also eine vollständige Beschreibung der Zuwachsverhältnisse.

Tabelle 4.

	L	c
Hummer	60	5,7
Hering (Britische Gewässer)	29	8,6
„ (Island)	39	11,0
Schellfisch	120	10,2
Dorsch	158	9,8
Scholle (Nordsee 15—16° T)	78	8,4
„ (Barentsee 0—4° T)	95	2,56
„ (Ostsee)	40	7,28
Forelle (Süßwasser)	60	6,0
„ (Meer)	98	16,4
Ratte	30,4	155
Kaninchen	85,0	255

Wir können aber mit Hilfe der Gleichungen noch einen Schritt weiter kommen. Der Zuwachs, dessen Geschwindigkeit wir durch $\frac{c}{L}$ messen können, ist ja noch eine zusammengesetzte Größe, die sich ergibt aus dem Verhältnis des Aufbaus zum Zerfall. Es wäre also ein erheblicher Fortschritt, wenn wir die Zahlen angeben könnten, durch die die Geschwindigkeit des Aufbaus und die des Zerfalls einzeln gemessen werden. Zur Bestimmung dieser beiden Zahlen, die wir als k und k' bezeichnen (s. o.), haben wir zwei Größen zur Verfügung, von denen die eine das Verhältnis, die andere die Differenz von k und k' angibt. Wir fanden ja, daß die größte Länge L gleichzusetzen ist $L = \frac{k}{k'}$; und da die Zuwachsgeschwindigkeit einerseits durch den Ausdruck $\frac{c}{L}$ gemessen wird, andererseits aber dem Ausdruck $(k - k')$

proportional ist, so können wir setzen $\frac{c}{L} = k - k'$. Durch diese beiden Gleichungen erhalten wir nun

$$\text{für } k \text{ den Ausdruck: } k = \frac{c}{L-1} \text{ und für } k' \\ k' = \frac{c}{L(L-1)}$$

und haben damit die beiden Werte, die zur eindeutigen Kennzeichnung der untersuchten einfachen Formen des Wachstums notwendig und hinreichend sind.

Tabelle 5.

	k	k'
Hummer	0,0965	0,00161
Hering (Brit. Gewässer)	0,307	0,0106
„ (Island)	0,290	0,00741
Schellfisch	0,0856	0,000711
Dorsch	0,066	0,00044
Scholle (Nordsee 15—16° T)	0,109	0,0014
Scholle (Barentsee 0—4° T)	0,0272	0,000285
Scholle (Ostsee)	0,186	0,00464
Forelle (Süßwasser)	0,102	0,00170
„ (Meer)	0,1685	0,00172
Ratte	5,28	0,174
Kaninchen	3,04	0,0357

Die Tabelle 5 gibt wieder für eine Anzahl von Tieren diese beiden Kennzahlen. Diese Zahlen geben die Grundlage für eine ganze Reihe von Vergleichen zwischen den Verhältnissen des Wachstums und der Abnutzung bei den verschiedenen Tierarten. Hier nur einige Andeutungen darüber.

Die Forelle kann im Meer wie im Süßwasser gedeihen, wird hier aber nur 60 cm lang, während sie im Meer einer Länge von 98 cm zuwächst. Der Grund dafür liegt nur in einem höheren Werte von k , einem rascheren Stoffaufbau, während die Zerfallskonstante k' für Tiere vor und nach Beginn der Meereswanderung die gleiche ist.

Die Scholle wird in der Nordsee 78 cm lang, in der westlichen Ostsee nur 40 cm, und in der östlichen Ostsee (östlich von Gotland) kommt sie nicht mehr vor, der Salzgehalt ist dort zu gering. Es ist nun höchst bemerkenswert, daß die Scholle der (westlichen) Ostsee nicht deshalb nur 40 cm Länge erreicht, weil sie etwa eine geringere Wachstumsgeschwindigkeit hätte als die der Nordsee, im Gegenteil, ihre Wachstumszahl k ist 1,7 mal so groß wie die der Nordseescholle, sondern sie bleibt klein, weil ihre Zerfallskonstante k' sehr viel größer ist als bei der der Nordsee, nämlich 3,3 mal so groß. Die Scholle nähert sich in der Ostsee der Grenze ihrer Lebensmöglichkeit, und das kommt in einem bedeutend erhöhten „Abnutzungsstoffwechsel“ zum Ausdruck.

