

## Werk

**Titel:** Die Naturwissenschaften

**Ort:** Berlin

**Jahr:** 1917

**PURL:** [https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X\\_0005|log427](https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0005|log427)

## Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)  
SUB Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen

✉ [info@digizeitschriften.de](mailto:info@digizeitschriften.de)

# Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

Begründet von Dr. A. Berliner und Dr. C. Theising.

Herausgegeben von

**Dr. Arnold Berliner** und **Prof. Dr. August Pütter**

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 34.

24. August 1917.

Fünfter Jahrgang.

## INHALT:

Die Ergebnisse der neueren Forschung über Atom- und Molekularwärmen. Von *Privatdozent Dr. Erwin Schrödinger*, Wien. S. 537.

Ueber Spezialisierung und spezialisierte Formen im Bereich der Pilze. Von *Prof. Dr. H. Klebahn*, Hamburg. S. 543.

Zoologische Mitteilungen:

Ueber das Prinzip der kürzesten Bahn in der Lehre von der Handlung. Schildkröten im Gebiete von Rovigno. Ueber die Herkunft der Knochenfische (Teleostier). Wie entstehen die Gamskugeln? Ueber das Knacken bei einigen Paarhufern, besonders beim Rentier. S. 550—552.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

## Arzneipflanzen-Merkblätter des K. Gesundheitsamts

bearbeitet in Gemeinschaft mit  
der Deutschen Pharmazeutischen



dem Arzneipflanzen-Ausschuß  
Gesellschaft Berlin-Dahlem.

1. Allgemeine Sammelregeln — 2. Bärentraubenblätter — 3. Herbstzeitlosensamen —
4. Bitterkleeblätter — 5. Arnikablüten — 6. Huflattichblätter — 7. Kamillen —
8. Löwenzahn — 9. Wildes Stiefmütterchen — 10. Kalmuswurzel — 11. Schafgarbe — 12. Ehrenpreis — 13. Stechapfelblätter — 14. Tausendgüldenkraut —
15. Quendel — 16. Hauhechelwurzel — 17. Wollblumen — 18. Rainfarn —
19. Eisenhut (Akonit) -Knollen — 20. Malvenblüten und -blätter — 21. Wermutkraut — 22. Tollkirschenblätter — 23. Fingerhutblätter — 24. Bilsenkrautblätter —
25. Wacholderbeeren — 26. Bibernellwurzel — 27. Schachtelhalm — 28. Isländisches Moos — 29. Steinklee Kraut — 30. Bärlappsporen — 31. Katzenfötchenblüten —
32. Blätter und Blüten zur Teebereitung.

Preis jedes Merkblattes 10 Pf. (einschließlich Porto und Verpackung 15 Pf.); 20 Exempl. eines Merkblattes M. 1.20, 100 Exempl. eines Merkblattes M. 4.— (zuzügl. Porto).

### Buchausgabe aller 32 Merkblätter

auf besserem Papier in festem Umschlag. Preis M. 1.80.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung

Kgl. Bibliothek 25. VII. 17

7X 11

---

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

---

# Landolt-Börnstein

## Physikalisch - chemische

### Tabellen

Vierte, umgearbeitete und vermehrte Auflage

unter Mitwirkung von

Th. Albrecht-Potsdam, K. Arndt-Berlin, K. Bädeker-Jena, O. Bauer-Berlin, W. Bein-Berlin, A. Blaschke-Berlin, H. Böttger-Berlin, W. Böttger-Leipzig, G. Bruni-Padua, A. Denizot-Lemberg, F. Dolezalek-Berlin, F. Eisenlohr-Greifswald, E. Gehrcke-Berlin, H. Greinacher-Zürich, E. Gumlich-Berlin, F. Henning-Berlin, W. Herz-Breslau, W. Heuse-Berlin, A. Heydweiller-Rostock, W. Hinrichsen-Berlin, L. Holborn-Berlin, E. Jänecke-Hannover, W. P. Jorissen-Leiden, G. Just-Berlin, J. Koppel-Berlin, R. Kremann-Graz, G. Leithäuser-Hannover, H. Lundén-Stockholm, A. Mahlke-Hamburg, F. F. Martens-Berlin, G. Meyer-Freiburg i. B., H. Philipp-Greifswald, J. D. van der Plaats-Utrecht, Th. Posner-Greifswald, E. Regener-Berlin, V. Rothmund-Prag, H. Rubens-Berlin, O. Sackur-Breslau, C. Sandonnini-Padua, K. Scheel-Berlin, A. Schmidt-Potsdam, O. Schönrock-Berlin, H. v. Steinwehr-Berlin, A. Stirm-Leipzig, K. Stöckl-Passau, H. Tertsch-Wien, S. Valentiner-Klausthal, H. v. Wartenberg-Berlin, F. Weigert-Berlin, H. F. Wiebe-Berlin

und mit Unterstützung der Königlich Preußischen Akademie  
der Wissenschaften

herausgegeben von

**Dr. Richard Börnstein**

Professor der Physik an der Landwirtschaftlichen  
Hochschule zu Berlin

**Dr. Walther A. Roth**

a. o. Professor der physikalischen Chemie an der  
Universität zu Greifswald

Mit dem Bildnis H. Landolts

1330 Seiten. Lex.-8°. In Moleskin gebunden Preis M. 56.—

---

Zu beziehen durch jede Buchhandlung

---

# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Fünfter Jahrgang.

24. August 1917.

Heft 34.

## Die Ergebnisse der neueren Forschung über Atom- und Molekularwärmen.

Von Privatdozent Dr. Erwin Schrödinger, Wien.

### A. Grundbegriffe.

Die beiden grundlegenden Begriffe, mit denen die Wärmelehre operiert, sind die beiden Größen: *Temperatur* und *Wärmemenge*. Von der ersten dieser beiden Größen, der Temperatur, erwähnen wir nur, daß sie auch in der Physik in Celsiusgraden gemessen wird, aber als Nullpunkt gilt nicht der normale Schmelzpunkt des Eises, sondern ein um  $273^{\circ}$  tiefer gelegener Punkt, der sogenannte absolute Nullpunkt. Die gewöhnlichen Celsius-temperaturen hat man also um diese Zahl zu vermehren, um absolute Temperaturen zu erhalten. — Die Einheit der *Wärmemenge* ist jene Wärmemenge, welche einem Gramm Wasser zugeführt werden muß, um seine Temperatur von  $287,5$  abs. auf  $288,5$  abs. zu erhöhen. Sie heißt „kleine Kalorie“, abgekürzt cal. Sie ist eigentlich überflüssig, weil wir heute durch die Arbeiten von *Joule*, *J. R. Mayer*, *Helmholtz*, *Graf Rumford* u. a. wissen, daß Wärme nach einem ganz bestimmten, völlig unveränderlichen Wechselkurs in mechanische Arbeit oder in andere Energieformen (Licht, elektrischer Strom) umgewandelt werden kann. Es wäre einfach und logisch, die Wärmemenge grundsätzlich durch den *äquivalenten Arbeitsbetrag* zu messen. Aus verschiedenen Gründen wird aber die oben definierte Einheit doch auch beibehalten. 1 cal. entspricht etwa 0,427 Meterkilogramm oder 4,2 Wattsekunden oder 42 000 000 Erg.

Wir verfügen über zwei prinzipiell verschiedene Methoden, um die Änderung im Wärmezustand eines Körpers messend zu verfolgen. Wir können erstens seine Temperatur und ihre Änderung messen, wir haben es aber zweitens auch in der Hand, ihm eine ganz bestimmte Wärmemenge zuzuführen, z. B. durch elektrische Heizung, wobei sich die aufgewendete und in Wärme übergegangene elektrische Energie aus den Werten der Spannung und Stromstärke genau feststellen läßt. Eine der Grundaufgaben der experimentellen und theoretischen Wärmeforschung ist begreiflicherweise die, die *Beziehung* zwischen diesen beiden Arten der Messung experimentell festzustellen und theoretisch zu deuten; und das für die verschiedensten Körper in allen Aggregatzuständen und bei allen zugänglichen Temperaturen. Daraus ergibt sich die Fragestellung: welche Wärmemenge (in cal.) muß ich z. B. diesem Stück Eisen bei der absoluten Temperatur  $T^{\circ}$  C zuführen, um seine Temperatur

auf  $T+1^{\circ}$  C zu erhöhen? Da diese Wärmemenge ceteris paribus dem Gewicht (richtiger der *Masse*) des betrachteten Stückes *proportional* sein wird, so erhält man eine für das betreffende *Material* charakteristische Größe erst, wenn man diese Wärmemenge noch durch die *Masse* dividiert, kurz gesagt, auf die Masse 1 g bezieht. Diese Größe heißt *spezifische Wärme* des betrachteten Materials bei der Temperatur  $T$ . Nach der obigen Definition der cal. ist die spezifische Wärme des Wassers bei  $288^{\circ}$  abs. (d. i.  $15^{\circ}$  Zimmertemperatur) gleich 1.

Die Beziehungen zwischen den spezifischen Wärmen verschiedener Stoffe, die wir im folgenden besprechen, werden etwas vereinfacht, wenn man die für  $1^{\circ}$  Temperaturerhöhung nötige Wärmezufuhr nicht, wie das eben geschehen, auf gleiche Massen (d. i. immer auf 1 g), sondern auf *solche* Massen verschiedener Stoffe bezieht, die *gleichviel Atome bzw. Moleküle enthalten*. Das ist ohne weiteres möglich, da die *relativen* Atom- bzw. Molekularmassen ja aus der Chemie als sogenannte Atom- bzw. Molekulargewichte mit großer Genauigkeit bekannt sind. Haben diese letzteren für zwei Stoffe die Werte  $A_1$  bzw.  $A_2$ , so werden *solche* Massen der beiden Stoffe, die gleichviel, etwa  $N$  Atome bzw. Moleküle enthalten, sich verhalten wie  $NA_1 : NA_2$ , das ist wie  $A_1 : A_2$ .

Man nennt bekanntlich die Menge „ $A$  Gramm“ eines Elementes vom Atomgewicht  $A$ , bzw. einer Verbindung vom Molekulargewicht  $A$  ein Gramm-atom bzw. ein Grammmolekül (oder kurz Mol). Jedes Grammatom (-molekül) enthält nach dem eben Gesagten die gleiche Zahl  $N$  von Atomen (Molekülen), und zwar ist nach neueren Messungen  $N = 6,5 \cdot 10^{23}$ . Die auf ein Grammatom bzw. Grammmolekül jedes Stoffes bezogene spezifische Wärme nennen wir nun seine (spezifische) *Atom- bzw. Mol(ekular)wärme*. Offenbar wird sie aus der gewöhnlichen, auf 1 g bezogenen spezifischen Wärme durch Multiplikation mit dem Atom- bzw. Molekulargewicht erhalten.

Unsere Definition der spezifischen Wärme enthält jedoch noch eine Unklarheit, von der wir den für das Folgende fundamentalen Begriff der Atomwärme, den wir jetzt gewonnen haben, noch befreien müssen. Bekanntlich dehnen sich alle Körper bei der Erwärmung aus, wenn man den auf ihnen lastenden äußeren Druck unverändert läßt. Da man nun andererseits weiß, daß alle Körper sich *abkühlen*, wenn man sie ohne Wärmezufuhr auf mechanischem Wege *ausdehnt*, so folgt, daß im Falle der Erwärmung bei konstantem äußeren Druck, der ja der gewöhnliche ist, ein

Teil der zugeführten Wärme für die bloße Volumänderung verbraucht wird, und zwar zur Überwindung des äußeren Druckes und der inneren Kohäsionskräfte zwischen den Atomen, die beide der Volumvergrößerung entgegenwirken. Nur der Rest wirkt eigentlich temperaturerhöhend, stellt also die eigentliche wahre spezifische Wärme dar. Er würde in der Tat auch als spezifische Wärme zur Messung gelangen, wenn man durch genügende Erhöhung des äußeren Druckes das Volumen konstant hielte. Trotzdem eine derartige Anordnung der Messung meist unmöglich, immer sehr schwierig ist, bezeichnet man diese Differenz aus der gemessenen spezifischen Wärme und der „Volumänderungswärme“ als „spezifische Wärme bei konstantem Volumen“, und den gemessenen Wert im Gegensatz dazu als „spezifische Wärme bei konstantem Druck“. Die Differenz zwischen beiden ist bei festen Körpern und Flüssigkeiten, wo sie fast ausschließlich auf Rechnung der Arbeit gegen die inneren Kohäsionskräfte zu setzen ist, wegen der geringen Volumänderung nicht sehr groß, in der Atomwärme einige Zehntel cal. Bei Gasen ist das Umgekehrte der Fall, die inneren Kohäsionskräfte sind beinahe ganz zu vernachlässigen, dafür ist die äußere Arbeit wegen der großen Volumänderung bedeutend, daher auch die Differenz der beiden spezifischen Wärmen groß, in der Atom- und Molwärme angenähert 2 cal. In allen Fällen läßt sich die Volumänderungswärme theoretisch berechnen, wenn man die differentielle Zustandsgleichung kennt, das ist die Beziehung zwischen einer kleinen gleichzeitigen Änderung des Druckes, der Temperatur und des Volumens<sup>1)</sup>. Die berechnete Korrektur ist von der bei konstantem Druck gemessenen spezifischen Wärme abzuziehen, um die wahre spezifische Wärme bei konstantem Volumen zu erhalten. Vom Standpunkte der Theorie ist, wie wir sehen werden, der letztere Begriff der weit einfachere, für den Versuch der theoretischen Deutung geeigneter. —

Wir haben in den vorstehenden Sätzen schon vorweggenommen, was wir jetzt doch noch ausdrücklich hinzufügen wollen, nämlich, daß sich die Begriffe „bei konstantem Druck“ und „bei konstantem Volumen“ natürlich unverändert von der gewöhnlichen spezifischen Wärme auf die Atom- bzw. Molwärme übertragen. Als Buchstabenbezeichnung wählt man dafür gewöhnlich die Zeichen  $C_p$  und  $C_v$  (während  $c_p$  und  $c_v$  die gewöhnlichen spezifischen Wärmen bedeuten).

### B. Die Atomwärme fester Stoffe.

#### 1. Das Gesetz von Dulong und Petit und der Boltzmannsche Gleichverteilungssatz.

Die nachstehende Tabelle gibt in der zweiten Spalte die gemessenen spezifischen Wärmen, in

<sup>1)</sup> Im wesentlichen heißt das, man muß den thermischen Ausdehnungskoeffizienten und die Kompressibilität kennen.

der dritten die Atomgewichte, in der letzten das Produkt aus beiden, also die Atomwärme der Elemente bei Zimmertemperatur im festen Zustand. Wir können das schon ziemlich lange be-

Tabelle 1.

