

68 Impuls

Schülerzeitschrift für
PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

1/84 INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 18. Jg.

Mikrobielle
Hoch-
leistungs-
stämme

★

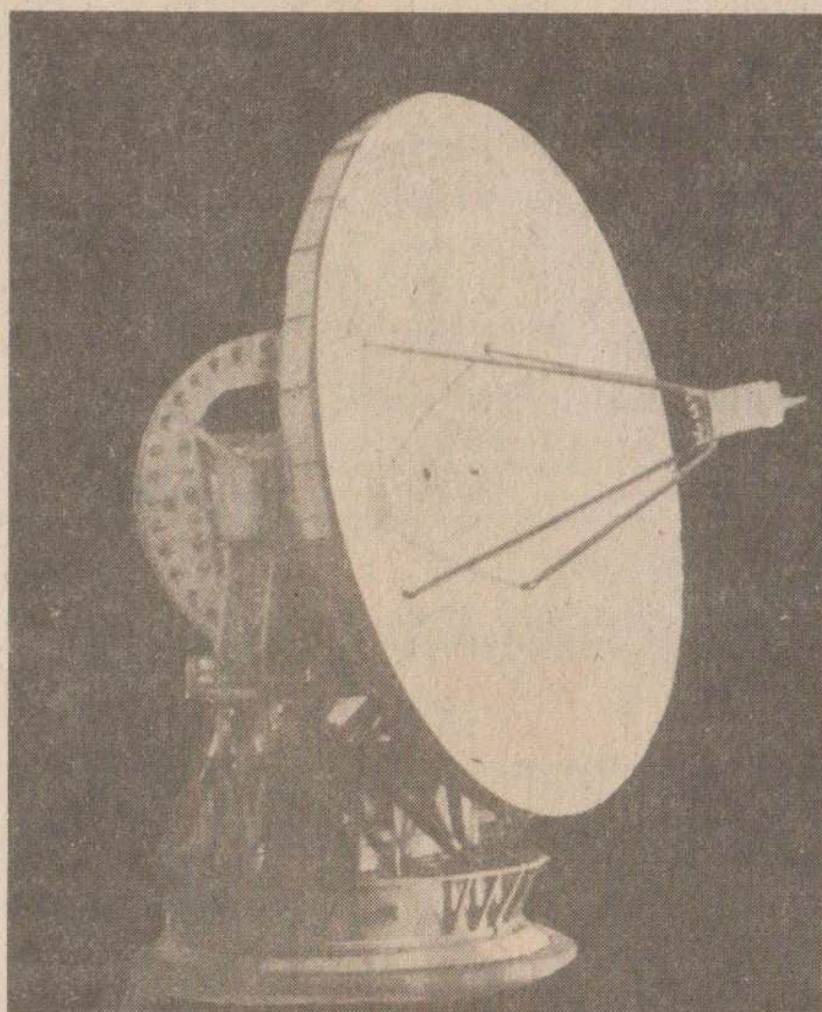
Mikro-
elektronik –
Leichtver-
ständlich

★

Evangelista
Torricelli

★

Büchermarkt



Quarks und
Leptonen
(Teil 2)

★

Gaschroma-
tographie

★

Titelbild:
Krim
Obser-
vatorium
Simeis –
22 m –
Radioteleskop
(Repro: W. K.)

Mit Radioteleskopen in die Tiefen des Alls

– von Wolfgang König –



Dr. Michael Basler	Quarks und Leptonen	3	PHY
Frank Laplace Igor Mierau	Mikrobielle Hochleistungsstämme	10	BIO
Wolfgang König	Büchermarkt	17	
Wolfgang König	Mit Radioteleskopen in die Tiefen des Alls	18	ASTRO
Oliver Kaschke	Gaschromatographie	28	CHE
Michael Kaschke	Büchermarkt	36	
Dr. Manfred Wolff	Mikroelektronik – Leicht verständlich – Teil 9: Zähler (1)	38	PHY
Dr. sc. Klaus Jupe	Evangelista Torricelli	45	GESCH

impuls 68 – SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“.

Anschrift der Redaktion: 6900 Jena, Max-Wien-Platz 1, Telefon 82-26286.

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR.

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: –,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb.

Satz und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht Gera, AN (EDV) 13228

REDAKTION:

Dipl.-Phys. Achim Dittmar (Chefredakteur), Dipl.-Phys. Michael Kaschke (stellv. Chefredakteur), Dr. Rosemarie Hild (Finanzen), Dr. Roland Colditz (Chemie), Dr. Jürgen Sauerstein (Biologie), Dipl.-Chem. Gabi Welsch (Gestaltung), Elke Schönheinz (Korrektur, Gestaltung), Silvia Butters (Gestaltung), Antje Schlegel (Öffentlichkeitsarbeit), Stefan Winter (Fotografie), Kerstin Leißling (Buchführung)

Die Redaktion wurde 1969 und 1980 mit dem Ehrentitel „Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR“ ausgezeichnet.

Gestaltung: A. Schlegel, S. Butters

Redaktionsschluß: 6. 12. 1983

4. Modelle der starken und schwachen Wechselwirkung

Das in Teil I geschilderte Bild der elektromagnetischen Wechselwirkung ist so schön und anschaulich, daß man bis heute versucht, es als Leitgedanken - man sagt auch Prinzip - für die Beschreibung der anderen Wechselwirkungen anzuwenden. Hierbei gibt es aber doch beträchtliche Unterschiede.

Die Reichweite der starken Wechselwirkung ist auf die Kerndimensionen (10^{-15} m) beschränkt und außerhalb dieser ist sie nicht mehr meßbar. Schon in atomaren Dimensionen (10^{-10} m) ist die auf der starken Wechselwirkung beruhende Kraft, die die Protonen und Neutronen im Kern zusammenhält, bereits völlig abgeklungen. Der japanische Physiker Hideki Yukawa, der 1935 ein Modell für die starke Wechselwirkung entwickelte, nahm an, daß diese ebenfalls durch ein Austauschteilchen hervorgerufen wird. Wir wollen einmal anhand unseres allgemeinen Kraftgesetzes (3) abschätzen, wie groß die Masse dieses Teilchens sein wird. Nimmt man an, daß etwa am Kernrand (Kernradius $r_K \approx 10^{-15}$ m) die starke Wechselwirkung auf den Wert $e^{-1} \approx 0,4$ abgefallen ist, so kann man aus

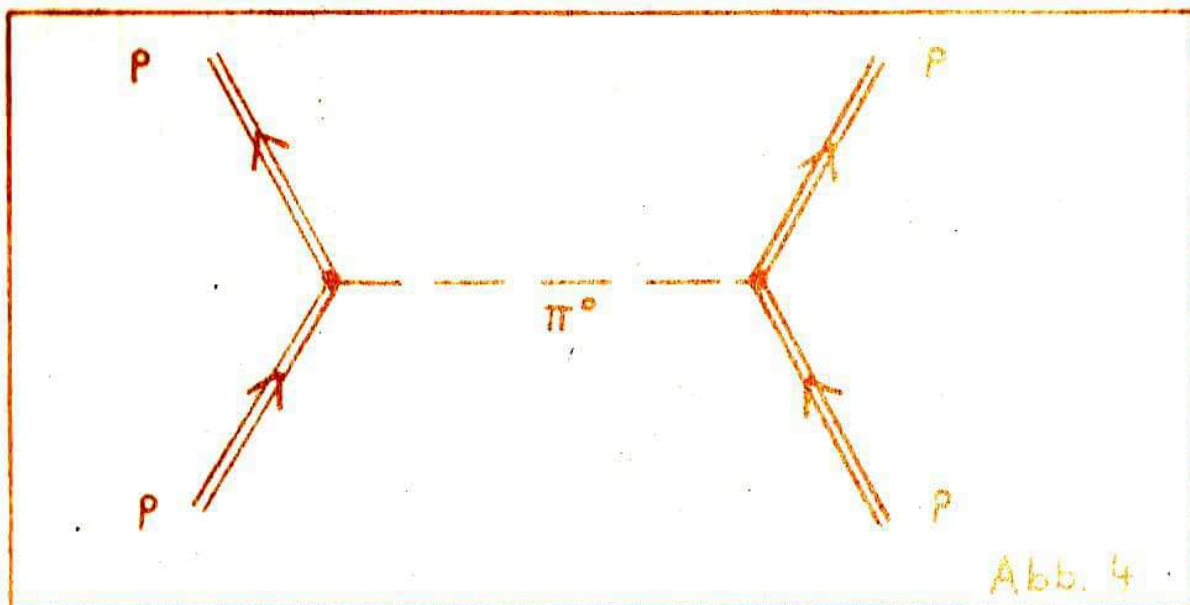
$$\frac{c}{\hbar} \mu r_K = 1 \quad (5)$$

die Masse des Übertragerteilchens berechnen. Setzen wir c , \hbar und r_K ein, so finden wir

$$\mu \approx 200 \text{ MeV}/c^2 \quad (6)$$

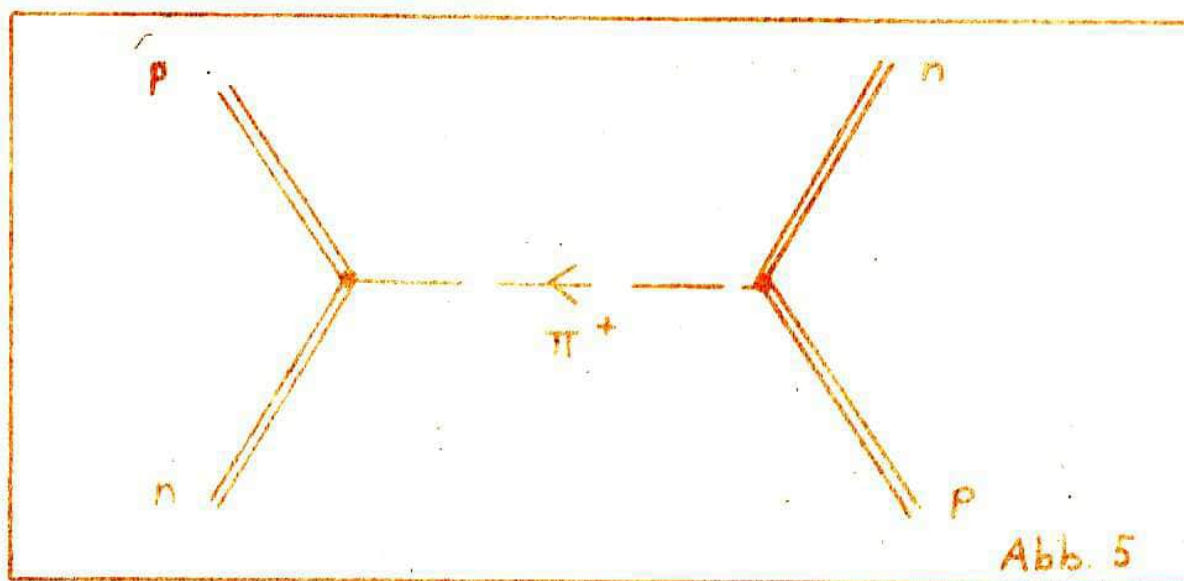
Tatsächlich konnten diese Teilchen, die man Pionen nannte, 1947 gefunden werden (Wenn man von "gefunden" spricht, meint man meistens die Beobachtung als reale Teilchen, d.h. daß diese auch von einem Detektor registriert werden). Ihre Masse betrug

$\mu = 140 \text{ MeV}/c^2$. Der Graph für die starke Wechselwirkung zweier Protonen sieht dann folgendermaßen aus:



\Rightarrow bezeichnet ein Proton, $---$ ein Pion.

