



Schriften  
des  
Vereines zur Verbreitung  
naturwissenschaftlicher Kenntnisse  
in  
Wien.





Populäre Vorträge  
aus allen Fächern  
der  
Naturwissenschaft.

Herausgegeben  
vom Vereine zur Verbreitung naturwissenschaftlicher  
Kenntnisse in Wien.

Sechundsiebzigste Vortragsreihe.

---

**Wien 1936.**

Im Selbstverlage des Vereines zur Verbreitung natur-  
wissenschaftlicher Kenntnisse in Wien.

Kommissionsverlag für Deutschland und das übrige Ausland:  
Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig.

# Schriften des Vereines

zur Verbreitung

## naturwissenschaftlicher Kenntnisse

in Wien.

Sechundsiebzigster Jahresbericht.

Vereinsjahr 1935/36.

---

**Wien 1936.**

Im Selbstverlage des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien.

Kommissionsverlag für Deutschland und das übrige Ausland:  
Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig.

Für den Inhalt der Vorträge sind die Verfasser  
verantwortlich.

Für den Vortrags- und Redaktionsausschuß:  
**Prof. Dr. Karl Höfler.**

Druck von Adolf Holzhausens Nachfolger  
Universitäts-Buchdrucker in Wien

## Bericht über das 76. Vereinsjahr 1935/36.

Unser Vereinsjahr begann mit der Festsitzung, die anlässlich des 75jährigen Bestandes unseres Vereines am 13. November 1935 in Gegenwart der Vertreter des Bundesministeriums für Unterricht, der Akademie der Wissenschaften, der Wiener Hochschulen, wissenschaftlicher Gesellschaften und Vereinigungen sowie zahlreicher Mitglieder, Festgäste und Freunde unseres Vereines stattfand. Nach der Eröffnung durch den Vizepräsidenten gab Reg.-Rat Dr. Walter Bredl einen kurzen Rückblick auf die Geschichte des Vereines. Sodann hielt Prof. K. Höfler den Festvortrag „Zellphysiologie“.

Überaus zahlreiche ehrende Glückwunschschriften waren uns anlässlich des Jubiläums zugekommen. Die freundlichen Grüße aus nah und fern zeigten uns von neuem, wie tief verwurzelt unser Verein im naturwissenschaftlichen Leben der Zeit ist, wie starke Bande ihn mit den führenden Vereinigungen gleicher Bestrebungen des In- und Auslandes verbinden. Glückwünsche liefen u. a. von folgenden Akademien, Gesellschaften, Instituten und Vereinen ein:

Akademie der Wissenschaften in Wien  
Preußische Akademie der Wissenschaften, Berlin  
Bayrische Akademie der Wissenschaften, München  
Kaiserl. Leopold.-Carolin. Deutsche Akademie der Naturforscher, Halle  
Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen

Königsberger Gelehrte Gesellschaft  
Königl. Sozietät der Wissenschaften zu Upsala  
Regia Societas Scientiarum Bohemica, Prag

Naturhistorisches Museum in Wien  
Geologische Bundesanstalt in Wien  
Gesellschaft der Ärzte in Wien  
Österr. Ingenieur- und Architekten-Verein, Wien  
Volksbildungshaus Urania, Wien  
Zoologisch-Botanische Gesellschaft, Wien  
Wiener Biologische Gesellschaft  
Österreichische Gesellschaft für Meteorologie, Wien  
Mikrographische Gesellschaft, Wien  
Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen  
    Unterrichtes in Wien  
D. u. Ö. Alpenverein, Sekt. Österr. Touristenklub, Wien  
Verein Naturkundliches Museum für Kärnten, Klagenfurt

Deutsche Botanische Gesellschaft, Berlin  
Botanischer Verein der Provinz Brandenburg, Berlin  
Mathematische Gesellschaft, Hamburg  
Verein für naturwissenschaftliche Heimatforschung, Hamburg  
Deutsches Museum, München  
Polytechnischer Verein in Bayern, München  
Naturwissenschaftliche Gesellschaft, Dresden  
Sächsische Gesellschaft für Botanik und Gartenbau, Dresden  
Naturforschende Gesellschaft des Osterlandes, Altenburg  
Schlesische Gesellschaft für vaterländische Kultur, Breslau  
Naturforschende Gesellschaft zu Rostock  
Physikalischer Verein, Frankfurt am Main  
Senkenbergisches Museum, Frankfurt am Main  
Der Naturhistorische Verein der preußischen Rheinlande  
    und Westfalens, Bonn  
Westpreußischer Botanisch-Zoologischer Verein, Danzig  
  
Schweizerische Naturforschende Gesellschaft, Basel  
Società Adriatica di scienze naturali, Trieste



Nederlandsche Botanische Vereeniging, Wageningen  
The Linnean Society of London  
Naturforscher-Verein zu Riga  
Meteorologische Zentralanstalt, Helsingfors  
Smithsonian Institution, Washington

Allen, die am Festtage unser gedachten, sei auch an dieser Stelle nochmals unser herzlichster Dank ausgesprochen.

In der außerordentlichen Generalversammlung, die der Festsitzung des Vereines voranging, hat der Verein zwei hochverdiente Mitglieder, den auf dem Gebiet der Chirurgie hervorragenden Forscher und Lehrer Herrn Hofrat Prof. Dr. Anton Frh. von Eiselsberg und Herrn Reg.-Rat Dr. Walter Bredl, der als eines der ältesten, treuesten Mitglieder um den Wiederaufstieg unseres Vereines die größten Verdienste hat, einstimmig zu Ehrenmitgliedern gewählt.

Im weiteren Vereinsjahr erfreuten sich unsere Vorträge wieder dauernd eines regen Besuches. Die Zahl der Mitglieder hielt sich etwa auf gleicher Höhe.

In der ordentlichen Generalversammlung, die am 18. März 1936 stattfand, machte uns unser Präsident, Prof. Dr. Fritz Machatschek, unter dessen Vorsitz der Verein in eine Periode neuer Blüte eingetreten war, die Mitteilung, daß er durch seine Berufung an die Universität München genötigt sei, von der Leitung zurückzutreten.

Als sein Nachfolger wurde Prof. Dr. Alfred Himmelsbauer, Direktor des mineralogisch-petrographischen Instituts der Wiener Universität, einstimmig zum Präsidenten gewählt und hat den Vorsitz des Vereines übernommen.

## — VIII —

Die Beiträge der Mitglieder bleiben unverändert;  
sie betragen demnach:

für ordentliche Mitglieder . . . . .	S 8.—
für unterstützende Mitglieder und für Familienkarten	„ 12.—
für Schulen (Vortragsbesuch nur für den Lehrkörper) . . . . .	„ 5.—
für Mitglieder der Jugendgruppe, d. i. für Schüler aller Haupt-, Mittel- und Hochschulen bis zur Beendigung ihrer Studien, höchstens jedoch bis zum vollendeten 25. Lebensjahr . . . . .	„ 4.—
Für einen einmaligen Zutritt zu einem Vortrage	„ 1.—
für Mittel- und Hochschüler bei Studiennachweis	„ —.20.

Die Kassagebarung des Vereines im 75. Jahre seines Bestandes (vom 1. November 1934 bis 31. Oktober 1935) ergab nach dem vom Kassier unseres Vereines, Herrn Reg.-Rat Dr. Walter Bredl, erstatteten und von den Rechnungsprüfern für richtig befundenen Bericht folgendes Bild:

**Einnahmen:**

Beiträge der Vereinsmitglieder . . . . .	S 1290.20
Zinsen und Interessen vom Vereinsvermögen . . . . .	„ 35.60
Minus auf neue Rechnung . . . . .	„ 1359.01
Summe . . . . .	S 2684.81

**Ausgaben:**

Druck des Jahrbuches . . . . .	S 975.50
Barvergütung für die Herren Vortragenden . . . . .	„ 300.—
Dienerhonorare . . . . .	„ 68.20
Diverse: Verwaltungsauslagen, Porti und Spesen, Trinkgelder, Propaganda usw. . . . .	„ 240.50
Minus vom Vorjahre . . . . .	„ 1100.61
Summe . . . . .	S 2684.81

## Vereinsleitung für das 77. Vereinsjahr 1936/37.

Präsident: Dr. Alfred Himmelbauer, o. ö. Professor, wirkli.  
Mitgl. d. Akademie d. Wissenschaften (1936)

Vizepräsidenten: Dr. K. Höfler, a. o. Professor (1934)

— Dr. Theodor Pintner, o. ö. Professor, korresp.  
Mitgl. d. Akademie d. Wissenschaften (1934)

Sekretäre: Dr. Alfred Zeller, Universitätsassistent (1935)

— Dr. Ernst Rouschal, Universitätsassistent (1936)

Kassier: Dr. Walter Bredl, Reg.-Rat der Österreichischen  
Bundesbahnen (1935)

Ausschußräte: Dr. Julius Dreger, Hofrat, Chefgeologe der  
Geologischen Bundesanstalt (1935)

— Dr. Arnold Durig, Hofrat, o. ö. Professor, wirkli.  
Mitgl. d. Akademie d. Wissenschaften (1935)

— Dr. Gustav Jäger, Hofrat, o. ö. Professor, wirkli.  
Mitgl. d. Akademie d. Wissenschaften (1935)

— Dr. Josef Kenett, Hofrat, Zentralinspektor der  
Heilquellen Österreichs (1935)

— Dr. Fritz Knoll, o. ö. Professor, korresp. Mitgl.  
d. Akademie d. Wissenschaften (1936)

— Dr. Karl Kobes, Hofrat, o. ö. Professor (1936)

— Dr. Hans Molisch, Hofrat, o. ö. Professor, Vize-  
präsident d. Akademie d. Wissenschaften (1936)

— Dr. Heinrich Pawek, o. ö. Professor (1936)

— Ing. Otto Rotky, Sektionschef im Bundes-  
ministerium f. Handel u. Verkehr i. R. (1936)

— Dr. Josef Schaffer, Hofrat, o. ö. Professor, wirkli.  
Mitgl. d. Akademie d. Wissenschaften (1936)

Rechnungsprüfer: Alois Sauer, Gebäude-Oberinspektor der  
Boden-Credit-Anstalt i. P.

— Ing. Fritz Becke

## Verzeichnis der im 76. Vereinsjahr 1935/36 abgehaltenen Vorträge.

1935

13. Nov.: Feier des 75jährigen Bestandes.

Reg.-Rat **Walter Bredl**: Kurzer Rückblick auf die Geschichte des Vereines (vgl. Bd. 75 der Vereinschriften, S. I—XIII).

Prof. Dr. **Karl Höfler**: Zellphysiologie. Mit Lichtbildern und Mikroprojektionen.

20. Nov.: Prof. Dr. **Alfred Himmelbauer**: Über Steinsalz und seine Begleitminerale. Mit Demonstrationen.

27. Nov.: Dr. **Richard Biebl**: Im Lande der Rentiere. Mit Lichtbildern und Film.

4. Dez.: Doz. Dr. **Wolfgang Leithe**: Neuere Ergebnisse der Fettechemie.

11. Dez.: Prof. Dr. **Ferdinand Scheminzky**: Narkose durch chemische Mittel, Wärme und Strom. Mit Lichtbildern und Film.

1936

8. Jan.: Prof. Dr. **Adolf Stiegler**: Die physikalischen Grundlagen der Körperfarben. Mit Lichtbildern.

15. Jan.: Sektionsrat Dr. **Erich Veidl**: Die vollendete Großglocknerstraße. Mit Lichtbildern.

22. Jan.: Ing. **Alexander Niklitschek**: Neuere Mikroskoptechnik. Mit Lichtbildern und Vorführungen.

29. Jan.: Prof. Dr. **Georg Stetter**: Künstliche Radioaktivität. Mit Lichtbildern und Vorführungen.

5. Febr.: Dr. **Richard Wasičky**: Über Gifte und ihre Rolle im Völkerleben. Mit Lichtbildern.

12. Febr.: Dr. **Alfred Zeller**: Energiequellen des Lebens. Mit Lichtbildern.

19. Febr.: Prof. **Adolf Hnatek**: Der Aufbau der Sonne. Mit Lichtbildern.

4. März: Prof. Dr. **Karl Höfler**: Das Problem des Saftsteigens. Mit Lichtbildern.

11. März: Doz. Dr. **Wilhelm Kühnelt**: Geographische Rassenbildung im Tierreich und ihre Bedeutung für das Artproblem.

18. März: Prof. Dr. **Fritz Knoll**: Orchideen. Mit Lichtbildern und Vorweisungen.

# **Die physikalischen Grundlagen der Körperfarben.**

Von

**Prof. Dr. Adolf Stiegler.**

---

Vortrag, gehalten am 8. Jänner 1936.



Ich möchte daran erinnern, daß es Wahrnehmungen, bzw. Wahrnehmungsvorstellungen mittels unserer Sinne sind, die uns die Kenntnis unserer Umwelt vermitteln. Als Naturforscher nehmen wir sie als gegeben hin und bauen mit ihnen unsere Welt in Raum und Zeit auf. Sinneseindrücke, bzw. Empfindungen sind es also, die an Stelle der Dinge treten, die wir an sich nicht kennen.

Eine bevorzugte Rolle unter all den Empfindungen, die uns zur Verfügung stehen, nehmen die Empfindungen ein, die uns unser Auge vermittelt: die Farben. Eigentlich ist der Inhalt des Gesichtsfeldes eines Auges eine Mannigfaltigkeit von bunten und unbunten Farbflächen, die stetig oder unstetig ineinander übergehen.

Wir können demnach behaupten, daß diese Empfindung der Farbe, die wir Sehen nennen, eine rein subjektive psychologische Angelegenheit ist, die aber, wie wir wissen, immer durch ein objektives physikalisches Geschehen, einen Reiz, ausgelöst wird. Wir wissen, daß für das Sehen das Licht dieser Reiz ist, wir wissen auch, daß es, je nach den Entstehungsbedingungen dieses Lichtes, Farben ganz verschiedener physikalischer Natur gibt, die wir als Spektralfarben, Interferenzfarben, Farben dünner Blättchen, Oberflächenfarben, Farben trüber Medien, Farben der Farbstofflösungen, Körperfarben usw. bezeichnen.

Betrachten wir vorläufig aber einmal die einfache Farbempfindung, ohne uns zuerst um die physikalische Seite ihrer Entstehung zu kümmern. Als erstes fällt uns die Tatsache auf, daß es unendlich viele verschiedene Farben gibt. Wollen wir aber in diese Welt der Farbe Ordnung bringen, so tritt uns die Erfahrungstatsache entgegen, daß sich jede Farbe durch drei für sie konstante Bestimmungsstücke festlegen läßt. Helmholtz wählte den Farbton, die Sättigung und die Helligkeit. Es war ja nicht unbedingt erforderlich, gerade diese drei Bestimmungsstücke als Konstanten der Farbe zugrunde zu legen. Aber diese Wahl Helmholtz' hat sich bis heute bewährt und hat die Möglichkeit geboten, die Farben nicht nur qualitativ zu beschreiben, sondern auch quantitativ der mathematischen Behandlung zugänglich zu machen.

Unter dem Farbton ist jenes Etwas zu verstehen, wodurch sich alle anderen Farben von den Farben Weiß, Grau, Schwarz unterscheiden. Ostwald trennt auch sinngemäß alle Farben in bunte, also in Farben mit einem Farbton, und unbunte Farben, die Farben ohne Farbton. Die gesättigtsten, also farbtonreichsten Farben, die wir objektiv herstellen können, sind die Farben des Spektrums. Hier finden sich die meisten der Farbtöne des menschlichen Auges, wie Rot, Orange, Gelb, Gelbgrün, Grün, Blaugrün, Blau und Violett und deren Übergänge. Dabei wurden nur die wichtigsten Repräsentanten aufgezählt, für welche



uns die Sprache ein Wort zur Verfügung stellt. Es gibt allerdings noch bestimmte Farbtöne, die wir im Spektrum vergeblich suchen würden: die Purpurtöne. Diese erhalten wir durch Mischung von blauen und roten Lichtern des Spektrums. In den Spektralfarben treten uns, wie schon erwähnt, die Farbtöne besonders rein entgegen. Unter den Körperfarben, von denen wir allenthalben umgeben sind, ist, genau genommen, keine einzige, die wir als Farbe im Spektrum finden würden, und doch, wenn wir mit irgendeiner Körperfarbe durch das Spektrum wandern, das durch die Purpurtöne geschlossen ist, finden wir immer bloß eine einzige Stelle, wo diese Körperfarbe am besten hinpaßt. Diese Stelle des Spektrums gibt uns dann am augenscheinlichsten den Farbton der gefragten Körperfarbe.

Die zweite Größe ist die Sättigung. Der Name wurde in Analogie mit den Lösungen von Farbstoffen gewählt. Die Sättigung gibt uns sozusagen den Grad an, in dem in einer Farbe die farbige Qualität, das ist der Farbton, enthalten ist. Je ungesättigter eine Farbe ist, je weniger an Farbton also in einer Farbe enthalten ist, um so blasser, um so weißlicher empfinden wir sie. Es gibt eine stetige Reihe vom farbtönen, absolut ungesättigten Weiß bis zur vollgesättigten, uns aber unbekanntem, virtuellen Farbe, dem reinen Farbton.

Unter der Helligkeit verstehen wir die Stärke der Farbempfindung. Nehmen wir an, wir hätten

zwei farbige Blätter vor uns liegen, das eine orange, das andere braun. Die Untersuchung ergäbe gleichen Farbton, die gleiche Sättigung, und doch: infolge der differenten Helligkeit zwei grundverschiedene Farben. Tageslicht verhält sich in seiner Intensität im Lauf eines Tages unter Umständen wie 1 zu 1000. Trotzdem erscheinen uns beide Blätter immer, bei großen und kleinen Beleuchtungsstärken, gleich orange und gleich braun, denn das Verhältnis Farbton zu Sättigung ist in weiten Grenzen vom absoluten Wert der Helligkeit unabhängig. Es ist von grundlegender Bedeutung, daß unter normalen Verhältnissen unser Auge nur die relativen Helligkeiten zu erfassen imstande ist und niemals die absoluten.

Wir wissen, um nun die Brücke zur physikalischen Seite unseres Problems zu schlagen, daß die Farben des Spektrums in unserem Auge durch Licht einer ganz bestimmten Wellenlänge ausgelöst werden. Nur Wellenlängen im Bereiche von etwa 400 bis gegen 800  $m\mu$  vermögen überhaupt auf unser Auge als Reiz zu wirken. Kürzere und längere Wellenlängen vermögen es nicht mehr zu erregen, vermögen keinerlei Farb- oder Lichtempfindung auszulösen. Dagegen empfindet ein durchschnittlich normales Auge, wenn es z. B. von der Wellenlänge 475  $m\mu$  getroffen wird, Blau, 508  $m\mu$  Grün, 577  $m\mu$  Gelb, 630  $m\mu$  ein bestimmtes Orange.

Ganz anders sind die physikalischen Verhältnisse, durch welche die Körperfarben zustande kom-

men, von denen wir allenthalben umgeben sind, und mit denen wir uns in erster Linie beschäftigen wollen; denn Spektralfarben kommen in der Natur fast nicht vor. Die Verhältnisse lassen sich aber einfacher durchschauen, wenn wir die eigentlichen Körperfarben vorläufig noch beiseite lassen und uns mit den sogenannten Farbstofflösungen etwas beschäftigen. Solche Farbstofflösungen sind z. B. blaues Kupfersulfat in Wasser gelöst, gelber oder roter Wein, Tinten, Liköre, Öle oder eine Lösung des Pflanzenfarbstoffes Anthozyan oder eine alkoholische Chlorophylllösung oder Filter aus bunten Gläsern oder gefärbte Gelatinfolien. Schicken wir weißes Licht durch eine durchsichtige solche Farbstofflösung und prüfen es dann im Spektroskop, so sehen wir, daß z. B. durch solch ein gelbes Filter nicht vielleicht nur eine bestimmte Wellenlänge durchdringt, nicht auch vielleicht nur ein Gemisch aus Wellenlängen, die uns jede für sich gelb erscheinen würde, sondern fast alle Wellenlängen des Spektrums dringen durch, nur die kürzesten sind nennenswert geschwächt oder fehlen, die Wellenlängen, die unserem Auge für sich allein blau oder violett erscheinen würden. Grün erscheint uns weißes Licht durch eine Farbstofflösung dann, wenn die langen und die kurzen Wellenlängen stärker verschluckt werden als die mittleren und nur diese in größerem Ausmaße die Lösung zu durchdringen vermögen. Freilich sind die Verhältnisse oft recht kompliziert, und es finden sich die Spektren oft von Ban-

den durchzogen. Wir können also sagen, wenn bestimmte Wellenlängenbereiche beim Durchgang durch ein Medium in höherem Ausmaße absorbiert werden als andere, so erscheint uns der betreffende Körper meist bunt. Werden aber alle Wellenlängen des Tageslichtes um den gleichen Betrag geschwächt, so erscheint uns ein solcher Filter gegen Tageslicht in unbuntem Grau. Werden dagegen alle Strahlen unbehindert von dem Medium durchgelassen, so haben wir einen farblosen durchsichtigen Körper vor uns, wie z. B. Glas, Luft, Wasser, Diamant, Kalkspat.