Element	Spezifische Wärme $c_p$	Atomgewicht	Atomwärme $C_p$
Lithium . . .	0,941	7,03	6,6
Beryllium . . .	0,408	9,1	3,7
Bor . . . . .	0,254	11	2,8
Kohlenstoff:			
amorph . . .	0,174	12,00	2,1
kristallis. . .	0,143	12,00	1,7
Natrium . . .	0,293	23,05	6,7
Magnesium . . .	0,250	24,36	6,1
Aluminium . . .	0,214	27,1	5,8
Silicium . . .	0,165	28,4	4,6
Phosphor . . .	0,189	31,0	5,9
Schwefel . . .	0,178	32,06	5,7
Kalium . . . .	0,166	39,15	6,5
Calcium . . . .	0,170	40,0	6,8
Scandium . . .	0,153	44,1	6,7
Chrom . . . . .	0,121	52,1	6,3
Mangan . . . .	0,122	55,0	6,7
Eisen . . . . .	0,114	56,0	6,4
Kobalt . . . . .	0,107	59,0	6,3
Nickel . . . . .	0,108	58,7	6,4
Kupfer . . . . .	0,095	63,6	6,0
Zink . . . . .	0,094	65,4	6,1
Gallium . . . .	0,079	70	5,5
Germanium . . .	0,077	72	5,6
Arsen . . . . .	0,082	75	6,9
Selen . . . . .	0,080	79	6,3
Brom . . . . .	0,084	79,96	6,7
Zirkonium . . .	0,066	90,7	6,0
Molybdän . . .	0,072	96,0	6,9
Ruthenium . . .	0,061	101,7	6,3
Rhodium . . . .	0,058	103,0	6,0
Palladium . . .	0,059	106	6,3
Silber . . . . .	0,057	107,93	6,1
Cadmium . . . .	0,054	112,4	6,0
Indium . . . . .	0,057	114	6,5
Zinn . . . . .	0,054	118,5	6,5
Antimon . . . .	0,051	120	6,1
Tellur . . . . .	0,047	127	6,0
Jod . . . . .	0,054	126,85	6,8
Lanthan . . . .	0,045	138,0	6,2
Cer . . . . .	0,045	140	6,3
Wolfram . . . .	0,033	184	6,1
Osmium . . . . .	0,031	191	5,9
Iridium . . . . .	0,032	193,0	6,1
Platin . . . . .	0,032	194,8	6,2
Gold . . . . .	0,032	197,2	6,3
Quecksilber . . .	0,032	200,3	6,4
Thallium . . . .	0,033	204,1	6,7
Blei . . . . .	0,031	206,9	6,4
Wismuth . . . .	0,030	208,5	6,2
Thor . . . . .	0,027	232,5	6,2
Uran . . . . .	0,027	239,5	6,5

(Aus Hollemann, Lehrbuch der anorg. Chemie, 5. Aufl.)

kannte Dulong-Petitsche Gesetz ablesen, welches aussagt, daß die Atomwärme der meisten festen Elemente nahe bei  $6,4 \text{ cal}^\circ \text{C}$  liegt. Würde man, soweit es möglich ist, die Volumänderungswärme berechnen und von  $C_p$  in Abzug bringen, also  $C_v$  berechnen, so würde man finden, daß die Werte von  $C_v$  sich um die Zahl 6,0 in ähnlicher Weise gruppieren, wie die  $C_p$  um 6,4. Wie man sieht, wäre es besser, für diese Tatsache nicht das Wort „Gesetz“ zu wählen, da insbesondere einige Elemente mit kleinem Atomgewicht eine viel „zu kleine“ Atomwärme haben, und auch für die übrigen nicht genaue Gleichheit besteht. Immerhin ist eine gewisse Gesetzmäßigkeit nicht zu verkennen. Im Verhältnis zu den Zahlen der 2. und 3. Kolonne, die wie 1 : 30 variieren, sind die der vierten bemerkenswert konstant.

Da sich die Größen  $C_p$  und  $C_v$  auf gleiche Atomzahlen beziehen, so bedeutet diese angenäherte Konstanz, daß wir für eine bestimmte Temperaturerhöhung jedem Atom eines beliebigen Elements annähernd die gleiche Wärmemenge zuzuführen haben; und die Konstanz von  $C_v$  im besondern würde bedeuten, daß man zur reinen Temperaturerhöhung (ohne Volumänderung) jedem Atom, gleichviel von welcher Substanz, immer die gleiche Wärmemenge zuzuführen muß.

Dem Gesetz von Dulong und Petit schließt sich das von Neumann für feste Verbindungen an. Nach ihm kann man die Molwärmen fester Verbindungen aus Tabelle I durch Addition der Atomwärmen der Konstituenten berechnen, wobei die Atomwärme eines Stoffes, von dem 2, 3, . . . ,  $n$  Atome im Molekül vorkommen, 2, 3, . . . ,  $n$ -mal zu nehmen ist. Dieses Gesetz gilt ungefähr mit derselben Genauigkeit wie das früher genannte, eher noch besser, da Stoffe mit „abnorm“ niedriger Atomwärme diesen abnormen Wert meistens auch in der Verbindung zeigen. Atomistisch bedeutet das Gesetz von Neumann, daß der oben schräg gedruckte Satz auch noch für Verbindungen im festen Zustand gilt. —

Diese Tatsachen gewinnen nun eine besondere Bedeutung im Lichte der kinetischen oder Bewegungstheorie der Wärme, oder besser gesagt, der Materie überhaupt. Nach dieser Theorie stellen wir uns bekanntlich vor, daß die Atome jedes Körpers beständig in völlig unregelmäßiger Bewegung begriffen sind, welche nach Richtung und Größe sowohl örtlich, d. h. von Atom zu Atom, als auch zeitlich, und zwar in unvorstellbar kurzen Zeiträumen, völlig regellos wechselt, letzteres infolge der Kräfte, welche die Atome aufeinander ausüben, und welche selbst wieder von der augenblicklichen Lage der Atome gegeneinander abhängen. Die Intensität dieser Bewegung bestimmt den Wärmezustand des Körpers und muß in irgendeiner Beziehung zu der Temperatur stehen, aber auch zu der aufgenommenen Wärmemenge. Die Aufnahme von Wärme durch einen Körper haben wir uns so vorzustellen, daß die intensiver bewegten Atome eines wärmeren

Körpers (nämlich des Körpers, der die Wärme abgibt) an der Grenzfläche mit denen des kälteren zusammenstoßen und diese in heftigere Bewegung versetzen, wobei sie selbst Bewegungsenergie einbüßen. Die übergehende Wärme ist nichts anderes als mechanische Energie der Atome, die abgegeben bzw. aufgenommen wird, solange bis ein gewisses Gleichgewicht eingetreten ist, das wir als Gleichheit der Temperaturen konstatieren.

Wenn wir sagen, nach dieser Vorstellung ist Wärme nichts anderes als mechanische Energie der Atome, so bedeutet das nicht, daß der Wärmeinhalt eines Körpers ausschließlich in Bewegungsenergie der Atome besteht. Das letztere gilt allerdings annähernd bei den meisten Gasen, da wir uns vorstellen, daß ihre Moleküle sich, an keinen Ort des Raumes fest gebunden, in völlig unregelmäßigen, durch die gegenseitigen Stöße hervorgerufenen Zickzackkursen durcheinander bewegen und (außer bei den relativ sehr kurz dauernden Stößen) keine merklichen Kräfte aufeinander ausüben. Es hat sich im allgemeinen die Vorstellung bewährt, die Atome bzw. Atomaggregate (Moleküle) der Gase als starre Körper anzusehen. Für ein solches Gas ist dann in der Tat keine andere Form der Wärmeenergie als die der fortschreitenden und eventuell der drehenden Bewegung seiner Atome bzw. Moleküle denkbar. Anders werden die Dinge liegen, wenn wir uns vorstellen, daß z. B. die beiden Atome des Wasserstoffmoleküls im Wasserstoffgas unter dem Einfluß wechselseitiger Kräfte, welche ihre Distanz auf einem bestimmten Betrag zu erhalten suchen, Schwingungen ausführen können nach Art eines Pendels. Dann werden diese Schwingungen bei den Zusammenstößen mit anderen Molekülen sicherlich angeregt werden; und da sich das Atom bei der Schwingung zeitweise der Wechselwirkungskraft entgegen bewegt (wie die Pendelkugel entgegen der Schwere, wenn sie steigt), bis die Kraft seine Bewegung aufzehrt, einen Augenblick zum Stillstand und dann zur Umkehr bringt, so wird ein Teil der Schwingungsenergie (im Augenblick des Stillstandes die ganze) jeweils als potentielle Energie (Energie der Lage) der wirkenden Kraft aufgespeichert sein. Zur Erhöhung der Schwingungsenergie bei Temperatursteigerung wird man mehr Energie in Form von Wärme zuführen müssen, als der bloßen Erhöhung der mittleren Bewegungsenergie der Schwingung entsprechen würde.

In noch höherem Maße wird dies bei festen Körpern der Fall sein; denn hier müssen wir uns vorstellen, daß das ganze Atomgefüge durch gegenseitige Kräfte aufrechterhalten wird, derart, daß jedes einzelne Atom trotz der Wärmebewegung in einer kleinen Umgebung seines „mittleren“ Ortes festgehalten wird, also überhaupt nur Schwingungen um diesen Punkt ausführt, an welchem es bei Mangel jeder Wärmebewegung im Gleichgewicht ruhen würde. Auch

hier wird also jeweils eine gewisse Energiemenge in Form von Arbeit, welche bei Entfernung aus dieser Ruhelage entgegen den Kräften geleistet wurde, aufgespeichert sein<sup>1)</sup>.

Wenn nun ein Körper eine bestimmte gleichmäßige Temperatur angenommen hat, so wird die Gesamtheit seiner Atome zusammen einen ganz bestimmten Betrag von Wärmeenergie, d. i. mechanischer Energie der beiden besprochenen Arten besitzen. Und wenn auch im einzelnen noch ein fortwährender Energieaustausch zwischen den Atomen einerseits, und andererseits auch zwischen potentieller und kinetischer Energie stattfindet, so wird doch im großen Durchschnitt auf jedes Atom ein ganz bestimmter Betrag an (kinetischer und potentieller) Energie entfallen, der für das Material und die betreffende Temperatur charakteristisch ist.

Kehren wir nun zu den oben besprochenen experimentellen Daten und den daraus gezogenen Folgerungen zurück. Sie würden — wenn wir für den Augenblick *strenge* Gültigkeit des Dulong-Petitschen und des Neumannschen Gesetzes voraussetzen — besagen, daß dieser Energiebetrag, der bei einer bestimmten Temperatur auf das Atom eines bestimmten Elementes durchschnittlich entfällt, bei Erhöhung der Temperatur um 1° C. für alle Atome in beliebigen festen Elementen und festen Verbindungen um den gleichen Betrag wächst.

Unwillkürlich drängt diese Erkenntnis zu einer hypothetischen Verallgemeinerung. Wir werden vermuten, daß nicht nur die Änderung der Atomenergie, die mit bestimmter Temperaturänderung verbunden ist, in allen Festkörpern und für alle Atome dieselbe ist, sondern daß die Atomenergie selbst dieselbe ist für alle Atome bei einer bestimmten Temperatur, daß sie, wie wir sagen, eine *universelle Funktion der Temperatur* ist. Für den früher betrachteten Vorgang des Wärmeausgleichs zwischen zwei verschieden temperierten Körpern würde sich dann das einfache Resultat ergeben, daß nach Herstellung des „Wärmegleichgewichtes“, also bei Gleichheit der Temperaturen, die gesamte Wärmeenergie nach dem Verhältnis der Atomzahlen auf die beiden Körper verteilt ist.

Es entsteht nun natürlich die Frage nach einer theoretischen Begründung dieses einfachen Ergebnisses, welches wir durch eine leichte Verallgemeinerung empirischer Daten erhalten haben. Sie wird geliefert durch ein sehr allgemeines, von Gibbs und Boltzmann aufgestelltes Theorem, das folgendermaßen lautet:

Die gesamte Bewegungsenergie zweier belie-

<sup>1)</sup> Diese potentielle Energie der Wärmebewegung darf nicht verwechselt werden mit der Arbeit, welche bei der thermischen Ausdehnung zur dauernden Volumvergrößerung, d. i. Vergrößerung der durchschnittlichen Atomabstände, aufgewendet werden muß, und die wir oben Volumänderungsarbeit nannten. Die Verwechslung liegt nahe, weil es sich in der Tat um Arbeit gegen dieselben Kräfte handelt.

biger in Wechselwirkung stehender mechanischer Systeme verteilt sich auf dieselben im Mittel nach der Zahl ihrer Freiheitsgrade.

Unter einem Freiheitsgrad eines mechanischen Systems hat man dabei eine der Größen zu verstehen, deren Angabe zur genauen Bestimmung seiner Konfiguration notwendig ist. Ihre Zahl ist für jedes mechanische System genau bestimmt, z. B. gleich 3 für einen Massenpunkt (die 3 kartesischen Koordinaten), gleich 6 für einen starren Körper, da hier zu den Koordinaten des Schwerpunktes noch drei Winkel angegeben werden müssen, welche die Orientierung des Körpers im Raume bestimmen, usw. Ein System von  $n$  Massenpunkten oder  $n$  starren Körpern hat natürlich  $3n$  bzw.  $6n$  Freiheitsgrade.

Wenn wir nun, was naheliegender ist, jedem Atom die gleiche Zahl von Freiheitsgraden zuschreiben, sie etwa alle als Massenpunkte oder alle als starre Körper auffassen, so folgt aus dem Boltzmannschen Theorem unmittelbar erst die Gleichverteilung der Bewegungsenergie auf alle Atome. Wir haben aber gesehen, daß der Wärmehalt der Festkörper zum Teil aus potentieller Energie bestehen muß. Welcher Bruchteil durchschnittlich auf die letztere entfällt, ist nicht durch ein ähnlich allgemeines Theorem angebar, sondern hängt von der Natur der zwischen den Atomen wirkenden Kräfte ab. Unter allen hier denkbaren Fällen zeichnet sich nun einer durch besondere Einfachheit aus, nämlich der, daß die Kräfte den Entfernungsänderungen *proportional* sind. Wir haben Grund anzunehmen, daß dies für die Atomkräfte in der Tat zutrifft<sup>1)</sup>. In diesem Falle ist die potentielle Energie durchschnittlich *gleich* der kinetischen, und der Boltzmannsche Satz liefert eine vollständige Erklärung der aus den Atomwärmegesetzen gezogenen Folgerungen.