Da neben den Protonen untereinander und den Neutronen untereinander auch eine starke Kraft zwischen Protonen und Neutronen beobachtet wird, mußte es 3 Sorten von Pionen geben, neben dem oben gezeichneten π^0 noch ein π^+ und ein π^- , die eine elektrische Ladung übertragen können:

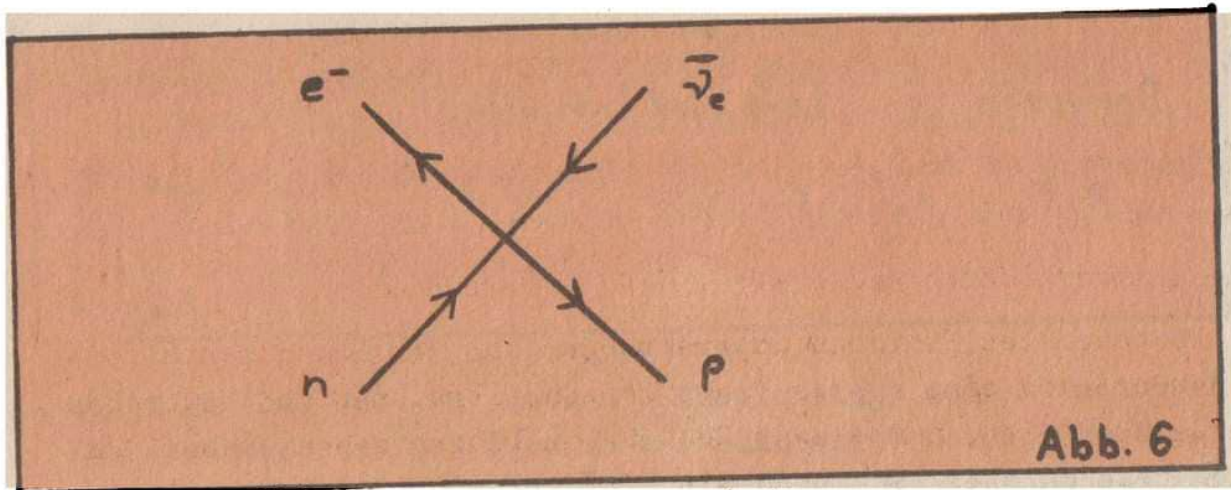


Auch für die schwache Wechselwirkung, die uns bereits beim β -Zerfall begegnet ist, legte man sich eine Modellvorstellung zurecht. Nach der Entdeckung des Neutrons 1932 hatte man bald erkannt, daß es sich beim β -Zerfall um den Zerfall eines Neu-

trons in ein Proton, ein Elektron (welches als β -Strahlung registriert wird) und ein Antineutrino ($\bar{\nu}_e$; Antiteilchen werden meist durch Querstrich gekennzeichnet) handelt:



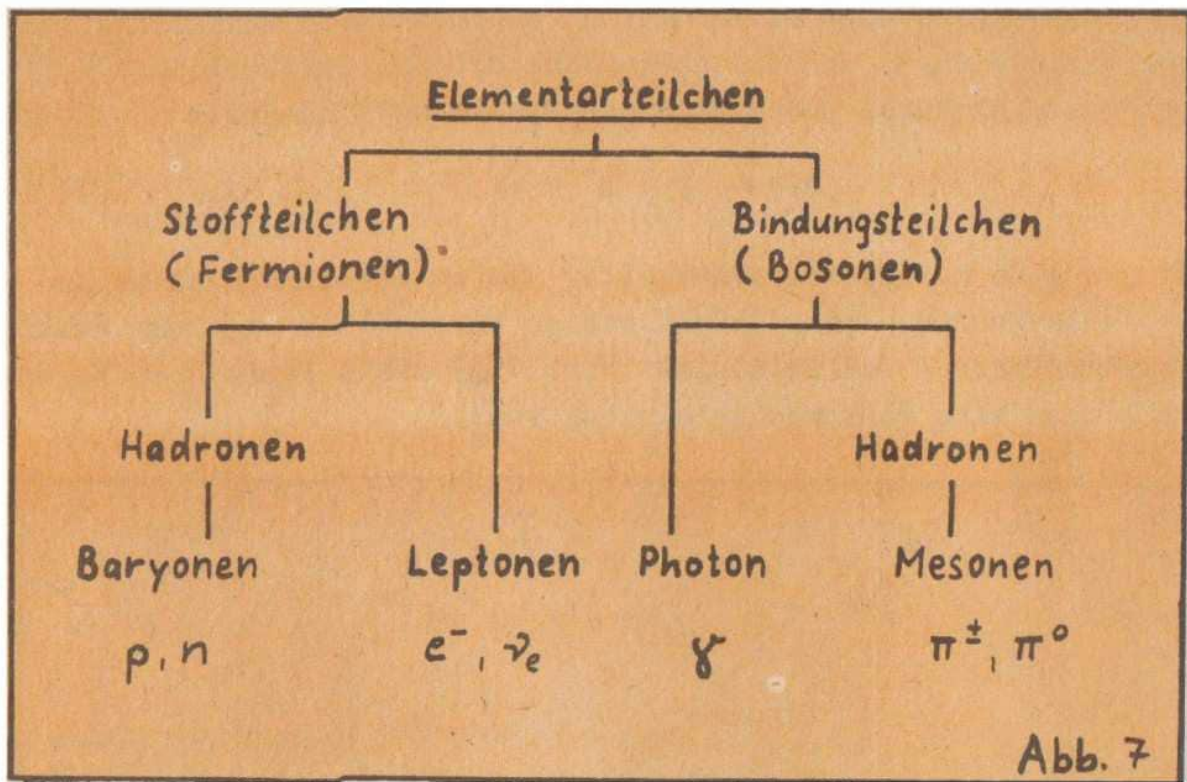
Da man eine Reichweite eventueller Austauschpartikel nicht abschätzen konnte - der Zerfall schien tatsächlich in einem Punkt stattzufinden - schlug Enrico Fermi 1933 statt eines Überträgerpartikels eine Punktwechselwirkung vor:



Bis in die 60-er Jahre bewegte sich die Elementarteilchenphysik auf der Grundlage dieser und ähnlicher Modelle. Wir wollen ausdrücklich betonen, daß es nur Modellvorstellungen sind. Während die Graphen der elektromagnetischen Wechselwirkung klar aus einer Theorie abgeleitet werden können, sind die der anderen Wechselwirkungen nur nachgebaut worden, ohne daß eine geschlossene Theorie dazu existierte.

5. Die Teilchen und ihre Wechselwirkungen - ein Überblick

Wir wollen an dieser Stelle einmal resümieren. Bisher haben wir (dies ist der Stand der 30-er Jahre) folgende Elementarteilchen als kleinste Bausteine der Materie kennengelernt: Abb. 7 Die hier verwendeten Begriffe haben sich - obwohl sie nicht immer treffend sind - in der Elementarteilchenphysik eingebürgert und wir wollen sie deshalb auch verwenden. Die Teilchen, die neben der schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkung auch noch an der starken Wechselwirkung teilnehmen, heißen



Hadronen (hadros (griechisch) = stark). Es gibt bei den Hadronen Baryonen (barios (griechisch) = schwer) als Stoffteilchen und Mesonen (mesos (griechisch) = mittel(schwer)) als Überträger- teilchen. Die nicht stark wechselwirkenden Teilchen heißen, da sie meist relativ leicht sind, Leptonen (leptos (griechisch) = leicht). Wir wollen noch darauf hinweisen, daß alle Stoff- teilchen Fermionen sind (d.h. halbzahligen Spin $\frac{1}{2} \hbar$ haben) während die Überträger- teilchen Bosonen sind (sie haben ganz- zahligen Spin: Photon $1 \hbar$, Mesonen $0 \hbar$).

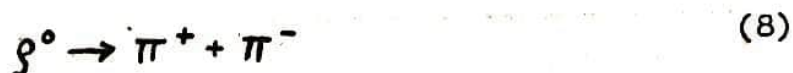
Das hier geschilderte Bild von den Teilchen und ihren Wech- selwirkungen blieb in den Grundzügen bis in die 60-er Jahre hinein erhalten. Mit der Zeit trat aber das Unzulängliche dieser Vorstellungen immer deutlicher hervor. Eine wesentliche Rolle kam dabei der in den 50-er und 60-er Jahren entdeckten Vielfalt neuer Teilchen zu.

6. Die Teilcheninflation

Die Probleme begannen in den 50-er Jahren. 1947 wurde das Myon (μ) identifiziert, welches dem Elektron verwandt ist. Bis auf die Masse stimmt es in allen Eigenschaften mit diesem

überein ($m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$, $m_\mu = 106 \text{ MeV}/c^2$), gehört also auch in die Spalte Leptonen. Auch ein zum Myon gehöriges Neutrino ν_μ wurde 1962 gefunden. Dies war (und ist es eigentlich bis heute) sehr eigenartig: Warum gibt es zwei Teilchen, die in ihren Quantenzahlen (Ladung, Spin usw.) völlig übereinstimmen, aber eine unterschiedliche Masse haben? Nicht genug damit, 1976 wurde noch ein drittes derartiges Teilchen gefunden, das τ -Lepton, welches ebenfalls die gleichen Quantenzahlen trägt, aber nochmals bedeutend schwerer ist ($m_\tau = 1784 \text{ MeV}/c^2$, also fast doppelt so schwer wie das Proton!). Ein zu ihm gehöriges Neutrino ν_τ wird z.Z. noch intensiv gesucht.