Freilich, absolut lichtdurchlässige Körper gibt es nicht, und in den Tiefen des Weltmeeres herrscht tiefste Finsternis. So wie es auch vollkommen undurchsichtige Körper, also Körper, die alles Licht restlos verschlucken, nicht gibt. Ruß in entsprechend dünner Schicht läßt rotes Licht durch, ebenso schwarzer Hartgummi oder Holz, Gold grünes und Silber violettes.

Warum verhalten sich nun die Medien so ganz verschieden gegen das Licht, welche Erscheinung ist es eigentlich, um die es sich dabei handelt? Nach dem Stande unserer heutigen Erkenntnis handelt es sich bei der selektiven Absorption des Lichtes um eine Resonanzerscheinung, wie sie uns von der Akustik her wohlvertraut ist, nur liegen die Verhältnisse komplizierter. Pflanzen sich die Schallwellen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 333 m in der Luft fort, und sind mechanische Gebilde, wie Saiten, Fen-

sterscheiben, Stimmgabeln, die Resonatoren, die in Schwingung versetzt werden, so die elektromagnetische Strahlung des Lichtes im hypothetischen Äther mit einer Geschwindigkeit im Vakuum von nahezu 300.000 km pro Sekunde, und als Resonatoren fungieren die sogenannten Valenzelektronen der Atome, das sind die mit geringstem Energieaufwand abtrennbaren Elektronen der äußersten Schale eines Atoms.

Denn das heute bereits allgemein bekannte, vielleicht inzwischen schon wieder historisch gewordene Rutherford-Bohrsche Atommodell ermöglicht auch für unser Problem der Farbentstehung bestimmte plausible Vorstellungen. Nach Rutherford besteht das Atom aus einem positiv geladenen Kern bestimmter Ladung und Masse, der von negativen Elektronen umkreist wird. Wasserstoff hat die Masse 1 und positive Kernladung 1 und wird von einem negativen Elektron umkreist. Helium mit Masse 4 und Kernladung 2 von zwei Elektronen, Kohlenstoff z. B. mit Masse 12 und Kernladung 6 von sechs Elektronen, und das Uran, dieses größte und komplizierteste aller Atome, wird bei einer Masse 238 und Kernladung 92 von 92 Elektronen umkreist. Bohr baute nun das Wirkungsquantum Plancks in dieses Rutherfordsche Atommodell ein. Auf Grund seines Ansatzes kann von einem Atom Energie nur in bestimmten, quantenmäßig festgelegten Beträgen aufgenommen werden; denn die Elektronen können nach diesem Ansatz sich nicht mehr, wie die Planeten um die Sonne, mit be-

liebigen Radius um den Kern bewegen, sondern nur mehr auf einzelnen erlaubten diskreten Bahnen, deren Radien bei dem am einfachsten gebauten Wasserstoff sich wie 1 : 4 : 9 : 16 usw. verhalten. Auf solchen verschiedenen Bahnen haben die Elektronen nun verschiedenen Energieinhalt. Soll nun ein Elektron von einer inneren Bahn auf eine äußere gehoben werden, so ist dazu eine bestimmte, nunmehr quantenmäßig festgelegte Anhubenergie notwendig, die nur von einem auftreffenden „Lichtimpuls“ gleichen Energieinhaltes geliefert werden kann. Die Energie eines Lichtimpulses ist bekanntlich gegeben durch das Produkt  $h \nu$ . Unter  $h$  versteht man eine konstante Größe, das sogenannte Plancksche Wirkungsquantum von der Dimension erg.sec., unter  $\nu$  die Frequenz des Lichtstrahles, d. h. die Zahl der Schwingungen pro Sekunde. Während einer Schwingung schreitet die Wellenbewegung des Lichtes um eine Wellenlänge  $\lambda$  fort, so daß wir zur bekannten einfachen Beziehung  $c = \nu \lambda$ , bzw.  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  kommen, wobei unter  $c$  die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zu verstehen ist. Da, wie wir oben gesehen haben, die Energie des Lichtes durch die Größe  $h \nu$  gegeben ist, empfiehlt es sich, an Stelle der bisher verwendeten Wellenlänge  $\lambda$  für vorliegende Betrachtung die Frequenz  $\nu$  zur Charakterisierung der Qualität des Lichtes zu verwenden. Nach seiner Anhubarbeit verschwindet der Lichtimpuls als solcher und seine Energie geht in die Energie des Atoms,

bzw. Elektrons über. Je höher die Frequenz des Lichtes, je kleiner also seine Wellenlänge, desto größer die Energie. Es wird also kurzwelliges Licht im allgemeinen wirksamer sein, größere Arbeit leisten können als langwelliges. Um zusammenzufassen: ein Lichtquant wird also dann und nur dann absorbiert, wenn die Energiedifferenz zweier Elektronenbahnen gleich ist der Energie  $h\nu$  des Lichtquants; dann stehen Licht und Atom in Resonanz, das Licht wird absorbiert.

Diesen einfachen Verhältnissen beim Atom, Verhältnissen, die sich ablesen lassen aus den Linienspektren der Elemente, überlagern sich aber starke konstitutive Einflüsse, wenn die Atome zum Molekülverband zusammentreten. Dadurch werden vermutlich mehr oder weniger starke Deformationen der Elektronenhüllen bedingt, wodurch einzelne Elektronen so weit aufgelockert werden, daß sie aus ihrer Bahn durch auftreffende Lichtquanten geringerer Energie gehoben werden können. Die Deformierbarkeit nimmt, wie die Erfahrung zeigt, mit steigender Atomgröße zu. Das Fluormolekül absorbiert im Ultraviolett, es ist schwach gelblich gefärbt. Das größere Chlor hat Absorptionsbanden bereits im Violett und ist grün. Beim Brom ist die Absorption weiter gegen den langwelligen Teil vorgeschritten, es ist rotbraun. Das schwerste der Halogene, das Jod, hat seine Absorptionsbanden für das sichtbare Licht im Rot und erscheint violett.

Die engen Beziehungen zwischen der Deformierbarkeit der Elektronenringe und der Farbe der chemischen Verbindungen hat K. Fajans aufgezeigt. Er hat erkannt, daß bei den heteropolaren Verbindungen die Deformierbarkeit der Anionen größer ist als die der Kationen. Es werden die Elektronen des Anions durch das Kation gelockert. Besonders leicht sind außer den Halogenen, die mit ansteigender Atomgröße eine leichtere Deformierbarkeit und entsprechend eine ansteigende Farbvertiefung vom Chlorid über das Bromid zum Jodid aufweisen, das Sauerstoffion und das Schwefelion deformierbar. Sauerstoff absorbiert sonst erst im Ultraviolett. Durch die anziehende Wirkung des Kations werden die Elektronen so gelockert, daß schon im sichtbaren Licht Quantensprünge auftreten; die meisten Oxyde sind dunkel oder schwarz gefärbt. Der leichten Deformierbarkeit des Schwefelions verdanken wir die bunt gefärbten Sulfide, von denen wir einzelne, wie Zinnober oder Kadmiumgelb, direkt als Pigmente verwenden.

Dagegen sind die Ionen  $F^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $ClO_4^-$  schwer deformierbar. Kupfersulfat ist in wasserfreiem Zustande farblos; denn Kupferion  $Cu^{++}$  ist an sich also farblos.  $CuCl_2$  dagegen ist infolge des leichter deformierbaren  $Cl^-$ -Ions braungelb gefärbt. Kupferbromid  $CuBr_2$  ist bereits schwarz, und Kupferjodid  $CuI_2$  existiert nicht mehr, das  $Cu^{++}$  Ion entreißt einem Jodion bereits ein Elektron und zerfällt in  $CuJ$  und  $J$ . Wenn nun das  $Cu$ -Ion im Wasser blau ist, so ist dies



darauf zurückzuführen, daß sich an das Kupferion Wassermoleküle anlagern, die deformierbar sind und für Teile des sichtbaren Lichtes Quantensprünge ermöglichen. Kupferionen in Ammoniak sind noch intensiver gefärbt, da sich die an das Kupfer anlagernden  $\text{NH}_3$ -Moleküle erfahrungsgemäß noch leichter als Wasser deformieren lassen. Auch das zweiwertige und dreiwertige Eisen ist an sich, so wie Kupfer, farblos. Im allgemeinen deformiert ein Kation vom Edelgastypus sein Anion um so mehr, je höher seine Ladung ist, bzw. je kleiner sein Radius. So sind es also bei den anorganischen, aus Ionen aufgebauten Salzen vor allem die mittelständigen, drei-, vier- und fünfwertigen Atome einer Periode des Systems der Elemente, die solche gefärbter Natur bilden. Auch für die gefärbten Komplexsalze, wie Berlinerblau oder Turnbullblau, spielt die Deformation eine wichtige Rolle. Ähnlich der Anlagerung des Wassers oder Ammoniaks an das farblose  $\text{Cu}^{++}$ -Ion lagern sich  $\text{CN}'$ -Ionen an farblose  $\text{Fe}^{++}$ - oder  $\text{Fe}^{+++}$ -Ionen an, wodurch die Farbe zustande kommt. Gerade die stark deformierenden mehrwertigen Kationen der Schwermetalle sind in Kombination mit leicht deformierbaren  $\text{CN}'$ ,  $\text{NO}_2'$  oder  $\text{NH}_3$  typische derartige Komplexbildner.

Unter den Verbindungen homöopolaren Baues mit den typisch heteropolaren, nach K. Fajans durch mannigfaltige Übergänge verbunden, finden sich zahllose gefärbte. Hierher gehören die zahlreichen Kohlenstoffverbindungen. O. N. Witt zeigte nun ganz allgemein

für organische Farbstoffe, daß die Vorbedingung für den Farbstoffcharakter einer Verbindung die Anwesenheit einer „chromophoren“ Gruppe ist. Diese Chromophore enthalten durchwegs Doppel- oder Mehrfachbindungen, stellen also ungesättigte Gruppen dar. In diesen Lücken im Molekül erfolgt die Auflockerung der Elektronen. Hier ist der Sitz der Lichtabsorption, bzw. der Farbentstehung zu suchen. Die Wirkung solcher für sich allein noch schwacher Chromophore wird durch das Vorhandensein mehrerer im Molekül, die dann in der Regel voneinander nicht unabhängig sind, bedeutend verstärkt. Die wichtigsten dieser Chromophorengruppen sind:

$= C = C =$  Äthylengruppe; die Indigofarbstoffe verdanken ihr ihren Farbstoffcharakter;

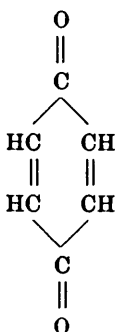
$= C = O$  Carbonylgruppe;

$- N = N -$  Azogruppe; sie findet sich in der Legion der sogenannten Azofarbstoffe;

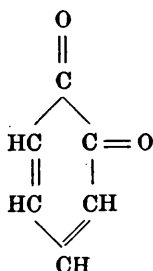
$- N = O$  Nitrosogruppe mit ihrer starken chromophoren Wirkung, wenn sie direkt an ein Kohlenstoffatom gebunden ist;

$- N \ll \begin{matrix} O \\ O \end{matrix}$  Nitrogruppe.

Die Erhöhung der Wirksamkeit beim Zusammentreten von verschiedenen Chromophoren zeigen z. B. die Chinone, die Stammsubstanzen zahlreicher Farbstoffe, in denen vier Äthylengruppen mit zwei Karbonylen gekuppelt sind.



Para-Chinon, gelb.



Ortho-Chinon, rot.

Die Entstehung des Para-Chinons aus dem farblosen Hydrochinon kennt jeder Photograph, der das „Braunwerden“ des bekannten Metol-Hydrochinon-Entwicklers an der Luft beobachtet hat.

In der aromatischen Reihe liegen die Verhältnisse etwas anders. Benzol hat starke Absorptionsbanden erst im Ultraviolett. Durch das Einführen von chromophoren Gruppen rückt das Absorptionsgebiet zwar ins Sichtbare vor, ohne daß aber ein ausgesprochener Farbkörper zustande kommt. Das Nitrobenzol  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$  mit der Nitrogruppe als Chromophor ist nur schwach gelb. Um starke Absorption, satte Farbtöne zu bekommen, ist noch ein zweiter Faktor erforderlich. Außer der chromophoren Gruppe muß noch eine weitere Gruppenart, Auxochrom genannt, welche für sich keine chromophore Eigenschaft aufweist, direkt mit dem Kern des Benzolringes verkettet werden: Solche farbvertiefende auxochrome Gruppen sind

$\text{NH}_2'$ ,  $\text{OH}'$ ,  $\text{SO}_3\text{H}'$ ,  $\text{CO}_2\text{H}'$ . Das schwach gelbe Nitrobenzol wird durch Anlagerung des Auxochroms  $\text{NH}_2'$  zum schön orangeroten Nitranilin  $\text{C}_6\text{H}_4 \cdot \text{NO}_2 \cdot \text{NH}_2$ , Benzolderivate mit chromophoren Gruppen, die durch Hinzutritt einer auxochromen Gruppe ihre Farbe vertiefen, nennt man bekanntlich Chromogene.

Man könnte es eigentlich als einen gewissen Zufall bezeichnen, wenn die Absorption ausgerechnet in das Gebiet des sichtbaren Lichtes fällt, also zwischen 400 bis 800  $\text{m}\mu$ . Im allgemeinen ist die Absorption auch nicht nur auf ein einziges Gebiet von Frequenzen beschränkt. Es folgen sich in gesetzmäßigem Wechsel Absorptions- und Transparenzgebiete. Bei einfachen Stoffen sind die Verhältnisse noch verhältnismäßig durchsichtig. Je komplizierter jedoch der Aufbau eines Stoffes, um so mehr Reihen mit verschiedenen Abstandsgesetzen finden sich.

Betrachtet man die molekular disperse Lösung eines solchen Farbstoffes im auffallenden Lichte, so besitzt sie keine Farbe; denn wenn man sie in so starker oder so gesättigter Schicht beobachtet, daß vom Untergrund nichts mehr an Licht reflektiert wird, so sieht eine solche Lösung, abgesehen von einer geringen weißen Oberflächenreflexion, schwarz aus. Dies können wir beobachten an den schwarzen Blütenblättern des Gartenstiefmütterchens. Es finden sich Epithelzellen, die so gesättigt sind mit purpur gefärbtem Anthozyan, daß selbst die Wellenlängen, für die es am durchlässigsten ist, vollkommen absorbiert werden. Die

Eigenfarbe einer Farbstofflösung ist also nur im durchfallenden Licht oder bei durchscheinendem Untergrund zu beobachten. Dem durchscheinenden Untergrund verdanken viele unserer Blütenfarben ihre Entstehung, z. B. die rote Pelargonienblüte; rot gefärbte transparente Epithelzellen liegen als einzellige Schicht über dem weißen Mesophyll. Aus dem gleichen Grunde werden Edelsteine mit Folien unterlegt.

Sehen können wir nur Dinge, die auffallendes Licht irgendwie zurückwerfen. Körper, die nun unmittelbar an ihrer Oberfläche das Licht remittieren, sind aber Ausnahmen. Im täglichen Leben kommen uns solche reine Oberflächenfarben eigentlich nur bei den Metallen unter. Hier haben wir tatsächlich den Sonderfall vor uns, daß vom auffallenden sichtbaren Licht alles (z. B. Silber) oder ein bestimmter Teil zurückgeworfen wird; der Rest aber bereits in einer Schicht absorbiert wird, deren Dicke in der Größenordnung der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes liegt (z. B. Kupfer und Gold). Diese Metallfarben zeichnen sich durch besonders hohe Sättigung aus, eine Sättigung, wie sie bei typischen Körperfarben niemals erreicht werden kann. Da das Licht von Metalloberflächen meist gerichtet reflektiert wird, weisen die Metalle auch den typischen Metallglanz auf.

Für die eigentlichen Körperfarben gelten andere Entstehungsbedingungen. Wir können die Oberfläche eines Körpers überhaupt nur dann sehen, wenn diese Fläche das auffallende Licht für unser Auge unge-

richtet, physiologisch diffus reflektiert. Dadurch erst werden die Oberflächen der Körper im Licht selbst sichtbar, während glatte Flächen als Spiegel wirken, selbst überhaupt im Idealfall nicht gesehen werden können, sondern nur die Bilder der vor ihnen stehenden Dinge.

Fragen wir uns aber, ohne vorläufig auf die physikalische Bedingung der Entstehung einzugehen, wie sieht das Licht, das von einem Blatt Papier, von der Haut des Menschen, von unseren Stoffen, von den

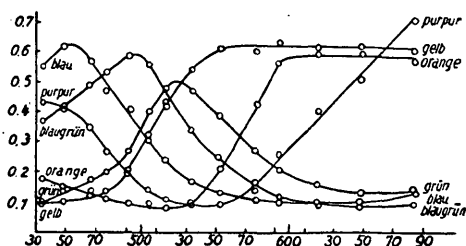


Fig. 1

Wänden unserer Zimmer, von einem grünen Laubblatt zurückgeworfen wird, aus, so sehen wir, daß diese Remissionsspektren ganz den bei Farbstofflösungen kennengelernten Spektren entsprechen. In nebenstehender Figur 1, die einer Arbeit von F. Kohlrausch entnommen ist, sieht man die Remissionsspektren für sechs Repräsentanten des Ostwaldschen Farbkreises n c. Auf der Abszisse sind die Wellenlängen, auf der Ordinate deren Helligkeiten aufgetragen. Diese einzelnen Ordinaten sind durch Vergleichsmessungen gegen ein Normalweiß im Spektralphotometer ermittelt.

Nachfolgende Figur 2, der gleichen Arbeit von Kohlrausch entnommen, auf Abszisse und Ordinate wieder wie in Figur 1 Wellenlängen und Helligkeiten aufgetragen, vermittelt uns die Beziehung zwischen der physikalischen Remissionsfunktion und der Empfindung von Sättigung und Helligkeit der Farben eines bestimmten Farbtones. Die ausgezogene Kurve ist die Remissionsfunktion für das reinste gelbe

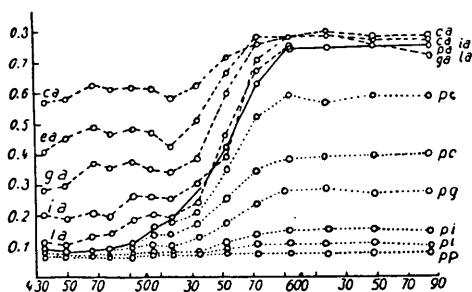


Fig. 2

Pigment *pa* Nr. 13 des Ostwaldschen Farbatlasses. Der Farbton entspricht einem Spektrallicht der Wellenlänge  $1 = 585 \mu\mu$ . In den Kurven *pc*, *pe*, *pg*, *pi*, *pl*, *pp* haben wir Remissionskurven satter Farben gleichen Farbtones, aber verschiedener Helligkeiten. Durch Integration der Spektralkurven der einzelnen Farben zwischen den Grenzen der beobachteten Wellenlängen lassen sich diese Helligkeiten auch zahlenmäßig erfassen.