Unter diesen Annahmen leistet aber das Theorem noch mehr, es gestattet sogar, mit Benutzung der einfachsten Resultate der kinetischen Gastheorie, den Zahlenwert der Atomwärme zu erklären. Nach der Gastheorie ist der Druck eines Gases  $p$ , durch die Zahl seiner Moleküle pro  $\text{cm}^3$   $n$ , die Masse  $m$  eines Moleküls und den Mittelwert aus den Quadraten ihrer Geschwindigkeiten, den wir  $v^2$  nennen wollen, bestimmt. Und zwar ist

$$p = \frac{nmv^2}{3} \dots \dots \dots (1)$$

Setzen wir nun für  $n$  den Quotienten aus der oben genannten Zahl  $N$  (Zahl der Moleküle im Mol) und dem Molekularvolumen  $V$  (Volumen eines Mols), so ergibt sich leicht

$$pV = \frac{2}{3} N m v^2 \dots \dots \dots (2)$$

Nun ist der zweite Faktor rechts nichts anderes als die mittlere Energie der fortschreiten-

<sup>1)</sup> Wegen des sog. Hookeschen Gesetzes der Elastizitätstheorie, wonach die elastischen Deformationen den wirkenden Kräften *proportional* sind.

den Bewegung jedes Moleküls, also die mittlere kinetische Energie von drei Freiheitsgraden. Diese ist nach dem Boltzmannschen Theorem eine universelle Funktion der Temperatur, sagen wir  $f(T)$  pro Freiheitsgrad. Dann ist also  $\frac{m \bar{v}^2}{2} = 3 f(T)$  und statt (2) haben wir

$$pV = 2 N f(T). \quad (3)$$

Diese Gleichung kann aber nichts anderes sein als die allgemeine Zustandsgleichung für ein Mol Gas, die wir in der Form:

$$pV = R T. \quad (3a)$$

kennen, wo  $T$  die absolute Temperatur,  $R$  die allgemeine Gaskonstante, die im Wärmemaß bekanntlich sehr nahe  $2 \text{ cal}^0 \text{ C}$  beträgt. Aus (3) und (3 a) folgt aber:

$$f(T) = \frac{1}{2} \frac{R}{N} T. \quad (4)$$

In Worten: Die kinetische Energie pro Freiheitsgrad muß bei der Temperatur  $T$  gleich sein dem halben Produkt dieser Temperatur mit dem Quotienten aus der Gaskonstante, dividiert durch die Zahl der Moleküle im Mol.

Nach dem früher Gesagten wird die Gesamtenergie pro Freiheitsgrad im festen Körper doppelt so groß sein,  $= \frac{R}{N} T$ . Schreiben wir jedem Atom  $n$  Freiheitsgrade zu, so haben die  $N$  Atome eines Grammatomes  $nN$  Freiheitsgrade, also den Wärmehalt  $n R T$ . Zur Erwärmung um  $1^0 \text{ C}$  (ohne Volumvergrößerung!) wird also die Atomwärme:

$$C_v = n R = n \times 2 \text{ cal}^0 \text{ C} \quad (4a)$$

notwendig sein. Da die Erfahrung in den meisten Fällen nahezu  $C_v = 6$  liefert, erhalten wir gute Übereinstimmung, wenn wir  $n=3$  setzen, die Atome also als Massenpunkte mit nur 3 Freiheitsgraden auffassen.

## 2. Der Einsteinsche Gedanke.

Wenn wir so durch die Boltzmann-Gibbssche Theorie unter einfachen Annahmen verhältnismäßig leicht zu einer vollständigen Erklärung des thermischen Verhaltens der Festkörper in seinen Grundzügen, d. i. der Gesetze von *Dulong-Petit* und *Neumann*, gelangt sind, so müssen wir uns jetzt erinnern, daß diese beiden Gesetze keineswegs genau zutreffen.  $C_v$  ist für einige Körper mit kleinem Atomgewicht viel zu klein (besonders Kohlenstoff!) und auch für die übrigen nicht genau gleich, wie es die Theorie verlangt. Ferner zeigt sich eine Veränderlichkeit von  $C_v$  mit der Temperatur, was ebenfalls der Theorie widerspricht. Wir können vorausgreifend bemerken, daß bei sehr tiefer Temperatur sogar alle bisher untersuchten Körper sich so verhalten, wie der Kohlenstoff, d. h. ein viel zu kleines  $C_v$  zeigen.

Jedem weiteren Versuch, die Theorie genauer an die Tatsachen anzupassen, welche sie doch im großen und ganzen, in groben Umrissen, gut wiedergab, türmten sich jedoch schier unüberwindliche Hindernisse entgegen. Die Theorie

kennt nur „ganze“ Freiheitsgrade und daher (nach Gl. 4a) nur ein Fortschreiten der Atomwärme nach ganzen Vielfachen von  $R = 2 \text{ cal}^0 \text{ C}$ . Dies ist freilich mitbedingt durch unsere Annahme der Gleichheit von potentieller und kinetischer Energie. Aber abgesehen davon, daß diese Annahme durch das Hookesche Gesetz nahegelegt wird und für die meisten Körper bei Zimmertemperatur auch das richtige thermische Verhalten liefert, so würde auch ein Abgehen davon beim Kohlenstoff nichts nützen. Um den abnorm niedrigen Wert zu erklären, müßte man dem C-Atom weniger als 3 Freiheitsgrade zuschreiben, was doch äußerst unwahrscheinlich und kaum vorstellbar ist.

Zu diesen Schwierigkeiten gesellen sich aber noch andere. Ein Ding, das ein so kompliziertes Spektrum liefert, wie z. B. das Hg-Atom im Gaszustand, kann unmöglich als Bestandteil des festen Quecksilbers nur die 3 Freiheitsgrade eines Massenpunktes haben. Und doch nehmen augenscheinlich nur drei merklich an der Wärmebewegung teil. — Nur beiläufig erwähnt seien ferner die freien Leitungselektronen in Metallen, deren Zahl nach den meisten Theorien nicht klein ist gegen die Zahl der Atome. Auch sie tragen augenscheinlich nur unbedeutend zur Atomwärme bei, obwohl jedes davon sicherlich 3 Freiheitsgrade besitzt.

Die Theorie der Atomwärmen war damit auf einem toten Punkt angelangt, wenn es nicht gelang, einen plausiblen Grund dafür zu finden, daß in manchen Fällen die Freiheitsgrade der Festkörper nicht den vollen nach dem Boltzmannschen Gleichverteilungssatz zu erwartenden Energiebetrag aufnehmen, ja in einzelnen Fällen, wie z. B. bei den „optischen Freiheitsgraden“ des Quecksilberatoms, nur einen unmerklichen Bruchteil des Gleichgewichtswertes. *Albert Einstein* war es, der durch einen einzigen glücklichen Gedanken alle diese Schwierigkeiten prinzipiell mit einem Schlag behob, und zwar durch Ausdehnung der von *Planck* in die Strahlungstheorie eingeführten Quantentheorie auf die Wärmeschwingungen der Festkörper. Zum Verständnis dieses Schrittes ist es unerlässlich, die in der Theorie der Wärmestrahlung vorliegenden Verhältnisse kurz zu skizzieren.

Der Raum, der uns umgibt, ist, wenn wir auch von allen spezifischen, meist durch ihre hohe Temperatur ausgezeichneten Licht- und Wärmestrahlungsquellen absehen (wie Sonne, Glühstrumpf, Flamme, Ofen), an jedem Punkt von einer nach allen möglichen Richtungen sich durchkreuzenden, im einzelnen völlig regellosen elektromagnetischen (Licht-, Wärme-) Strahlung aller möglichen Wellenlängen durchzogen, welche von allen umgebenden Körpern herrührt und eine ganz bestimmte Intensität und spektrale Intensitätsverteilung aufweist. Erfahrung und Theorie ergeben übereinstimmend, daß diese Intensitätsverteilung unter gewissen Bedingungen von

den besonderen Umständen im weitestgehenden Maß unabhängig und *lediglich eine Funktion der Temperatur* ist. Und zwar gilt dies für jeden nach außen hin — sei es durch vollkommen spiegelnde, sei es durch genügend dicke Wände — vollkommen abgeschlossenen *Hohlraum*, der absorbierende und emittierende Substanz enthält, sobald alle beteiligten Körper die gleiche Temperatur  $T$  angenommen haben; man nennt solche Strahlung *Hohlraumstrahlung* oder auch „schwarze Strahlung“ von der Temperatur  $T$ , letzteres deshalb, weil sich zeigen läßt, daß auch die von einem „vollkommen schwarzen“ Körper bei der Temperatur  $T$  ausgesendete Strahlung dieselbe, nur von  $T$  abhängige, Zusammensetzung (d. i. spektrale Intensitätsverteilung) besitzt.

Diese zu finden, ist die erste Hauptaufgabe der Theorie der Wärmestrahlung. Da nun die elektromagnetischen Grundgleichungen alle jene Eigenschaften der mechanischen, welche zur Aufstellung des Boltzmannschen Gleichverteilungsgesetzes der Energie notwendig sind, ebenfalls besitzen<sup>1)</sup>, so dürfen wir den Hohlraum samt allen damit in Wärmeaustausch stehenden Körpern als ein mechanisches System ansehen und den Satz darauf anwenden. Als Freiheitsgrade des Hohlraumes haben wir dabei jene elektromagnetischen „Grundschnwingungen“ anzusehen, aus deren Zusammenwirken mit verschiedenen Amplituden und Phasen jede elektromagnetische „Bewegung“ des Hohlraums aufgefaßt werden kann (ganz ähnlich, wie jede Form von Saitenschwingung durch Übereinanderlagerung des Grundtones und der harmonischen Obertöne dargestellt werden kann; mehrfache Fouriersche Reihe<sup>2)</sup>). Solcher Grundschnwingungen sind aber natürlich unendlich viele, während die Materie immer nur endlich viele Freiheitsgrade aufweist. Daraus würde zunächst einmal folgen, daß ein Energiegleichgewicht zwischen Materie und Hohlraumstrahlung überhaupt nicht stattfinden könnte, *alle* Energie müßte von der Materie an die Strahlung abgegeben werden. Aber darüber hinaus zeigt sich weiter, daß ein Hohlraum vom Volumen  $V$

$$\frac{8\pi}{c^3} V \nu^2 d\nu \dots \dots \dots (6)$$

Grundschnwingungen mit einer Schwingungszahl zwischen  $\nu$  und  $\nu + d\nu$  hat.  $c$  bedeutet hier die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum. Da dieser Ausdruck mit wachsendem  $\nu$  beständig wächst, so kann auch innerhalb der Strah-

lung ein Energiegleichgewicht nach dem Boltzmannschen Satz nicht stattfinden, auf dem Wege dahin würde die Strahlung zu immer höheren und höheren Schwingungszahlen hinwegschwinden.

Dieses widerspruchsvolle Ergebnis wurde bei allen Bemühungen, das Strahlungsgesetz nach den Grundsätzen der klassischen Physik zu beweisen, immer wieder gefunden. Erst einer sehr fremdartigen und paradox klingenden Hypothese von Planck ist es gelungen, diese Katastrophe zu umgehen und eine Energieverteilung theoretisch zu begründen, die mit der Erfahrung im vollkommensten Einklang steht.

Planck zeigt nämlich, daß, wenn Energie zwischen mechanischen oder elektromagnetischen Gebilden von der Schwingungszahl  $\nu$  nur in „Quanten“ von der Größe  $h\nu$  ausgetauscht würde ( $h$  universelle Konstante), daß dann das Boltzmannsche Theorem unrichtig würde.

Eine Koordinate — sei es der Materie, sei es der Hohlraumstrahlung<sup>1)</sup> — nimmt dann im Gleichgewicht nicht mehr durchschnittlich die Energie  $\frac{RT}{N}$  auf, sondern nur einen gewissen Bruchteil davon, und zwar ist sie um so mehr benachteiligt, je höher ihre Schwingungszahl und je tiefer die Temperatur ist, bei der das Gleichgewicht stattfindet. Für hohe Temperaturen oder niedrige Schwingungszahlen nähert sich der genannte Bruchteil der Einheit, für tiefe Temperaturen oder hohe Schwingungszahlen wird er verschwindend klein. Der mathematische Ausdruck für die (kinetische + potentielle) Energie, die einem Freiheitsgrad von der Schwingungszahl  $\nu$  bei der Temperatur  $T$  zukommt, ist:

$$\frac{RT}{N} \cdot \frac{\Theta/T}{e^{\Theta/T} - 1} \dots \dots \dots (7)$$

$\Theta$  ist eine Hilfsgröße von der physikalischen Dimension einer Temperatur. In ihr steckt die Schwingungszahl  $\nu$ , und zwar ist:

$$\Theta = \frac{Nh\nu}{R} \dots \dots \dots (8)$$

Schreibt man nun jeder der Grundschnwingungen (6) des Hohlraums diesen Energiewert (7) zu, dann erhält man *in vollkommenem Einklang mit der Erfahrung* für die pro Volumeneinheit berechnete Strahlungsenergie zwischen  $\nu$  und  $\nu + d\nu$  bei der Temperatur  $T$ :

$$\frac{8\pi}{c^3} \frac{h\nu^3}{N h \nu} \frac{d\nu}{e^{RT} - 1} \dots \dots \dots (9)$$

wobei man der Größe  $h$  auf Grund von Strahlungsmessungen den Wert  $6,548 \cdot 10^{-27}$  erg-sec beilegen muß. Der Ausdruck (9) wächst mit zu-

<sup>1)</sup> Man denke daran, daß sich der überwiegende Teil der Licht- und Wärmestrahlungserscheinungen durch Annahme von Transversalwellen in einem gewöhnlichen elastischen Medium vollkommen genau darstellen läßt.

<sup>2)</sup> Bei der Übertragung des Boltzmannschen Satzes auf diese Grundschnwingungen tritt an Stelle der kinetischen und potentiellen die elektrische und die magnetische Energie, deren Mittelwerte hier ebenfalls gleich sind. Der Beweis, daß diese Auffassung vollberechtigt ist, kann hier natürlich so wenig erbracht werden, wie der des Boltzmannschen Satzes überhaupt.

<sup>1)</sup> Es ist dabei einerseits an die oben erwähnten Grundschnwingungen des Hohlraumes, andererseits an sog. kleine „Resonatoren“ gedacht, d. i. Moleküle mit + und — geladenen, gegeneinander beweglichen Bestandteilen, welche Strahlungsenergie aufnehmen und abgeben können (Emission und Absorption). Die Gleichheit von potentieller und kinetischer Energie gilt für alle diese Gebilde streng.

nehmendem  $\nu$  nicht mehr ins Unendliche, sondern erreicht ein Maximum und nimmt dann wieder gegen Null ab, wie es der Erfahrung entspricht.