Damit hatte die Natur ihre Vielfalt aber nicht erschöpft. Neue Mesonen wurden gefunden, wie etwa das ρ^0 -Meson, welches im Unterschied zum π^0 einen Spin $1\hbar$ hat. Doch noch bedeutender war die Entdeckung des K^0 -Mesons. Sowohl das ρ^0 , als auch das K^0 können in zwei Pionen zerfallen:



(Die Drehimpulsbilanz wird im ersten Fall dadurch geregelt, daß das π^+ und π^- umeinander kreisen, also einen Bahndrehimpuls tragen; im zweiten Fall ist links und rechts der Spin = 0). Da ρ^0 und K^0 beide in stark wechselwirkenden Prozessen entstehen, sollte man auch erwarten, daß sie über die starke Wechselwirkung zerfallen. Nun weiß man, daß Zerfälle über die starke Wechselwirkung sehr viel schneller ablaufen, als etwa über die schwache Wechselwirkung. Zerfälle über die schwache Wechselwirkung laufen in $\approx 10^{-8}$ s, solche über die elektromagnetische Wechselwirkung in $\approx 10^{-16}$ s, und solche über die starke Wechselwirkung in der unglaublich kurzen Zeit von $\approx 10^{-24}$ s ab (zum Vergleich: die Schwingungsdauer einer Lichtschwingung ist für sichtbares Licht $\approx 2 \cdot 10^{-15}$ s). Tatsächlich hat das ρ^0 eine Halbwertszeit von 10^{-23} s, womit die Reaktion (8) ein starker Zerfall ist. Rätsel gab aber der Zerfall des K^0 auf, der sehr "langsam" (Halbwertszeit 10^{-10} s) abläuft. Dies kam nur ein schwacher Zerfall sein. Offenbar ist das K^0 durch eine weitere Quantenzahl zu charakterisieren, deren Erhaltung bei stark wechselwirkenden Prozessen nicht verletzt werden darf

(in der Zwischenzeit hat sich gezeigt, daß die schwächeren Wechselwirkungen allgemein weniger Erhaltungssätze respektieren). Man nannte diese Quantenzahl Strangeness (strange (englisch) = seltsam), abgekürzt S und ordnete dem K^0 die Strangeness $S = +1$ zu. Das π^+ und π^- haben natürlich $S = 0$. Später wurden auch Baryonen mit $S \neq 0$ gefunden, wie das λ , Σ , Ω u.a.

Neben den neuen Leptonen und den strangeness-tragenden Teilchen gab eine andere Gruppe neuer Teilchen weitere Rätsel auf, die Resonanzen. Dies sind angeregte Zustände der Baryonen oder Mesonen. Die erste Resonanz hatte Fermi 1952 in der Reaktion



beobachtet. Das zusätzliche Teilchen Δ^{++} wird über die Einsteinsche Beziehung $E = mc^2$ aus der kinetischen Energie des auf das Proton geschossenen Pions erzeugt. Bei ihm handelt es sich, wie bei Proton und Neutron, um ein Baryon, welches in 10^{-23} s stark zerfällt. Die Zahl dieser Resonanzen wuchs in den 50-er und 60-er Jahren sprunghaft an, auch Resonanzen mit Strangeness wurden gefunden. Das schöne Schema in Abbildung 7 war aus den Fugen geraten. Sollte es wirklich hunderte von Elementarteilchen als kleinste Bausteine geben? Die Tatsache, daß unsere Umgebung letztlich doch nur aus den in Abbildung 7 verzeichneten Teilchen besteht und der gesamte "Rest" nur in Hochenergielaboratorien erzeugt werden kann, war da auch wenig tröstlich.

Hinzu kamen Probleme auf theoretischem Gebiet. Das einfache Bild von der starken Wechselwirkung durch Austausch eines Pions erwies sich für praktische Rechnungen als unbrauchbar. Wir hatten bereits im Abschnitt 3 erwähnt, daß neben die einfachen Graphen auch noch kompliziertere treten. Bei der elektromagnetischen Wechselwirkung geben auf Grund der Kleinheit der elektrischen Ladung (genauer: $\frac{e}{\sqrt{\hbar c}} = \frac{1}{137}$) diese höheren

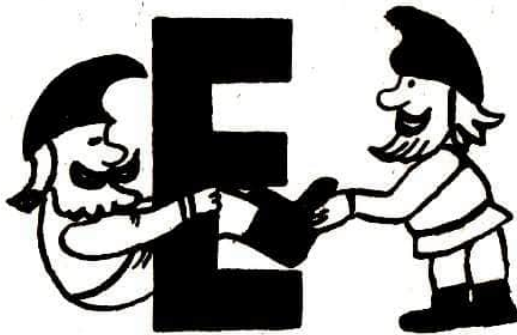
Graphen alle nur kleine Korrekturen zum Kraftgesetz. Bei der starken Wechselwirkung ist aber die starke Ladung ungefähr

$\frac{e_s}{\sqrt{\hbar c}} \approx 15$. Je komplizierter die Graphen werden und je mehr es werden, desto größer werden ihre Beiträge. Das war ein Teufelskreis, der praktische Rechnungen unmöglich machte.

Auch dem von Fermi aufgestellten Modell für die schwache Wechselwirkung sollte es nicht besser ergehen. War es für niedrige Energien gut brauchbar, so ergab sich bei hohen Energien beim Berechnen der Gesamtwahrscheinlichkeit aller schwachen Reaktionen etwa eines Myons, nicht mehr 1. Ein Grundprinzip der Physik, die Erhaltung der Wahrscheinlichkeit, schien verletzt.

Die Anschauung, die man sich bisher von den elementaren Bausteinen der Materie gemacht hatte, war offenbar zu einfach gewesen. Das spürten in den 60-er Jahren auch alle Physiker, die sich mit diesen Problemen beschäftigten. Was fehlte, war eine widerspruchsfreie und praktisch anwendbare Elementarteilchentheorie. Wir wollen in Teil III untersuchen, inwieweit wir heute diesem Ziel näher gekommen sind.

Wissenswertes:



ine Habilitation muß
grammatikalisch klar,
stilistisch korrekt und
inhaltlich unverständlich

sein, um den Beifall der Fachkollegen zu finden.

1. Die Geotypische Optimierung von sekundärstoffproduzierenden industriellen Mikroorganismen

1.1. Einleitung

Der Stoffwechsel eines Mikroorganismus (MO) ist wie bei allen Lebewesen ein äußerst komplexes System exakt aufeinander abgestimmter Regel- und Informationsmechanismen, die unter wechselnden Umweltbedingungen das Überleben und die Reproduktion des Organismus garantieren. Grundlage dafür ist die Regulation von Gen- und Enzymaktivitäten. Während der Evolution hat sich zwischen diesen wechselnden Umweltbedingungen und der Stoffwechselaktivität des MO ein wohldefiniertes Gleichgewicht herausgebildet.

Die Selektion wirkte und wirkt dabei so, daß immer nur eine für die jeweilige Situation notwendige Menge an Stoffwechselprodukten gebildet wird. Der MO ist also nicht in der Lage, unter natürlichen Lebensbedingungen Metaboliten (Stoffwechselprodukte), die für den Menschen von Interesse sind, in größerer Menge auszuscheiden, als dies von der Natur seiner inneren Regelmechanismen her möglich und "ökonomisch" sinnvoll ist. Wenn wir bei einem MO eine vermehrte Bildung uns interessierender Metabolite hervorrufen wollen, dann müssen wir diese Regelmechanismen durchbrechen. Dafür schaffen wir ihm für sein Überleben eine künstliche Umwelt - die Züchtungsbedingungen im Labor.

Mit MO werden u.a. produziert:

- extrazelluläre und intrazelluläre Enzyme (z.B. Amylasen - kohlenhydratspaltende Enzyme, Proteasen - proteinspaltende Enzyme für die Lebensmittel- und Waschmittelindustrie)
- Produkte des Energiestoffwechsels (Stoffabbau, z.B. Ethanol, Aceton)

- Primärmetabolite
- Sekundärmetabolite

Primärmetabolite sind Produkte des lebensnotwendigen Grundstoffwechsels. Charakteristische Primärmetabolite sind die Monomere der polymeren Zellbestandteile: Monosaccharide, Fettsäuren, Aminosäuren und Nucleotide. Diesen stellt man die Sekundärmetabolite gegenüber. Dazu gehören z.B. Antibiotica, Pigmente, Alkaloide und Toxine. Für das Wachstum des produzierenden MO sind sie nicht notwendig. Trotzdem haben sie eine Bedeutung für den Lebensprozeß des Produzenten, die oft nur zum Teil geklärt oder völlig unbekannt ist. Ihre Synthese wird von speziellen, vom Grundstoffwechsel verschiedenen Enzymen katalysiert. Die Substrate dieser Enzyme sind Primärmetabolite und/oder deren Vorstufen. Es gibt also eine enge Verbindung zwischen dem Stoffwechsel der Primär- und Sekundärmetabolite. Es gibt zwei Möglichkeiten, die Stoffproduktion von MO gezielt zu erhöhen:

1. phänotypische Optimierung: Das ist die Erforschung und Anwendung der günstigsten Lebens- und Produktionsbedingungen für die MO unter Zuhilfenahme physiologischer und biochemischer Methoden (Ermittlung des Wachstums- und Produktbildungsverlaufes, der Nährstoffansprüche, der H-Ionenkonzentration, des Temperaturoptimums usw.). Dabei kommt es nicht zu einer Veränderung des Erbmaterials.
2. genotypische Optimierung: Sie beinhaltet eine zielgerichtete Veränderung des Erbmaterials (Genom).