In den Kurven *ca*, *ea*, *ga*, *ia* und *la* haben wir die Remissionskurven von Farben des gleichen gelben

Farbtönen, aber differenter Sättigung vor uns. Zahlenmäßig läßt sich die Sättigung als Anteil der reinen Farbe in Prozenten des Gesamtwertes der Farbe festhalten.

Ein Beispiel für eine ungesättigte Farbe geringer Helligkeit ist nicht vertreten; es läßt sich aber leicht ersehen, wie eine solche Kurve beschaffen sein müßte. Die Remission einer idealen reinweißen Fläche wäre durch eine Gerade in der Entfernung 1 parallel zur Abszissenachse gegeben. Ich möchte nur darauf aufmerksam machen, daß von diesen auserwählten Farben keine einzige wirklich voll gesättigt ist; stets überlagert sich etwas Weiß der bunten Farbe. Daß schließlich Schwarz dadurch zustande kommt, daß das gesamte auffallende Licht absorbiert wird, ist allgemein bekannt.

Durch die Remissionskurve eines Pigments ist jederzeit eindeutig die Farbe festgelegt, nicht aber können wir einer bestimmten Farbe eine bestimmte Remissionskurve zuordnen. Denn die Mannigfaltigkeit der Remissionskurven ist von ungeheurer Dimensionszahl, die der Empfindungen nur dreidimensional. Es muß also viele verschiedene Remissionskurven geben, die ein und dieselbe Farbe entspricht. Ich erinnere an die zahlreichen Komplementärfarben, die sich zu gleichem Weiß ergänzen.

Gehen wir nun auf die physikalischen Bedingungen für das Entstehen von Körperfarben näher ein, so muß ich zuerst an das allgemein bekannte Brechungs-



gesetz erinnern. Fällt ein Lichtstrahl auf eine Grenzfläche zwischen zwei Medien schief auf, so ändert er beim Eintreten in das zweite Medium meist seine Geschwindigkeit und Richtung. Das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeiten in Medien 1 und 2 ist gegeben durch den Brechungskoeffizienten  $n$ . Fast immer wird aber ein Teil der auffallenden Lichtenergie nach den bekannten Reflexionsbedingungen reflektiert. Der reflektierte Anteil ist nun um so größer, je größer der Brechungskoeffizient  $n$  zwischen den beiden Medien ist und je größer der Einfallswinkel. Nur wenn der Brechungskoeffizient zwischen zwei Medien gleich 1 ist, das heißt die Lichtgeschwindigkeit in beiden Medien die gleiche ist, tritt an der Grenzfläche weder Reflexion noch Brechung auf; der Lichtstrahl wird in seiner Richtung und Intensität an der Grenzfläche in keiner Weise verändert. Ein Beispiel dafür wäre Kanadabalsam und eine entsprechende Glassorte.

Es wird also z. B. von der Oberfläche des Glases gegen Luft immer ein bestimmter, wenn auch sehr geringer Anteil des Lichtes reflektiert. In der Hauptsache ist aber das Glas durchsichtig. Wenn wir aber das Licht nicht nur auf eine einzige Grenzfläche Luft-Glas, bzw. Glas-Luft auffallen lassen, sondern auf zahlreiche, dadurch, daß wir das Glas pulvern, so wird durch diese Vermehrung der reflektierenden Flächen aus dem durchsichtigen farblosen Glas ein Pulver mit typischer weißer Körperfarbe, da gleichzeitig durch die unregelmäßige Form und Lagerung der einzelnen

Glasteilchen die erforderliche physiologische diffuse Reflexion erzielt wird. Wir haben also zwei Bedingungen für das Entstehen der weißen Körperfarbe kennengelernt. Eine optische: Das Material darf keine selektive Absorption aufweisen, und der Brechungskoeffizient zwischen Material und Luft muß von 1 verschieden sein. Für Glas-Luft liegen die Brechungskoeffizienten je nach den Sorten des Glases zwischen 1.5 und 1.7. Und eine mechanische: Die einzelnen Teilchen müssen unregelmäßig gelagert und geformt sein, und ihr Dispersitätsgrad muß so groß sein, daß das Auge die Teilchen nicht mehr einzeln zu unterscheiden und erkennen vermag. Dies tritt ein, wenn der Sehwinkel für diese einzelnen Teilchen unterhalb der Unterscheidungsschwelle von einer Bogenminute liegt. Oft ist Luft eines der Gemengteile, wie in unserem Beispiele. Man spricht in diesem Fall auch häufig in Analogie zu Druck- und Mal Farben von der Luft als dem Bindemittel. Es ist aber für die Farbentstehung der Aggregatzustand belanglos. Im Bleiweiß in Harz dispergiert, in der weißen Glasur haben wir ein festes Bindemittel und einen festen Farbkörper, in der Milch haben wir das flüssige Bindemittel Wasser und in den Öltröpfchen einen flüssigen Farbkörper, im gelöschten Kalk haben wir die festen Kalkteilchen und Wasser als Bindemittel, im Schnee, Papier, in der Baumwolle, in den weißen Seidenstoffen haben wir wie bei unserem ersten Beispiel feste Farbkörperchen und Luft als gasförmiges

Bindemittel, im Seifen- und Bierschaum haben wir schließlich ein flüssiges Bindemittel und Luftbläschen als Farbkörper. Das Weiß der Blüten entsteht in gleicher Weise durch luftgefüllte Interzellularräume zwischen den farblosen Zellen.

Die Besprechung der Körperfarben haben wir mit dem Sonderfall des Weiß begonnen. Für die bunten Farben gelten die gleichen Bedingungen, nur muß der Farbkörper ein Farbstoff sein, der im Bereiche des sichtbaren Lichtes an bestimmten Stellen selektive Absorption aufweist und so aus dem Licht auf seinem Weg durch die zahlreichen Farbkörperchen einzelne Wellenlängenbereiche durch Absorption vernichtet. Eine oberflächliche Reflexion ist aber immer weiß, da alle Wellenlängenbereiche an dieser ersten Grenzfläche in gleichem Maße reflektiert werden. Werden aber auf dem weiteren Wege durch die Farbkörnchen nun z. B. die langwelligen, für sich allein rot erscheinenden Strahlen stärker absorbiert als die kürzeren und steigert sich dieser Vorgang auf dem Wege des Lichtes durch zahlreiche solche Farbkörnchen, so wird infolge der verschiedenen Brechungskoeffizienten von Bindemittel und Farbkörnchen dann ein großer Teil des eingedrungenen, nicht absorbierten Lichtes aus den tieferen Lagen allmählich wieder nach oben diffus reflektiert. Dies sind aber in unserem Beispiel in der Hauptsache die mittleren und kürzeren Wellenlängen, die in unserem Auge jetzt die Empfindung Blaugrün verursachen. Immer ist aber die jeweils

entstehende Farbe von einem Weiß überlagert, das aus den obersten Schichten stammt.

Die oben besprochenen Bedingungen für das Zustandekommen von Körperfarben sind besonders durchsichtig und leicht übersehbar bei Untersuchung der „Farben“, die als Maler-, Drucker-, Anstreicherfarben usw. ihre Verwendung finden. Ihre Untersuchung gewährt uns einen hervorragenden Einblick in die physikalischen Grundlagen aller Körperfarben.

Je nach ihrer Deckfähigkeit unterscheidet der Praktiker Deck- und Lasurfarben. Eine Farbe deckt, wenn sie, auch in dünner Schicht aufgetragen, vom Untergrund nichts mehr erkennen läßt. Eine Lasurfarbe verhält sich wie eine durchscheinende Farbstofflösung, die auch den Untergrund zur Wirkung kommen läßt.

In beiden Fällen sind Farbkörperchen und Bindemittel für sich durchsichtig. Bei den Lasurfarben ist aber der Brechungskoeffizient von Farbkörper und Bindemittel wenig verschieden, es erfolgt an der Oberfläche zwar weiße Reflexion, an den Grenzflächen Bindemittel — Farbkörperchen wird aber das Licht kaum nennenswert reflektiert, wohl aber unterliegt der Lichtstrahl auf seinem Wege durch die Farbkörperchen der selektiven Absorption. Vom Untergrund erfolgt sodann die diffuse Reflexion zurück nach oben. Eine solche Lasurfarbe verhält sich also trotz grob disperser Verteilung des Farbkörpers ganz ähnlich den oben besprochenen Farbstofflösungen. Für

die Deckfarben ist dagegen der Unterschied der Brechungskoeffizienten Bindemittel — Farbkörper groß. An der Oberfläche erfolgt wohl wieder weiße Reflexion, die Reflexion an den einzelnen Grenzflächen Farbkörperchen — Bindemittel ist aber so groß, daß schon in geringen Tiefen der durchgelassene Anteil Null wird, und das Licht den Untergrund kaum erreicht.

Die zweite Größe, die, wie wir bereits erkannt haben, für die Deckkraft eines Farbstoffes bedeutungsvoll sein muß, ist die Korngröße oder der Dispersitätsgrad. Eine gegebene Stoffmenge auf einer gegebenen Fläche deckt um so besser, je kleiner die Teilchen, bzw. je größer die Anzahl der Reflexionen ist. Doch hat dies seine Grenze dort, wie Ostwald erkannte, wo die Durchmesser der Farbkörper von der Größenordnung der Wellenlängen des Lichtes werden, also rund bei  $500\text{ m}\mu$ . Kleinere Teilchen bewirken keine regelmäßige Reflexion mehr, sie werden für das Licht wieder durchlässiger, wir kommen zuerst in den Bereich der kolloiden und schließlich der molekular-dispersen Lösungen. So wird Ruß durch starkes Dispergieren durchsichtiger.

Unter den Pigmenten kommt das Zinkweiß dem Optimum der Körnergröße recht nahe, und es deckt nahezu dreimal besser als das gröber disperse Bleiweiß, trotzdem letzteres den höheren Brechungskoeffizienten hat (2'04 gegen 2'01).

Korngröße des Bleiweiß 5 bis  $15\ \mu$ , des Zinkweiß 2 bis  $10\ \mu$ .

Dieses Bleiweiß ist ein Gemenge von festem Bleikarbonat und Bleihydroxyd. Legt man den Farbkörper in Öl ein, so kann man die beiden Gemengteile mikroskopisch differenzieren, vor allem, da sich das Hydroxyd durch Eosin anfärben läßt. Reines Bleikarbonat ist trotz seines hohen Brechungskoeffizienten noch eine recht mäßige Deckfarbe. Ein anderer, viel benützter weißer Farbstoff ist Lithopone, ein Gemenge von Bariumsulfat und Zinksulfid. Er deckt in Öl weitaus besser als die beiden Bestandteile allein. Alles scheint darauf hinzuweisen, daß bei Verlegung einer weiteren optischen Verschiedenheit in den festen Farbstoff selbst Deckfarben von besonders hoher Deckkraft herzustellen seien.

Unter Berücksichtigung der Korngröße scheint es auch, daß die kristalline Struktur der Deckfähigkeit besonders günstig ist. Dies kommt mit zunehmender Dispersität immer mehr und mehr zum Ausdruck. Amorphe Struktur scheint der Reflexion ungünstig zu sein. Mit ihr ist eher Lasurwirkung verbunden, bzw. mit zunehmender Dispersität steigt die Deckwirkung durch Absorption.

Viele unserer schönsten, von der modernen Industrie gelieferten Farbstoffe sind in wässrigen und nichtwässrigen Lösungsmitteln löslich. Sie wären also als Körperfarben unbrauchbar, da sie niemals in dem erforderlichen, grob dispersen Zustand in den Bindemitteln sich verteilen ließen. Solche Farben lassen sich aber in vielen Fällen auf bestimmten Farb-

stoffträgern oder Substraten, wie Tonerdehydrat oder Spat, niederschlagen, und durch diesen Kunstgriff bringt man sie auf die für eine Körperfarbe erforderliche Teilchengröße. Diese Farbstoffe sind allgemein als Lacke bekannt. Ähnlich verhält es sich auch mit gefärbtem bunten Papier oder Textilien, wo durch die Farbstoffe die Zellulose, Woll-, Seide- oder sonstige Gespinnstfasern direkt angefärbt werden.

Die Pflanzen verdanken ihre grüne Farbe dem Chlorophyll, das in bestimmt geformten plasmatischen, an sich farblosen Gebilden, den Chromatophoren, gespeichert ist. Es sind die Chlorophyllkörner. Viele gelbe Blüten und rote Früchte verdanken ihre Farbe den Karotinen. Auch diese sind stets an bestimmte Farbstoffträger gebunden, die als Chromoplasten bekannt sind. Ähnlich sind die Verhältnisse auch beim Blut von Mensch und Tier.

Neben den einfachen Körperfarben spielen in der Natur und Technik noch Farben eine große Rolle, die durch Mischung entstehen. Solche Mischfarben können in doppelter Weise zustande kommen, durch additive und durch subtraktive Mischung. Unter additiver Mischung verstehen wir die Ermischung einer neuen Farbe aus bunten Lichtern. Richten wir einen Scheinwerfer mit blauem Licht und einen mit gelbem gegen die gleiche Stelle einer weißen Wand, so erscheint uns diese Wand vielleicht weiß. Machen wir diesen Versuch mit rotem und gelbem Licht, so wird sie uns orange erscheinen. Diese Tatsache, daß durch

Addition von Farben Neues entsteht, haben wir ja eingangs bereits vorweggenommen, als wir davon sprachen, daß die Purpurtöne sich auf blauen und roten Spektralfarben ermischen lassen. Es ist auch bekannt, daß drei bestimmt gewählte Farben hinreichen, um alle anderen Farben mit für viele Zwecke hinreichender Genauigkeit wiederzugeben. Meist wählt man als diese drei Grundfarben Zinnoberrot, Gelbgrün und Blau. Von dieser additiven Mischung macht die Technik auch bei einzelnen Verfahren des bunten Farbfilms Gebrauch.

Additionsfarben liegen aber auch vor, wenn flächenhaft nebeneinander Felder von verschiedener Farbe vorhanden sind, von denen jedes seine Farbe ins Auge sendet, diese Felder aber so klein sind, daß die einzelnen Flächenelemente nicht voneinander unterschieden werden können. Ein feines Schachbrettmuster von weißen und schwarzen Feldern erscheint aus größerer Entfernung gleichmäßig grau, eines aus roten und blauen Feldern purpur. Aus größerer Entfernung sehen wir einen blumigen Wiesenhang in der Mischfarbe der Blumen und des grünen Rasens. Das typischste Beispiel der additiven Mischung aus dem Reiche der Technik ist die bekannte Autochromphotographie.

In der Textilindustrie wird von Additionsfarben ausgiebigster Gebrauch gemacht. Man dreht etwa  $\frac{1}{100}$  mm dünne Fäden von verschiedener Farbe zusammen und erreicht durch dieses Mischeln oder Me-



langieren Farben und Nuancen, die man durch direktes Anfärben oft schwer erzielen würde. Vor allem in früheren Zeiten, als noch nicht eine solche Unmenge verschiedenster Farbstoffe zur Verfügung stand wie heute, wäre dies schwierig gewesen. So bedurfte man in der Gobelinweberei zahlreicher Nuancen und Schattierungen, die man durch Zusammendrehen verschiedener einfach gefärbter Fäden zu einem Zwirn ermischte.

Auch im Pflanzenreich finden sich additive Mischfarben. So gibt es z. B. keinen direkten braunen Farbstoff. Das Braun des Goldlacks kommt dadurch zustande, daß in den kegelförmigen Epithelzellen des Perigons sich körniges gelbes Pigment in den Kegelspitzen anhäuft, das sich mit dem rot gefärbten Zellsaft zu Orangebraun addiert. Bei dem braun blühenden Gartenstiefmütterchen findet sich die gelbe Körnerschicht in der verbreiterten Fußplatte der Epithelzellen, der purpurne Zellsaft in den schmalen aufgesetzten Kegeln.

Die zweite Art von Mischfarben sind die Subtraktionsfarben. Diese entstehen, wenn aus dem weißen Tageslicht einzelne Spektralbereiche herausgefiltert werden. Lassen wir weißes Licht durch ein „blaues“ Filter fallen, so werden in einem solchen Filter, wie wir früher gehört haben, die langen Wellenlängenbereiche absorbiert, während die kurzen vollständig und die mittleren zum guten Teil durchgelassen werden. Ein derartiges Filter erscheint unserem Auge, entspre-

chend der Zusammensetzung des durchgelassenen Lichtes, eben blau. Ein Filter, das aus dem Sonnenlichte die kurzen Bereiche vernichtet und für die langen und mittleren dagegen transparent ist, löst in unserem Auge die Empfindung „Gelb“ aus. Wir sprechen von einem gelben Filter. Beide Filter hintereinander verwendet, lassen, wie leicht einzusehen ist, aus dem ganzen Spektrum des Tageslichtes letzten Endes nur die mittleren Bereiche, wenn auch geschwächt, durch, auf welche unser Auge mit der Empfindung *Grün* reagiert. Wir haben also aus dem weißen Licht unserer Lichtquelle durch Subtraktion „Grün“ erzielt.

Mit drei Filtern, von denen eines den kurzwelligen, ein anderes den mittleren und ein drittes den langwelligen Bereich des Spektrums mehr oder weniger absorbiert, lassen sich auch auf diesem subtraktiven Weg alle Farben nach Ton und Helligkeit mit einer für praktische Zwecke zureichenden Treue wiedergeben. Alle Drucktechniken, sowie fast alle jetzt zu sehenden Farbenfilme machen von dieser subtraktiven Methode Gebrauch.

Jeder bunte Druck, mit Ausnahme der Rasterverfahren in den Lichtern, besteht aus Subtraktionsfarben. Um Subtraktionsfarben handelt es sich auch, wenn der Maler auf der Palette seine Farben ermischt. So wie der Drucker durch Übereinanderdrucken von Rot, Gelb und Blau Schwarz erzielt, so findet sich auch im Pflanzenreich Schwarz nur als

Subtraktionsfarbe. Die schwarze Zunge an der Innenoberfläche eines Tulpenblattes kommt dadurch zustande, daß blau gefärbte Zellen über gelb gefärbten liegen und dadurch das auffallende Licht zur Gänze absorbiert wird. Die schwarzen Stellen beim Gartenmohn kommen durch rot und darunterliegende blaugrün gefärbte Zellen zustande. Auch findet sich in der Pflanze Braun und Drap durch Subtraktion.

Die Farbe eines Körpers ist aber nicht nur durch das selektive Remissionsvermögen allein bestimmt, sondern auch durch die Zusammensetzung des beleuchtenden Lichtes. Erst das Produkt Remissionsvermögen  $\times$  Beleuchtung gibt uns die Farbe. Fehlen im auffallenden sichtbaren Licht z. B. gerade die Strahlen, die ein Körper reflektieren kann, so erscheint er uns schwarz. Liefert eine Lichtquelle nur einzelne Bereiche des Tageslichtes, so wird ein Körper in diesem Lichte meist eine andere Farbe aufweisen als bei Tageslicht. Die Farbe, die er bei Tageslicht zeigt, nennt man kurzweg seine charakteristische Farbe.

Bei unseren bisherigen Betrachtungen haben wir das Tageslicht in seiner Zusammensetzung als unveränderlich konstant und von weißer Farbe angenommen. Dies gilt aber nur in grober Annäherung. Das Licht schwankt in seiner Zusammensetzung, ob es uns von der Sonne direkt, ob vom blauen Himmel, ob von Wolken zugestrahlt wird. Es schwankt nach Tages- und Jahreszeit, nach Art der Bewölkung, es ist

anders in Polar- und Äquatorgegenden, anders im Hochgebirge und in der Ebene. Es erleidet auf seinem Wege durch die Atmosphäre die mannigfachsten Veränderungen durch Absorption und Streuung.