Einstein sagte sich nun, wenn eine derartige Herabsetzung des nach Boltzmann zu erwartenden Gleichgewichtswertes der Energie  $\frac{R T}{N}$  für schwingende, elektrisch geladene Atome (nur solche können mit der Strahlung in Wechselwirkung treten) infolge des — bis heute noch nicht vollkommen aufgeklärten — quantenhaften Energieaustausches stattfindet, dann müsse ganz dasselbe auch für jedes beliebige schwingende Atom gelten, also auch für die Atome der Festkörper, deren Schwingungen den Wärmeinhalt dieser Körper darstellen. Denn das geladene Atom muß denselben Gleichgewichtswert annehmen, ob es nur mit Strahlung oder nur mit anderen Atomen bei der Temperatur  $T$  im Energieaustausch steht; und es ist unwahrscheinlich, daß bei der Wechselwirkung mit anderen Atomen gerade die geladenen benachteiligt würden. Die Annahme, daß auch den schwingenden Atomen der Festkörper nur jeweils der Energiewert (7) pro Freiheitsgrad zukomme, versprach Aufklärung für die abnorm kleinen spezifischen Wärmen der Elemente mit niedrigem Atomgewicht zu geben. Denn in der Tat wird ceteris paribus, d. i. bei gleichen elastischen Kräften, das leichtere Atom raschere Schwingungen ausführen und daher nach dem oben Gesagten weiter hinter seinem Gleichgewichtswert nach Boltzmann zurückbleiben.

Der Einfachheit halber legte Einstein zunächst die Annahme zugrunde, daß es sich bei den Atomschwingungen jedes Elementes um eine ganz bestimmte, für das Element charakteristische Schwingungszahl  $\nu$  handle. Der Wärmeinhalt der  $3 N$  Freiheitsgrade eines Grammatoms wird dann nach (7):

$$3 R T \frac{\Theta/T}{e^{\Theta/T} - 1} \dots \dots \dots (10)$$

Durch Differentiation nach  $T$  folgt die Atomwärme:

$$C_v = 3 R \frac{(\Theta/T)^2 e^{\Theta/T}}{(e^{\Theta/T} - 1)^2} \dots \dots \dots (11)$$

Die Größe  $\Theta$  variiert nach (8) nur mit der für das Element charakteristischen Schwingungszahl  $\nu$ , also nur von Element zu Element. Wir können sie als die für das energetische Verhalten des Körpers charakteristische Temperatur bezeichnen. Denn der Verlauf von  $C_v$  hängt nur von  $\Theta$  ab und wird universell, d. h. für alle Elemente gleich, wenn man ihn nicht als Funktion von  $T$ , sondern von  $T/\Theta$  auffaßt, d. h. wenn man  $T$  in Bruchteilen von  $\Theta$  mißt. In Fig. 1, Kurve E, sind zur Abszisse  $T/\Theta$  die Werte von  $C_v/3R$  als Ordinaten nach Gl. (11) aufgetragen, wodurch ein übersichtliches Bild gewonnen wird. Wir sehen, daß bei (gegen die charakteristische) sehr tiefen Temperaturen die Atomwärme weit

unter den Dulong-Petitschen Wert sinken muß, während sie bei hohen Temperaturen, stetig wachsend, diesem Wert zustrebt. Wenn die Temperatur z. B. die Hälfte der charakteristischen ist ( $\frac{T}{\Theta} = 0,5$ ), ist die Atomwärme etwa 0,7 des Dulong-Petitschen Wertes, also etwas über 4 cal/° C.

Der Grund für die abnorm niedrige Atomwärme des Kohlenstoffs bei gewöhnlicher Temperatur wäre nach dieser Auffassung darin zu suchen, daß die Schwingungszahl  $\nu$  seiner Atome und infolgedessen auch die charakteristische Temperatur  $\Theta$  für diesen Körper besonders hoch liegt. Bei genügender Temperaturerhöhung müßte seine Atomwärme sich dem Dulong-Petitschen Wert  $3 R = 6 \text{ cal/}^\circ \text{C}$  nähern. In der Tat nimmt nun nach Messungen von H. F. Weber die Atomwärme

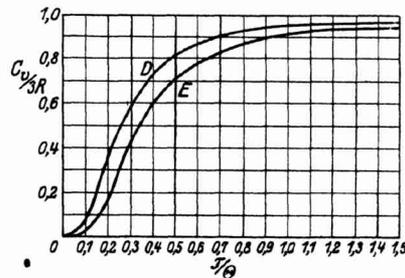


Fig. 1.

des Diamanten, welche bei mittleren Temperaturen nach Tabelle 1 etwa 1,7 cal/° C ist, bei 222° C abs. auf 0,76 cal/° C ab, bei 1258° erreicht sie den Wert 5,5 cal/° C. Der ganze Verlauf wird durch die Einsteinsche Funktion (11) recht gut wiedergegeben, wenn man für die kritische Temperatur  $\Theta = 1325^\circ \text{C}$  setzt, was einer Atomschwingungszahl  $\nu$  von etwa  $2,7 \times 10^{13}$  Schwgn./Sek. entsprechen würde. Würde ein solches Atom eine elektrische Ladung tragen, so würde es elektromagnetische Wellen von 11  $\mu$  Wellenlänge ausenden, also sog. ultrarote oder Wärmewellen. Bedenken wir, daß jene inneren Freiheitsgrade der Atome, welche für die Licht- und ultraviolette Emission aufzukommen haben, demnach eine noch viel höhere Schwingungszahl aufweisen müssen, so wird nun auch mit einem Schlage klar, warum diese inneren, hochfrequenten Schwingungen keinen merklichen Beitrag zur Atomwärme liefern: eben weil ihre Schwingungszahl zu hoch ist.

(Schluß folgt.)

### Über Spezialisierung und spezialisierte Formen im Bereich der Pilze.

Von Prof. Dr. H. Klebahn,  
Institut für allgemeine Botanik, Hamburg.

Die Auffassungen über die Arten, sowohl über ihr Wesen und ihre Bedeutung, wie über den Umfang, der ihnen zuzumessen ist, haben sich

seit Linné wesentlich geändert. Im Linnéschen Sinne sind das bekannte Frühlingshungerblümchen, *Draba (Erophila). verna*, oder das (wilde) Stiefmütterchen, *Viola tricolor*, Arten. Aber Botaniker des vorigen Jahrhunderts, zuerst Jordan in Lyon, später Wittrock in Stockholm, und andere, haben gezeigt, daß es innerhalb dieser Arten Dutzende von Abänderungen gibt, die alle nach freilich sehr feinen Merkmalen wohl unterscheidbar und, was wichtiger ist, alle erblich vollkommen beständig sind. Diese sogenannten „kleinen Arten“, „Jordanschen“ oder „elementaren Arten“ haben schließlich auch von den Systematikern, die sie anfangs bekämpften, anerkannt werden müssen. Sie haben auch bei anderen wildwachsenden Pflanzen, wenngleich nicht bei allen, eine weite Verbreitung. Ihr Vorkommen bei den Kulturpflanzen bildet eine der Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenzüchtung.

Im Bereich der niederen Organismen, insbesondere der Pilze, finden wir ähnliche Erscheinungen. Was die älteren Pilzkundigen als Arten beschrieben haben, löst sich vielfach in Scharen von Formen auf. Ein neuer Gesichtspunkt kommt hier dazu. Während die elementaren Arten der höheren Pflanzen sich durch sichtbare Merkmale unterscheiden, wenn auch deren Auffassung das geschulte Auge des Kenners voraussetzt, so fehlen jenen Formen der Pilze entsprechend der so wesentlich einfacheren Organisation die sichtbaren Unterschiede in vielen Fällen vollständig oder fast vollständig. Das Mikroskop versagt seinen Dienst. Getrocknetes Material aus Herbarien ist zu ihrer Feststellung wertlos. Nur die Beobachtung des lebenden Pilzes in der Kultur ermöglicht es, jene Formen zu unterscheiden.

Es ist namentlich die Gruppe der Rostpilze (Uredineen) gewesen, in der sich diese Beobachtungen zuerst aufdrängten. Keine andere Pilzgruppe war zur Auffindung so geeignet wie diese. Alle Rostpilze sind Schmarotzer, die sich nur auf lebenden höheren Pflanzen, aber auf diesen leicht und in ihrer vollen Entwicklung, kultivieren lassen. Verunreinigung der Kulturen durch die allverbreiteten Fäulnisbewohner ist ausgeschlossen; Schmarotzer aus anderen Pilzgruppen sind leicht zu unterscheiden. Nur gegen die Vermischung der Rostpilzformen unter sich sind Vorkehrungen nötig. Keine Pilzgruppe ist infolgedessen in gleichem Maße experimentell bearbeitet worden; die wesentlichsten Fortschritte ihrer Kenntnis beruhen auf dem Kulturversuch.

Die allgemeine Aufmerksamkeit wurde auf die kleinen Arten bei den Uredineen, die wir gewöhnlich als „biologische Arten“ oder als „spezialisierte Formen“ bezeichnen, erst durch die Häufung der Beobachtungen in den neunziger Jahren gelenkt. Aber die Anfänge ihrer Kenntnis lassen sich weiter zurück verfolgen. Schon 1863 war es dem Altmeister *de Bary*, dem wir die Erklärung des lange beobachteten rätselhaften

Einflusses der Berberitze auf das Getreide durch die Entdeckung des Wirtswechsels bei dem Getreiderost verdanken (1864), aufgefallen, eine wie strenge Wahl diese Pilze unter ihren Nährpflanzen treffen. Im Jahre 1879 machte *de Bary* das bemerkenswerte Wirtswechselverhältnis bekannt, das zwischen dem im Hochgebirge auf der Fichte lebenden *Aecidium abietinum* und einem Rostpilz der Alpenrosen, *Chrysomyxa rhododendri*, besteht. Dieser Befund schien mit der Tatsache in Widerspruch zu stehen, daß *Aecidium abietinum* auch im Tieflande vorkommt, wo die Alpenrosen fehlen. Es stellte sich heraus, daß hier ein anderer Pilz vorliegt, für den der Sumpfporst, *Ledum palustre*, an die Stelle der Alpenrosen tritt. In diesem Falle gelang es noch, in der Membranskulptur der Aecidiosporen feine Unterschiede zu finden. Von diesen abgesehen stimmen die beiden Pilze, auch in dem auf *Rhododendron* bzw. *Ledum* lebenden Zustande, völlig überein.

Die folgenden Jahre brachten eine ganze Reihe ähnlicher Erfahrungen. Auf verschiedenen *Ranunculus*-Arten kommen Aecidien vor, die man früher, weil sie sich nicht unterscheiden lassen, unter dem Namen *Aecidium ranunculacearum* zusammenfaßte. Untersuchungen von *Schroeter* (1873, 1879), *Cornu* (1882), *Plowright* (1884) und anderen ergaben aber, daß sie wirtswechselnd sind und mit sehr verschiedenen grasbewohnenden Teleutosporenformen aus den Gattungen *Uromyces* und *Puccinia* in Zusammenhang stehen:

	Teleutosporen auf	Aecidien auf
<i>Uromyces</i>		<i>Ranunculus</i>
<i>dactylidis</i>	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>bulbosus, repens</i>
<i>poae</i>	<i>Poa</i> -Arten	<i>ficaria, repens, bulbosus</i>
<i>Puccinia</i>		
<i>Magnusiana</i>	<i>Phragmites communis</i>	<i>repens, bulbosus</i>
<i>perplexans</i>	<i>Alopecurus pratensis</i>	<i>acer.</i>

Nach neueren Untersuchungen könnte diese Liste unter Heranziehung der Aecidien auf anderen Ranunculaceen noch fortgesetzt werden.

Weitere Beispiele lieferte das eigentümliche *Aecidium*, das sich im Frühjahr auf Wolfsmilchpflanzen findet (*Aecidium euphorbiae*), und dessen Myzel eine völlige Umgestaltung ganzer Triebe der Pflanzen hervorruft. *Schroeter* (1875 und 1884) zeigte die Zugehörigkeit zu zwei verschiedenen, auf Papilionaceen lebenden *Uromyces*-arten, *U. pisi* und *U. striatus*. Einige neuerdings bekannt gewordene Fälle vermehren auch hier die Mannigfaltigkeit und reihen auch Caryophyllaceen unter die Teleutosporenwirte (*Fischer*).

Bei den auf *Carex*-Arten lebenden Rostpilzen, die man früher unter dem Namen *Puccinia caricis* zusammenfaßte, liegen die Verhältnisse insofern umgekehrt, als es hier die Teleutosporen-

form ist, die man nach Auffindung des Wirtswechsels aufzuspalten genötigt war. Bis zum Jahre 1890 hatten Untersuchungen von *Magnus*, *Schroeter*, *Rostrup* und besonders *Plowright* bereits 10 neue Arten ergeben. Gegenwärtig ist die Zahl auf über ein Viertelhundert gestiegen. Unter den Aecidiennährpflanzen befinden sich besonders zahlreiche Kompositen, außerdem Arten von *Urtica*, *Ribes*, *Parnassia*, *Lysimachia*, *Pedicularis*. Nach dem feineren Bau der Uredosporen ist es mir zwar gelungen, zwei Gruppen zu unterscheiden. Innerhalb dieser beiden Gruppen sind aber nur so geringe Form- und Größenunterschiede der Sporen vorhanden, daß es nicht möglich ist, die Pilze ohne die Nährpflanzen zu bestimmen. Daß sie trotzdem verschieden sind, ergibt sich aber mit Bestimmtheit aus den zahlreichen vorliegenden Kulturversuchen, bei denen sich zeigte, daß jeder dieser Pilze immer nur eine ganz bestimmte Aecidiennährpflanze oder einen ganz kleinen Kreis nahe verwandter zu infizieren vermag.

Es ist namentlich *Ch. B. Plowright* gewesen, der in den achtziger und neunziger Jahren den Kulturversuch in umfassender Weise zur Auffindung von Wirtswechselverhältnissen und zur Unterscheidung der Formen verwandte. Unter seinen Beobachtungen mag die Abspaltung des *Gymnosporangium confusum* (Aecidium auf *Crataegus*) von dem bekannten *Gymnosporangium sabiniae* des Sadebaums hervorgehoben werden, dessen von *Oersted* (1865) aufgeklärte Beziehung zu dem Birnenrost bereits 1837 von französischen Beobachtern erörtert wird. Auch in anderen Arten der Gattung *Gymnosporangium* hat sich später eine Aufteilung früher vereinigter Formen nötig gemacht (*Fischer* 1909, 1910 und 1917).