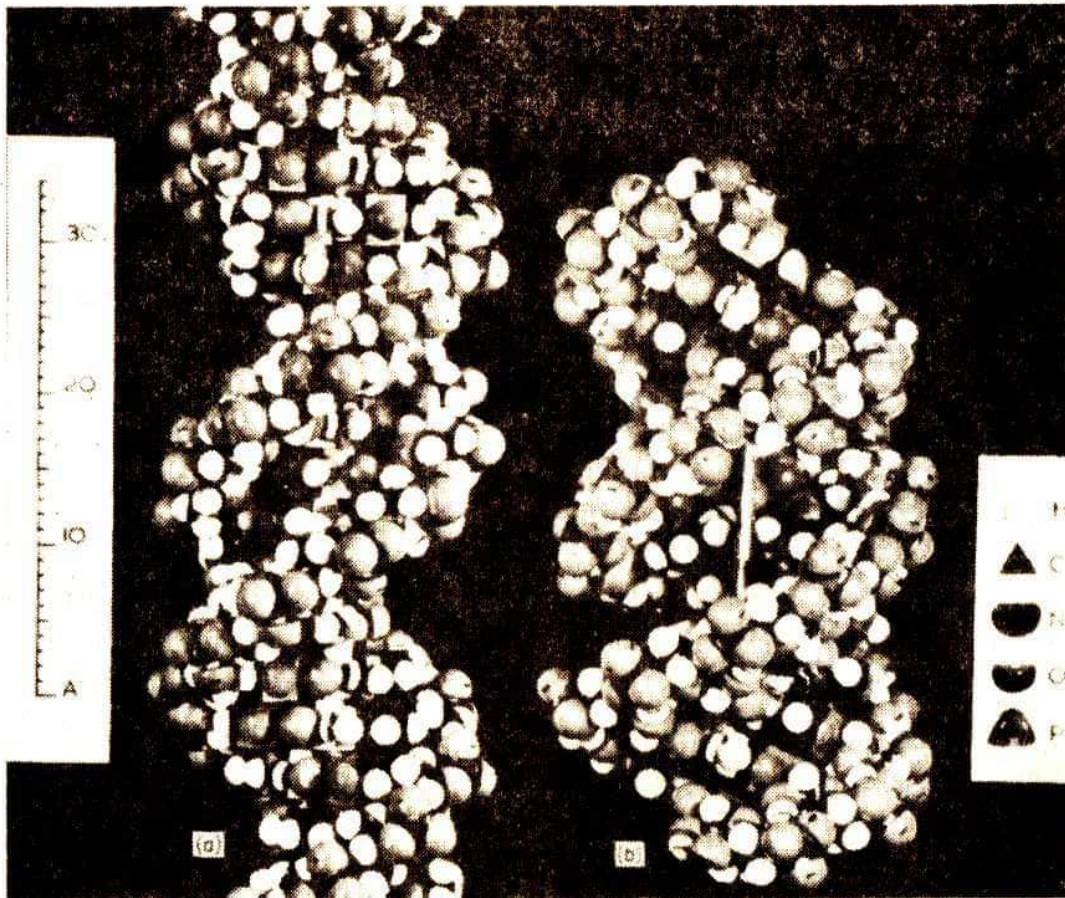
In der Praxis von Forschung und Züchtung bilden beide Methoden eine Einheit.

Von den genannten Produkten und Züchtungsmethoden wollen wir uns hier auf die Sekundärmetabolite und die genotypische Optimierung ihrer Produktion konzentrieren.

Für die genotypische Optimierung eines MO gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, deren Realisierung vom Wissensgrad über den Gegenstand und von den gesellschaftlichen Anforderungen und Möglichkeiten abhängt. Überblickt man unter Berücksichtigung der eben getroffenen Feststellung die historische Entwicklung der genotypischen Optimierung, so lassen sich zwei wesentliche Etappen feststellen:

1. Die empirische Selektion
2. Die halbempirische Selektion und die Selektionsstrategien

Diese wollen wir im folgenden darstellen.



Modell der DNS

1.2. Die empirische Selektion

Unter Verwendung eines kybernetischen Modells kann man sagen, daß der MO in Bezug auf die Sekundärstoffproduktion für die Wissenschaftler eine Black Box darstellte. Von ihr war nur bekannt, daß sie Determinanten (Gene) enthält, die für ihre Eigenschaften verantwortlich sind. Des weiteren war bekannt, daß sich die Eigenschaften sprunghaft ändern können (Mutationen) und daß solche Ereignisse beeinflusbar sind.

Mutationen sind in der Natur bekanntlich sehr selten (spontane Mutationsrate: 10^{-8} - 10^{-9} , d.h. auf 10^8 - 10^9 MO kommt eine

Mutante). Dazu kommt, daß sie in den allermeisten Fällen Nachteile für den betroffenen Organismus bringen (Störungen des inneren Gleichgewichts, Struktur- und Funktionsverluste). Dieser geringen Wahrscheinlichkeit steht bei MO-Kulturen eine hohe Organismendichte entgegen. Dadurch besteht die effektive Chance, "positive" Mutanten auszulesen. Durch Anwendung von Mutagenen (UV-Strahlen, Röntgenstrahlen, Stickstofflast, Hydroxylamin u.a.) steigt die Mutationsrate auf das zehntausend- bis hunderttausendfache und damit in bestimmten Grenzen auch die Wahrscheinlichkeit "positiver" Mutationen. Mutationen führen zu einer höheren Variabilität des Organismus (Farbe, Produktivität usw.). Diese wird dann unter dem Gesichtspunkt des gewünschten Stoffes betrachtet und diejenige Mutante ausgelesen, die am aktivsten ist.

Die bedeutendste Rolle in der mikrobiellen Sekundärstoffproduktion spielen die Antibiotika. Einer ihrer Vertreter, das Penicillin, bildet zugleich den Ausgangspunkt für die Beschäftigung der Wissenschaft mit der Sekundärstoffsynthese bei MO. So sind die Antibiotika auch die besterforschten Sekundärstoffwechselprodukte. Die Optimierung der Penicillinproduktion soll hier stellvertretend für alle anderen einen Einblick in diese Züchtungsmethoden geben.

Eingangs erwähnten wir schon das geringe der Züchtung zur Verfügung stehende Wissen. Betrachten wir die Geschichte etwas genauer: 1928 entdeckte Alexander Flemming, daß der Pilz *Penicillium notatum* eine bakterienhemmende Substanz produziert, die er Penicillin nannte. 1941 gelang dessen Reindarstellung durch H.W. Florey und E.B. Chain. Sie wendeten das Penicillin auch erstmals an schwerkranken Menschen an. Der Versuch scheiterte zunächst an der zu geringen Menge verfügbaren Wirkstoffs. Als die Heilung eines Menschen gelang, benötigten sie die Penicillinmenge, die von 1000 l bewachsener Pilznährlösung gewonnen worden war (*P. notatum* mit einer Produktivität von 6-12 mg/l). Heute gewinnt man aus dem gleichen Volumen 40 kg Penicillin. 1945 begannen die intensiven Untersuchungen zur Züchtung von Hochleistungsstämmen (jetzt aber mit der besser geeigneten Art *P. chrysogenum*). Die Züchtungsmethode war die künstliche Auslese (empirische Selektion) und deren äußerste Verfeinerung in der Anwendung auf die MO.

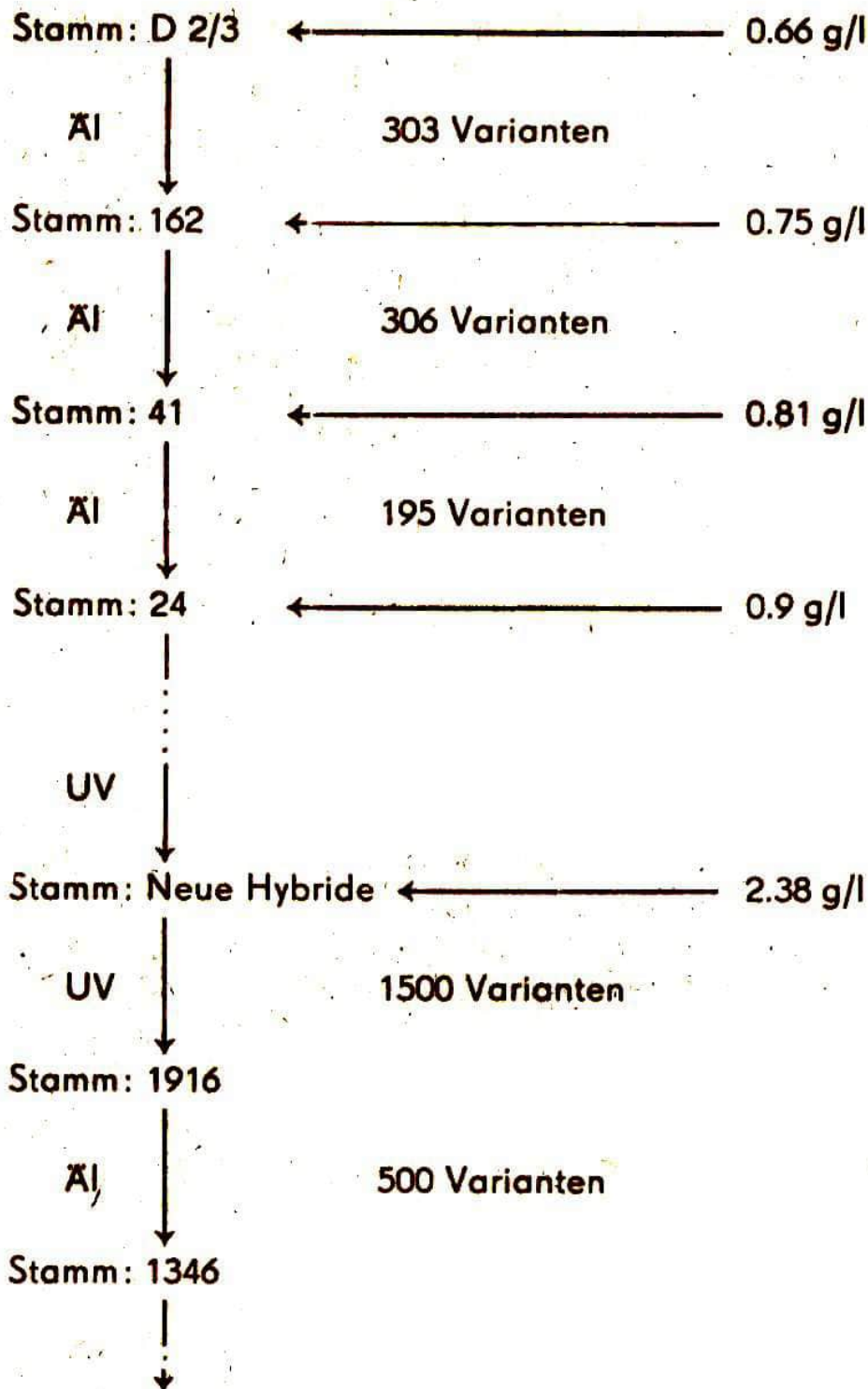


Abb. 1 Stammbaum der sowjetischen Züchtungslinie (verändert nach Alichanjan 1968)

Der Stammbaum hat insgesamt 13 Auslesestufen, auf denen z. T. mehr als 300 Varianten untersucht wurden. Die Produktivität steigt langsam aber kontinuierlich von 0.66 g/l auf 3 g/l, d. h. auf das 4,5-fache. Nichteingetragen sind die ergebnislos endenden Seitenzweige. (AI = Etylenimin als Mutagen.)