Demzufolge könnte eine bestimmte, als weiß geltende Körperfarbe nur in einem einzigen Grenzfalle wirklich weiß, also vollkommen farbtonlos sein. Wenn wir aber ein Weiß unter den mannigfaltigsten Lichtbedingungen doch meist wirklich als Weiß sehen, so sind zwei Umstände dafür maßgebend. Einmal ist unser Auge recht ungeeignet, bei ganz geringen Sättigungen den Farbton noch zu erkennen, und ferner „wissen“ wir oft, daß eine bestimmte Fläche weiß ist, und dann sehen wir sie auch so. Es ist schwer zu entscheiden, wie das Licht, das wirklich als ideal weiß empfunden wird, zusammengesetzt sein müßte. Daher hat man sich willkürlich für eine Lichtquelle mit äquinergetischem Spektrum entschieden.

Ist schon Sonnen-, bzw. Tageslicht in seiner Zusammensetzung recht verschieden, so kann man Kunstlicht, also das Licht unserer Glühlampen, Bogenlampen usw., schon gar nicht mehr als weiß betrachten. Wollten wir Sonnenlicht durch eine künstliche Lichtquelle ersetzen, so müßten wir den Strahler auf die Temperatur der Sonne, dies sind fast 6000 °, bringen. Mit unseren gasgefüllten Wolframdraht-Widerstandslampen erreichen wir aber nur etwa 2400 °, und am positiven Pol einer Kohlenbogenlampe kommen wir auf etwa 3500 °. Dabei ist aber das Licht unserer

Kunstlichtquellen wesentlich ärmer an kurzwelligem Strahlen als das Sonnenlicht und erscheint diesem gegenüber ausgesprochen gelb.

Damit werden aber auch bei Tages- und Kunstlicht für einzelne Körperfarben ganz verschiedene Farbenempfindungen verbunden sein. Vor allem natürlich bei den Farben, an deren Zustandekommen die kurzwelligen Strahlen nennenswert beteiligt sind, wie Purpur, Violett, Blau und Grün. Mit diesen Farbänderungen, die bei unseren technischen Lichtquellen auftreten, ist die Damenwelt von ihren Toilettesorgen her wohl vertraut. Aber auch der Innenarchitekt muß diesen Verhältnissen beim Entwurf der Farbenzusammenstellungen für Innenräume, die vorzugsweise am Abend benützt werden, Rechnung tragen. Ebenso der Künstler, der Bühnendekorationen und Bühnenkostüme entwirft. Deutlich kommt uns die Wirkung unserer künstlichen Lichtquellen beim Betrachten vertrauter Gemälde auch bei Kunstlicht zum Bewußtsein.

Nach den bisher besprochenen Tatsachen wird es uns nicht mehr wundern, wenn ein Körper bei Beleuchtung mit einer Lichtquelle gleicher Farbe uns am sattesten erscheint. In diesem Falle fehlt einer Körperfarbe das weiße Licht der Oberflächenreflexion, das sich dem bunten bei Beleuchtung mit weißem Licht jederzeit, wie wir früher gehört haben, mehr oder weniger überlagert.

Am einfachsten kann man sich nun Licht beschaffen, das die gleiche Zusammensetzung aufweist wie das von dem betreffenden Körper remittierte Licht, wenn man das Licht von demselben Körper reflektieren läßt. Fällt Licht, das von einem Teil eines Körpers reflektiert wurde, auf einen anderen Teil dieses gleichen und gleichfarbigen Körpers auf, so wird das remittierte Licht der Eigenfarbe nicht mehr nennenswert weiter geschwächt, sondern nur das störende weiße Oberflächenlicht wird abermals um den gleichen Bruchteil reduziert. Darum erscheinen die Falten der Gewänder zwar weniger hell, aber viel satter als oberflächliche Teile des gleichen Stoffes. Daher der tiefe, satte Goldglanz eines innen vergoldeten Bechers, daher auch die Besonderheit des Samtes. Samt sieht, mit der Lupe betrachtet, wie aus nebeneinanderstehenden Bürstchen zusammengesetzt aus. Die Oberflächenreflexion ist auf ein Minimum beschränkt, gerichtete Reflexion wie bei anderen Geweben fast ganz vermieden. Der größte Teil des Lichtes kommt erst nach zahlreichen Reflexionen in das Auge und erscheint uns so besonders satt. Jeder empfindet ja die Schönheit und Besonderheit der satten Samtfarbe. Um eine ähnliche Erscheinung handelt es sich auch bei der satten, oft geradezu als samtig bezeichneten Farbe des Pelzes mancher Tiere.

In gleicher Weise tritt eine Steigerung der Sättigung ein zwischen den Blütenblättern einer satten Rose oder im Kelch einer Gloxinie. Samtglanz kennen

wir aber auch von zahlreichen Blütenblättern. Diese satte Samtfarbe kommt durch eine komplizierte Gestaltung der Oberfläche zustande. Die Blütenblätter weisen kegel- oder kuppelförmige Epithelzellen auf, wodurch die weiße oberflächliche Reflexion beschränkt, aber andererseits durch Brechung und Reflexion der Weg durch die selektiv absorbierenden Pigmente vergrößert wird.

---





# **Gifte und ihre Rolle im Völkerleben.**

Von

**Prof. Dr. Richard Wasicky.**

---

Vortrag, gehalten am 5. Februar 1936.



Die Menschen verbinden gewöhnlich mit dem Worte Gift Vorstellungen und Empfindungen von Tücke und Unheimlichkeit. Wie kennzeichnet aber die Wissenschaft die Gifte? Die laienmäßige, leider auch vielen gesetzlichen Bestimmungen zugrunde gelegte Auffassung, daß bestimmte Substanzen Gifte sind und andere nicht, muß die Wissenschaft als unrichtig ablehnen. Zunächst sei dargelegt, was unter Giftwirkung bei Tieren und Pflanzen zu verstehen ist. Man spricht dann von einer solchen, wenn in einen Organismus einverleibte oder auf seine Oberfläche gebrachte Substanzen chemische oder chemisch-physikalische Reaktionen veranlassen, die in weiterer Folge derart in die Lebensvorgänge eingreifen, daß gesundheitliche Schädigungen des betreffenden Organismus oder seiner Nachkommen eintreten. Die Schädigungen können sich bis zur Vernichtung des Lebens steigern. Den Giftwirkungen stehen die auf mechanischem Wege hervorgerufenen Schädigungen gegenüber, etwa die Folgen eines Messerstiches oder die Blutungen, die sich nach Schlucken schneidender Glasteilchen einstellen können.

Jede Substanz nun kann Giftwirkungen hervorbringen. Ob sie es wirklich tut, hängt vor allem von zwei Faktoren ab, erstens von der Art ihrer Anwendung und zweitens von der Größe der verabreichten Dosis. Für den ersteren Fall verweise

ich auf das Bittersalz, d. i. schwefelsaures Magnesium. Wenn ein erwachsener Mensch 20 g, also ungefähr einen Eßlöffel, des Salzes mit Wasser einnimmt, dann wird nach einigen Stunden eine Abführwirkung sich geltend machen. Würde man aber die gleiche Salzmenge in konzentrierter Lösung unmittelbar in die Blutbahn einspritzen, dann wäre die schwerste Vergiftung, vermutlich der Tod, die Folge. Die gleiche Schutzwirkung, welche die Magen- und Darmwand gegenüber dem Magnesium zeigt, übt sie gegenüber vielen Substanzen, z. B. auch gegenüber vielen wichtigen Nahrungsstoffen aus, die bei fehlender oder mangelhafter Verarbeitung durch die Verdauungssäfte im Körper Giftwirkungen entfalten würden, falls sie in ihn gelangten. Doch steht dem Magen und Darm noch ein anderer Entgiftungsmechanismus zur Verfügung. Es können nämlich durch chemische Umsetzungen Substanzen, die bei der gegebenen Konzentration in den Körpergeweben giftig wirken würden, in unschädliche übergeführt werden. Derartige Schutzvorrichtungen, wie die genannten, existieren an verschiedenen Stellen im Körper. Eines der wichtigsten, vor Giftwirkungen schützenden Organe ist die Leber.

Die Abhängigkeit der Giftwirkung von der verwendeten Menge eines Stoffes ist allgemein so bekannt, daß sie keiner eingehenderen Erläuterung bedarf. Es genügt, zu bemerken, daß Substanzen, die zur Ernährung unbedingt notwendig sind und die

als ungiftig und harmlos gelten, wie etwa das Kochsalz, in großen Dosen starke Giftwirkungen hervorbringen können. Es sei ferner erwähnt, daß das Schulbeispiel eines Giftes, das Arsenik, in sehr kleinen Dosen nicht nur von Giftwirkungen frei ist, sondern vielleicht sogar in der Ernährung eine Rolle spielt. Man findet Arsenik in ganz kleinen Mengen anscheinend in allen Organismen vor, so daß wir täglich mit unseren Nahrungsmitteln regelmäßig kleine Dosen Arsenik aufnehmen. Bei den verschiedenen Substanzen bestehen in den Schwellenwertsgrößen für Giftwirkungen gewaltige Unterschiede. So sind vom Aconitin, einem Alkaloid aus dem blauen Sturmhut, schon eingenommene Dosen von 0'0005 g für den Erwachsenen gefährlich, während vom Kochsalz in Substanz erst ungefähr die 200.000fache Dosis, entsprechend 100 g, falls es nicht erbrochen wird, zu bedenklichen Reizerscheinungen des Magens und Darmes führt.

Außer der Art der Einverleibung einer Substanz und der Dosengröße beeinflussen noch mehrere andere Faktoren die Entstehungsmöglichkeiten und Intensität von Giftwirkungen. Aus der Reihe dieser Faktoren greife ich heraus: Die Zugehörigkeit des in Frage kommenden Individuums zu einer bestimmten Gruppe im Systeme der Organismen, Alter, Geschlecht, konstitutionelle und erworbene Eigentümlichkeiten, Gesundheitszustand, Milieubedingungen. Nur einige wenige Beispiele seien zur Beleuchtung des Gesagten kurz genannt: Der Käfer *Lytta vesicatoria*, der im

Volksmund die Bezeichnung Spanische Fliege führt, kann schon in kleinen Dosen beim Menschen heftige Vergiftungserscheinungen bewirken. Hühner dagegen und Igel verzehren das Dreißigfache der Dosis, ohne eine sichtbare Schädigung zu erleiden. Säuglinge sind gegen Morphin sehr empfindlich, dagegen weniger wie der Erwachsene gegen das Gift der Tollkirsche, das Atropin. Beim Kaninchen gibt es Individuen, die große Dosen Atropin vertragen, und andere, die minder resistent sind. Ein morphingewöhnter Mensch bedarf zur Erhaltung seines Wohlbefindens Dosen dieses Alkaloides, die beim morphinsuchtfreien Menschen den Tod verursachen können. Die durch Erkrankungen gesteigerte Empfindlichkeit gegen verschiedene Substanzen erhöht sehr die Gefahren der Behandlung Erkrankter durch Laien. Die gleichzeitige Anwesenheit anderer Substanzen kann, ohne daß chemische Reaktionen zwischen ihnen und der Giftsubstanz im Reagensglas stattfinden, die Giftwirkung in verschiedener Weise verändern. So wird die tödliche Wirkung einer an und für sich tödlichen Dosis Strychnin aufgehoben, falls gleichzeitig das ebenfalls in den Samen von *Strychnos nux vomica* vorkommende Alkaloid Brucin verabfolgt wird. Dies geschieht, trotzdem Brucin eine gleichartige, nur bedeutend schwächere Wirkung besitzt wie Strychnin.

Wir ersehen somit, daß alle Substanzen unter bestimmten Voraussetzungen Giftwirkungen entfalten können. In der Alltagssprache pflegt man jene Sub-

stanzen als Gifte zu bezeichnen, die in verhältnismäßig kleinen Dosen gesundheitsschädliche Wirkungen hervorbringen. Wenn im folgenden von Giften gesprochen wird, so sind damit derartige Substanzen gemeint.

Um den Mechanismus der Giftwirkungen zu verstehen, wäre erforderlich, alle physikalischen und chemischen Reaktionen zu kennen, die sich zwischen den eingeführten Substanzen und Körpersubstanzen abspielen und die unmittelbare und mittelbare Beeinflussungen der verschiedensten Lebensprozesse und deren strukturellen Träger auslösen. Abgesehen von den Ätzwirkungen konzentrierter Laugen und mineralischer Säuren sind die meisten grundlegenden Reaktionen von Giftwirkungen unserem tieferen Verständnis entrückt.

Man teilt die Giftsubstanzen üblicherweise nach den sinnfälligen Wirkungen oder nach den Organen und Geweben, die im Wirkungsbilde stärker hervortreten, in kleinere Gruppen ein. Als wichtigste Gruppen seien nachstehende kurz gekennzeichnet.

Als Ätzigifte bezeichnet man Substanzen, die infolge energischer Reaktionen mit wichtigen Zellsubstanzen die Gewebe zerstören. So verbinden sich die ihren Namen nach der Ätzwirkung führenden Ätzlauge, die Kali- und Natronlauge, mit Eiweiß, mit Fetten und ziehen lebhaft Wasser an. Auch viele konzentrierte Säuren, und zwar anorganische und or-

ganische, z. B. die Salzsäure, die Schwefelsäure, die Essigsäure, konzentrierte Lösungen verschiedener Salze, etwa von Zinkchlorid, verschiedene Phenole in konzentriertem Zustande, z. B. Phenol selbst, sind heftig wirkende Ätzigifte.

Bei den Nervengiften erstrecken sich die Giftwirkungen vornehmlich auf irgendwelche Teile des Nervensystems. Die Narkosegifte, wie z. B. das Chloroform oder der Äthyläther, lähmen in geeigneten Konzentrationen jede tierische und pflanzliche Zelle und töten sie in höheren Konzentrationen. Es erscheinen jedoch bestimmte Anteile des Nervensystems der Narkosegiftwirkung leichter zugänglich als andere Anteile. Es gibt zahlreiche Nervengifte, zu deren charakteristischen Eigenschaften die selektive Lähmung bestimmter Anteile des Nervensystems, natürlich innerhalb bestimmter Konzentrationsbreiten des bezüglichen Giftes, gehört. So lähmt das Kokain zunächst sensible Nervenendigungen, das Atropin die Endigungen eines Nerven; dessen Impulse unter anderem die Herzarbeit verlangsamen, die Darmperistaltik erhöhen, die Bronchialmuskeln zur Zusammenziehung veranlassen, die Augenpupille verengern. Der Antagonist dieses letzteren Nerven wird in seinen Endausbreitungen durch Gifte des Mutterkorns gelähmt. Andere Substanzen wiederum sind befähigt, die gleichen Nervenendigungen in stärkere Erregung zu versetzen, wie dies etwa das Fliegenpilzgift Muscarin als Gegengift des Atropins tut. An verschiedenen Stellen



des Rückenmarkes und Gehirns angreifende Nervengifte können durch ihre Reize Krämpfe auslösen. Als solche Krampfgifte sind das Strychnin und das aus den Kockelskörnern erhaltliche Pikrotoxin bekannt.

Die Herzgifte schädigen, falls sie in die Blutzirkulation gelangen, besonders das Herz. Auch hier kann, genau wie bei anderen Organen, die Art des Wirkungsverlaufes je nach den von den Giften im Herzen betroffenen Stellen und je nach dem Wirkungscharakter der Giftstoffe sich anders darstellen. Während z. B. Kaliumsalze in großen Dosen das Herz durch Lähmung der Muskelfasern zum Stillstand bringen, unterbrechen gewisse Pfeilgifte, etwa das Ouabain, die Herzarbeit, indem die Herzkammerwände unter Zusammenziehung der zur Blutaufnahme erforderlichen Dehnung unüberwindliche Widerstände entgegensetzen. Bestimmte Herzgifte und Gifte, die lebenswichtige Nervenzentren lähmen, zählen zu den stärksten und sehr rasch wirkenden Giften.

Von Kapillargiften spricht man dann, wenn in der Giftwirkung die Lähmung von Kapillaren bestimmter Blutgefäßgebiete sich geltend macht. So bewirkt das Colchicin aus der heimischen Herbstzeitlose besonders eine Lähmung von Blutgefäßkapillaren im Darm. Ähnlich verhalten sich Arsenik und einige Schwermetallsalze.

Die Blutgifte kennzeichnen sich vor allem dadurch, daß unter ihrem Einfluß die strukturierten Elemente des Blutes, namentlich die roten und weißen

Blutkörperchen, geschädigt werden oder der rote Blutfarbstoff Veränderungen erleidet, die ihn der Fähigkeit der Sauerstoffübermittlung berauben. Eines der bekanntesten Blutgifte ist das Kohlenoxydgas.

Die Drüsen gifte erstrecken ihre Giftwirkung niemals in gleicher Weise auf alle Drüsen im Körper. Bei stärkerer Betonung der Giftwirkung an einem Drüsenorgan hebt man das bezügliche Organ in der Bezeichnung hervor. Es können zum Beispiel bestimmte Quecksilberverbindungen und Quecksilbersalze Nierengifte sein. Ein Beispiel eines Lebergiftes ist der Knollenblätterschwamm.

Die Kenntnis von Giften und ihren Wirkungen bildet einen uralten Erfahrungsschatz der Menschheit. Die ältesten schriftlichen Quellen der Geschichte berichten von Giften, und die unkultiviertesten und unzivilisiertesten Völkerschaften machen von Giftwirkungen Gebrauch. Zunächst dürfte der Mensch auf der Suche nach Lebensmitteln und in Betätigung des Triebes, seine Umgebung, in der er lebte, zu beherrschen, giftige Pflanzen und Tiere kennengelernt haben. Dann suchte er die giftigen Stoffe trotz ihrer Giftigkeit, zum Beispiel als Heilmittel oder wegen ihrer Giftigkeit, zu verwerten. Die folgenden Ausführungen ziehen nur die beabsichtigte Verwertung von Giftwirkungen durch den Menschen in den Kreis ihrer Betrachtung. Es bleiben daher beispielsweise die sogenannten giftigen Genußmittel außerhalb der Erörterung; denn bei ihrer Ver-

wendung würde der Mensch gern auf jede seine Gesundheit schädigende Wirkung verzichten, wenn nur der durch sie vermittelte Genuß erreicht werden könnte.

Zuerst sei die Verwendung von Giften in der Medizin erwähnt, und zwar die unmittelbare Verwendung von Giften am Menschen selbst und an seinen Haustieren zur Zerstörung von kranken Geweben oder krankhaften Neubildungen und zur Vernichtung von eingenisteten Parasiten. Die Parasiten können dem Pflanzenreiche, wie die Bakterien, oder, wie die Krätzemilben und Bandwürmer, dem Tierreich entstammen. Für jenes Gebiet der Therapie, das sich angelegen sein läßt, den Parasiten mit chemischen Mitteln an den Leib zu rücken, hat sich die Bezeichnung *Chemotherapie* eingebürgert. Eine ideale Chemotherapie bestünde in der Verwendung von Mitteln, die für den Parasiten tödlich wären, ohne den Parasitenträger zu schädigen, wenigstens nicht in den zur Wirkung erforderlichen Konzentrationen und bei der gewählten Verwendungsart. Es läßt sich nicht leugnen, daß manche Seuchen dank den gewaltigen Fortschritten der Wissenschaft in der Chemotherapie viel günstigere Aussichten wie ehemals der ärztlichen Behandlung bieten. Denken wir nur an die Behandlung der Syphilis mit bestimmten Arsenverbindungen, den Salvarsanen, an die Behandlung der Malaria mit Chinin, einem Alkaloid aus der Chinarinde, und dem Plasmochin und Atebrin, zwei

auf dem Wege chemischer Synthese gewonnenen Verbindungen. Leider fallen alljährlich noch ungeheure Scharen an Menschen und Nutztieren verschiedenen Krankheitserregern zum Opfer, ohne daß derzeit ihr Siechtum oder Tod durch irgendwelche Mittel abgewendet werden könnte.