Meine eigenen um 1888 begonnenen und *Fischers* (1894) sich daran anschließende Untersuchungen über die Blasenroste der Kiefern führten zur Aufspaltung dieser bis dahin unter dem Namen *Peridermium pini* zusammengefaßten Pilze in über ein Dutzend Arten. Besonders formenreich erwiesen sich die Nadelroste, die mit *Coleosporium*-Arten auf *Senecio*, *Tussilago*, *Petasites*, *Inula*, *Alectorolophus*, *Melampyrum*, *Pulsatilla* usw. in Zusammenhang stehen und sich durch die Anpassung an diese Nährpflanzen scharf voneinander sondern. Wenn der sehr bestimmte Unterschied in der Sporenmembran, der den Rindenrost der Weimutskiefer von dem der Waldkiefer unterscheidet, anfangs hoffen ließ, daß genaueste Untersuchung zur Auffindung morphologischer Unterschiede führen würde, so ergab sich doch, daß solche fast völlig fehlen, auch bei den zugehörigen Uredo- und Teleutosporen. Nur die Darstellung der Sporengröße in Kurven würde vielleicht imstande sein, gewisse Verschiedenheiten nachzuweisen; doch ist dieser Versuch bisher nicht in umfassender Weise durchgeführt worden, und praktische Bedeutung

für die Unterscheidung der Pilze würde ihm schwerlich zukommen.

Um dieselbe Zeit lenkten die Untersuchungen *Erikssons* (1894) über die allgemeiner bekannten Rostpilze des Getreides die Aufmerksamkeit weiterer Kreise auf diese Erscheinungen. Der Schwarzrost des Getreides, *Puccinia graminis*, dessen Aecidien nach *de Barys* berühmt gewordenen Untersuchungen auf der Berberitze gebildet werden, lebt in seiner Uredo- und Teleutosporenform außer auf den Getreidearten auch noch auf zahlreichen anderen Graspflanzen. *Erikssons* umfangreiche Kulturen ergaben aber, daß dieser Pilz keineswegs von jeder seiner Nährpflanzen auf jede andere überzugehen vermag, sondern daß eine Reihe von „spezialisierten Formen“ vorhanden ist, jede an eine kleine Gruppe von Nährpflanzen eng angepaßt und die anderen meidend. Eine Form lebt z. B. auf Roggen, Gerste und Quecke, geht aber nicht auf Hafer und Weizen über. Andererseits infiziert die auf Hafer lebende Form den Roggen und den Weizen nicht, und die auf Weizen lebende den Hafer und meist auch den Roggen nicht. Die Ergebnisse sind dieselben, wenn man den Rostpilz mittels der Uredosporen direkt von Graspflanze zu Graspflanze überträgt, oder wenn man aus den Teleutosporen zunächst die Aecidien auf der Berberitze erzieht und mit deren Sporen die Graspflanze impft. Ganz ähnliche Ergebnisse fand *Eriksson* auch für die übrigen Getreideroste (*Puccinia triticina*, *P. dispersa*, *P. glumarum*, *P. simplex*), sowie für die Kronenroste, unter denen ich bereits vorher nach den Aecidien zwei Arten unterschieden hatte, *P. coronata* und *P. coronifera*, von denen die letzte auch den Hafer befällt.

Über die Gattung *Melampsora* hatten *Nielsen*, *Rostrup*, *Hartig*, *Schroeter*, *Plowright* und *Magnus* eine Anzahl zum Teil wenig verarbeiteter, scheinbar sehr widersprechender Beobachtungen mitgeteilt. Es gelang mir, dieselben allmählich zu klären und zu erweitern. Dabei stellte es sich heraus, daß hier äußerst verwickelte Verhältnisse vorhanden sind. Eine große Zahl von Arten und Formen lebt in der Uredo- und Teleutosporengeneration auf Weiden und Pappeln und erweist sich durch die strenge Auswahl der Wirte sozusagen als feinste Kenner dieser selbst für den geschulten Botaniker zum Teil schwer unterscheidbaren Pflanzen. Die zugehörigen Aecidien entsprechen der alten Gattung *Caeoma*, die durch das Fehlen des Fruchtgehäuses (Peridie) gekennzeichnet ist. Nicht weniger als 4 einander völlig gleiche Arten bewohnen die Aspe, *Populus tremula*. Man faßte sie früher als *Melampsora tremulae* zusammen. Sie unterscheiden sich aber durch die Wahl der Aecidienwirte, *Larix*, *Pinus*, *Mercurialis*, *Chelidonium*. Eine zweite Gruppe umfaßt wenigstens 7 voneinander und von den Aspenpilzen nur mit Hilfe der Nährpflanzen unterscheidbare Formen. Die *Caeoma*-Aecidien sind streng an je eine der Gattungen *Larix*,

*Orchis*, *Evonymus*, *Ribes*, *Saxifraga* (Fischer), *Abies* (v. Tubeuf) angepaßt; die Teleutosporen finden sich auf einzelnen oder mehreren Weidenarten, wie *Salix viminalis*, *daphnoides*, *capraea*, *aurita*, *cinerea*, *repens* und anderen. Eine dritte Gruppe, gekennzeichnet durch die langgestreckten, am oberen Ende glatten Uredosporen, enthält 5 wenig voneinander verschiedene Arten auf *Salix amygdalina*, *fragilis*, *pentandra*, *alba*, darunter eine nicht wirtswechselnd (*M. amygdalinae*), die anderen mit *Caeoma* auf *Larix*, *Allium*, *Galanthus*, und außerdem 2 Arten auf Pappeln (*Populus nigra* u. a., nicht *P. tremula*) mit *Caeoma* auf *Larix* und *Allium*. Endlich gibt es noch 2 morphologisch gut gekennzeichnete Arten, die eine auf *Salix capraea* mit *Caeoma* auf *Larix*, die andere auf *Salix viminalis* mit *Caeoma* auf *Ribes*. Was bei diesen merkwürdigen Pilzen besonders auffällt, ist die gleichzeitige Aufspaltung, sowohl der Uredo- und Teleutosporenformen auf *Salix* und *Populus*, wie die der *Caeoma*-formen auf *Ribes*, *Allium* und namentlich auf *Larix*, die man früher für einheitliche Arten hielt, sowie die keinerlei Gesetzmäßigkeit aufweisende Verteilung der *Caeoma*-acidien auf die teils einander äußerst nahestehenden, teils auffällig verschiedenen Teleutosporenformen. Morphologische Unterschiede sind zwischen den gesamten Acidien dieser Gruppe nicht oder nur in geringstem Grade vorhanden.

Um auch von den neuesten Erfahrungen ein Beispiel zu bieten, sei auf die Aufteilung des früher als *Aecidium pseudocolumnare* bezeichneten, durch die schneeweiße Farbe seiner Sporen von anderen Rostpilzen derselben Nährpflanzen auffallend verschiedenen Rostes der Tannennadeln hingewiesen, die durch die Auffindung der Zugehörigkeit zu Teleutosporenformen auf Farnkräutern nötig geworden ist. Fraser hat diesen Wirtswechsel für 5 amerikanische Arten festgestellt, von denen einige auch in Europa vorkommen (*Uredinopsis struthiopteridis*, *Hyalopora polypodii dryopteridis*). Es gelang mir, einen dieser Fälle mit deutschem Material zu bestätigen (*Uredinopsis struthiopteridis*) und noch einen sechsten aufzufinden (*Milesina blechni*).

Nachdem sich die Spezialisierung der Rostpilze in so zahlreichen Fällen beim Suchen nach den noch unbekanntem Wirten der anderen Sporenform gewissermaßen von selbst ergeben hatte, wurden auch nicht wirtswechselnde Rostpilze in den Kreis der Untersuchung gezogen. Solche Untersuchungen hat namentlich Fischer von seinen Schülern durchführen lassen. Es liegen Arbeiten vor von Bandi über den Rosenrost (*Phragmidium subcorticium*), von Cruchet über *Puccinia*-Arten auf Labiaten, von Semadeni über solche auf Umbelliferen, von Wurth über *Puccinia galii* und andere. Die Ergebnisse entsprechen den bisher erwähnten. In zahlreichen Fällen sind auch diese Rostpilze an einzelne ganz bestimmte Nährpflanzen oder an ganz kleine Kreise von

solchen angepaßt. Um nur ein Beispiel anzuführen: so stellt z. B. Probst in seiner Arbeit über *Puccinia hieracii* fest, daß diese Art zunächst in zwei Unterarten, *P. piloselloidarum* und *P. hieracii*, im engeren Sinne zu zerlegen ist, die auch morphologisch etwas verschieden sind, und von denen die erste nur auf piloselloiden Hieracien, die andere nur auf Euhieracien lebt. Beide Unterarten spalten sich weiter nach den einzelnen Nährpflanzen in spezialisierte Formen, von denen sich in der ersten 8, in der zweiten 5 unterscheiden ließen. Dabei wurde ein ganz besonders weitgehender Fall von Spezialisierung beobachtet. Bei Versuchen mit Stöcken der Form „*Hieracium pilosella* subspecies *vulgare* α *genuinum* 1. *subpilosum*“ von zwei verschiedenen Standorten zeigte sich, daß jede der beiden Formen nur von dem an dem eigenen Standorte auf ihr lebenden Pilze infiziert wurde, nicht von demselben Pilze von dem anderen Standort.

Gegenüber diesen zahlreichen Fällen mehr oder weniger weitgehender Spezialisierung muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß es auch Beispiele gibt, die Ausnahmen sind oder solche zu sein scheinen. Die Zahl der wirklichen Ausnahmen ist sehr gering, und die Mannigfaltigkeit ihrer Wirte dann meist nicht groß. Es handelt sich um Pilze, die zahlreiche Arten einer großen Gattung von Nährpflanzen oder auch Arten verschiedener Gattungen einer Familie zu befallen vermögen. Zu nennen wäre *Cronartium ribicola*, die Teleutosporenform des Blasenrostes der Weimutskiefer, die zahlreiche *Ribes*-Arten befällt, während dagegen die auf *Ribes* lebenden Acidien gewisser *Carex*-Roste nach den *Ribes*-Arten spezialisiert sind. Ein weiteres Beispiel ist anscheinend die aus Chile eingewanderte *Puccinia malvacearum*, die auf ziemlich verschiedenen Malvaceen vorkommt. Allerdings sind Versuche, den Pilz auf die verschiedenen Gattungen und Arten zu übertragen, bisher nur in beschränktem Maße ausgeführt worden (Eriksson 1911).

Bemerkenswerter sind die scheinbaren Ausnahmen. Es mag genügen, den merkwürdigsten Fall zu besprechen. Cornu (1886) stellte fest, daß der auf Kiefernrinde lebende Blasenrost (*Peridermium*) seine Teleutosporenform, das *Cronartium asclepiadeum*, auf der Schwalbenwurz, *Vincetoxicum officinale*, bilde. Später fand Lamarlière, und Fischer bestätigte es, daß dasselbe *Aecidium* auch auf die Pfingstrosen (*Paeonia*) übergehe, so daß das auf diesen beobachtete *Cronartium flaccidum* dem *Cr. asclepiadeum* gleich ist. Diese mir damals etwas unglaublich erscheinenden Beobachtungen veranlaßten Untersuchungen meinerseits, bei denen sich herausstellte, daß sogar noch eine ganze Reihe anderer Pflanzen dem *Cr. asclepiadeum* als Wirte dienen können. Insgesamt sind jetzt Arten von 9 Gattungen aus 8 verschiedenen Familien als empfänglich bekannt: *Vincetoxicum officinale*, *fuscatum* (*Asclepiadaceae*), *Paeonia officinalis*, *peregrina*,

*tenuifolia* (Ranunculaceae), *Pedicularis palustris*, *Nemesia versicolor* (Scrophulariaceae), *Verbena teucrioides*, *erinoides* (Verbenaceae), *Impatiens balsamina* (Balsaminaceae), *Grammatocarpus volubilis* (Loasaceae), *Tropaeolum minus*, *majus*, *Lobbianum*, *canariense* (Tropaeolaceae), *Schizanthus Grahami* (Solanaceae). Hier liegt also unstreitig ein Fall von Pleophagie vor, ein Vermögen des Pilzes, auf so vielerlei Nährpflanzen zu wachsen, wie es sonst bei den Rostpilzen unerhört ist. Wenn man sich dann aber vergegenwärtigt, daß die Pflanzen, die dieser Pilz befällt, ganz vereinzelt aus größeren Verwandtschaftskreisen herausgegriffen sind, und daß in mehreren Fällen nahe Verwandte der empfänglichen Pflanzen nicht befallen werden, z. B. andere *Impatiens*- und *Verbena*-arten, und, was besonders auffällt, *Pedicularis palustris* nicht, auch *Gentiana asclepiadea* nicht, auf der ein ganz ähnliches *Cronartium* tatsächlich vorkommt, so kann nicht bestritten werden, daß es sich hier schließlich doch auch um Spezialisierung, um Anpassung an einzelne ganz bestimmte Wirte unter Ausschluß mehr oder weniger naher Verwandter handelt. Die merkwürdige Tatsache, daß die meisten dieser Pflanzen aus Gegenden stammen, wo Kiefern und also auch der Blasenrostpilz gar nicht vorkommen (Südafrika, Chile, Peru, Columbia, Ostindien), wird uns noch zu beschäftigen haben. Eine andere Tatsache, das Vorkommen eines zweiten ganz ähnlichen *Peridermium* der Kiefer, das sich auf keinem dieser zahlreichen Wirte zu entwickeln vermag, und dessen Teleutosporenform trotz vieler Bemühungen bisher nicht gefunden werden konnte, so daß von forstlicher Seite bereits ernstlich versucht worden ist, ein unmittelbares Wiederübergehen auf die Kiefer unter Ausschluß des Wirtswechsels zu erweisen (Oberförster Haack 1914), läßt die Pleophagie der erstgenannten Form besonders auffällig erscheinen. Daß es noch ein paar Fälle von weniger ausgeprägter Pleophagie gibt und einen von weit höherer, der aber sonst weniger Bemerkenswertes bietet (*Puccinia isiacae*, Tranzschel 1906), sei nur angedeutet.