Die eigentlichen Effekte, auf denen die Steigerung der Produktivität beruhte, wurden oft erst im nachhinein erkannt.

Der erste Schritt dieser wissenschaftlichen Züchtung war die stufenweise Auslese (das ist die wissenschaftliche Bezeichnung für die systematische Suche nach Hochleistungsstämmen) eines hochaktiven, submers produzierenden Stammes von 241 aus der Natur isolierten Stämmen (Produktivität: 59 mg/l). Bei den folgenden Selektionsstufen kam die Anwendung von Mutagenen hinzu. Ein Ausschnitt aus dem sowjetischen Züchtungsstammbaum zeigt den grundlegenden Ablauf der stufenweisen Auslese (Abb.1). Diesen Vorgang charakterisierte S.I. Alichanjan, ein bedeutender sowjetischer Züchtungsgenetiker, wie folgt: "Der Prozeß der Gewinnung von hochaktiven Stämmen verläuft gewöhnlich über mehrere Etappen. Auf jeder Etappe werden die produktivsten Varianten ausgeselen, d.h., zu den früher erzielten mutativen Veränderungen kommen neue Mutationen hinzu, was sich in einer stufenweisen Erhöhung der Produktivität des Organismus äußert." Um auf einer Stufe aus 300 untersuchten Stämmen den produktivsten auszulesen, ist eine Zeit von etwa 1 1/2 Monaten erforderlich. Der hohen biologischen Variabilität Rechnung tragend, wird eine immer kleinere Menge produktivster Stämme mit steigender Anzahl von Parallelen und Wiederholungen ausgelesen. Von den 300 Stämmen gewinnt man die 30 produktivsten, von diesen dann 10 produktivere. Von diesen 10 Stämmen werden die drei besten ausgeselen und schließlich aus diesen dreien mit der höchsten Anzahl an Parallelen und Wiederholungen der leistungsfähigste Stamm ermittelt. Danach wird der ganze Prozeß auf der nächsten Stufe wiederholt. Die Erfolge dieser Methode sind offensichtlich. *P. notatum* bildete 6-12 mg Penicillin pro Liter. Am Ende dieser Etappe (Ende der 60iger Jahre) waren es schon 10 g/l (Steigerung um das 1000-fache). Heute gewinnt man 40g/l Penicillin (das aber auf Grund der Anwendung neuer Züchtungsmethoden).

Schauen wir uns auch die Nachteile an. Das Beispiel zeigt deutlich, welchen Aufwand an mechanisch unbefriedigender Arbeit diese Methode erfordert. Es konnte aber nicht gewartet werden, bis Grundlagenwissen angehäuft war und effektivere Methoden möglich wurden. Das Penicillin war für viele Menschen zu einer großen Hoffnung geworden - für das Kapital eine Profitquelle - und mußte sofort in steigenden Mengen produziert werden. Das zeigt uns, wie gesellschaftliche Bedürfnisse die wissenschaft-

liche Arbeit determinieren.

Mit zunehmendem Fortschritt in der Züchtung traten immer weniger "positive" Mutanten auf und der Selektionsprozeß begann zu stagnieren. Alichanjan versucht das folgendermaßen zu erklären:

"Im Verlauf einer langandauernden Selektion (manchmal über 10, 20 bis 30 Stufen ...) erhalten wir, bei wiederholter Auslese der Plusvarianten im Endergebnis möglicherweise eine völlige Erschöpfung der Gene für Plusmutationen." Ursachen könnten sein

1. die Begrenztheit des Stoffwechsel- und Regelsystems der Zellen für "positive" Veränderungen (Mutationen), da es ja als ganzes voll funktionsfähig bleiben muß und
2. wirken die angewandten Mutagene an zum Teil spezifischen Stellen der DNA und schöpfen dort schnell alle Möglichkeiten aus. Nach einer Akkumulation "positiver" Mutationen kommt es an diesen Stellen, durch die Wirkung der gleichen Mutagene, zu Mutationen, die die "positiven" Veränderungen wieder aufheben (Rückmutationen).

Um diesen Effekt zu umgehen, setzte man erstens unterschiedlich wirkende Mutagene ein und erreichte insgesamt eine größere Breitenwirkung.

Zweitens kreuzte man Hochleistungsstämme, von denen man annehmen konnte, daß ihre Leistungen auf Mutationen in unterschiedlichen Genen beruht (Hybridisierung). Es wurde sozusagen das Genom aufgefrischt für eine neue Folge von Mutagenbehandlungen.

Die Abnahme der Häufigkeit "positiver" Mutanten führte zu einem immer höheren Aufwand, um eine kontinuierliche Steigerungsrate der Produktivität beizubehalten. Dieser Widerspruch von Aufwand und Nutzen trat immer stärker hervor. Er konnte nur gelöst werden durch die Anwendung neuer Methoden, die auf erweiterten grundlegenden Kenntnissen über das Objekt beruhten.

Es muß aber betont werden, daß die beschriebene Methode keineswegs der Geschichte angehört. Sie wird heute noch in der Industrie eingesetzt und muß in der modernen Züchtung auf bestimmten Etappen der Selektion angewendet werden (z.B. Anpassung eines Hochleistungsstammes an die Bedingungen im Fermenter).

BÜCHERMARKT

Horst Rast

„Vulkane und Vulkanismus“

BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 2. Aufl. 1982.
230 S., 93 Abb., Preis: 19,00 M, Best. Nr. 665 8772



Mitunter wird man auf ein Buch erst aufmerksam, wenn seine 2. Auflage erschienen ist, weil die erste zu schnell im Buchhandel vergriffen war. So erging es mir mit "Vulkane und Vulkanismus" (Neuaufgabe 1982).

Wußten Sie z.B., daß es auf der Erde zur Zeit insgesamt 481 aktive Vulkane gibt, von denen allein 28 auf die Insel Island entfallen? Wann ereigneten sich die bekanntesten Ausbrüche der vergangenen Jahrhunderte, und wie können sich die Menschen gegen Eruptionen schützen? Wie entstehen Geisiere und was ist ein Schlammvulkan?

All das und mehr erfährt man aus diesem guten Fachbuch, das trotz seiner vielen speziellen Termini auch dem Laien verständlich bleibt.

Dr. Rast von der Karl-Marx-Universität Leipzig ist ein spannendes und an Informationen reiches Sachbuch gelungen. Der Teubner-Verlag hat außerdem für eine gute Bildausstattung gesorgt.

Da die geologischen Aktivitäten im oberen Erdmantel und in der Erdkruste zu den unabänderlichen Naturerscheinungen gehören, die das Antlitz unseres Planeten auch weiterhin noch verändern werden und der Vulkanismus darüberhinaus auch auf anderen Himmelskörpern vorkommt, dürfte dieses Buch einen größeren Leserkreis finden, vor allem wird es Schüler der oberen Klassen interessieren, sowie Studenten und Lehrer der Fachrichtungen Geologie und Astronomie.

Wolfgang König

Wolfgang König
Schul- und Volkssternwarte
„K. E. Ziolkowski“
Suhl

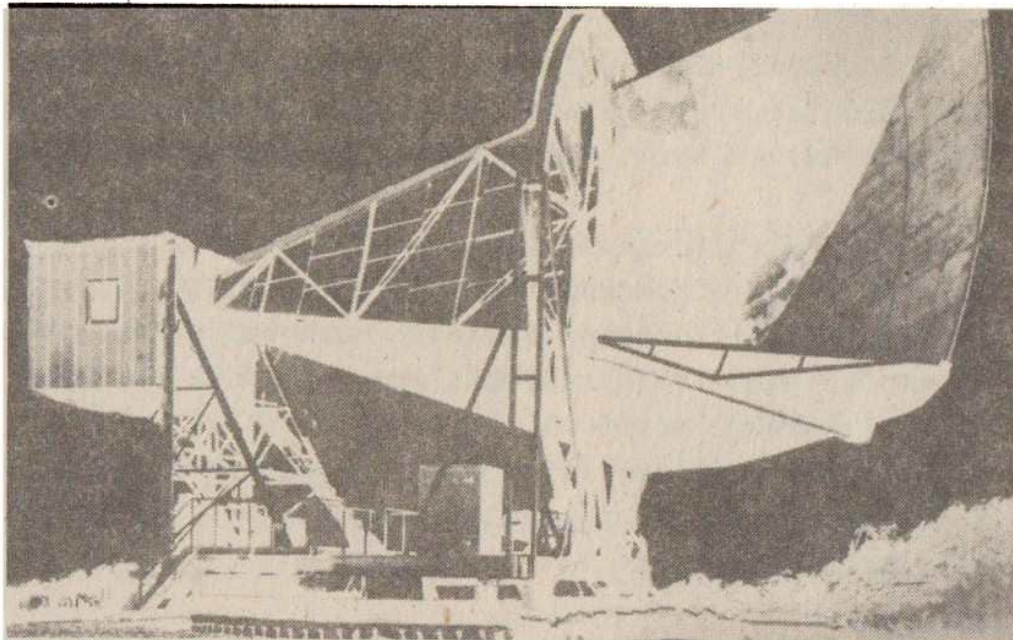
Mit Radioteleskopen
in die Tiefen des Alls