Auch unsere Nutzpflanzen sind in ihrer Entwicklung und in ihrer Existenz durch zahlreiche tierische und pflanzliche Schädlinge bedroht. Jahr für Jahr gehen dem Volksvermögen ungeheure Summen durch die Einbuße an Nutzpflanzen verloren, die von Pflanzenparasiten vernichtet werden. So manche Hungersnot früherer Zeiten war eine Folge stärkerer Angriffe von Pflanzenschädlingen auf Nahrungspflanzen. Schon die Bibel berichtet, wie gefürchtet etwa Heuschreckenschwärme waren. Über die durch Pflanzenschädlinge in der Gegenwart verursachten Verluste geben zahlreiche statistische Angaben Auskunft.

Die Bekämpfung der Pflanzenparasiten im Gewebe der Pflanze selbst ohne deren Schädigung durch Gifte ist theoretisch denkbar, aber praktisch kaum durchführbar. Vielmehr strebt die chemische Bekämpfung der Pflanzenschädlinge die Vernichtung der letzteren an den Pflanzen und außerhalb der Pflanzen im prophylaktischen Verfahren an. Diese Methode gleicht jener, die zur Bekämpfung bestimmter Seuchen des Menschen und der Tiere dient, indem man die Erreger außerhalb der zu schützenden

tierischen Organismen, z. B. Bakterien durch Chlorierung des Trinkwassers oder in einem Zwischenwirt und samt diesem oder letzteren auch ohne Rücksicht auf stattgefundene Infektion, z. B. Ratten, zu vernichten sucht. Die Ratten können nicht nur durch Übertragung von Krankheiten, wie Pest, Trichinenkrankheit, Schaden stiften, sondern verbrauchen auch Lebensmittel und schädigen diese und die verschiedensten Materialien. In den Vereinigten Staaten von Nordamerika wurde der durch Ratten hervorgerufene jährliche Schaden auf ungefähr 100 Millionen Dollar berechnet.

Schon in alter Zeit versuchte man, die erwähnten Schädlinge, soweit sie bekannt waren, durch Gifte zu bekämpfen. Gegenwärtig könnte die Außerachtlassung der Schädlingsbekämpfung volkreiche, auf engem Raume zusammengedrückte Staaten geradezu in ihrer Existenz bedrohen. Daher widmen alle modernen Kulturstaaten dem Problem ihre größte Aufmerksamkeit. Eine eigene Wissenschaft und Technik hat sich um die Schädlingsbekämpfung herum entwickelt. Die Bekämpfung mit Giften nimmt darin einen breiten Raum ein. Das im speziellen Fall angewendete Verfahren muß die Eigenschaften und Lebensgewohnheiten des Schädlings und der zu schützenden Lebewesen beachten, wenn es zweckmäßig sein soll.

Gegen Pilzkrankungen von Pflanzen, z. B. gegen verschiedene Mehltauarten der Nutzpflanzen,

leisten Kupferverbindungen und Schwefel gute Dienste.

Der heutige Umfang der Pflanzenschädlinggifte erzeugenden und verarbeitenden Industrien ist aus den bezüglichen Daten nur eines einzigen ihrer Zweige ersichtlich. In den Vereinigten Staaten von Nordamerika sind im Jahre 1933 in 187 Fabriken 125 Millionen Kubikfuß Holz gegen Schädlinge imprägniert worden, wobei hauptsächlich große Mengen Kreosot, Petroleum und Zinkchlorid Verwendung fanden.

Zu den ältesten Verwendungsarten von Giften im Leben der Völker gehört die Giftverwertung bei der Jagd. Während man sich in Europa der Gifte in Form von Giftködern nur zur Vertilgung von Raubzeug bedient, existieren in anderen Kontinenten noch heute mehrere Völkerschaften, denen Jagdgifte die wichtigste Waffe zur Erlegung von Wild liefern. In der Regel sind es vergiftete Pfeile, die das Gift übermitteln. Die Pfeile werden entweder mit einem Blasrohr oder mit einem Bogen abgeschossen. Da das Fleisch der erjagten Tiere in den meisten Fällen gegessen werden soll, darf es nicht so große Mengen an Gift enthalten, die beim Genuß dem Menschen schaden könnten. Dabei muß das gewählte Gift dennoch zur Lähmung oder Tötung des Tieres hinreichen. Die von den Wilden mit großem Geschick präparierten Gifte müssen nach den mit ihnen durchgeführten wissenschaftlichen Versuchen als durchaus

zweckmäßig bezeichnet werden. Ihre Verwertung setzt jedenfalls eine bedeutende toxikologische Erfahrung voraus.

Bei den Pfeilgiften handelt es sich meistens um Herzgifte oder Gifte des Nervensystems. Die bekanntesten Pfeilgifte sind das Curare, ein Extrakt aus *Strychnos*-Arten in den Gebieten des oberen Amazonenstromes, das Pfeilgift Kombe (Kombi, Gombi) vom Sambesi aus einem überaus giftigen Extrakt der Samen einer Liane *Strophanthus kombe*, das Gift von Somali- und Zulustämmen, Extrakte aus dem Holze von *Acocanthera*-Stämmen, und das Upas Tieuté-, Ipo- oder Upu-Gift von den Sundainseln aus Samen von *Strychnos tieuté*. Ein anderes südostasiatisches Pfeilgift wird aus dem Milchsaft von *Antiaris toxicaria*, in malaiischen Idiomen oft gleichfalls Upas, Ipoh genannt, dargestellt.

Bei Erbeutung von Fischen müssen vergiftete Pfeile vor allem deswegen versagen, weil ihre Gifte durch das Wasser abgewaschen oder zu stark verdünnt werden. Das von einigen außereuropäischen Völkerschaften verwendete Verfahren des Fischfanges mit Giften weist denn auch ein ganz anderes Bild auf. Man bedient sich verschiedener Pflanzen als Fischgiften. Die gifthaltigen Teile der Pflanzen werden in das Fischwasser gebracht und die in Lösung gehenden Gifte wirken auf die Fische ein. Im Amazonasgebiet wird das Wasser mit den fischgifthaltigen

Zweigen gepeitscht. Voraussetzung für die Brauchbarkeit des Mittels ist, daß die wässerige Lösung des Giftes noch in sehr großer Verdünnung fischgiftig ist und daß das Fischwasser steht oder nur sehr langsam fließt. Die manchmal bei uns mißbräuchlich als Fischfangmittel verwendeten Kokkelskörner sind die Früchte von *Anamirta paniculata*, eines vorderasiatischen Strauches. Ihr Gift, das Pikrotoxin, ist ein ausgesprochenes Krampfgift. Bei den meisten Fischfangpflanzen handelt es sich um sogenannte Saponinpflanzen, d. h. die wirksamen Stoffe sind Saponine.

Es wäre verwunderlich, wenn die Menschen die von ihnen erlangte Kenntnis der Giftwirkungen nicht auch an sich selbst und an ihresgleichen versucht hätten. In der Tat waren Gifte zur Herbeiführung von Selbstmord und zur Tötung oder Wehrlosmachung von Menschen seit jeher beliebt. Der Gegenstand ist häufig von den verschiedensten Gesichtspunkten aus behandelt worden, und es existiert eine sehr umfangreiche Literatur über ihn. Zu Giften als Selbstmordmitteln wird hauptsächlich aus zwei Gründen gerne gegriffen. Auch der schwächste, ans Krankenzimmer gefesselte Mensch kann sich ihrer leicht bedienen, ferner werden alle Schrecken des gewaltsamen Lebensendes gemildert, da geeignete Gifte ein sanftes, schmerzloses Hinüberschlummern ermöglichen. Unsere Tageschroniken lassen ersehen, wie oft verzweifelte Menschen ihre letzte Zuflucht zu Giften nehmen.



Die Tötung von Menschen durch Gifte kann gegen die Gesetze erfolgen und qualifiziert sich dann als Mord, oder die Tötung ist gesetzlich gestattet oder sogar geboten. Daß der Mord durch Gifte zu allen Zeitepochen geübt wurde, erkennen wir auch aus der Gesetzesliteratur. Die meisten im Laufe der Zeiten verübten Giftmorde sind sicherlich unentdeckt geblieben. In früherer Zeit wird sich dies häufiger ereignet haben wie heute, wo aber trotz der besseren medizinischen Allgemeinbildung erst der Zufall zur Aufdeckung so mancher Ermordungen durch Gifte führt.

Die gesetzlich gestattete oder gebotene Tötung von Menschen durch Gifte hat gegenwärtig drei Fälle zu berücksichtigen, und zwar die Euthanasie, die Hinrichtung und die Kriegführung vermittels von Giften. Da die Diskussion über die Euthanasie, einen „guten Tod“, d. h. darüber, ob einem nach Überzeugung der Ärzte dem Tod unrettbar entgegengehenden, wegen Schmerzen und anderen Leiden den Tod sehnlichst herbeiwünschenden Kranken die Wohltat eines vorzeitigen schmerzlosen Endes durch Gifte erwiesen werden dürfe, nicht abgeschlossen ist, jedenfalls noch keine rechtsgültigen Schlußfolgerungen gezogen sind, genügt es, auf das Problem hingewiesen zu haben.

Die Hinrichtung durch Gifte wurde manchmal im Altertum vollzogen, wie der allgemein bekannte Tod des Sokrates durch Schierling beweist. Aus dem Mittelalter liegen Berichte aus der Schweiz über

Bilsenkrautsamen als Hinrichtungsmittel vor. In neuerer Zeit wurde von verschiedenen Seiten die Hinrichtung durch geeignete Gifte als das humanste Verfahren empfohlen. In Amerika hat die Empfehlung in der Verwendung von Zyngas zu Hinrichtungen praktische Verwirklichung gefunden.

Schließlich wäre noch die Verwendung von Giften als K r i e g s w a f f e n anzuführen. Die Völker haben von dieser Waffe, wie die geschichtlichen Dokumente schließen lassen, immer Gebrauch gemacht. Die Vergiftung von Trinkbrunnen und von Quellen, die Anwendung vergifteter Waffen im Kriege werden bei verschiedenen Völkern berichtet. Die neueste Zeit hat uns die raffinierte Technik von Wehrlosmachung und Massentötung von Menschen durch die Giftgase gebracht.

Ich bin am Schlusse meiner Ausführungen. Sie haben gesehen, daß in allen uns bekannten Zeitepochen Giftwirkungen prinzipiell in der gleichen Weise genutzt wurden. Was die Neuzeit gebracht hat, besteht nur in wissenschaftlich fundierteren Kenntnissen über Giftwirkungen und in einer technisch viel zweckmäßigeren und vor allem ungemein ausgebreiteten Anwendung von Giftwirkungen. Viel Gutes und viel Böses hat die Menschheit den Giftwirkungen zu verdanken. Wir wollen hoffen, daß in der Zukunft nur die Guthabenseite der Gifte in Erscheinung tritt, daß hingegen künftighin die Kehrseite hauptsächlich einen Gegenstand der Geschichte bilden wird.

---

# **Energiequellen des Lebens.**

Von

**Dr. Alfred Zeller.**

---

Vortrag, gehalten am 12. Februar 1936.



Alles Leben braucht zu seiner Erhaltung ständig Energie; hört die Energiezufuhr auf, dann muß das Leben zugrunde gehen. Energie tritt uns auf der Welt in verschiedenen Formen entgegen, und alle unsere Kraftwerke und Maschinen sind letzten Endes nur dazu erfunden, um Energie von einer Form in eine andere, brauchbarere umwandeln zu können. Jeder kennt eine ganze Anzahl verschiedener Energieformen: die mechanische Energie des niederfallenden Hammers wird am Amboß zur Energieform der Wärme, die sich steigern kann bis zur Glut, und nun beginnt eine neue Form der Energie, das Licht, aufzutreten, jenes Licht, das wir uns in unseren Wohnungen bequemer aus der elektrischen Energie herstellen oder das wir in ursprünglicherer Weise aus der chemischen Energie, etwa des Petroleums, gewinnen. Solche chemische Energie nun ist es, die von den Organismen in besonderer Weise zur Erhaltung ihres Lebens verwendet wird. Alle Stoffe, in denen chemische Energie steckt, lassen sich verbrennen, das heißt unter Energiegewinn mit Hilfe von Sauerstoff in energieärmere oder energielose Stoffe überführen. Diesen Vorgang des Verbrennens nun führt auch jedes Lebewesen aus — freilich in ganz anderer, viel feinerer Weise, als wir das mit unseren groben Hilfsmitteln ausführen können.

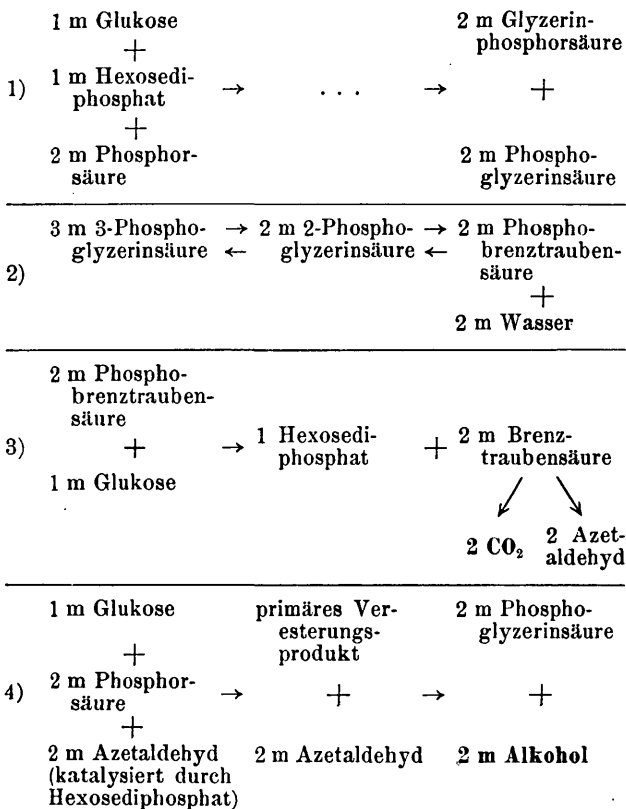
Da ist es notwendig, an die zwei verschiedenen Bedeutungen zu erinnern, die dem Wort vom Verbrennen im gewöhnlichen Sinn und im Reich des Lebendigen zukommen.

Verbrennen im gewöhnlichen Sinn heißt, aus einer Substanz in einem Reaktionsschritt plötzlich den vollen Energieinhalt unter beträchtlicher Wärmeentwicklung herauszuholen. Verbrennen im biologischen Sinn aber heißt, den Energieinhalt eines Stoffes langsam, in zahlreichen Reaktionsstufen, ohne starke Wärmeentwicklung in kleinen Teilbeträgen gewinnen. Diese biologische Verbrennung können im allgemeinen nur die Lebewesen durchführen, und sie tun dies bekanntlich indem sie atmen. Aus dem soeben Auseinandergesetzten ergibt sich, daß man im Bereich des Biologischen wohl besser nicht das mit anderer Bedeutung belastete Wort Verbrennung verwenden sollte, sondern richtiger von biologischer Desmolyse, biologischem Abbau spricht. Gemeinsam ist der Verbrennung und dem biologischen Abbau organischer Stoffe, daß beide Vorgänge Sauerstoff benötigen, wobei freilich der biologische Abbau auch so vor sich gehen kann, daß nicht gasförmiger, freier, sondern gebundener Sauerstoff verwendet wird, wie wir das bei den luftscheuen anaeroben Organismen oder bei den Krebszellen beobachten können.

Wir wollen uns nun zunächst mit dem zweiten Partner jeder „Verbrennung“, bzw. jedes biologischen Abbaues beschäftigen, mit dem Brennstoff, dem

Atmungsstoff der Organismen. Im allgemeinen sind es bei allen Organismen nur drei Stoffgruppen, die als Energielieferanten in Betracht kommen: Fett, Eiweiß, Zucker. Der Energiegewinn erfolgt aus allen drei Stoffen wohl so, daß sie in gemeinsame, wohl zuckerähnliche Abbauprodukte übergeführt werden, die dann erst die Endprodukte des biologischen Abbaues, Kohlensäure und Wasser, liefern. Leider wissen wir nun über die Art und den Weg des Abbaues der Eiweißkörper und der Fette nur verhältnismäßig wenig, stehen doch diese beiden Stoffgruppen in ihrer Bedeutung als Atmungsmaterial, sofern sie überhaupt unverändert veratmet werden können, wesentlich hinter den Zuckern, dem Atmungsmaterial weitaus der meisten lebenden Zellen, zurück. Lange wußte man auch nicht, auf welchem Weg der Zucker in den Zellen abgebaut wird. Erst als man dem Zuckerabbau bei der alkoholischen Gärung größte Beachtung schenkte, gelang es, langsam in die Geheimnisse dieses Vorganges einzudringen. Hatte es zunächst — man möchte fast sagen „natürlich“ — so ausgesehen, als wäre der ganze Zuckerabbau eine verhältnismäßig einfache Angelegenheit, so zeigte sich mit der Zeit immer deutlicher, daß ein unglaublich verwickelter Vorgang, ein schier unentwirrbares Durcheinander der verschiedensten Reaktionen dem Zuckerabbau zugrunde liegt. Das wichtigste Hilfsmittel jedes Zuckerabbaues ist die Phosphorsäure, denn durch ihre Verbindung mit dem Zucker ermöglicht sie es dem Orga-

nismus, den Zucker unter Energiegewinn abzubauen. Eine Vorstellung von der Kompliziertheit der Vorgänge möge folgendes Meyrholfsche Schema des Ablaufes der alkoholischen Gärung geben. Es lassen sich vier Hauptreaktionsstufen unterscheiden:





Während der „Angärung“, des Beginnes der Gärung also, verlaufen die Reaktionen 1, 2 und 3; im stationären Zustand die Reaktionen 2, 3 und 4. Für die vollständige Beschreibung aller bisher bekannten Vorgänge bei der Gärung braucht man heute schon zwölf Reaktionsgleichungen von der Art der hier mitgeteilten. Die Vorgänge, die die Atmung einleiten, dürften bis zur Bildung des Azetaldehydes im großen und ganzen die gleichen sein, während die im tierischen Muskel (bei Ermüdung z. B.) gebildete Milchsäure aus Brenztraubensäure entsteht. Bei der Atmung wird der Azetaldehyd nicht wie bei der Gärung in Alkohol umgewandelt, sondern vollständig zu Kohlendioxyd und Wasser verarbeitet. Bei der Gärung werden etwa 56 Kalorien gewonnen, bei der vollständigen Veratmung des Zuckers rund 690 Kalorien.

Eiweiß, Fett und Zucker, die drei sind die Energiequellen fast aller lebender Zellen, und sie sind es auch, die von allen Organismen als Nahrung benötigt werden und daher wie bei den Tieren aufgenommen oder wie bei den grünen Pflanzen aus anorganischem Kohlendioxyd aufgebaut werden müssen. Werden aber wirklich nur diese drei Stoffgruppen in der Natur von Lebewesen als Nahrung verwendet? Bei näherem Zusehen finden wir eine ganze Anzahl von Organismen, die auch andere Stoffe als Nahrungsmittel verwenden können, z. B. Stoffe, die wir als Gerüststoffe von Pflanzen und Tieren kennen, wie Zellulose, Pektine, Holz und Chitin. Es sind vor

allen Bakterien und Pilze, die derartige Stoffe als Nahrung verwerten können und aus ihnen letzten Endes wieder die drei zum lebenerhaltenden Aufbau notwendigen Körper Fett, Eiweiß, Zucker herstellen.

Für die Menschen ist es ja recht unangenehm, daß sie Zellulose nicht verdauen können — müßte uns doch sonst ein Bündel Heu oder Stroh höchst appetitlich erscheinen. Viele pflanzenfressende Tiere können Zellulose verdauen, aber nicht aus eigener Kraft, sondern mit Hilfe von Mikroorganismen, die in ihrem Darm leben und die die Zellulose in Zucker umwandeln, den dann das Tier als Nahrung verwerten kann. Im Magen und Darm von Wiederkäuern werden so etwa 75% der in der Nahrung enthaltenen Zellulose verdaut. Der Mensch kann es nur auf ganz kleine Bruchteile dieser Ausnützung bringen. Zellulose verarbeitende Bakterien finden sich auch sonst sehr weit verbreitet. Jedes Klümpchen Erde enthält ihrer ungezählte Mengen, im Schlamm aus der Tiefe der Seen und des Meeres kommen sie vor und verrichten überall ihr wichtiges Werk: die Wegschaffung all der Massen Zellulose, die im Lauf der Jahre auf den Waldboden oder den Grund der Gewässer als Pflanzenleichen hinabkommen.