Für die Pilzsystematik erwächst aus den biologischen Arten und spezialisierten Formen, die sich nur durch mühsame Kulturversuche unterscheiden lassen und an Herbarmaterial meist nicht mehr erkennbar sind, eine gewisse Schwierigkeit, und der Schmerzensschrei eines verstorbenen namhaften Pilzkenners, daß sie eine „grenzenlose Konfusion“ hervorgerufen hätten, ist von seinem Standpunkt aus vielleicht verständlich. Aber ihr Vorhandensein ist eine Tatsache, mit der sich die Systematik abfinden muß. Daß die Arten der höheren Pflanzen keineswegs alle wirkliche Einheiten sind, sondern in vielen Fällen nur auf Übereinkommen beruhende Gruppen, darüber sind sich denkende Systematiker längst klar, und unter diesem Gesichtspunkt wird es auch möglich, die biologischen Arten und Rassen in das Fachwerk des Systems einzufügen. In

manchen Fällen hat die biologische Unterscheidung dazu geführt, bisher übersehene morphologische Verschiedenheiten aufzufinden. Dann liegt kein Grund vor, solche Pilze nicht als Arten anzusehen. Wo morphologische Unterschiede fehlen, wird man im allgemeinen nur von Rassen oder Formen reden dürfen, die den Arten zuzuordnen sind. Schwierigkeiten bereiten nur die Fälle, wo morphologische Unterschiede fehlen und doch das biologische Verhalten auf eine schärfere Absonderung hinweist, z. B. wenn der Unterschied in der Anpassung an verschiedene Gattungen von Nährpflanzen oder an Angehörige verschiedener Familien besteht. Für solche Fälle muß ein Übereinkommen getroffen werden, und es liegen einige Vorschläge vor, die dafür gewisse Richtlinien aufstellen. Übrigens sind auch die morphologisch nicht, unterscheidbaren Pilze mehrfach nicht ganz ohne gewisse Verschiedenheiten; nur lassen sich diese schwer erfassen und meist nicht für Bestimmungszwecke verwerten.

Wichtiger sind die Fragen nach Wesen und Entstehung der biologischen Arten und Rassen. Es läge vielleicht zunächst nahe, anzunehmen, daß die schmarotzenden Pilze Hand in Hand mit den höheren Pflanzen, auf denen sie leben, sich verändert und entwickelt haben. Wenn aus einer gegebenen Pflanze neue einander nahe verwandte hervorgehen, kann der Schmarotzer derselben nur weiter leben, wenn es ihm gelingt, sich den veränderten Eigenschaften anzupassen. Diese Vorstellung scheint sehr geeignet, die Erscheinung zu erklären, daß die Spezialisierung in der Regel in einem so engen Verhältnis zur natürlichen Verwandtschaft der Nährpflanzen steht. Ganz nahe Verwandte werden noch von demselben Pilze befallen, die Schmarotzer fernerstehender Pflanzen müssen in ihrem Verhalten bereits Änderungen erfahren haben. Wenn man aber bestimmte Beispiele einer näheren Prüfung unterzieht, so ergibt sich doch für diese Vorstellung eine Reihe von Schwierigkeiten. Die morphologisch fast gar nicht unterscheidbaren *Caeoma*-*Aecidien* der Gattung *Melampsora* müßten sich zum Teil schon zu der Zeit voneinander gesondert haben, wo die Angiospermen von den Gymnospermen sich ablösten, zum Teil zu der Zeit, wo die Monokotylen und Dikotylen sich ausbildeten, und zum Teil erst viel später, zur Zeit der Entstehung der Gattungen *Ribes*, *Evonymus*, *Mercurialis* usw. Es ist höchst unwahrscheinlich, daß Veränderungen in so entlegenen und verschiedenen Erdperioden zu so gleichartigen Formen geführt haben sollten. Auch den Wirtswechsel auf diese Weise erklären zu wollen, erscheint verfehlt. Schwerlich ist z. B. der Wirtswechsel des Getreiderosts ein Überbleibsel aus jener Zeit, als Getreide und Berberitze noch eine gemeinsame Urpflanze bildeten.

Wenngleich daher jenem Gedanken innerhalb gewisser Grenzen die Berechtigung nicht abzusprechen ist, so ist es doch erforderlich, auch

andere Möglichkeiten zu erwägen. Magnus (1894) hat für die biologischen Arten den Ausdruck „Gewohnheitsrassen“ geprägt und damit den Versuch gemacht und angeregt, die Spezialisierung durch Anpassung und Gewöhnung zu erklären. Die Veranlassung dazu gaben Pilze aus der auf *Phalaris arundinacea* lebenden Gruppe der *Puccinia sessilis*, die im allgemeinen nach ihren Aecidiennährpflanzen, *Allium*, *Arum*, *Leucoïum*, *Orcis*, *Convallaria* usw. scharf spezialisiert sind. Soppitt (1890) hatte in einer Gegend, wo von den Nährpflanzen nur *Convallaria* wächst, einen Pilz gefunden, der nur *Convallaria* infiziert, andere Beobachter in anderen Gegenden Formen, die auch auf *Polygonatum*, *Majanthemum* und *Paris* übergehen. Der Soppittsche Pilz wäre nach Magnus aus der mehrere Wirte befallenden Form durch Gewöhnung an den einzig vorhandenen Wirt entstanden. Es schien mir wichtig zu sein, die Möglichkeit derartiger Gewöhnung durch Versuche zu prüfen. Eine Form des Pilzes, die ursprünglich alle vier Wirte befiel, wurde 15 Jahre lang unter ausschließlicher Verwendung von *Polygonatum* als Aecidienwirt weiter kultiviert. Es ergab sich, daß die Pleophagie zwar nicht vernichtet, aber doch das Infektionsvermögen gegen die drei anderen Wirte merklich geschwächt war. Im Laufe langer Zeiten wäre also vielleicht eine Beschränkung auf den einzigen Wirt *Polygonatum* zustande gekommen.

Eine ganze Reihe anderer Beobachtungen kann namhaft gemacht werden, die alle zeigen, daß die Nährpflanzen einen Einfluß auf das Infektionsvermögen der Pilze ausüben. Beachtenswert sind namentlich die Fälle, die auf noch in der Veränderung begriffene Verhältnisse hinweisen. *Melamporidium betulinum*, von *Betula pubescens* stammend, infiziert diese Pflanze leichter als *B. verrucosa*; die Form von *B. verrucosa* verhält sich umgekehrt. In ähnlicher Weise befällt *Melamporsora larici-epitea* *Salix cinerea* und *aurita* schwächer, wenn sie von *Salix viminalis* stammt, *S. viminalis* schwächer, wenn sie von *S. cinerea* oder *aurita* stammt. Unter den Puccinien auf *Carex acuta* bildet eine Form ihre Aecidien auf *Ribes grossularia* und gelegentlich äußerst spärlich einmal auf *R. nigrum*; eine andere zeigt das umgekehrte Verhalten. In diesen Fällen fehlt aber das geographische Moment der Isolierung der Nährpflanzen, und man muß daher Bedenken haben, ob hier wirklich Gewöhnung vorliegen kann. *Melamporidium betulinum* zwar soll sich, vielleicht als Myzel in den Knospen, ohne Wirtswechsel auf den Birken erhalten können. Hier wäre also bei jahrelangem Weiterleben der einen Generation auf derselben Pflanze eine Anpassung durch Gewöhnung trotzdem möglich. Die Aecidien auf den *Ribes*-Arten, die nur einige Wochen leben und immer nur durch Infektion von *Carex* aus entstehen, würden sich dagegen nur durch jahrelang wiederholte gleichartige Entwicklung angepaßt haben können, und die ist bei der Ver-

breitung ihrer Wirte schwer verständlich. Noch auffälliger ist die Spezialisierung der Gattung *Coleosporium*. Die Nährpflanzen wachsen vielfach benachbart und keineswegs so getrennt, daß dadurch Gewöhnung hervorgerufen werden müßte, und doch scheint hier die Anpassung ganz streng zu sein, so daß Übergänge auf die anderen Wirte bisher nicht nachgewiesen sind. Auf einigen Wirten kommt zwar Überwinterung in der Uredoform vor (*Campanula*, vielleicht auch *Senecio*), andere aber, wie *Alectorolophus*, *Euphrasia* und *Melampyrum*, die streng einjährig sind, können, da die Übertragung der Pilze mittels der Samen ausgeschlossen erscheint, nur auf dem Wege über die Kiefern befallen werden.

Die angedeuteten Verhältnisse weisen darauf hin, daß die Spezialisierung wenigstens nicht in allen Fällen durch Gewöhnung verursacht sein kann, und daß nach weiteren Ursachen gesucht werden muß. Auch gewährt der Gedanke der Gewöhnung nur eine Vergleichung mit Vorgängen, die uns geläufig sind, aber er gibt keineswegs eine Erklärung, da die Gewöhnung selbst der Erklärung bedarf. Vielleicht kann man sich vorstellen, daß das Vermögen des Pilzes, gewisse, seine Entwicklung hemmende Stoffe, welche die Nährpflanze hervorbringt, durch eigene Ausscheidungen zu binden oder wirkungslos zu machen, gesteigert wird, wenn er die betreffende Pflanze wiederholt befällt, dagegen verloren geht, wenn er ihr lange fern bleibt. Über das Wesen derartiger Stoffe fehlt aber wieder jede Vorstellung. Sicher ist wohl, daß es sich dabei nur um Veränderungen des Pilzes, nicht um „Immunisierung“ der Nährpflanzen handeln kann.

Die Theorie der Spezialisierung durch Gewöhnung setzt die Pleophagie des Pilzes als den der Spezialisierung vorausgehenden Zustand voraus. Es braucht daraus nicht gefolgert zu werden, daß dieser Zustand der ursprüngliche sein muß. Es gibt vielmehr eine ganze Reihe merkwürdiger Beobachtungen, die darzutun scheinen, daß tatsächlich ein Ergreifen neuer Wirte vorkommen kann. Ein Beispiel liefert der schon erwähnte äußerst schädliche Blasenrost der Weimutskiefer. Er war auf diesem Baume in seiner Heimat Nordamerika ursprünglich völlig unbekannt und ist erst neuerdings aus europäischen Baumschulen dahin eingeschleppt worden. In Europa aber kommt in den höheren Gebirgen auf der Arve oder Zirbelkiefer (*Pinus cembra*), anscheinend nicht allzu häufig und weniger Schaden anrichtend, ein sich völlig gleich verhaltender Pilz vor, der hier in Wirtswechsel mit dem *Cronartium ribicola* der einheimischen *Ribes*-arten lebt. Die Weimutskiefer gelangte durch die Kultur in den Bereich des Pilzes. Sie erwies sich als hochgradig empfänglich und wurde befallen. Der Pilz war auf einen neuen Wirt übergegangen. In diesem Falle ist der Übergang allerdings nur erschlossen. Die oben erwähnten Versuche mit dem nahe verwandten *Cronartium*

*asclepiadeum* zeigen aber das Ergreifen neuer Wirte unter den Augen des Beobachters. Es wurde schon darauf hingewiesen, daß mehrere der Pflanzen, die sich als empfänglich erwiesen, aus Gegenden stammen, wo der Pilz wegen des Fehlens der Kiefern gar nicht vorkommen kann. Der Pilz kann also auch nicht an sie „angepaßt“ sein, die Empfänglichkeit muß eine ihnen ganz zufällig innewohnende Eigenschaft sein. Zwei dieser Pflanzen, *Schizanthus* und *Tropaeolum*, erwiesen sich auch empfänglich gegen einen größeren Teil der Nadelroste der Kiefern bzw. die dazu gehörigen *Coleosporium*-Arten, so daß diese Pilze, die sonst die nächsten Verwandten ihrer eigentlichen Nährpflanzen nicht zu befallen vermögen, hier gemeinsame Wirte finden. Man würde vielleicht noch mehr derartige Beispiele finden können, wenn man einmal systematisch die Pilze untersuchte, die an den von auswärts eingeführten Kulturpflanzen vorkommen.

Diese Beobachtungen scheinen auch geeignet, einige Streiflichter auf die Frage der Empfänglichkeit zu werfen und reizen zu Betrachtungen darüber an. Daß die Spezialisierung meistens in einem engen Verhältnis zur natürlichen Verwandtschaft der Nährpflanzen steht, wurde bereits hervorgehoben. Abzusehen ist dabei von der Erscheinung, daß die beiden Generationen der wirtswechselnden Rostpilze sich meistens zwei möglichst verschiedene Wirte ausgewählt haben. Die Regel erleidet aber durch die eben erwähnten pleophagen Pilze auffällige Ausnahmen. Da es bisher nicht gelungen ist, Rostpilze auf künstlichem Nährboden zur Entwicklung zu bringen, wissen wir nichts über die Stoffe, deren sie zu ihrer Ernährung bedürfen. Es steht aber wohl außer Zweifel, daß sie wie andere Pilze, und wahrscheinlich weit mehr als diese, durch die chemische Beschaffenheit des Nährbodens beeinflußt werden. Wenn bei diesen strengen Parasiten noch ein rätselhafter Einfluß des lebenden Protoplasmas dazukommen scheint, so muß doch auch dieser letzten Endes eine materielle Grundlage haben. Bei nahe verwandten Pflanzen wird man im allgemeinen eine sehr ähnliche Beschaffenheit ihrer gesamten Stoffe vermuten dürfen. Es wird dadurch begreiflich, daß sie von einem und demselben Pilze befallen werden können. Wenn nun aber eine ganz fernstehende Pflanze zufällig eine ähnliche chemische Beschaffenheit hat, wenn sie diejenigen Stoffe enthält, die für den Pilz als Nahrung nötig sind, und wenn sie keine solchen enthält, die seinen Angriff abwehren, so wird auch sie empfänglich sein. Gelangt diese Pflanze durch die natürlichen Wanderungen der Gewächse oder durch den Einfluß des Menschen zufällig in den Bereich des Pilzes, so wird sie befallen und taucht als neuer Wirt auf. Das Ergreifen neuer Wirte, der Übergang von der Monophagie zur Pleophagie, findet also auf diesem Wege, natürlich abgesehen von dem noch völlig rätselhaften Wesen der den Pilz beein-

flussenden Stoffe, bis zu einem gewissen Grade eine Erklärung.

Es liegen auch Beobachtungen vor, die es möglich erscheinen lassen, in gewissen Fällen das Ergreifen neuer Wirte mit einem Einflusse der Nährpflanzen in Zusammenhang zu bringen. *Freeman* und *Johnson* (1911) z. B. berichten, daß eine Form der *Puccinia graminis*, die auf Weizen lebt und den Hafer nicht befällt, sich auf Gerste übertragen läßt und dadurch, daß man sie längere Zeit auf dieser Pflanze kultiviert, die Befähigung erlangt, auch den Hafer schwach zu befallen. So dient die Gerste gewissermaßen als „Brücke“, über die der Pilz den Weg zu der neuen Nährpflanze findet.