Von wesentlichem Einfluß auf die absolute Größe der beiden Kennzahlen k und k' ist die Temperatur, wie z. B. ein Vergleich zwischen der Scholle der Nordsee und der der Barentsee zeigt.

Die Temperatur, unter der die beiden Tiere heranwachsen, ist um etwa 15° verschieden, die Zahlen für k verhalten sich wie $1:4$, die für k' wie $1:4,9$. Das bedeutet eine Vergrößerung der Beizahlen, die für 10° Temperaturerhöhung das 2,5- bzw. 2,85-fache beträgt. Wenn wir für die Wachstumszahlen der Fische, die in der Nordsee bei etwa 15° heranwachsen, Werte von 0,06 bis 0,515 finden, so würden wir bei einem Einfluß der Temperatur, wie wir ihn bei der Scholle nachweisen können, für eine Temperatur von 37 oder 38° Wachstumszahlen erwarten, die etwa 10-mal höher wären, also bis zu Werten von 5,15 heranreichen würden. Für die Säugetiere, deren Körpertemperatur $37-38^{\circ}$ ist, finden wir Wachstumszahlen von 1,69 bis 5,3, d. h. also von etwa der Größe, wie sie die Fische bei einer Temperatur zeigen würden, die der der Säugetiere gleich wäre (falls die Fische solche Temperatur ertragen könnten!).

Die Zahlen, die die Geschwindigkeit des Abnutzungsstoffwechsels messen (k'), sind bei den verschiedenen Fischarten viel mehr voneinander verschieden als die Wachstumszahlen, sie schwanken in den untersuchten Fällen zwischen 0,0004 und 0,0166; die entsprechenden Werte für die Säugetiere liegen wieder nur etwa 10-mal höher, so daß die Unterschiede auf die Verschiedenheit der Temperatur zurückgeführt werden könnten.

Das sind nur Andeutungen von Vergleichungen, wie sie erst schärfer durchgeführt werden können, wenn für zahlreichere Tiere derartige Analysen ihres Wachstums- und Abnutzungsstoffwechsels vorliegen. Vorläufig scheint es, als ob die Größenordnung der Fähigkeit neue lebende Substanz aufzubauen und ihr die spezifische Struktur zu erteilen, bei sehr verschiedenen Tieren und Tiergruppen etwa die gleiche sei, wenn man unter gleichen Bedingungen, besonders der Temperatur, sinngemäß vergleicht, daß dagegen die Geschwindigkeit des Abnutzungsstoffwechsels viel mehr von spezifischen Eigentümlichkeiten abhängt, wobei allerdings die Unterschiede zwischen Tieren derselben Klasse (Fische) nicht geringer sind als die zwischen Tieren verschiedener Klassen (Fische und Säugetiere) oder selbst verschiedener Stämme (Wirbeltiere, Krebse, Mollusken).

Technische Mitteilungen.

Die Verwitterung der Kohle. Im Ausstrich eines Kohlenflözes oder beim Lagern an der Luft erleidet Kohle oft Veränderungen, welche man als „Verwitterung“ der Kohle bezeichnet. Diese Veränderungen erfolgen unter dem Einfluß der Atmosphärien, besonders durch den Sauerstoff der Luft. Der hierbei vor sich gehende Prozeß ist in der Hauptsache eine Oxydation, d. h. eine langsame Verbrennung der Kohle.

Braunkohle und Steinkohle besitzen die Eigenschaft, Sauerstoff zu absorbieren. Dieser absorbierte Sauerstoff kann eine langsame Oxydation der Kohle herbei-

führen. Der Prozeß der Verwitterung der Kohle erreicht sein Ende, sobald der „disponible“ Wasserstoff und ein leichter oxydierbarer Kohlenstoffanteil verschwunden (wegoxydiert) ist.