Auch das Pektin, ein kompliziert zusammengesetztes Kohlehydrat, das sich nicht nur in vielen Früchten, sondern wohl in der Wand fast aller Pflanzenzellen findet, wird von Bakterien und Pilzen als Nahrung verwendet. Seit einigen Jahren findet es in

Form der verschiedenen Einsiedehilfen „Pektosa“, „Frutapekt“, „Opekta“ und wie sie alle heißen mögen, als natürliche Gelierungsmittel Eingang in die Küche. In der Flachsindustrie spielen pektinzerstörende Bakterien seit Urzeiten eine große Rolle, bewirken sie doch das „Rösten“ des Flachses, wodurch die einzelnen Fasern voneinander getrennt und für die Verarbeitung brauchbar werden.

Auch das Chitin, jener sogar für konzentrierte Säuren nahezu unangreifbare Stoff, aus dem die Insekten ihre Hautpanzer aufbauen und aus dem die Pilze ihre zarten Hyphen bilden, wird von Bakterien angegriffen und als Nahrung verwendet. Leider ist über derartige Organismen noch nicht allzuviel bekannt. In der Kultur verlieren viele von ihnen bald die Fähigkeit zur Zersetzung des Chitins.

Sogar das Holz, das doch so gar nicht nach Nahrungsmittel aussieht, wird von einzelnen Organismen verdaut. Untersuchungen der letzten Jahre haben da recht interessante Ergebnisse gebracht. Bakterien, so fand man, können mit Holz gar nicht viel anfangen, was eigentlich verwunderlich ist, sind doch sonst gerade die Bakterien die richtigen Tausendkünstler der Natur. Überraschenderweise aber greifen die Mizelien unserer Pilze, besonders auch der Speisepilze (vom Hallimasch und anderen Holzschädlingen wußte man das schon lange), Holz stark an. Champignons z. B. sollen nach diesen Untersuchungen nahezu ihren ganzen Bedarf an Kohlenstoff aus Lignin, dem Holz-

stoff, decken, und für ihr gutes Gedeihen ist es wichtig, daß der Dünger, auf dem sie gezogen werden, mit Holz angereichert ist.

Die bisher als ungewöhnliche Nahrungsmittel besprochenen Stoffe sind organische Substanzen, stammen unmittelbar aus dem Reich der Organismen und werden — abgesehen etwa vom Holz — vom Menschen kaum zur Deckung des Energiebedarfes der Technik herangezogen. Die dort verwendeten Kraftquellen, mögen sie letztlich auch der Tätigkeit von Lebewesen ihren Ursprung verdanken, gehören schon mehr in das Mineralreich. Es sind ja vor allem die Steinkohle und das Erdöl, die der Technik ungeheure Energiemengen liefern. Für Lebewesen freilich kommen diese Energiequellen im allgemeinen nicht in Frage, und man nahm lange Zeit an, daß sie durch Organismen überhaupt nicht ausgenützt und zersetzt werden können. Andererseits kannte man die Erscheinung der Zerstörung von Kohle auf Lagerplätzen, man wußte, daß sie im Waldboden schließlich verschwindet — gibt es also am Ende doch Organismen, welche die so ganz unlösliche Kohle, den elementaren Kohlenstoff, angreifen und als Nahrung verwerten können? Potter hat im Jahre 1908 diese Frage näher untersucht. Er reinigte Holzkohle mit verschiedenen Säuren und erhitzte sie dann unter Sauerstoffabschluß zur Zerstörung aller organischen Substanzen längere Zeit auf 1200° C. Die so vorbereitete Kohle beimpfte er mit Erde und es gelang ihm tatsächlich, einen Diplo-

kokkus in Reinkultur zu erhalten, der die Fähigkeit hat, reine Kohle zu verwerten, sie in Kohlensäure überzuführen. Hierbei konnte eine Erhöhung der Temperatur um etwa zwei Zehntelgrade beobachtet werden. Auch mit geglühtem und mit Königswasser gereinigtem Ruß, mit Torf und Steinkohle ließ sich die Kohlendioxydbildung aus elementarem Kohlenstoff zeigen. Die schier unglaubliche Leistung dieser Organismen besteht also darin, daß sie die auch in stärksten Säuren unlösliche Kohle doch irgendwie auflösen, zu Kohlensäure „verbrennen“ und mit Hilfe der dabei gewonnenen Energie einen Prozeß durchführen, der mit der Kohlensäureassimilation der höheren Pflanzen große Ähnlichkeit haben muß.

Nahezu noch merkwürdiger sind die Bakterienfunde, die man in den letzten Jahren in verschiedenen Bergwerken machte. Wenn sich in Braunkohle, die bis zu 60% Wasser enthält, Bakterien finden, so kann man immerhin annehmen, der hohe Wassergehalt dieser Kohle hätte ihnen die Möglichkeit geboten, tief hineinzuwachsen. Was soll man aber sagen, wenn in 1000 m tiefen Schächten des Ruhrgebietes, in Steinkohle, die nur 1 bis 2% Wasser enthält, in mehr als der Hälfte aller Proben Bakterien gefunden werden? Bakterien, die in der Grubenluft nicht vorkommen! Die einzige „vernünftige“ Erklärung wäre da, daß sich diese Bakterien eben seit Entstehung der Kohlen im Innern der Flöze eingeschlossen befänden. Und diese Annahme, daß die Bak-

terien jahrmillionenlang im Innern der Kohle lebendig geblieben seien, erscheint den Bakteriologen und Kohleforschern so „unvernünftig“, daß sie sich nicht entschließen konnten, etwas anderes als Erklärung anzugeben als ein großes „Ignoramus“.

Auch auf Petroleum können Bakterien wachsen, ja, man fand, daß Petroleum, das aus 2600 m Tiefe hervorquoll, lebende Bakterien enthielt. Auch auf vielen anderen Stoffen, die als Gifte für Bakterien und andere Lebewesen gelten und auch so verwendet werden, konnte man bestimmte Bakterien beobachten. So z. B. auf Benzollösungen, auf Toluol, Naphthalin, Azetylen, Methan und Paraffin, auf dem auch ein Schimmelpilz zu gedeihen vermag. In faulem Schlamm fand man Bakterien, die das giftige Kohlenoxyd als Nahrung und Energiequelle verwerten können, und man versuchte, diese Organismen zur Entgiftung des Leuchtgases zu verwenden. Gelänge es nämlich, mit Hilfe von Bakterien das im Leuchtgas enthaltene Kohlenmonoxyd, das Gas so giftig macht, in das ungiftige Kohlendioxyd, bzw. in Methan überzuführen, dann wäre ein wichtiges Problem der Großstadttechnik gelöst. Leider arbeiten die Kohlenoxydbakterien sehr langsam und mit schlechter Ausbeute, so daß eine Verwertung in technischem Maßstab unmöglich ist.

Alle die erwähnten Körper können von den Organismen als Nahrungsmittel verwendet werden, weil sie Energie enthalten und den Lebewesen zur Ver-

fügung stellen könnn. Woher haben aber alle die Stoffe ihren Energieinhalt und wo entstehen sie? Näheres Zusehen lehrt, daß sie letzten Endes alle auf Organismen zurückgehen, deren letzte, noch Energie enthaltende Reste sie darstellen. Nun ist es ja allgemein bekannt, daß von allen Organismen nahezu nur die grünen Pflanzen die Fähigkeit haben, sich die Stoffe, die sie zum Leben brauchen, selbst zu machen — ja mehr noch, die grüne Pflanze macht diese Stoffe mit Hilfe der Energie des Sonnenlichtes auch für alle anderen Lebewesen, besonders für die Tiere. Freilich ist die Menge der energiehaltigen Substanzen, die für die Tiere notwendig ist, nicht groß. Enthalten alle Tiere zusammen wahrscheinlich doch nur etwa 1% der Kohlenstoffmenge, die in den Pflanzen enthalten ist. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, abzuschätzen, welche Energiemengen von den grünen Pflanzen auf der ganzen Erde dem Sonnenlicht entnommen werden. Die genauesten Angaben hat Schröder in Kiel vor etwa 20 Jahren gemacht. Von den etwa drei Quintillionen Kalorien, welche die Sonne jährlich ausstrahlt, gelangt vielleicht der milliardste Teil zur Erde. Und beiläufig der achttausendste Teil dieses Milliardstels der Sonnenenergie dürfte im Wege der Kohlensäureassimilation seinen Weg durch die grüne Pflanze nehmen. Da wir wissen, daß auch Licht, und strahlende Energie überhaupt, nicht gewichtslos ist, so läßt sich berechnen, welche Mengen Materie den angeführten Energiemengen entsprechen. Die Rech-

nung ergibt, daß die Sonne im Jahre um etwa 100 Billionen Tonnen leichter wird und daß davon etwa 100.000 t als Licht und Wärme zur Erde kommen. 12 $\frac{1}{2}$  von diesen 100.000 t Energie werden dann von den Pflanzen der Erde zur Assimilation verwendet. Alles fließende Wasser der Erde leistet im gleichen Zeitraum von einem Jahr nur eine Arbeit, die 4 t entspricht, und die Weltkohlenförderung bringt es auf etwa  $\frac{1}{2}$  t. Die physische Leistungsfähigkeit der Menschheit ist im Vergleich dazu sehr klein. Würden alle Menschen, die auf der Erde leben, ein Jahr lang ununterbrochen als Schwerarbeiter tätig sein, sie könnten nur etwa das Arbeitsäquivalent von 17 kg leisten — und 100.000 t verarbeiten die Pflanzen!

Abgesehen von den grünen Pflanzen, haben noch einige kleinere Organismengruppen die Fähigkeit, die Kohlensäure der Luft mit Hilfe des Lichtes in organische Verbindungen überzuführen. In den letzten Jahren haben da rote und grüne Schwefelbakterien die Aufmerksamkeit in besonderem Maße auf sich gezogen. Vor allem die Untersuchungen von Gaffron ergaben, daß diese Bakterien mit ihren dem Chlorophyll chemisch nahe verwandten Farbstoffen und mit Hilfe von Licht und Schwefelwasserstoff die Kohlensäure der Luft zu assimilieren vermögen. Überraschend ist die Feststellung Gaffrons, daß von diesen Bakterien (besonders von Purpurbakterien) auch die COOH-Gruppe mancher organischer Säuren so reduziert und assimiliert werden kann, als wäre es freies CO<sub>2</sub>.



Nehmen diese Bakterien die Energie zur Überführung der Kohlensäure in organische Bindung aus dem Licht, so kennen wir auch eine ganze Anzahl von Formen, die diese Energie aus anderen energiehaltigen Substanzen entnehmen können. Die Bakterien, welche die Energie, die im Methan, im Petroleum, im Benzol usw. enthalten ist, zur Assimilation von Kohlensäure verwenden können, wurden schon erwähnt. Jetzt sei noch auf Formen hingewiesen, welche die in anorganischen Stoffen enthaltene Energie zur Kohlensäureassimilation verwerten können. Als solche wären jene zu nennen, die freien Wasserstoff mit freiem Sauerstoff zu Wasser vereinigen können, die also jene Reaktion durchführen, die bei der Knallgasexplosion vor sich geht. Diese Wasserstoffbakterien sind weit verbreitet, sie finden sich in jeder Handvoll Erde. Andere wieder gewinnen die 64 Kalorien, die aus der Oxydation von Ammoniak zu Nitrit gewonnen werden können, und eine weitere Gruppe von Organismen verschafft sich durch die Oxydation von Nitrit zu Nitrat 16 Kalorien und verwendet sie zur Kohlensäureassimilation. Diese Bakterien sind auch dadurch bemerkenswert, daß organische Stoffe, die doch von den meisten Bakterien als Nahrung unbedingt gebraucht werden, für sie geradezu giftig sind. Die sogenannten Eisenbakterien machen sich die bei der Oxydation des zweiwertigen Eisens zum dreiwertigen freiwerdende Energie zunutze und assimilieren so Kohlensäure. Die großen Lager von Raseneisenstein

verdanken zum Teil diesen Organismen ihre Entstehung. Farblose Schwefelbakterien leben in verdünntem Schwefelwasserstoffwasser, bilden aus dem Schwefelwasserstoff Schwefelsäure und bauen die gewonnene Energie in Kohlensäure ein.

Wir sehen also, daß alle die Stoffe, die als Energielieferanten für Lebewesen in Frage kommen, letzten Endes entweder von grünen Pflanzen oder Bakterien mit Hilfe des Sonnenlichtes oder von Bakterien mit Hilfe der in anorganischen Körpern steckenden Energie gebildet werden. Es werden aber von diesen Stoffen ungeheuer viel mehr gebildet, als von den Erzeugern und den Tieren verwertet werden können. All der Überschuß findet sich in den Leichen von Tier und Pflanze aufgespeichert und eine Ahnung von seiner Größe erhält man, wenn man bedenkt, daß das von den Bäumen fallende Laub in zehn Jahren die Erde 70 cm hoch bedeckte, würde es nicht weggeschafft. Nur Bakterien und Pilze, die auch die seltensten Stoffe noch als Energiequelle und Nahrung verwerten können, sind imstande, uns vor dem Ersticken in der Unmasse der Überreste der Lebewesen zu bewahren, und sie erhalten so das Antlitz der Erde in der uns vertrauten Gestalt.

---

# **Der Aufbau der Sonne.**

Von

**Prof. Dr. Adolf Hnatek.**

---

Vortrag, gehalten am 19. Februar 1936.



Kurz nach der im Jahre 1610 erfolgten Erfindung des Fernrohrs wurden die Sonnenflecken nahezu gleichzeitig von Galilei, Scheiner und Fabritius entdeckt. Diese Entdeckung brachte es mit sich, daß man zunächst nach einer Erklärung dafür suchte, was man sich unter diesen dunklen Flecken auf der Sonnenscheibe vorzustellen habe, und zwangsläufig mußte man dann dabei auch zu Vorstellungen über die Konstitution des Sonnenkörpers geführt werden. Daß die Sonnenflecken dunkle Flecken sind, war offenbar die Ursache, daß man sich die Sonne zunächst als einen an sich dunklen Körper vorstellte, der von einer Art Hülle blendenden Lichtes umgeben sei. Der erste, der diese Meinung äußerte, dürfte der Franzose Cassini gewesen sein, der die Sonnenflecken für die Spitzen hoher, auf der Oberfläche der dunklen Sonnenkugel stehender Berge hielt, die zeitweise aus dieser Lichthülle herausragen.

Fast immer bestehen die Sonnenflecken aus zwei Teilen, nämlich einem besonders dunklen Kern, den man *Kernschatten* oder *Umbra* nennt, und aus einer diesen Kern umgebenden Zone geringerer Dunkelheit, dem sogenannten Halbschatten oder der *Penumbra*. Infolge der Rotation des Sonnenkörpers tauchen diese Fleckengebilde am Ostrand der

Sonnenscheibe auf, und sie ziehen dann in rund 12 bis 13 Tagen quer über die Sonnenscheibe gegen den Westrand derselben, wo sie dann wieder auf die Rückseite der Sonnenkugel gelangen und für uns verschwinden. In der Mehrzahl der Fälle zeigen die Sonnenflecken während dieser Wanderung über die Sonnenscheibe ganz typische Formveränderungen. Jeder Sonnenfleck, der auf der Mitte der Sonnenscheibe, wo wir fast senkrecht auf ihn blicken, nahezu kreisrund erscheint, wird natürlich am Sonnenrand wegen der dort schrägen Aufsicht immer perspektivisch zur Ellipse verzeichnet erscheinen müssen. Gleichzeitig zeigt sich dann aber auch fast immer die Umbra in der Penumbra mehr oder weniger stark in der Richtung gegen die Mitte der Sonnenscheibe verlagert, und es entsteht dadurch der Eindruck, als wären die Sonnenflecken nichts anderes als trichterförmige Einsenkungen, Vertiefungen in der Sonnenoberfläche.

In der Tat würden wir eine solche trichterförmige Vertiefung bis nahe senkrechter Aufsicht in den Trichter, also auf der Mitte der Sonnenkugel, so sehen, daß das Trichterloch als Umbra gleichmäßig umgeben erscheint von der die Penumbra vorstellenden Trichterwand. Am Sonnenrand dagegen, wo wir schräg von der Seite her in den von der Mitte der Sonnenscheibe abgewendeten Trichter blicken, müßte die äußere Trichterwand verbreitert, die innere verschmälert und das Trichterloch scheinbar gegen die Mitte der Sonnenscheibe verschoben erscheinen.

Diese von dem Engländer Wilson entdeckte und danach Wilsonsches Phänomen genannte Erscheinung hat ihren Entdecker im Jahre 1769 zur Anschauung geführt, daß über dem dunklen Sonnenkörper zwei Schichten leuchtender Wolken liegen, deren untere etwas weniger hell leuchtet, während der äußeren oberen die blendende Helligkeit zuzuschreiben sei, die wir an der Sonnenscheibe beobachten. Reißen diese Wolkendecken irgendwo auf, so sehen wir dann durch die Wolkenlücke den dunklen Sonnenkörper als Kern eines Sonnenflecks, und wenn das Loch in der äußeren Wolkendecke größer ist als das in der unteren, so erscheint uns dieser Kern dazu noch umgeben von den weniger leuchtenden Teilen der unteren Wolkendecken als Halbschatten.

Heute wissen wir, daß die Sonnenflecken Wirbelgebiete in der gasigen Sonnenoberfläche sind, die eine gewisse entfernte Ähnlichkeit mit den wirbelartigen Tiefdruckgebieten in unserer Atmosphäre besitzen, Wirbelgebiete, in denen die Sonnengase aber oben einströmen und unten ausströmen. Auch solche Gaswirbel erscheinen ja im durchgehenden Licht dunkel, und der Kernschatten eines Sonnenflecks kommt dadurch zustande, daß eben die Wirbelbewegung im Innern eines solchen Wirbels besonders turbulent ist. Aber die Wilsonsche Vorstellung von der an sich dunklen Sonne, die von zwei hellglänzenden Wolkendecken umgeben ist, hat sich noch bis zu Beginn der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts halten

können, also bis zu der Zeit, wo Kirchhoff gezeigt hat, wie das Sonnenspektrum richtig gedeutet werden muß. Läßt man Sonnenlicht durch ein Prisma hindurchgehen, so wird es bekanntlich in seine farbigen Bestandteile, in das sogenannte Spektrum, zerlegt. Wir sehen dann ein kontinuierliches Farbenband, in dem alle Regenbogenfarben von Rot bis Violett durch alle Zwischennuancen hindurch aufeinander folgen, und außerdem zeigt sich dieses Farbenband quer zur Farbenfolge noch durchzogen von einer großen Anzahl mehr oder weniger breiter und dunkler Linien. Das kontinuierliche Farbenband rührt von dem Licht her, das aus dem Sonneninnern kommt, und da ein solches kontinuierliches Spektrum immer von einem festen oder flüssigen glühenden Körper oder auch von einem glühenden Gas geliefert wird, das stark verdichtet ist, so muß also der Sonnenkern offenbar selbst glühend sein. Die dunklen Linien aber, die zu Beginn des vorigen Jahrhunderts von dem Münchner Optiker Fraunhofer ihrer Lage im Spektrum nach genauer vermessen worden sind und daher Fraunhofersche Linien genannt werden, entstehen in den über dem Sonnenkern lagernden Atmosphärenschichten ebenfalls glühender Gase, die sich dort aber bereits im Zustand entsprechender Verdünnung befinden. Jedes Gas zeichnet in das Spektrum eine Anzahl von Linien ein, die für dieses Gas typisch sind, so daß aus dem Auftreten bestimmter Linien auch auf das Vorhandensein eines bestimmten Gases ge-



geschlossen werden muß. Aus den Fraunhoferschen Linien läßt sich also auch die chemische Zusammensetzung der Sonnenatmosphäre ermitteln. Wasserstoff, Kalzium, Eisen und Titan, überhaupt fast alle chemischen Elemente, sind danach in der Sonnenatmosphäre und damit wohl auch im Sonnenkörper vorhanden. Was sagt uns das Spektrum nun weiter über die Konstitution des Sonnenballs?