ASTRO

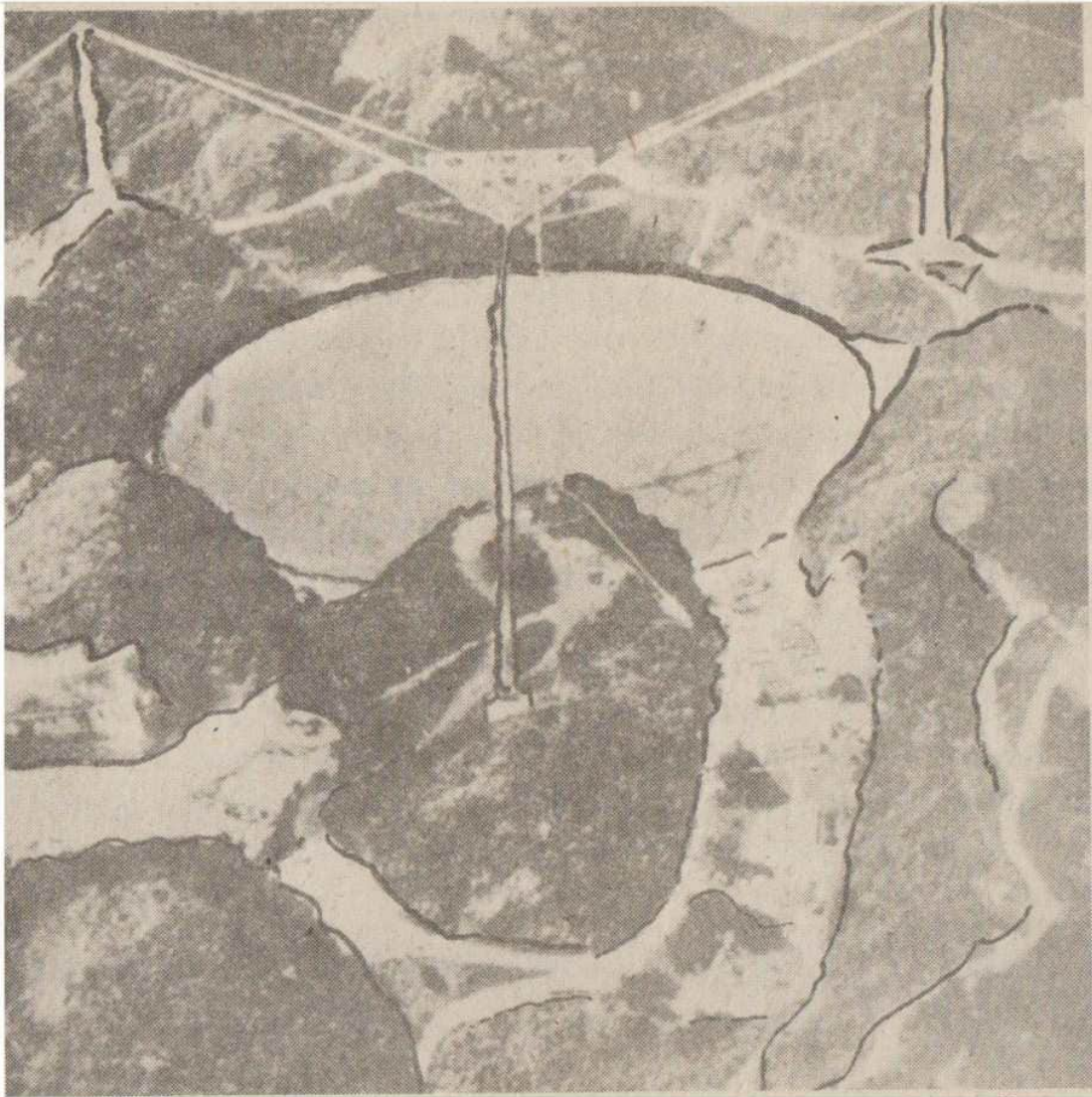
Die Radioastronomie hat sich in den wenigen Jahrzehnten ihres Bestehens so ausgeweitet, daß mit diesem Aufsatz nur ein kleiner Einblick in ihre Arbeitsmethoden und Ergebnisse gegeben werden kann.

Quasare, galaktisches Zentrum, Cassiopeia A, Cygnusbogen, Radiogalaxien - all das sind Vokabeln, die in der Astrophysik von heute zu Begriffen geworden sind, dank der neuen Forschungsmethode.

Man hat die riesigen Parabolantennen, die manchenorts auf den Himmel gerichtet werden und Radiostrahlung aus dem All empfangen, oft die "Ohren der Astronomen" genannt.



Auf dem CRAWFORD-Hill (New Jersey, USA) steht dieser Hornreflektor, eine ungewöhnliche Konstruktion für ein Radioteleskop.



Auf der von den USA verwalteten Insel Puerto Rico vor der Nordküste Südamerikas befindet sich die 305 m im Durchmesser große Radioantenne von Arecibo.

Der schüsselförmige Reflektor ist mit feinmaschigem Drahtnetz ausgelegt und in einen Talkessel (natürliches Landschaftsprofil) hinein gebaut.

Die Primäranterie im Brennpunkt des Hohlspiegels wurde an drei 120 m hohen Stahlbetonmasten aufgehängt.

So anschaulich in einer Hinsicht dieser Vergleich mit dem menschlichen Hörorgan ist (wir empfangen mittels der Radioteleskope Informationen aus dem Kosmos im nichtoptischen Bereich des elektromagnetischen Spektrums), so falsch ist die Prägung dieses Begriffes im Hinblick auf die ihrer Funktion zugrundeliegenden physikalischen Gesetze.

Radiowellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit und (zu unserem Glück) nicht nur mit Schallgeschwindigkeit aus, außerdem durchdringen sie auch den leeren Raum (Vakuum) und sogar den Staub der interstellaren Materie, welcher für Lichtwellen ein undurchlässiges Hindernis ist. Darin besteht einer der Gründe, warum wir mit Radioteleskopen weit tiefer ins Weltall vordringen können, als es mit den stärksten optischen Fernrohren möglich ist. Die Quasare z.B. (quasistellare Radioquellen), jene exotischen Objekte unter den Himmelskörpern, die erst 1963 entdeckt wurden, bewegen sich zum Teil in Entfernungen von mehr als 10 Milliarden Lichtjahren, das ist an der Grenze des heute überschaubaren Weltalls.

Im Astronomie-Lehrbuch der 10. Klasse findet sich der prophetische Satz: "Mit fortschreitendem Entwicklungsstand der Beobachtungstechnik und -Instrumente wird in der Zukunft die Grenze der Erforschbarkeit dauernd weiter hinausgeschoben werden." Wir wollen in diesem Beitrag der Frage nachgehen, welchen Anteil Radioteleskope an der Erforschung der Struktur des Raumes haben und werden sehen, daß sich selbst die heutigen Vorstellungen der Wissenschaftler über das "Weltalter" auf radioastronomische Messungen (3-Grad-Kelvin-Strahlung) gründen.

Wie entsteht natürliche Radiostrahlung und welches sind die bekanntesten Radioquellen im Kosmos?

Aus unserem Schulwissen ist uns bekannt, daß es Heinrich Hertz in den Jahren 1887/88 als erstem gelang, auf der Grundlage der von James Clerk Maxwell vorausgesagten Theorie elektromagnetische Wellen im nicht sichtbaren Bereich künstlich zu erzeugen. Der Siegeszug der Nachrichten- und Fernsehtechnik zu Beginn unseres Jahrhunderts hat jedermann den Charakter dieser Strahlung sinnfällig vor Augen geführt. Energie pflanzt sich im Vakuum und gleichermaßen in Stoffen fort und vermag sogar lichtundurchlässige Materie zu durchdringen. Erzeugt werden solche elektromagnetischen Wellen in Schwingkreisen, allgemein gesprochen, in Sendern, denen Elektroenergie zugeführt werden muß. Reichweite und Empfangsqualität hängen von der aufgewandten Energie und von der Frequenz der erzeugten Strahlung ab.

Diese Kriterien müssen wir auch im Kosmos berücksichtigen, wenn wir nach "natürlichen" Radioquellen suchen.

Elektrische und magnetische Felder, die sich zeitlich und räumlich periodisch ändern (also elektromagnetische Wellen) können auf verschiedene Art entstehen.

Übereinstimmend begegnen wir aber immer wieder dem Prozeß, der auch der Lichtentstehung zugrundeliegt, daß bewegte elektrische Ladungen (etwa Elektronen oder andere Elementarteilchen) ihren Bewegungszustand ändern, d.h. schneller oder langsamer bei Wechselwirkungsvorgängen mit anderen Materieformen werden. Es kommt dabei zu quantenhafter Emission oder Absorption von Strahlung.

Zum Beispiel sendet der neutrale Wasserstoff des zwischen den Sternen befindlichen Gases (das sog. H_I -Gebiet) dadurch eine Linienstrahlung der Wellenlänge von 21 cm aus, weil seine Atome beim zufälligen Zusammenstoß ihre Energieniveaus ändern. Durch Umklappen des Elektronenspins (parallel oder antiparallel zum Spin der Protonen im H-Kern) kommt es zu Hyperfeinstruktur-Übergängen, verbunden mit einer Linienstrahlung im radiofrequenten Bereich. Anders verhält es sich mit den H_{II} -Gebieten. Dort liegt ionisierter Wasserstoff vor, meist in der Umgebung sehr heißer Sterne vom Spektraltyp O und B. Diese für irdische Begriffe superheißen "Atomöfen" besitzen Oberflächentemperaturen von 50 000 K - 20 000 K und ionisieren Gas mittels der von ihnen abgestrahlten UV-Wellen noch in einer Entfernung von einigen 100 Lichtjahren.

Die Temperatur der H_{III} -Regionen selbst liegt in der Größenordnung von 10 000 K. Die Dichte des Gases ist dabei außerordentlich gering (ca. 10^2 Atome pro cm^3). An den Atomen vollziehen sich sog. "Frei-frei-Übergänge", wobei sowohl kontinuierliche Radiostrahlung als auch diskrete Strahlung (bei Rekombination von Elektron und Atomkern) ausgesandt wird.

Selbstverständlich können gleichzeitig mit den Radiowellen auch Lichtwellen im sichtbaren Bereich emittiert werden.

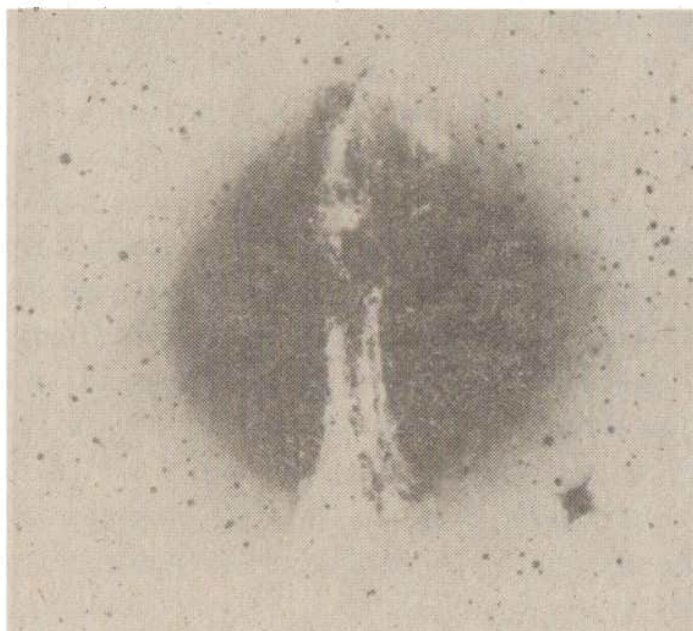
Der ORION-Nebel innerhalb unserer Galaxis ist dafür ein bekanntes Beispiel. Er gilt als diffuser Emissionsnebel, der gut mit optischen Teleskopen beobachtet werden kann, gleichzeitig aber auch Infrarot- und Radiostrahlung aussendet.