Wenn auch ausreichende Erklärungen fehlen, so scheint es also doch festzustehen, daß sowohl Erweiterungen des Kreises der Wirte, wie auch Einschränkungen desselben noch gegenwärtig vorkommen. Denkt man sich diese beiden Vorgänge neben- und nacheinander wirken, so kann man sich ein Bild von der Entstehung neuer Formen bei diesen Pilzen machen, das manches für sich hat, wenn auch nicht bestimmt behauptet werden kann, daß es der Wirklichkeit entspricht, oder daß es den einzig möglichen Weg zeigt. Der Blasenrost der Weimutskiefer liefert auch hierfür vielleicht ein Beispiel. Daß derselbe, allem Anschein nach, von der Arve auf die Weimutskiefer übergehend, zunächst den Kreis seiner Nährpflanzen erweiterte, wurde bereits erörtert. Auf dem neuen, sehr empfänglichen Wirt verbreitete sich der Pilz über ganz Europa, auch in Gegenden, wo die Arve fehlt. Hier lebt er jetzt ohne die ursprüngliche Nährpflanze, und es ist möglich, daß eine Form in der Entwicklung begriffen oder bereits entstanden ist, welche diese gar nicht mehr befallen kann. Bisher hat man nämlich in Anlagen, wo Weimutskiefern und Arven nebeneinander wachsen, immer nur die Weimutskiefern, diese fast regelmäßig, niemals die Arven, befallen gefunden. Es muß aber bemerkt werden, daß diese Gedankengänge insofern eine Lücke haben, als der Versuch noch nicht gemacht ist, den in der Wildnis auf der Arve vorkommenden Pilz auf die Weimutskiefer zu übertragen.

Es liegt nahe, diese Betrachtungen auf die Entstehung der morphologisch unterscheidbaren Formen und Arten auszudehnen. Daß zwischen den morphologisch unterscheidbaren und den nicht unterscheidbaren Formen keine scharfe Grenze besteht, wurde bereits hervorgehoben. Man könnte sich also vorstellen, daß durch die Anpassung an bestimmte Wirte zunächst rein biologische Formen entstehen, und daß diese dann, weiter beeinflußt durch die Wirte, dazu übergehen, morphologische Unterschiede auszubilden. Durch einige neuere Erfahrungen über Schimmelpilze, die eine Beeinflussung der Formverhältnisse durch bestimmte Chemikalien möglich erscheinen lassen (*Haenicke*), würde der Gedanke,

daß die stoffliche Zusammensetzung des Wirts auf die Gestalten des Parasiten einwirken könnte, vielleicht eine Stütze erhalten. Daß wirklich Formveränderungen an den Sporen von Rostpilzen durch Übertragen auf bestimmte Wirte entstehen können, wollen amerikanische Forscher (Freeman und Johnson, Long, Dodge) beobachtet haben. Auch wenn diese Angaben vielleicht noch nicht genügend beweiskräftig wären, so liegt hier doch eine Fragestellung vor, die weitere Prüfung wünschenswert macht.

Ob es einmal gelingen wird, die Entstehung der mannigfaltigen und verwickelten Verhältnisse, welche die spezialisierten Rostpilze aufweisen, restlos zu erklären, oder ob es nötig bleiben wird, mit inneren Ursachen oder Ursachen unbekannter Abhängigkeit von der Außenwelt, welche die Entwicklung in bestimmte Richtungen drängen, zu rechnen, läßt sich gegenwärtig nicht übersehen. Auch die fluktuierenden Variationen, mehr noch die Mutationen, wenn man diese anerkennen will, die beiden Voraussetzungen, mit denen die Deszendenztheorie bei den höheren Pflanzen rechnet, sind Veränderungen, die, wenn auch vielleicht von der Außenwelt beeinflusst, aus dem inneren Wesen des lebenden Protoplasmas hervorzugehen scheinen, und diese spielen bei der Entstehung der Formunterschiede vielleicht eine größere Rolle als bei der Ausbildung der biologischen Verschiedenheiten. Sei dem nun, wie ihm wolle, auf alle Fälle gewährt es einen hohen Reiz, die Eigenschaften jener merkwürdigen Pilzformen zu erforschen und den Kräften nachzuspüren, die bei ihrer Entstehung wirksam waren.

Die vorstehenden Betrachtungen sind ganz auf die Rostpilze beschränkt worden. Schon diese eine Pilzklasse gäbe hinreichenden Stoff zu weit eingehenderen Beobachtungen über die Spezialisierung, und die Erscheinung des Wirtswechsels, die hier in zahlreichen Fällen eng damit verknüpft ist, macht die Verhältnisse besonders anziehend. Spezialisierungserscheinungen sind aber keineswegs auf die Rostpilze beschränkt. Sie sind in fast allen Gruppen der schmarotzenden Pilze nachgewiesen worden, und im allgemeinen in um so ausgeprägter Form, je enger die Pilze an das parasitische Leben angepaßt sind. In hohem Grade spezialisiert sind z. B. die Meltaupilze (Erysiphaceae), die anscheinend auch ebenso strenge Parasiten sind, wie die Rostpilze; aber auch parasitische Pilze, die sich mehr oder weniger gut auch auf künstlichem Nährboden züchten lassen, können ausgeprägte Spezialisierung zeigen, z. B. *Pseudopeziza ribis* nach eigenen Untersuchungen. Von den Bakterien sind die Anpassungen bekannt, welche die Knöllchenbakterien der Leguminosen an ihre Nährpflanzen zeigen. Die saprophytischen Pilze sind im allgemeinen weniger wählerisch in bezug auf ihre Unterlage; manche bevorzugen aber doch auch ganz bestimmte Nährböden. Sicher ist auch hier die

Mannigfaltigkeit der kleinen Formen, vielfach größer als man bisher geglaubt hat, wie dies z. B. die Untersuchungen von J. O. Sopp (1912) über *Penicillium* zeigen.

### Zoologische Mitteilungen.

Über das Prinzip der kürzesten Bahn in der Lehre von der Handlung schreibt J. S. Szymanski im *Biol. Zentralbl.* Bd. 37, Nr. 5. Sowohl die Tiere als auch die Menschen handeln in der Mehrzahl der Fälle derart, als ob der Ablauf der Handlung auf der kürzesten Bahn geschehe. Die Insekten putzen ihre Fühler in der mechanisch einfachsten Weise. Lange Fühler werden im großen und ganzen bei den Arten mit kauenden Mundwerkzeugen mit den Mundteilen geputzt, kurze Fühler dagegen mit den Vorderbeinen. Bei den Arten mit nichtkauenden Mundwerkzeugen werden sowohl kurze wie auch lange Fühler mit den Vorderbeinen geputzt. Wenn aber die kauenden Mundwerkzeuge klein und schwach ausgebildet oder die Fühler wenig biegsam sind, so putzen auch die Arten mit kauenden Mundwerkzeugen ihre verhältnismäßig langen Fühler mit den Beinen. Aber auch relativ kurze Fühler können mit den Mundteilen geputzt werden, wenn die Fühler am Ende Anschwellungen haben oder die Beine recht kurz sind. Ein Frosch reinigt die mit einer Säure betupfte Körperseite mit dem gleichsinnigen Hinterbein. Schneidet man aber dieses Bein ab, so entfernt er die Säure mit dem gegenüberliegenden Hinterbein. In ähnlicher Weise putzt die rote Waldameise ihr Fühlhorn mit dem gleichsinnigen Vorderbein. Ist jedoch das rechte Vorderbein amputiert worden, so faßt sie das rechte Fühlhorn mit dem Putzsporn des linken, also gegenüberliegenden Vorderbeines. Diese Ersatzbewegungen erfolgen also nicht wie die normal verlaufenden auf der kürzesten Bahn. Es genügt auch schon eine Schwächung des ganzen Organismus bzw. der Sinnes-tätigkeit, um die Ausführung der Handlung auf der kürzesten Bahn zu verhindern. Bei schädigenden Einflüssen versucht der Organismus zunächst auf der kürzeren Bahn sich dem schädigenden Faktor zu entziehen, und erst wenn dies nicht von Erfolg begleitet ist, verrichtet das Tier eine andere Arbeit. Wenn man z. B. den Flügel einer Fliege mit einem Faden ein- oder wenige Male leicht streicht, so hebt das Tier das gleichsinnige Hinterbein und wischt den Flügel damit ab; wenn man aber mit den Berührungen fortfährt oder deren Intensität erhöht, so fliegt die Fliege davon. Oder wenn man den Rücken einer ruhenden Raupe mit einem Stäbchen leicht berührt, so krümmt das Tier den Vorderleib nach rückwärts und fährt mit dem Mund gegen die Reizquelle hin. Bei der fortdauernden Reizung des Rückens aber beginnt die Raupe entweder sich fortzubewegen oder fällt von der Unterlage herab. Das Prinzip der kürzesten Bahn ergibt sich ferner aus der Beobachtung verschiedener Ausbildungsgrade einer neu zu erwerbenden Gewohnheit bei gleichen Individuen im Verlaufe des Lernvorganges. Das Lernen des Pickens bei Kücken und das Verhalten der Tiere bei entstehender Labyrinthgewohnheit lassen erkennen, daß die Tiere mit dem Fortschreiten der Vollendung in Ausführung einer Handlung auf immer kürzere Weise arbeiten, bis sie schließlich die Handlung nach vollzogenem Lernvorgang auf dem kürzesten Wege vollführen. Rationelle Handlungen werden in früheren Lebensjahren

nicht rationell, d. h. nicht auf der kürzesten Bahn ausgeführt. Erst mit fortschreitendem Alter kommt man darauf, wie gegebenenfalls rationell zu handeln wäre. So stellte sich heraus, daß beim Hinauskehren von Kieselsteinchen aus einem schneckenartigen Labyrinth erst die neunjährigen Kinder rationell handelten. In der gleichen Richtung bewegt sich die Vervollkommnung der Handlungen bei erwachsenen Menschen und in den aufeinander folgenden Generationen.

**Schildkröten im Gebiete von Rovigno.** Es gibt drei Arten von Schildkröten um Rovigno: eine Landschildkröte (*Testudo graeca* L.), eine Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis* [L.]) und eine Meerschildkröte (*Thalassochelys atra* [L.]). Thilo Krumbach hatte im Laufe der letzten acht Jahre wiederholt Gelegenheit, diese Tiere in der Gefangenschaft zu pflegen oder im Freien zu beobachten, und vermag daher das Bild, das die Literatur von ihnen entwirft, in einigen Zügen zu ergänzen. (*Zool. Anz.* Bd. 49, Nr. 3/4.) *Testudo graeca* kann um Rovigno nicht häufig sein. Diese Schildkröte ist auf die Ackerbaudistrikte beschränkt, wie aus ihrem Gefangenleben deutlich hervorgeht. Die 6 Stück, die Krumbach seit etwa 5 Jahren im Garten der Zoologischen Station hält, sind immer nur im sonnigsten Teile des Gartens zu finden. Nahezu sieben volle Monate des Jahres bringt die griechische Landschildkröte in tiefem Schläfe unter der Erde zu. Sie erwacht, sobald im ersten Drittel des Frühjahres die Erdtemperaturen sich bis zu 1 m Tiefe ausgeglichen haben; und sie vergräbt sich von neuem, sobald die Sonne die Kraft verliert, die oberste Erdschicht am wärmsten zu erhalten. Sie erscheint also in der letzten Woche des April und verschwindet wieder in den letzten Tagen des September. Sie ist daher in Istrien etwa an dieselben Temperaturen gebunden wie die Singzikaden, und ihr Kommen und Gehen, ihr Wachen und Schlafen stellt sich als eine Funktion der Sommerwärme dar. Mitte Mai beginnt die Paarung. Um Mitte Juni laufen die Weibchen unruhig hin und her und beginnen Gruben zu scharren zur Unterbringung der Eier. Sie legen sich dabei flach auf den Erdboden und kratzen zunächst mit den Hinterbeinen einen flachen Trichter aus. Dann treiben sie einen kurzen Tunnel nach vorn, indem sie abwechselnd mit dem linken und dem rechten Bein die Erde unter der Körpermitte auflockern und nach hinten wegschieben. Anfang August waren die ersten Jungen da. Die Schildkröteneier sind außerordentlich empfindlich gegen Berührung. Aus einem Ei, das man einmal mit der Hand aufgenommen hat, schlüpft nie mehr ein Junges aus. Unter den Pflegenden Krumbachs befand sich zwei Jahre hindurch ein Stück, das vordem gegen zwanzig Jahre in der Wohnung einer Witwe gelebt hatte. Dieses Tier maß in der Rückenwölbung 24 cm und war so an den Umgang mit Menschen gewöhnt, daß es auch im Garten fortgesetzt um Nahrung bettelte und namentlich mit Frauen gern auf und ab spazierte. — Die Sumpfschildkröte tritt viel zeitiger im Jahre auf als die Landschildkröte und dauert auch wesentlich länger aus als diese. Man hat sie Krumbach bereits im März gebracht, und andererseits ist sie ihm noch Mitte Oktober im Freien begegnet. In der Zoologischen Station Rovigno lebte einmal ein Exemplar, das über Jahr und Tag in dem damals ganz trocknen Garten zugebracht hatte und immer nur nach Regengüssen erschien, bis ihm die Freiheit wiedergegeben wurde. Wovon es gelebt hat, ist rätselhaft geblieben. Ein in rovigneser Schildkröten auftretender Blutparasit,

*Haemogregarina stepanovi* ist mehrfach Gegenstand eingehender Bearbeitung gewesen. Die Rückenschalen der im Palù, einem großen Brackwassertümpel südlich Rovigno, erbeuteten *Emys* waren hinten immer reichlich mit Algen besetzt, was gelegentlich zur Zerstörung der Hornhaut geführt hat. Krumbach fand am Palù öfter Schalen, deren Bauchschilder durch Nagezähne aufgebrochen und gänzlich zerstört waren. Ob Muriden oder Arvicolen die Täter gewesen sind, ließ sich an den Zahnsuren nicht genau erkennen; aber in der Wanderratte oder in der Wasserratte ist sicher der Feind zu erblicken. — Der Seeschildkröte ist Krumbach auf dem Meere selbst noch nie begegnet. Doch kann sie in der nördlichen Adria nicht selten sein, denn Marineflieger haben sie sehr oft beobachtet. Sie ist ein sehr geschickter und vorsichtiger Schwimmer, dem die bisherigen Fang- und Beobachtungsmethoden nicht recht beikommen können. Der Leiter der Zoologischen Station Rovigno régt daher an, daß der wissenschaftliche Beobachter der Meereswelt sich auch des Flugzeugs zur Erforschung seines Jagdgebietes bediene.