Kirchhoff, der Begründer der Spektralanalyse, hielt den Sonnenkern einfach für glühend fest oder flüssig, und die Sonnenflecken wären nach ihm als Wolkenbildungen in der den Kern umgebenden glühenden Sonnenatmosphäre zu deuten, die durch lokale Temperaturerniedrigungen entstehen und deren besonders dichte mittlere und untere Teile die Umbra bilden, während die dünneren oberen Partien als Penumbra erscheinen. Zöllner, der um dieselbe Zeit lebte, hielt den Sonnenkörper für durch und durch flüssig und umgeben von einer Atmosphäre, in der eine kumulusartige (Cumulus = Haufenwolke) Wolkendecke schwebt. Wenn die Wolkendecke an irgend-einer Stelle reißt, verursacht dann die Ausstrahlung in den Weltraum durch die Lücke hindurch Abkühlung und Schlackenbildung auf dem flüssigen Sonnenkern, und diese kälteren, also auch dunkleren Schlacken wären dann das, was wir als Sonnenflecken erblicken. Aber schon damals hat es nicht an Astrophysikern gefehlt, die den Sonnenkörper für durch und durch gasförmig hielten. So hat der Italiener

Secchi schon 1877 darauf hingewiesen, daß die Temperatur des ganzen Sonnenkörpers offenbar so hoch sei, daß es auch beim größten Druck, der im Sonneninnern herrschen möge, zu einer Verflüssigung der gasförmigen Sonnenmaterie überhaupt nicht mehr kommen könne. Tatsächlich gelingt ja auch die Verflüssigung von Gasen durch Drucksteigerung im physikalischen Laboratorium nur dann, wenn dabei eine gewisse Höchsttemperatur, die sogenannte kritische Temperatur, nicht überschritten wird. Nach den Laboratoriumserfahrungen liegen diese kritischen Temperaturen für die einzelnen Gase zudem noch keineswegs hoch, ja in den meisten Fällen müssen die betreffenden Gase sogar sehr tief abgekühlt werden, wenn ihre Verflüssigung möglich werden soll. Mit Rücksicht darauf, daß die Temperatur der Sonnenoberfläche, also die sogenannte wirksame oder effektive Temperatur, die wir bei der Sonne aus der von ihr ausgestrahlten Wärmemenge exakt messen können, bei rund  $6000^{\circ}$  liegt, gewinnt der Gedanke, die Sonne sei durch und durch gasförmig, also sehr an Wahrscheinlichkeit, um so mehr, als wir ja dazu weiter annehmen müssen, daß die Temperatur nach dem Sonneninnern zu offenbar noch stark ansteigen wird, so daß wir im Sonnenmittelpunkt, wie sich später zeigen wird, wohl Temperaturen von mehreren Millionen Graden werden zu erwarten haben.

Aber die Vorstellung von einer durch und durch gasförmigen Sonne bringt sofort eine Schwierigkeit

mit sich. In einem solchen glühenden Gasball steigt natürlich die Dichte von außen nach innen stetig an, und man könnte da denken, daß uns die Sonne statt der scharf gerandeten Scheibe, die sie uns zeigt, als verwaschenes Gebilde erscheinen müßte, in dem die Helligkeit von der Mitte gegen den Rand stetig abnimmt, um schließlich langsam in die Helligkeit des die Sonne umgebenden Tageshimmels überzugehen. Es fragt sich also, wie man unter der Annahme einer durchaus gasigen Beschaffenheit des Sonnenkörpers die Beobachtungstatsache des scharfen Sonnenrandes erklären soll.

Schmidt hat zu dem Zweck den Gang der Lichtstrahlen in den äußeren Schichten einer solchen Gaskugel genauer verfolgt. Wenn ein Lichtstrahl aus einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium übergeht, so wird er an der Trennungsfäche der beiden Medien immer so gebrochen, daß er sich dabei mehr der zur Trennungsfäche Senkrechten, dem sogenannten Einfallslot, nähert. Das hat in einem kugelförmig geschichteten Medium von nach innen zu stetig wachsender Dichte zur Folge, daß sich ein Lichtstrahl bei schrägem Eindringen in die Gaskugel krümmt, und zwar so, als würde er von deren Mittelpunkt angezogen werden. Diese Krümmung wird natürlich um so beträchtlicher sein müssen, je rascher die Dichte in der Gaskugel von außen nach innen zu wächst. Umgekehrt gelten diese Verhältnisse ebenso für Lichtstrahlen, die den entgegengesetzten Weg neh-

men, also aus irgendeiner im Innern der Kugel liegenden Schicht herauskommen und die immer dünner werdenden folgenden Schichten nach außen zu durchlaufen.

Wir denken uns nun also die Sonne als geschichtete Gaskugel und blicken zunächst gegen einen Punkt in entsprechend großer Entfernung von der Mitte derselben, also etwa gegen den Rand der gasförmigen Sonnenkugel. An der Oberfläche unserer gasförmigen Sonne sind natürlich die Dichten noch gering und daher bleibt auch die brechende Wirkung klein. Der Sehstrahl von der Erde her dringt also in die äußersten Schichten ein, krümmt sich in ihnen etwas, und zwar so, wie ein gespannter Bindfaden sich krümmt, den man mit einer Kugel seitwärts drückt, und tritt an der Rückseite der Sonne wieder aus. Wir sehen also durch die äußersten, wegen der geringen dort herrschenden Dichte auch nur schwach leuchtenden Schichten der Sonnenkugel hindurch in den hinter der Sonne liegenden dunklen Weltraum und sehen daher relative Dunkelheit. Wir blicken nun nach und nach gegen Stellen unserer Sonnenkugel, die immer näher an der Mitte der scheinbaren Sonnenscheibe gelegen sind. Diese Sehstrahlen dringen also in immer tiefer im Sonneninnern gelegene Schichten ein, in Schichten von immer höherer Dichte und stärker brechender Wirkung, und sie erfahren demnach auch eine um so stärkere Krümmung, je näher sie gegen die Mitte der Sonnenscheibe zielen.

Bei dem schon in den äußeren Schichten der Sonnenkugel herrschenden starken Dichteanstieg muß es nun in einer bestimmten Distanz von der Mitte der Sonnenscheibe, und zwar etwa dort, wo wir deren scharfe Begrenzung sehen, einen Sehstrahl geben, der eine Krümmung erfährt, die ihn gerade noch aus der Sonnenkugel wieder in den dunklen Weltraum austreten läßt, während ein um eine Kleinigkeit näher gegen die Mitte der Sonnenscheibe auftreffender Sehstrahl bereits in Tiefen gelangt, wo er so stark gekrümmt wird, daß er in der Sonnenkugel verbleibt und in ihr um den Sonnenmittelpunkt kreist. Während der vorhergehende, aus der Sonnenkugel austretende Sehstrahl uns noch die Dunkelheit des Weltraumes vermittelt, bringt uns der nächste, bereits im Sonneninnern weiterlaufende dessen volle Helligkeit; zwischen beiden liegt der Sprung von Hell auf Dunkel, also der scharfe Sonnenrand, der eigentlich in Wirklichkeit gar nicht vorhanden ist, sondern uns nur durch den eigentümlichen Strahlenverlauf in der gasförmig geschichteten Sonnenkugel vorgetäuscht wird.

Diese von Schmidt im Jahre 1891 versuchte Erklärung des scharfen Sonnenrandes erscheint zwar durchaus plausibel, nur ist bei ihr keine Rücksicht genommen auf die im Innern der ganzen Sonnenkugel herrschende Absorption, die ja auch mit der Dichte zunimmt und das Endergebnis in dem einen oder anderen Sinn beeinflussen kann. Auch bleibt

noch die Frage offen, ob der Übergang von Dunkelheit in Helligkeit genügend rasch erfolgt, also sich in einer genügend dünnen Schichte abspielt, so daß dabei auch wirklich die scheinbar vollständige Schärfe des Sonnenrandes entsteht.

Schwarzschild hat daher im Jahre 1906 versucht, noch eine andere Erklärung für den scharfen Rand der Sonnenscheibe zu geben. Die Tatsache, daß die Helligkeit eines glühenden Gasgemisches steigt, wenn die Dichte zunimmt, hat uns schon früher zur Meinung geführt, daß die gasförmige Sonnenkugel verwaschen erscheinen müßte. Außerdem muß auch die Temperatur nach dem Innern einer solchen Gaskugel ansteigen, und mit der steigenden Temperatur muß dann neuerlich die Helligkeit wachsen, und zwar in ganz besonderem Ausmaß, weil ja die Strahlung sogar proportional der vierten Potenz der Temperatur anwächst. Bei Zunahme von Dichte und Temperatur nach dem Sonneninnern wird also die Helligkeit noch unverhältnismäßig stärker anwachsen.

Schwarzschild hat nun unter verschiedenen vereinfachenden Annahmen, die gewissermaßen Grenzfälle darstellen, das Zunehmen von Dichte und Temperatur nach dem Sonneninnern, wie es in den äußeren Schichten der Sonnenkugel erwartet werden muß, zu berechnen versucht. Man darf allgemein wohl voraussetzen, daß die Gase der äußeren Schichten, die durch Ausstrahlung in den Weltraum abgekühlt

werden, herabsinken, während dafür aus den tieferen Schichten heißere Gase aufsteigen und an die Oberfläche gelangen. Dazu können wir nun einmal annehmen, daß sich die auf- und absteigenden Ströme gegenseitig so ausgleichen, daß die äußeren Schichten der Sonnenkugel schließlich eine ganz gleichmäßige Temperatur annehmen. Wir nennen einen solchen Zustand *isothermes Gleichgewicht*. Nach Schwarzschilds Rechnungen muß nun in einer aus atmosphärischer Luft gebildeten Kugel von der Größe unserer Sonne bei Isothermie die Dichte nach innen zu schon für je 15 km um etwa das Zehnfache anwachsen. Der Dichteanstieg ist also außerordentlich rasch, und da die Helligkeit mit der Dichte wächst, scheint auch der Helligkeitsanstieg derart rapid vor sich zu gehen, daß sich der Übergang von der Dunkelheit zur vollen Helligkeit für unser Auge fast sprungweise vollziehen dürfte.

Als Gegenteil zur früheren Annahme vollständigen Wärmeausgleiches können wir nun den zweiten Fall annehmen, daß die aneinander auf- und absteigenden Gasströme gegenseitig und mit der sonstigen Umgebung überhaupt keine Wärme austauschen. Jedes Gas ändert sich also beim Aufsteigen oder Herabsinken so, als würde es weder Wärme irgendwie zugeführt erhalten noch irgendwohin abgeben. Für diesen anderen Grenzfall des sogenannten *adiabatischen Gleichgewichtes* stellte Schwarzschild durch Rechnung fest, daß dabei die Temperatur gegen

das Sonneninnere bereits für je 3·63 m um 1°, also für je 3½ km um rund 1000° anwachsen müßte. Wir ersehen daraus, daß Druck und Temperatur unter allen Umständen gegen das Sonneninnere derart rasch ansteigen, daß sich das Anwachsen der Helligkeit von der Dunkelheit weg bis zur vollen Helligkeit der Sonnenscheibe, die dort in der Sonnenkugel erreicht wird, wo die Sonnengase der großen Dichte wegen bereits undurchsichtig geworden sind, auf einem Weg von weniger als 100 km Tiefe gegen das Sonneninnere zu abspielen dürfte. Eine Strecke auf der Sonnenoberfläche von etwa 700 km Länge erscheint uns, von der Erde aus gesehen, aber unter einem Winkel von nur etwa 1", und die ganze wirkliche Unschärfe des Sonnenrandes schrumpft also auf Bruchteile einer Bogensekunde zusammen. Es ist also keineswegs verwunderlich, wenn wir die Sonnenscheibe trotz der gasförmigen Natur des Sonnenballs scharf begrenzt sehen.

Unter der Voraussetzung, daß die Sonne rein gasförmig sei, läßt sich aber der Verlauf der Temperatur gegen den Sonnenmittelpunkt zu durch Rechnung verfolgen und so die Vorstellung von Secchi, daß ihre Mittelpunktstemperatur mehrere Millionen Grade betragen dürfte, kontrollieren. Wir müssen dazu nur versuchen, ein Sonnenmodell als Gaskugel von gleicher Masse und Größe aufzubauen, allerdings wieder unter gewissen generalisierenden und vereinfachenden Voraussetzungen, um die Rechnung nicht



allzusehr zu komplizieren und damit das Problem überhaupt lösbar bleibe.

Zunächst sei angenommen, daß unser Gasball keine Rotation besitzen soll. Durch die Rotation werden ja Fliehkräfte ausgelöst, und diese führen dazu, daß sich die rotierende Gaskugel abplattet und zum Rotationsellipsoid wird. Wir dürfen diese vereinfachende Annahme der Rotationslosigkeit deswegen ohneweiters machen, weil es bekanntlich bis heute nicht gelungen ist, bei der Sonne eine Abplattung nachzuweisen. Tatsächlich erfolgt auch die Rotation der Sonne — sie dreht sich in rund 25 Tagen einmal um ihre Achse — sehr langsam, und wir setzen die Sonne also als kugelförmig voraus.

Die astronomischen Beobachtungen zeigen außerdem, daß die einzelnen chemischen Elemente in der Sonnenatmosphäre keineswegs innig vermischt sind. Wasserstoff und insbesondere Kalziumdämpfe, aber auch die Dämpfe anderer Elemente zeigen sich an verschiedenen Stellen der Sonnenoberfläche, und zwar besonders in der Nähe von Sonnenflecken, wolkenförmig zusammengeballt. Wir können aber auf diese nicht gleichmäßige Verteilung der Elemente im Sonnenkörper keine Rücksicht nehmen, weil diese Verteilung eben ständig wechselt. Wir müssen daher mit einem mittleren Zustand rechnen und führen in unsere Berechnungen daher ein mittleres Atomgewicht ein, wie es etwa einer völlig gleichmäßigen Durch-

mischung aller in der Sonne vorhandenen Stoffe entsprechen würde.

Wir müssen nun fragen, was für Kräfte in irgendeinem Punkt einer solchen ruhenden, aus einem mittleren einheitlichen Gasgemisch aufgebauten Gaskugel wirksam sein werden. Zunächst wird jedes Teilchen im Innern eines solchen Gasballes eine Anziehung gegen den Kugelmittelpunkt erfahren, ebenso wie ja jeder Körper auf der Erde oder in deren Innern durch die Anziehung der Erdmasse gegen den Erdmittelpunkt gezogen wird. Unter dem Einfluß dieser Gravitationswirkung der Gaskugel auf sich selbst lasten natürlich die äußeren Schichten auf den inneren mit ihrem Gewicht auf und pressen sie zusammen. Der Effekt ist der gleiche, wie wir ihn in der Erdatmosphäre beobachten können, wo ja auch jede Schicht durch das Gewicht der über ihr befindlichen Luftmasse zusammengedrückt wird. Druck und Dichte werden in unserer Gaskugel also ebenso wie in unserer Atmosphäre von oben nach unten oder von außen nach innen entsprechend zunehmen müssen. Wäre die Gravitationswirkung nicht vorhanden, so müßte sich eine solche zusammengepreßte Gaskugel unter dem Einfluß des nach innen zu größer werdenden Gasdruckes natürlich wieder ausdehnen. Gravitation und Gasdruck wirken also einander entgegengesetzt, die Gravitation zusammenziehend, der Gasdruck wieder ausdehnend, und eine solche Gaskugel kann offenbar nur dann im Gleichgewicht oder stabil

sein, das heißt ihre Größe und Gestalt unverändert beibehalten, wenn sich Gravitation und Gasdruck in ihrem Innern überall gerade die Waage halten. Denn wäre die Gravitation stärker, so würde sie den kleineren Gasdruck überwinden, die Gaskugel würde sich zusammenziehen, so lange, bis der dabei steigende Gasdruck die Gravitation wieder gerade kompensieren würde, bis also wieder Gleichgewicht eingetreten wäre. Wäre dagegen die Gravitation kleiner, so würde der größere Gasdruck die Gaskugel wieder bis zum Eintritt des Gleichgewichtszustandes ausdehnen und vergrößern.

Unter diesem Gesichtspunkt des Gleichgewichtes zwischen Gravitation und Gasdruck ist seit den siebziger Jahren des vorigen bis in das erste Jahrzehnt des laufenden Jahrhunderts insbesondere von Ritter, Lane und Emden versucht worden, den Verlauf von Druck, Dichte und Temperatur im Innern solcher Gaskugelmodelle zu verfolgen.

Gegen 1910 erkannte Schwarzschild, daß noch ein dritter Umstand berücksichtigt werden müsse, wenn man zu einwandfreien Ergebnissen kommen will, nämlich der sogenannte Strahlungsdruck. Daß jede Strahlung, die auf eine Fläche auftrifft, also auch das Licht, auf diese Fläche einen Druck ausübt, läßt sich nicht nur aus der Theorie der Strahlung folgern, sondern ist auch durch das Experiment nachgewiesen. Dieser Strahlungsdruck ist zwar bei niedrigen Strahlungs-

temperaturen verschwindend klein, wächst aber mit der vierten Potenz der absoluten Temperatur und nimmt somit bei steigender Temperatur rasch zu. Das Licht unserer Sonne z. B. übt auf jedes Quadratmeter der Erdoberfläche bei senkrechtem Auftreffen einen Druck aus, der einem Gewicht von nur etwa 0.4 mg gleichkommt; hätte unsere Sonne aber statt ihrer Oberflächentemperatur von rund 6000° eine solche von einer Million Graden, dann wäre dieser Druck ihres Lichtes bereits dreiviertelmilliardenmal größer und würde pro Quadratmeter fast 300 kg ausmachen! Wenn also die Temperatur gegen das Sonneninnere zu stark ansteigt, so muß also auch der Druck der Strahlung im Innern der Sonnenkugel außerordentlich hohe Werte erreichen. Da der Strahlungsdruck ebenso wie der Gasdruck nach innen zu wächst, so wirken beide in gleichem Sinn. Bei den neueren Untersuchungen über den inneren Aufbau der Sonne und der Fixsterne ist daher als Gleichgewichtsbedingung die Forderung eingeführt, daß in jedem Punkt einer solchen Gaskugel die Gravitationskräfte der Summe aus Strahlungsdruck und Gasdruck das Gleichgewicht halten sollen, wenn die Gaskugel unverändert und stabil bleiben soll.

Zu alledem sagt uns noch die Erfahrung, daß sich die Sonnenstrahlung anscheinend seit sehr langer Zeit, vielleicht einige tausend oder noch mehr Jahre hindurch, kaum geändert hat, daß also die Sonnen-

temperatur während dieser Zeit auf derselben Höhe geblieben ist. Das ist aber wieder nur möglich, wenn kein Volumselement der Sonne von der aus dem Innern der Sonne kommenden und durch dieses Volumselement nach außen hindurchgehenden Strahlung etwas für sich behalten hat, ohne es nach außen weiterzugeben. Blicke in einem solchen Volumselement Strahlung zurück, so müßte dabei ja seine Temperatur steigen, und es müßte sich umgekehrt abkühlen, wenn es mehr Strahlung nach den äußeren Schichten abgeben würde, als ihm von den inneren her zufließt. Da die Sonnentemperatur nun aber anscheinend konstant bleibt, kein Volumselement in der Sonne also eine Temperaturerhöhung oder eine Abkühlung erleidet, so muß also sogenanntes Strahlungsgleichgewicht herrschen, d. h. jedes Volumselement muß so viel Strahlung nach außen weiterleiten, als es von innen her erhält.