Von weit größerer Bedeutung als die Verwitterung der Kohle im Ausstrich der Kohlenlager ist die *Verwitterung der geförderten Kohle*. Geförderte Kohle lagert häufig längere Zeit an der Luft und verändert sich hierbei in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften. Die Kohle verliert durch solches Lagern an Heizbarkeit, Backfähigkeit, Verkokbarkeit und Vergasungsmenge. Zudem zerfällt die Kohle beim Lagern an der Luft, sodaß eine ursprünglich stückreiche Kohle schließlich beim Verladen nur noch Gries und Staub ergibt. Der Wert der Kohle wird hierdurch herabgedrückt.

Einen großen Einfluß bei der Verwitterung der Kohle übt jede Erwärmung aus. Erwärmt sich Kohle während der Lagerung, so nimmt die Verwitterung einen weitaus schnelleren Verlauf. Sauerstoffabsorption und Oxydation verlaufen dann sehr rasch. Beide Prozesse erhöhen durch ihre Reaktionswärme noch weiter die Temperatur. Dies kann schließlich zur Selbstentzündung der Kohle führen. Findet eine Erwärmung nicht statt, so wird sich Kohle beim Lagern innerhalb kurzer Zeit kaum verändern. Im allgemeinen neigen *Stückkohlen* weniger zur Verwitterung als *Kleinkohlen*. Es beruht dies darauf, daß Kleinkohle infolge ihrer größeren Oberfläche lebhafter Sauerstoff absorbiert als die gleiche Menge Stückkohle. Die Menge des absorbierbaren Sauerstoffes ist bei der gleichen Menge Stückkohle und Steinkohle sonst dieselbe. Die größere Oberfläche der Kleinkohle führt also nicht zu einer der Menge nach größeren, sondern nur zu einer *schnelleren* Sauerstoffabsorption und Verwitterung. Bisweilen findet man die Angabe, daß *Feuchtigkeit* die Verwitterung der Kohle begünstigt. Solche Angaben fußen wohl immer auf Beobachtungen, die an *schwefelkiesreichen* Kohlen gemacht worden sind. Von schwefelkiesreichen Kohlen ist nachgewiesen, daß sie in feuchtem Zustande mehr Sauerstoff absorbieren als schwefelkiesärmere. Es liegen hierzu Versuche von *Richters* vor. Nach ihm absorbierten Kohlen, welche in Pulverform bereits 8 Monate der Luft ausgesetzt waren, folgende Mengen Sauerstoff:

Eine 3,04 % Schwefel enthaltende Kohle binnen 9 Tagen 3,9 ccm Sauerstoff,

eine andere mit 1,08 % Schwefel binnen 9 Tagen 4,19 ccm Sauerstoff.

In angefeuchtetem Zustande aber absorbierte die schwefelreichere in derselben Zeit 6,5 ccm Sauerstoff,

die schwefelärmere dagegen nur 3,8 ccm Sauerstoff.

Es hat sich aus anderen Beobachtungen ferner ergeben, daß Kohlen, welche den atmosphärischen Niederschlägen ausgesetzt waren, nachweisbar nicht stärker zersetzt wurden als Kohlen, welche an einem lufttrockenen Orte aufbewahrt wurden. Verwitterung von Kohle dürfte also nur in besonderen Fällen durch Feuchtigkeit gefördert werden.

Die Verwitterungsvorgänge einer lagernden Kohle faßt *Muck* in folgende Sätze zusammen:

1. Die Verwitterung ist die Folge einer Aufnahme von Sauerstoff, welcher einen Teil des Kohlenstoffs und Wasserstoffs der Kohle zu Kohlensäure und Wasser oxydiert, andernteils direkt in die Zusammensetzung der Kohle eintritt.

2. Der Verwitterungsprozeß beginnt mit einer Absorption von Sauerstoff. Erwärmen sich infolge dieses