Ob elektromagnetische Wellen im für das menschliche Auge

sichtbaren Bereich oder im Radiobereich abgestrahlt werden, oder auch im Infrarot-, Ultraviolett-, Röntgen- oder Gamma-Bereich, hängt von der Temperatur der anregenden Energiequelle ab. Die genannten Strahlenarten unterscheiden sich in ihrer Frequenz, in ihren Wellenlängen und damit in ihrer Energie. Erzeugt wird diese Anregungsenergie zum größten Teil durch Fusionsprozesse (Kernverschmelzung) in den Sternen.

Neben der Strahlung im "thermischen Gleichgewicht" befindlichen kosmischen Objekte (aufgenommene und abgegebene Energie halten sich die Waage) gibt es den sog. "Bremsstrahlungsmechanismus" (Elektronen werden durch Protonen oder positive Ionen verlangsamt) und die "Synchrotronstrahlung" (elektrische Teilchen bewegen sich in Magnetfeldern auf Kreis- oder Spiralbahnen). Hinzu kommen "Plasmaschwingungen" bei bestimmten Sterntypen. Plasma ist der Begriff für teilweise oder vollständig ionisierte Gase.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich betont, daß es im Kosmos eine solche Vielfalt von Möglichkeiten der Entstehung verschiedener Strahlenarten, also auch der Radiostrahlung, gibt, daß wir nicht unbedingt an intelligente Wesen im All denken müssen, wenn wir ein "Rauschen" aus dem Universum vernehmen.



CENTAURUS A oder, wie dieses System international auch genannt wird, **NGC 5128**, strahlt in rund 4 Mpc (vier Megaparsec), das sind mehr als 12 Millionen Lichtjahre Entfernung, eine so starke Radiostrahlung aus, daß man sich auf der Erde noch kein richtiges Bild über den Mechanismus der Energieerzeugung machen kann.

Betrachten wir als Beispiel die in Abb. 3 gezeigte Radiogalaxie NGC 5128 (Centaurus A)! Man hat einen Erdbstand von 5 Mpc (fünf Megaparsec), das sind rund 16 Millionen Lichtjahre errechnet. Damit gehört sie zu den relativ nahen Sternsystemen, die sowohl im Radiobereich registriert wurden, als auch gleichzeitig optisch mit Spiegelteleskopen fotografiert werden konnten. Wegen der bizarren Dunkelnebelstruktur in der Mitte der hell leuchtenden kugelförmigen Galaxie dachte man ursprünglich daran, daß sich hier 2 Galaxien begegnen, die bei ihrer gegenseitigen Durchdringung infolge der aufeinanderprallenden Gasmassen Radiostrahlung erzeugen. Die Verbesserung des Auflösungsvermögens der Radioteleskope hat nun aber dazu geführt, daß man erkannte, die Radioquelle Cen A (gelesen Centaurus A) hat einen vielfach größeren Durchmesser als die im Bild sichtbare (mit Licht fotografierte) Galaxie. Neue Lösungsvariante: Bei Explosionen von Galaxien oder Galaxienkernen entstehen Ströme schneller Elektronen, die eine Sychrotronstrahlung im sichtbaren Bereich und im Radiofrequenzbereich erzeugen. Damit ist ein ganz neues Kapitel der Radioastronomie angeschnitten worden, womit sich u.a. das Bjurakaner Observatorium (Armenische SSR) befaßt.

Die oben schon erwähnten Quasare stellen quasi sternförmige Objekte in weit größerer Entfernung dar. Bei ihrem Abstand von einigen Milliarden Lichtjahren dürften sie eigentlich im Radiobereich gar nicht mehr empfangen werden können, denn auch hier gilt das Gesetz, daß die Intensität der Strahlung mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt. Die großen Abstände hat man aus der Rotverschiebung (Dopplereffekt) im optischen Bereich abgeleitet. Also müssen die Astrophysiker nach einem neuen "Energieentstehungsmechanismus" suchen, was die Wissenschaft insgesamt voranbringen dürfte.

Diese erst seit rund 2 Jahrzehnten bekannten Objekte eilen mit großer Fluchtgeschwindigkeit davon. Wo geht die Reise hin? Hat das Weltall eine Grenze? Wie sollten wir diese Fragen überhaupt angehen, wenn es die Radioastronomie nicht gäbe?

1932 wies in den USA der Nachrichteningenieur Janski zuerst mit einem konventionellen Antennensystem nach, daß Hertzsche Wellen im Radiofrequenzbereich auch aus dem Kosmos zu uns auf die Erde gelangen. Nimmt man das als den Anfang einer neuarti-

gen Technik, könnte man sagen, wir haben gerade ein halbes Jahrhundert Radioastronomie hinter uns. Die Strahlung, die Janski und sein Institut registrierten, kam aus dem Sternbild "Schütze", d.h. aus Richtung Zentrum der Milchstraße.

Es war eine Zufallsentdeckung, denn gesucht wurden die Ursachen für atmosphärische Funkstörungen irdischer Nachrichtenswellen, die ihren Ausgang an Bodenstationen hatten. Einige Jahre später, während des zweiten Weltkrieges, empfing man mit für die Luftabwehr konstruierten Radaranlagen von der Sonne ausgehende Radiowellen. Diese ebenfalls unbeabsichtigte Registrierung fällt auch in die Anfangszeit der Radioteleskope. Da man Anfang der 40-er Jahre an ausgedehnte wissenschaftliche Forschung auf diesem Gebiet in keinem Land der Erde denken konnte, kamen erst 1946 bzw. 1947 die größten Entdeckungen zustande. Dieser spezielle Zweig der Astronomie, Radioastronomie, ist mitten in ihrer Entwicklung und wird in Zukunft noch viele Überraschungen bringen.

Der größte wissenschaftliche Gewinn konnte bisher aus dieser Technik gezogen werden, als man 1965 die 3 K-Strahlung entdeckte.

Es schien sich damit die Bestätigung für eines der Weltmodelle ergeben zu haben, die seit Einsteins kosmologischer Theorie von 1917 ausstand. Man diskutiert heute das sog. "offene" oder "geschlossene" Weltall. Unter ersterem versteht man einen "unendlichen Raum", dessen Raumkrümmung (eine geometrische Eigenschaft des Universums) negativ oder null ist, unter letzterem hat man sich eine "endliche" Welt mit positiver Raumkrümmung zu denken. Die Entscheidung darüber, ob das Weltall im mathematisch-physikalischen Sinne endlich oder unendlich ist, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht getroffen werden, das würde nämlich eine konkrete Aussage über die gesamte z.Zt. existierende Materie des Alls einschließen. Der philosophische Unendlichkeitsbegriff (nicht zu verwechseln mit dem physikalischen) darf sehrwohl auf den Kosmos angewandt werden, denn er meint etwas anderes, nämlich die Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der in ständiger Entwicklung und Veränderung befindlichen Materie.

Seit 1929 kennt man die Expansion (Ausdehnung) des Universums, denn damals wurde durch E. Hubble mittels starker Teleskope

(im optischen Bereich) und der Spektralanalyse nachgewiesen, daß sich Galaxien "auf der Flucht" befinden, d.h. von jedem beliebigen Raumpunkt aus betrachtet auseinanderstreben.

Diese Nebelflucht erhielt durch die Entdeckung der 3 K-Strahlung eine zusätzliche Stütze von völlig anderer Seite.

In den 20-er Jahren konnte an den großen Spiegelteleskopen Kaliforniens, insbesondere mit dem 2,5 m-Spiegel des Monte-Wilson-Observatoriums durch Rotverschiebung von Galaxien-Spektren der Beweis erbracht werden, daß wir in einem Teil der Welt leben, in welchem alle Sternsysteme (Galaxien unterschiedlicher Typen) auseinanderfliegen, und das um so schneller, je weiter sie von uns entfernt sind. Die Quasare schließlich liegen weit draußen an der Grenze des derzeit überschaubaren Weltalls und rasen mit größter Geschwindigkeit davon, so daß sie zwar noch radioastronomisch, aber kaum noch optisch registriert werden können.

Geht man nun gedanklich in der Zeit rückwärts und fragt sich, in welchem physikalischen Zustand sich der Kosmos vor einigen Milliarden Jahren befand, kommt man zu dem Schluß, daß die stoffliche Materie (Galaxienhaufen, Galaxien, Sterne, Planeten, Nebel) sehr viel dichter beieinander gelegen haben muß, selbst wenn man die Entstehung von Sternen und Sternsystemen aus Strahlung ("Materialisation") im Laufe der kosmischen Evolution einkalkuliert. Dieser errechnete Ausgangspunkt einer kosmischen Expansion erhielt den Namen "big bang", was ins Deutsche mit "Urknall" übersetzt worden ist. (Sicher keine sehr glückliche Übersetzung, wie aus zahlreichen Diskussionen über diesen Begriff hervorgeht.) Diesen "Knall" kann man aber tatsächlich hören, wenn man auf die kosmische Hintergrundstrahlung lauscht, die "ganz leise" im gesamten Kosmos zu hören ist. "Ganz leise" soll heißen, daß diese im Zentimeterbereich empfangene Radiostrahlung mit speziellen Radioteleskopen (s. Abb. 1) aufgefangen und anschließend verstärkt werden muß.

Beim Nachweis der 3 K-Strahlung kann es sich um keinen Irrtum gehandelt haben, denn erstens hat man diese Wellen auf Grund der expansionstheorie vorausgesagt und zweitens ist die Entdeckung anderenorts nachgeprüft worden. Im Jahre 1978 wurde u.a. für Arbeiten auf dem Gebiet der 3 K-Strahlung der Nobel-

preis für Physik an Arno Penzias und Robert Wilson (beide USA) sowie an den sowjetischen Physiker Pjotr Kapiza vergeben.



Der sowjetische Kernphysiker PJOTR KAPIZA nimmt 1978 aus den Händen des schwedischen Königs Diplom und Medaille zum Nobelpreis für Physik entgegen.