Unter Berücksichtigung des Strahlungsdruckes und des ebenfalls von Schwarzschild eingeführten Strahlungsgleichgewichtes haben nun Eddington, Milne u. a. gefunden, daß im Mittelpunkt einer Gaskugel von der Größe und Masse der Sonne bereits eine Temperatur von rund 40 Millionen Graden herrschen muß. Wir kommen also bei der Vorstellung einer durch und durch gasförmigen Sonne tatsächlich für das Sonneninnere zu so hohen Temperaturen, wie sie erforderlich sind, damit der gasförmige Zustand trotz der hohen in der Sonne herrschenden Drucke

erhalten bleibt. Ob infolge der Veränderungen, die die Atome bei so hohen Temperaturen erleiden können, die Materie im Sonneninnern aber nicht schon anderweitige Formen annimmt, die wir hier auf der Erde natürlich nicht vorfinden können, das ist eine Frage, die momentan zwar vielfach erörtert wird, bisher aber eine befriedigende und sichere Antwort noch nicht gefunden hat.

Soeben wurde von der Konstanz der Sonnenstrahlung gesprochen, wie wir sie aus verschiedenen geologischen und geschichtlichen Anzeichen für eine Zeit von mindestens mehreren Jahrtausenden folgern müssen. Nun sendet unsere Sonne einem Quadrat-zentimeter, das wir auf der Erdoberfläche so aufstellen, daß es von den Sonnenstrahlen senkrecht getroffen wird, in einer Minute eine Wärmemenge von rund zwei Grammkalorien zu, also einen Wärmebetrag, der genügt, um die Temperatur von 2 cm<sup>3</sup> Wasser um 1° C zu erhöhen. Wir nennen diesen Betrag die *Solar konstante*. Natürlich erhält aber jedes Kubikzentimeter einer Kugel, die wir um die Sonne mit der Entfernung Erde—Sonne von 149·5 Millionen Kilometern oder rund 15 Billionen Zentimetern als Halbmesser legen können, genau den gleichen Wärmebetrag. Das gibt für die Sonne einen Gesamt-wärmeverlust von 90 Quatillionen oder  $9 \times 10^{25}$  cal pro Sekunde. Der Strahlungs- oder Wärmeverlust der Sonne ist also derart hoch, daß eine Temperaturerniedrigung oder Abkühlung des Sonnen-

körpers in absehbarer Zeit wohl unbedingt erwartet werden müßte, wenn nicht irgendwelche Quellen in der Sonne vorhanden wären, aus denen dieser Strahlungsverlust wieder ersetzt wird.

Die Frage nach diesen Energiequellen, die den Strahlungsverlust der Sonne und der Fixsterne decken, so daß deren Temperatur über lange Zeiträume hinweg nahe konstant bleiben kann, ist zuerst von Helmholtz näher erörtert worden. Wir stellen uns bekanntlich vor, daß die Bildung eines Sterns aus einem Gasnebel in der Weise erfolgt, daß sich dieser Nebel unter dem Einfluß seiner eigenen Massenanziehung auf sich selbst zunächst kugelförmig zusammenballt und dann weiter langsam zusammenzieht. Dabei wird der Gasball immer dichter und dichter, aber auch heißer und heißer, so daß er schließlich zu leuchten beginnt und nun als Stern erscheint. Die Kontraktion geht dann natürlich weiter vor sich, so daß die Temperatur des Gebildes ständig steigen müßte, wenn nicht gleichzeitig wieder der Wärmeverlust durch Strahlung vorhanden wäre. Je dichter das Gebilde nun wird, desto langsamer wird die Kontraktion, und es muß schließlich ein Zustand eintreten, wo die Temperatursteigerung durch Kontraktion und die gleichzeitige Abkühlung durch Ausstrahlung einander gerade aufheben. Die Temperatur des ganzen Gebildes wird dann für lange Zeiträume konstant und nahe unverändert erhalten bleiben können. Es hat den Anschein, als ließe sich in dieser Vor-

stellung eine Erklärung finden für die beobachtete Konstanz der Sonnentemperatur, wir wollen aber doch dazu eine Kontrolle durch Zahlenangaben versuchen und ausrechnen, ob unter der eben erörterten Vorstellung für unsere Sonne ein Alter herauskommt, das größer ist als das Alter, das von Geologen und Physikern für die Erde gefordert wird, die ja jedenfalls aus unserer Sonne entstanden ist. Wir beschäftigen uns daher zunächst ein wenig mit diesem mutmaßlichen Alter der Erde.

Bekanntlich ist Uran ein radioaktives Element, das über eine größere Anzahl von Zwischenstufen und über Radium hinweg schließlich zu Blei, dem sogenannten Radioblei, zerfällt. Aus den Versuchen im physikalischen Laboratorium kennt man nun aber die Zeit, die erforderlich ist, damit aus einer bestimmten Uranmenge eine bestimmte Menge Blei abgeschieden wird. Nimmt man also an, unsere Erde habe früher einmal ausschließlich aus Uran bestanden und schätzt man den jetzt noch vorhandenen Urangehalt der Erde ab, so läßt sich die Zeit ausrechnen, die nötig war, damit aus der ursprünglichen Uranmenge die jetzige geworden ist. Da die Erde aber natürlich anfangs nicht gänzlich aus Uran allein bestanden haben wird, ist die Zeit von zirka 130 Milliarden Jahren, die wir so für das Alter einer solchen „Uranerde“ erhalten, nur ein oberer Grenzwert, der jedenfalls viel zu hoch gegriffen ist. Auch das Verhältnis zwischen dem Bleigehalt und dem Urangehalt uranhaltiger Mineralien



kann in ähnlicher Weise verwendet werden. Man hat dann die Zeit nach rückwärts zu ermitteln, wo nur Uran und kein Blei vorhanden war, und erhält dabei rund ein bis zwei Milliarden Jahre, also einen wesentlich niedrigeren Wert, der aber dafür die weitaus größere Wahrscheinlichkeit für sich hat. Dieser Wert deckt sich auch bereits gut mit den Zeiträumen, die von den Geologen aus der bekannten Geschwindigkeit der Ablagerung von Sedimentschichten (1 m in 3000 bis 23.000 Jahren) und aus der beobachteten Mächtigkeit solcher auf der Erdkruste bereits vorhandener Schichten errechnet worden sind. Bedenkt man dazu, daß alle diese Berechnungen erst von dem Moment an Geltung besitzen, wo sich die Erdkruste gebildet hat, daß also vorher die aus der Sonne geborene Erde noch gasförmig und danach flüssig gewesen sein muß, so wird man diese Zahlen noch erhöhen und das Alter der Erde mit vielleicht etwa drei Milliarden Jahren ansetzen müssen. Das Alter unserer Sonne, die natürlich früher dagewesen sein muß als unsere Erde, können wir dann aber wohl nur mehr nach Billionen von Jahren abschätzen.

Damit taucht nun die Frage auf, wie sich die oben in groben Zügen geschilderte Helmholtzsche Kontraktionstheorie zu einem nach Jahrbillionen einzuschätzenden Alter unserer Sonne stellt. Wir müssen dazu versuchen, die Energiemengen zu berechnen, die bei der Kontraktion eines Gasballs in Form von Wärme gewonnen werden, und nehmen dazu an, daß sich unsere

Sonne aus einem ursprünglich unendlich großen Gasball bis zu ihrer heutigen Größe kontrahiert hat. Da die Sonne bei ihrer Entstehung gewiß nicht unendlich groß war, werden die Zahlen, die wir so erhalten, sicher wieder zu hoch ausfallen.

Physikalisch gedacht, erfolgt die Kontraktion eines solchen Gasballs so, daß alle Volumenelemente der Kugel unter dem Einfluß der aus dem Kugelmittelpunkt wirkenden Anziehungskraft gegen diesen Mittelpunkt herabsinken. Jedes Volumenelement leistet dabei eine Arbeit, die durch das Produkt Kraft mal Weg gegeben ist, und diese Arbeit wird dann in irgendeiner Form, z. B. als Wärme, verfügbar. Zerlegen wir also die ganze Gaskugel in einzelne dünne Schalen, deren Radius sich bei der Kontraktion verkleinert, so läßt sich die von der ganzen Masse einer solchen Schale bei der Kontraktion geleistete Arbeit berechnen, und durch Summieren über alle Kugelschalen erhalten wir dann die ganze Kontraktionsarbeit. Natürlich ist bei der Rechnung auch darauf Rücksicht zu nehmen, daß Druck und Dichte gegen das Innere einer solchen Gaskugel anwachsen, daß also die Massen der einzelnen Schalen dem von früher her bereits bekannten inneren Aufbau einer solchen Gaskugel anzupassen sind. Für unsere Sonne hat sich nun bei solchen Berechnungen unter Voraussetzung einer Kontraktion aus dem Unendlichen bis zur heutigen Größe eine gesamte Kontraktionsarbeit von  $13,4 \times 10^{40}$  Grammkalorien ergeben. Nimmt man an, daß die Sonnenstrahlung immer gleich

geblieben ist, und dividieren wir diese Kontraktionsarbeit durch die  $9 \times 10^{25}$  cal, die unsere Sonne pro Sekunde in den Weltraum ausstrahlt, so würden wir für das mögliche Alter unserer Sonne einen Wert von 47 Millionen Jahren erhalten, der trotz der wegen Annahme der Zusammenziehung aus dem Unendlichen sicher zu hohen Kontraktionsarbeit noch als viel zu klein angesehen werden muß. Und diese Zahl für das Sonnenalter müßte sogar noch weiter herabgesetzt werden, weil sich aus anderen Berechnungen ergeben hat, daß die Fixsterne in den früheren Lebensstadien stärker strahlen als in den späteren, und daher anzunehmen ist, daß auch die Sonnenstrahlung früher einmal, in den Jugendstadien der Sonne, kräftiger war. Da nun diese 47 Millionen Jahre nicht im entferntesten heranreichen an die Milliarden Jahre, die wir schon für das Alter der Erde ansetzen müssen, ist also die Kontraktionsarbeit allein gewiß nicht imstande, den Wärmeverlust der Sonne durch Strahlung zu decken, und wir müssen nach anderen Energiequellen Umschau halten.

Ein anderer Gedanke hiezu, der übrigens auch nicht zum Ziel führen wird, rührt von Robert Maier, dem Entdecker des Gesetzes von der Erhaltung der Energie, her. Bekanntlich ist schon die Zahl der auf unsere Erde herabstürzenden Meteoriten sehr groß, und da die Anziehungskraft unserer Sonne wesentlich höher ist als die unserer Erde, so wird auch die Anzahl der auf die Sonne fallenden Meteoriten eine

vielfach größere sein. Wenn nun ein solcher Meteorit aus dem unendlichen Weltraum auf die Sonnenoberfläche herabstürzt, erlangt er dabei eine Einsturzesgeschwindigkeit von 618 km pro Sekunde. Beim Auf-  
fallen wird diese Geschwindigkeit natürlich zur Null abgebremst, und jeder solche Meteor bringt also der Sonne die ihm bei dieser Abbremsung verlorengegangene Bewegungsenergie zu, die durch das Produkt aus dem Quadrat der Geschwindigkeit und der halben Meteormasse berechnet werden kann. Da die Endgeschwindigkeit bekannt ist, läßt sich also wieder ausrechnen, wieviel Meteormasse pro Jahr in die Sonne stürzen müßte, wenn dadurch der ganze Verlust an Strahlungsenergie gedeckt werden sollte. Die Zahl von 52 Trillionen Tonnen, die man dabei erhält, ist aber derart hoch, daß sich bei ständigem jährlichen Zuwachs solcher Massen die Sonnenmasse bald merklich vergrößern würde. Das hätte weiter zur Folge, daß ihre Anziehungskraft wachsen würde und daß sich die Umlaufzeit der Erde, also die Jahreslänge, verkürzen müßte. Seit etwa 2000 Jahren hätte sich dadurch unser Kalender bereits um sechs bis acht Wochen verschieben müssen! Das ist natürlich nicht der Fall, im Gegenteil, die Länge des Jahres hat sich in den letzten tausend Jahren sicher um keine ganze Sekunde geändert, und die sogenannte „Einsturzhypothese“ von Maier ist, wie schon betont, also auch nicht geeignet, die Erhaltung der Sonnenwärme befriedigend zu erklären.

Wir gehen schließlich über zu den modernen Anschauungen der Physiker über die Gleichheit von Energie und Masse, nach denen Strahlungsenergie nichts anderes ist als mit Lichtgeschwindigkeit bewegte Masse. Wenn danach also ein Körper Strahlung aussendet, so verliert er dabei an Masse, und zwar so viel, daß das Produkt aus dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit mit der ausgestrahlten Masse gleich ist der Energie der Gesamtstrahlung. Von diesem Gesichtspunkt aus ist nun aber der Inhalt der Sonne an Strahlungsenergie aus ihrer Masse leicht berechenbar, und durch Division mit dem Strahlungsverlust der Sonne läßt sich dann die Zeit ausrechnen, die unsere Sonne gewissermaßen noch zu leben haben kann, unter der Voraussetzung, daß ihre Ausstrahlung auch in Zukunft nicht abnehmen, sondern immer auf gleicher Höhe erhalten bleiben wird.

Die Masse unserer Sonne beträgt  $1.985 \times 10^{33}$  g oder 1985 Quintillionen Gramm, die Lichtgeschwindigkeit ist 300.000 km oder  $3 \times 10^{10}$  cm pro Sekunde, und ihr Quadrat beträgt also  $9 \times 10^{20}$ . Multipliziert man die Masse mit diesem Geschwindigkeitsquadrat, so ergeben sich  $1780 \times 10^{51}$  Energieeinheiten oder Erg, die noch als Energieinhalt in der Sonne vorhanden sind und ihr weiterhin zur Verfügung stehen. Diese Energiemenge kann die Sonne also in Zukunft in Form von Strahlung noch vollständig ausstrahlen, aber sie würde sich dabei natürlich nach und nach selbst aufzehren, so daß ihre ganze Masse bei vollständiger Um-

wandlung in Strahlung schließlich in der Form von Strahlungsenergie in den Weltraum übergegangen und verstreut worden wäre. Da  $1 \text{ cal} = 4.19 \times 10^7 \text{ Erg}$  (mechanisches Arbeitsäquivalent), so ergibt sich der eben berechnete Energieinhalt der Sonne noch in Grammkalorien zu  $4.26 \times 10^{46} \text{ cal}$ . Dividiert man diese Zahl nun durch den oben aus der Solarkonstante berechneten Gesamtstrahlungsverlust der Sonne pro Sekunde von  $9 \times 10^{25} \text{ cal}$ , so ergibt sich die Zeit, während der die Sonne bis zu ihrer völligen Aufzehrung in gleicher Stärke Strahlung aussenden könnte, sofort zu  $49.6 \times 10^{19}$  Sekunden oder zu

16 Billionen Jahren.

16 Billionen Jahre könnte also unsere Sonne in ihrem jetzigen Zustand weiterleben, bevor sie sich gänzlich verzehrt hätte. Ob sich allerdings Sonne und Fixsterne in dieser Weise wirklich gänzlich aufzehren und in Form von Strahlungsenergie in den Weltraum verstreuen, oder ob sie mit der Zeit, früher oder später, doch erkalten und dann in erkaltetem Zustand erhalten bleiben, das ist eine Frage, auf die sich eine befriedigende Antwort in dem einen oder anderen Sinn aus begrifflichen Gründen derzeit nicht gut geben läßt.

Mit diesen Rechnungen haben wir aber nur die Zeit abgeschätzt, die noch vor unserer Sonne liegt, während wir früher umgekehrt nach ihrem jetzigen Alter, also nach der Zeit gefragt haben, die seit ihrer Bildung bis jetzt verflossen ist. Würde man einfach

zu dem Zweck annehmen, daß die Sonne bei ihrer Bildung aus einem Gasnebel rund die doppelte Masse hatte und daß sie bis jetzt eben unter gleichbleibender Strahlung die Hälfte der Ursprungsmasse verloren hat, so wäre ihr jetziges Alter ebenfalls mit etwa 16 Billionen Jahren zu veranschlagen. Aber dieses Alter ist sicher zu hoch gegriffen. Theorie und Beobachtung besagen nämlich übereinstimmend, daß die Ausstrahlung eines Sterns wieder von seiner Masse selbst abhängig und um so größer ist, je mehr Masse der Stern besitzt. Ein Stern lebt gewissermaßen rascher, solange seine Masse noch groß ist, weil er dann stärker strahlt und damit auch rascher Masse verliert. In dem Maß aber, wie sich seine Masse durch Ausstrahlung verringert, wird er sparsamer und sparsamer, so daß seine Altersstadien gegenüber den verkürzten Jugendstadien immer mehr verlängert werden, je älter der Stern wird. Wir haben also sicher das eben geschätzte Alter unserer Sonne entsprechend zu verkleinern, dagegen die aus ihrem Energieinhalt berechnete Lebensdauer zu verlängern.

Der Zusammenhang zwischen Masse und Ausstrahlung, die sogenannte „Massen-Leuchtkraft-Beziehung“, ist durch die Beobachtungen an Sonne und Fixsternen bekannt geworden. Berücksichtigt man diese Daten, so verringern sich die obigen 16 Billionen Jahre, die wir für die Zeit angesetzt haben, die verstrichen ist, während sich die Sonne von der doppelten Masse auf die heutige verkleinert hat, auf etwa fünf

Billionen Jahre. Wir erhalten damit für das jetzige Alter der Sonne also eine Zahl, die im Hinblick auf das früher angegebene Alter unserer Erde sehr plausibel erscheint. Diese Zahl würde sich wegen der Raschlebigkeit der Sterne in den Jugendstadien übrigens nur sehr wenig vergrößern, wenn wir für die Ursprungsmasse der Sonne nicht das Doppelte der jetzigen, sondern ein Vielfaches davon ansetzen würden.

Dagegen vergrößert sich die noch vor der Sonne liegende Zeit, also ihre weitere Lebensdauer, bei Berücksichtigung der aus der Massen-Leuchtkraft-Beziehung folgenden sparsameren Strahlung bei sinkender Masse ganz bedeutend. Für die Zeit z. B., die verstreichen dürfte, bis die Sonnenmasse durch Ausstrahlung auf etwa ein Drittel des jetzigen Betrages herabgesunken sein wird, würde man keineswegs ungefähr die früheren 16 Billionen Jahre, sondern schon 300 Billionen Jahre anzusetzen haben. Allerdings wird dann auch die Sonnenstrahlung selbst, der Massenverringerung entsprechend, auf ein Hundertstel des jetzigen Betrages herabgesunken sein, und es ist klar, daß dann das organische Leben in seiner heutigen Form nicht mehr wird bestehen können, weil Sonnenlicht und Sonnenwärme dann bereits viel zu gering geworden sein werden.

Wir wollen als Schlußrechnung noch die Zeit ermitteln, die verstreichen dürfte bis zu dem Moment, wo die Sonne etwa ein Zehntel ihrer jetzigen Masse



ausgestrahlt haben wird. Man erhält dafür einen Wert von rund zwei Billionen Jahren, und gleichzeitig ergibt der Zusammenhang zwischen Masse und Leuchtkraft, daß dann die Sonnenstrahlung noch zirka neun Zehntel der heutigen Stärke ausmachen wird. Die klimatischen Unterschiede, die durch diese Verringerung der Sonnenstrahlung auf neun Zehntel bewirkt werden würden, sind aber kaum bedeutend und sicher nicht größer als die Unterschiede zwischen trockenen und regnerischen Sommern. Man kann also sagen, daß das organische Leben auf der Erde nach dem jetzigen Stand der astrophysikalischen Forschung noch für eine nach einigen Billionen von Jahren einzuschätzende Zeit die astronomischen Existenzbedingungen vorfinden wird, die für seine Erhaltung notwendig sind.

---



## Inhaltsverzeichnis.

---

Jahresbericht . . . . .	Seite V
-------------------------	------------

### Vorträge:

Prof. Dr. Adolf Stiegler: Die physikalischen Grundlagen der Körperfarben . . . . .	1
Prof. Dr. Richard Wasicky: Gifte und ihre Rolle im Völkerleben . . . . .	37
Dr. Alfred Zeller: Energiequellen des Lebens. . .	55
Prof. Dr. Adolf Hnatek: Der Aufbau der Sonne . .	71

---



**Druck von Adolf Holzhausens Nfg. in Wien.**