**Über die Herkunft der Knochenfische (Teleostier)** bringt P. A. Diets im *Zool. Anz.* Bd. 49, Nr. 3/4 eine vorläufige Besprechung. Der Autor befürwortet die Annahme, daß die Teleostier aus dem Süßwasser stammen und erst sekundär in das Meer übergegangen sind, wo sie allerdings zu einer ungeheuren Formentwicklung gelangten. Beim Übersehen des Systems der Teleostomen tritt hervor, daß nahe dem Ursprung nicht nur des Teleostomenstammes überhaupt (Ganoiden), sondern auch des Teleostierstammes (Physostomen) sowie der Acanthopteryier (Perciformes) und wahrscheinlich der noch in unsicherer Stellung verharrenden Cateostomen (Gasterostei) Süßwasserfische stehen. Diets glaubt der Bedeutung dieser Tatsachen am besten durch die Annahme gerecht zu werden, daß die Teleostomen aus elasmobranchierähnlichen Formen hervorgegangen sind, die aus dem Meere in die Gewässer des festen Landes übergingen. Vielleicht war dieser Übergang der direkte Anstoß zum Einschlagen einer ganz neuen Richtung, und es mag wohl eine gruppenweise Artbildung in ganz großartigem Maßstabe stattgefunden haben. So entstanden die vielgliederten Stämme, die man früher als Ganoiden zusammenfaßte; diese schickten ab und zu einige Zweige ins Meer zurück, ohne jedoch dort zu einer allzu reichlichen Entfaltung kommen zu können. In den Gewässern des trockenen Landes entstanden zu gleicher Zeit die Teleostier, die den Mutterstamm der Ganoiden allmählich verdrängten. Auch das neue Volk der Knochenfische versuchte zu wiederholten Malen das Meer zurückzuerobern, was ihm teilweise auch gelang, wie die wenigen das Meer bewohnenden Familien der Malacopterygier beweisen. Die Mehrzahl dieser Auswanderer war jedoch gezwungen, um standhalten zu können, sich in die Tiefen des Meeres zurückzuziehen, wo sie noch Gelegenheit zu reichlicher Entfaltung der bizarrsten Formen vorfanden. Der „große Wurf“ gelang jedoch nicht eher, als bis, immer noch in der Abgeschlossenheit der süßen Gewässer, die Teleostier sich zu höheren Acanthopterygoiden oder speziell percidenähnlichen Formen emporgearbeitet hatten. Erst damals glückte es, das hohe Meer endgültig für den ihm ursprünglich fremden Stamm der Teleostier zu erobern, dessen Zweige sich in erstaunlicher Fülle und Mannigfaltigkeit entwickeln konnten, wie dies in unseren jetzigen Meeren der Fall ist. Eine Bestätigung seiner Ansicht sieht Diets in gewissen physiologischen

Befunden. Nach den Untersuchungen *Dekhuysens* besteht ein fundamentaler Gegensatz zwischen der osmotischen Konzentration des Blutes der Elasmobranchier einerseits, der Teleostier andererseits. Bei jenen ist sie sehr hoch und stimmt ungefähr mit derjenigen des Meerwassers überein; bei den Knochenfischen ist sie weit geringer und der Blutkonzentration der süßwasserbewohnenden Amphibien gleichzustellen. Und zwar gilt dies sowohl für die marinen als auch für die sich im Süßwasser aufhaltenden Teleostier.

**Wie entstehen die Gamskugeln?** Diese Frage beantwortet *M. Merk* im „*Zoologischen Beobachter*“ Jahrgang 58, Nr. 2/3. Der Gams leckt sich sehr häufig die „Decke“; das Hären bei ihm erstreckt sich rastlos und langsam stetig über das ganze Jahr, und so hat der leckende Gams das ganze Jahr über mit der Möglichkeit zu rechnen, Haare in die Verdauungswege zu bekommen. In der Brunft leckt der Gamsbock sehr eifrig die Geiß an verschiedenen Körperstellen, und so können auch auf diesem Wege Haare in den „Äser“ gelangen. Eine dritte Möglichkeit ergibt sich aus dem Beleben der Kitze durch die Geiß. Die Haare von der „Decke“ eines frisch gesetzten Kitzes sind feucht und kleben bei ihrer zarten und seidigweichen Beschaffenheit leicht zusammen. Aber auch die straffen und verhältnismäßig harten Haare vom Altgams müssen sich verfilzen, sobald sie in die Verdauungswege durch das Lecken gelangen. Sie werden eingespeichelt, mit anderen unverdaulichen Gemengteilen vermischt, machen die Magenbewegungen, die mit dem Wiederkäuen zusammenhängen, mit, werden gedreht, gerieben, geknetet und poliert. Bei der Äsung von Latschen kommen dem Gams Rindenstückchen, Harzteilehen und ähnliche unverdauliche Dinge in das Geäse, daneben hartstielige Pflanzenteile, verholzte Stengel, die befiederten Samen vom Almrügei, *Pulsatilla alpina*, *Clematis*samen, bei der Pilzäsung allerlei Stengel- und Nadelzeug und sonstiges hartes Gekrümel, das sich dann mit „Pech“ und Haaren vermenget und mit ihnen verklebt, verfilzt und gerieben wird. So entstehen die Gamskugeln, die die Größe einer Walnuß bis zu der eines Hühnereies erreichen. Sie sind keine pathologische Erscheinung, sondern fanden sich bei Stücken, die sich ganz munter ästen und in jeder Weise bekundeten, daß sie völlig gesund waren.

**Über das „Knacken“ bei einigen Paarhufern, besonders beim Rentier,** handelt ein Aufsatz von *E. Mohr* im *Biolog. Zentralbl.* Bd. 37, Nr. 4. Die Rentiere bringen beim Laufen eigentümlich knisternde oder knackende Geräusche hervor, die viele Meter weit zu hören sind. Über das Zustandekommen dieses Knackens ist man sich bisher nie recht klar gewesen. *Brehm* glaubte zunächst annehmen zu dürfen, daß es von dem Zusammenschlagen des Geäßters herrühre, überzeugte sich aber bald von der Unrichtigkeit dieser Ansicht. So blieb ihm nur die Annahme übrig, daß das Geräusch im Innern des Gelenkes entsteht, ähnlich wie wenn wir einen Finger anziehen bis er knackt. Diese Ansicht verfochten auch die Lappen, die *Brehm* in Norwegen befragen ließ, sowie die norwegischen Forscher. Ein Versuch, den man gemacht hat, sprach freilich dagegen. Man wickelte einem Rentier Leinwand um Hufe und Afterklauen und vernahm dann nicht das geringste Geräusch mehr. *Mohr* stellte fest, daß das Knacken der Rentierfüße beim Aufheben ge-

schieht und versucht folgende Erklärung: Im Verhältnis zu anderen Hirschen bilden beim erwachsenen Rentier die Phalangen mit dem Metacarpus einen weniger stumpfen Winkel, wodurch das Tier tiefer gestellt, kurzbeiniger erscheint als andere Hirsche. Die Klauen klaffen weit auseinander, was dem Tiere von Vorteil sein mag bei dem Begehen der Schnee-, Sumpf- und Tundraflächen seiner Heimat. Beim Niedersetzen des Fußes werden die Phalangen gegen den Metacarpus so weit gebogen, daß zwischen diesem und jenen durch Überspannung der Synovialhaut ein luftleerer Raum entsteht. In dem Augenblick, in dem das Tier den Fuß wieder zu heben beginnt, entspannt sich die Synovialhaut, durch den äußeren Luftdruck wird das Synovialfett plötzlich gegen die Hartteile des Gelenkes gepreßt und verursacht so durch das Aufschlagen des Fettes das Geräusch. Daß das Knacken aufhört, wenn man dem Tiere Leinwand um die Füße wickelt, kommt daher, daß durch den Verband einerseits der Fuß im Gelenk so weit eingeeengt, gefestigt und steil gestellt wird, daß er sich nicht so weit senken kann, um einen luftleeren Raum entstehen zu lassen, andererseits aber auch die Weichteile um das Gelenk so eingeeengt und zusammengepreßt werden, daß diese gleichfalls die Funktion nicht auszuüben imstande sind, die das Knacken beim Rentierfuß hervorrufen. Eine Stütze seiner Ansicht ergab sich für *Mohr* aus einer Beobachtungsreihe am Rentierkalb. Im Zoologischen Garten zu Hamburg wurde am 19. Mai 1916 ein solches geworfen. Es lief vollständig geräuschlos. Als es etwa einen Monat alt war, wurde die Fußstellung gezeichnet. Die Zehenglieder setzten fast in gerader Linie an den Metacarpus an, und die Klauen waren fest geschlossen. Beim Niedersetzen des Fußes wurde der Winkel zwischen Phalangen und Metacarpus nur unwesentlich spitzer. Es war also gar keine Gelegenheit, die für das Knacken erforderlichen Vorbedingungen zu schaffen, und das Tierchen lief lautlos. Am 29. Juli ließ sich zunächst am Vorderfuß ganz vereinzelt ein leichtes Geräusch hören. In dem Maße als sich die Füße des Rentierkalbes immer mehr senkten, trat das Knacken immer deutlicher und mit immer größerer Häufigkeit auf und erreichte im Oktober dieselbe Regelmäßigkeit wie beim erwachsenen Tiere. Die ganze Entwicklung des Fußes hatte also etwa fünf Monate gedauert. Das frühere Auftreten des Geräusches an den Vorderfüßen erklärt sich daraus, daß diese, wohl infolge der stärkeren Belastung, sich schneller entwickeln als die Hinterfüße. — Stark knisternde Hirsche sind außer dem Rentier der Elch und der nordchinesische Davidshirsch oder Milu. Beide bieten in der Fußstellung das gleiche Bild wie das Rentier; dagegen stehen die Elenantilope und das Mähnschaf, die ebenfalls knacken, zu steil, als daß für sie die beim Rentier erörterten Verhältnisse zutreffen könnten. Hier muß ein anderer Erklärungsversuch gemacht werden, den *Mohr* vorläufig nicht zu geben vermag. Auch ist es ihm noch völlig unklar, welche Bedeutung das Knacken für das Tier hat. Zweckmäßig dürfte es kaum sein. Bei Rentier, Elch und Milu ist es zweifellos Begleiterscheinung zur Anpassung ans Gehen auf weichem Grunde, bei der Elenantilope und beim Mähnschaf eine Folge der Belastung. Die Körperlast läßt die Hufe etwas auseinanderklaffen und größere und sicherere Stützflächen gewinnen, und je nach der Größe des Körpergewichtes ist auch die Stärke des hervorgerufenen Geräusches verschieden groß. *W. May, Karlsruhe.*

## Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

## Redaktion der „Naturwissenschaften“

Berlin W 9, Link-Str. 23/24.

Manuskripte aus dem Gebiete der biologischen Wissenschaften wolle man an Prof. Dr. A. Pütter, Bonn a. Rh., Coblenzer Str. 89, richten.

erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 24.— für den Jahrgang, M. 6.— für das Vierteljahr, bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt 60 Pf.

Anzeigen werden zum Preise von 50 Pf. für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich	6	12	24	52 maliger Wiederholung
	10	20	30	40% Nachlass.

Verlagsbuchhandlung von Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.  
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050-53. Telegrammadresse: SpringerBuch.  
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank, Depositen-Kasse C.  
Postscheck-Konto: Berlin Nr. 1150.

## Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Vor kurzem erschien:

### Neuere Anschauungen über den Bau und den Stoffwechsel der Zelle

Von **Emil Abderhalden**

o. ö. Professor der Physiologie an der Universität Halle  
Zweite Auflage  
Preis M. 1.—

### Die grossen Handbücher



von Abderhalden, Abegg, Bredig, Dammer, Doelter, Gmelin-Krauth, Hertwig, Kolle, Wassermann, Lueger, Lunge, Muspratt, Richter, Rubner, Ullmann, Winkelmann u. A. werden zur **Erleichterung der Anschaffung** gegen bequeme Monats- oder Quartalsraten ohne Preisaufschlag franko geliefert von

**Hermann Meusser, Buchhandlung**  
Berlin W 57/9, Potsdamerstr. 75

## Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Vor kurzem erschien:

## Die Konstitutionelle Disposition zu inneren Krankheiten

Von Dr. **Julius Bauer**

Wien

Mit 59 Textabbildungen — Preis M. 24.—; in Leinwand gebunden M. 26.40

Vor kurzem erschien:

## Morbus Basedowi und die Hyperthyreosen

Von

Dr. **F. Chvostek**

Professor der Internen Medizin an der Universität Wien

Preis M. 20.—; in Halbfranz gebunden M. 25.80

(Bildet ein Band des Speziellen Teils der „Enzyklopädie der klinischen Medizin“.  
Herausgegeben von L. Langstein-Berlin, C. v. Noorden-Frankfurt a. M.)  
C. v. Pirquet-Wien, A. Schittenhelm-Kiel.)

**Zu beziehen durch jede Buchhandlung**

---

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

---

# Kryptogamenflora für Anfänger

Eine Einführung in das Studium der blütenlosen Gewächse für Studierende u. Liebhaber

Herausgegeben von

**Prof. Dr. Gustav Lindau**

Privatdozent der Botanik an der Universität zu Berlin, Kustos am Kgl. Botan. Museum zu Dahlem

Erster Band:

## Die höheren Pilze (Basidiomyceten)

Von Prof. Dr. Gustav Lindau

Mit 607 Figuren im Text — Zweite, verbesserte Auflage. Preis gebunden M. 8,60

Zweiter Band:

## Die mikroskopischen Pilze

Von Prof. Dr. Gustav Lindau

Mit 558 Figuren im Text — Preis M. 8,—; gebunden M. 8,80

Dritter Band:

## Die Flechten

Von Prof. Dr. Gustav Lindau

Mit 306 Figuren im Text — Preis M. 8,—; gebunden M. 8,80

Vierter Band, Teil I u. II:

## Die Algen

Von Prof. Dr. Gustav Lindau

Erste Abteilung: Mit 489 Fig. — Preis M. 7,—; geb. M. 7,80

Zweite Abteilung: Mit 437 Fig. — Preis M. 6,60; geb. M. 7,40

Vierter Band, Teil III:

## Die Meeresalgen

Von Prof. Dr. Robert Pilger

Dritte Abteilung: Mit 183 Figuren. — Preis M. 5,50

Fünfter Band:

## Die Laubmoose

Von Dr. Wilhelm Lorch

Mit 265 Figuren im Text — Preis M. 7,—; gebunden M. 7,80

Sechster Band:

## Die Torf- und Lebermoose

Von Dr. Wilhelm Lorch

Mit 296 Figuren im Text

## Die Farnpflanzen (Pteridophyta)

Von Guido Brause, Oberstleutnant a. D.

Mit 73 Figuren im Text — Preis M. 8,40; gebunden M. 9,20

---

Zu beziehen durch jede Buchhandlung

---