Für den Nichtphysiker erhebt sich die Frage: Was hat eine Temperaturangabe, wie in unserem Falle 3 K, mit Licht oder Strahlung zu tun? Wieso kann man aus einer heute empfangenen Radiowelle auf frühere Dichte- bzw. Temperatur- und Bewegungszustände schließen?

Erhitzt man einen schwarzen Körper (dieser wird seit M. Planck als Normativ für Temperaturbestimmungen benutzt) unterschiedlich stark, so strahlt dieser charakteristische Wellenlängen ab, die je nach Größenordnung der Temperatur in verschiedenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums liegen. (Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, daß Radiostrahlung aus dem All auch noch andere Ursachen haben kann und die erwähnte "thermische Strahlung" nur eine Komponente darstellt).

Da die Expansion des Universums seit schätzungsweise 15 Milliarden Jahren mit einer starken Abkühlung einherging, ist die heute gemessene Temperatur von knapp 3 K eine Art "Restkühle" oder, wie man auch sagt, die "Hintergrundstrahlung" für all das, was sonst noch in unserer überaus vielfältigen Welt existiert.

Zum Schluß einige Anmerkungen darüber, warum wir über Radio-
astronomie in den Lehrbüchern der zehnklassigen allgemein-
bildenden polytechnischen Oberschule so gut wie nichts finden.
E r s t e n s ist dieser Wissenschaftszweig, wie wir gesehen
haben, noch sehr jung. In der Sowjetunion wurde erst 1977 für
den Teleskopriesen "RATAN 600" im Nordkaukasus der Betrieb
eröffnet. 1969 haben die Bauarbeiten begonnen.

Die ersten wissenschaftlichen Beobachtungen am "VLA" in
Socorro, New Mexiko, USA fallen ebenfalls in das Jahr 1977,
Baubeginn 1973, endgültige Fertigstellung 1981.

Die neue Wissenschaft muß erst ihre Ergebnisse ordnen und
Erfahrungen mit der neuen Technologie sammeln, bevor gesicher-
te Resultate in die Lehrbücher gelangen.

Z w e i t e n s hat unser eigenes Land DDR mit Ausnahme des
36 m-Parabolspiegels in Berlin-Adlershof kein größeres radio-
astronomisches Instrument aufzuweisen.

Vor Jahren (Fertigstellung 1960) wurden damit Durchmusterungen
der Milchstraße und die Registrierung einiger diskreter Quel-
len vorgenommen. Aber wegen des ungünstigen Standortes
(Störungen durch irdische Nachrichtenquellen, elektrische
Maschinen, Autos und Flugzeuge) hat das Gerät des Heinrich-
Hertz-Institutes an Bedeutung verloren. Die Akademie der Wis-
senschaften der DDR hat einen größeren Nutzen auch hier durch
die Zusammenarbeit mit den entsprechenden Instituten in der
Sowjetunion.

**... es wachsen
absonderliche Narrheiten
in Menschenköpfen
und je mehr man studiert,
je weniger gescheit ist man zuletzt.**

- Molière -

Oliver Kaschke
5. Stdj. Medizin
HU Berlin

Gaschromatographie

CHEMIE

Aus wissenschaftlichen und verfahrenstechnischen Bereichen, aus der Prozeßkontrolle in der Industrie, aus der Biochemie und Medizin und aus anderen wichtigen Bereichen, wie Umweltschutz und Arbeitshygiene sind analytische Methoden nicht mehr wegzudenken.

Als eine der vorteilhaftesten und schnellsten Verfahren haben sich dabei die chromatographischen Analysemethoden bewiesen. Dabei entwickelte sich die Gaschromatographie als ein Chromatographieverfahren in den letzten Jahren zu einer der wichtigsten Methoden. Sie weist gegenüber anderen Chromatographieverfahren einige Vorzüge auf, die noch angedeutet werden sollen.

Die Chromatographie stellt grob vereinfacht eine physikalische Trennmethode dar, bei der die zu trennenden Komponenten auf zwei Phasen verteilt werden, von denen die stationäre in einer Säule gelagert ist und eine große Oberfläche besitzt, während die bewegte Phase die Säule durchläuft (worauf im folgenden eingegangen wird).

Das Wort Chromatographie bedeutet "Farbschreibung" und geht auf das Ergebnis eines Versuches des russischen Botanikers Tswett zurück. In seinem Versuch etwa um die Jahrhundertwende filtrierte er eine Petrolätherlösung von Pflanzenfarbstoffen durch eine CaCO_3 -Schicht und erhielt beim Nachwaschen die verschiedenfarbigen Schichten der enthaltenen Blattstoffe. Das Farbspektrum nannte er Chromatogramm, das Verfahren dann Chromatographie.

Erst Mitte unseres Jahrhunderts erkannte man die Bedeutung dieses speziellen Trennverfahrens. 1941 wiesen die beiden Nobelpreisträger Martin und Synge darauf hin, daß ein Verfahren zur Stofftrennung auf der Basis der Verteilung und

Entwicklung im Gaszustand vorteilhaft wäre. Der Startschuß für die Gaschromatographie fiel aber erst 1952 durch James und Martin, als sie auf dem "Oxford-Congress for Analytical Chemistry" über ihre Arbeiten zum Problem der Gaschromatographie berichteten.

Es folgte nun eine außerordentlich stürmische Entwicklung der Gaschromatographie. Das Volumen der jährlich erscheinenden Arbeiten wächst von Jahr zu Jahr. Durch eine Vervollkommnung der apparativen Ausrüstung, der elektronischen Baueinheiten und der theoretischen Grundlagen treten jetzt immer stärker Anwendungsprobleme in den Vordergrund, eröffnen aber gleichzeitig neue Dimensionen der qualitativen und quantitativen Auswertung. Besondere Bedeutung für die Weiterentwicklung der Gaschromatographie-Methode hatten die Entwicklung und Verbesserung neuer Detektorsysteme, sowie der Einsatz von Computern, der den Weg zur Automatisierung des Verfahrens ermöglichte.

Prinzip der Gaschromatographie

Die gaschromatographische Analyse arbeitet auf der Grundlage der Wechselwirkung zwischen einem Substanzgemisch in einer gasförmigen mobilen Phase und einer stationären Phase. Die mobile Phase wird durch einen gleichmäßigen Trägergasstrom gebildet, der mit konstanter Geschwindigkeit und konstantem Druck über die stationäre Phase geleitet wird. In diesem Trägergasstrom befindet sich das zu untersuchende Substanzgemisch, das im gasförmigen Zustand vorliegen muß.

Als stationäre Phase wirkt eine Trennflüssigkeit innerhalb der Trennsäule, die dort auf einen spezifischen, eine große Oberfläche bildenden Träger aufgetragen ist. Man spricht in diesem Falle von einer Gas-Flüssigkeits-Chromatographie.

Die Auswahl der Trennflüssigkeiten ist von entscheidender Bedeutung für das Trennergebnis. Es kommen meist hochsiedende Ester, Polyglykole, Kohlenwasserstoffe, Siliconöle usw. zum Einsatz. Als Trägermaterialien werden poröse Kieselgur (Chromosorb) oder Kieselgur-Ton-Gemenge (Sterchamol) benutzt.

Beim Überleiten der gasförmigen mobilen Phase über die

flüssige stationäre Phase kommt es zu molekularen Wechselwirkungen zwischen den gasförmigen Probenmolekülen und den Molekülen der Trennflüssigkeit. Dabei lösen und binden sich zeitweilig und reversibel die Probenmoleküle in der Trennflüssigkeit, was zu einem Zurückhalten der Probenmoleküle gegenüber den Trägergasmolekülen führt (Bild 1)

Legende zu Bild 1 :

- - Trägergasmoleküle
- ⊙ - Moleküle der Probenkomponente A
- ⊕ - Moleküle der Probenkomponente B
- 1 Trennflüssigkeit
- 2 Trägermaterial
- 3 Rohrwand der Trennsäule

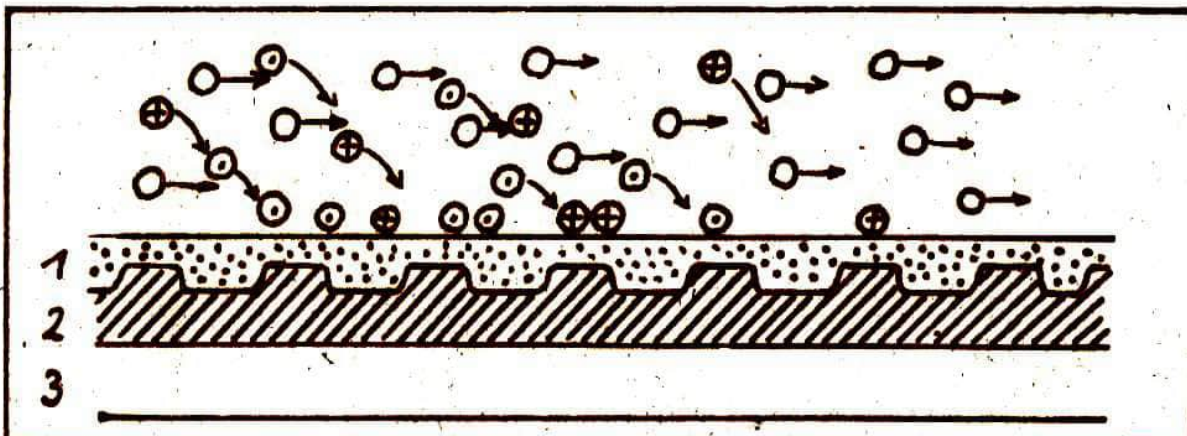
Diese sich ständig wiederholende Verteilung der Substanzen in der Trennflüssigkeit wird durch die unterschiedlichen Verteilungskoeffizienten und Dampfdrücke der Probenkomponenten erreicht. Die Folge ist, daß jede Substanz der Probe für eine bestimmte Zeit in der Säule zurückgehalten wird und dann nach und nach jede einzelne Probenkomponente die Säule wieder verläßt, jetzt aber zeitlich unterschiedlich. Die Zeit, die von der Injektion der Probengemische bis zum Austritt der Probe aus der Trennsäule vergeht, wird als Retentionszeit bezeichnet. Unter festen Untersuchungsbedingungen (Temp., Gasdruck, Trägergas konstant) existiert für jede Substanz eine definierte Retentionszeit.

Durch ein Detektorsystem am Ausgang der Trennsäule wird die erscheinende Probenkomponente quantitativ bestimmt und in einem Chromatogramm (Bild 3) als Peak aufgezeichnet.

Aufbau und Wirkungsweise eines Gaschromatographen

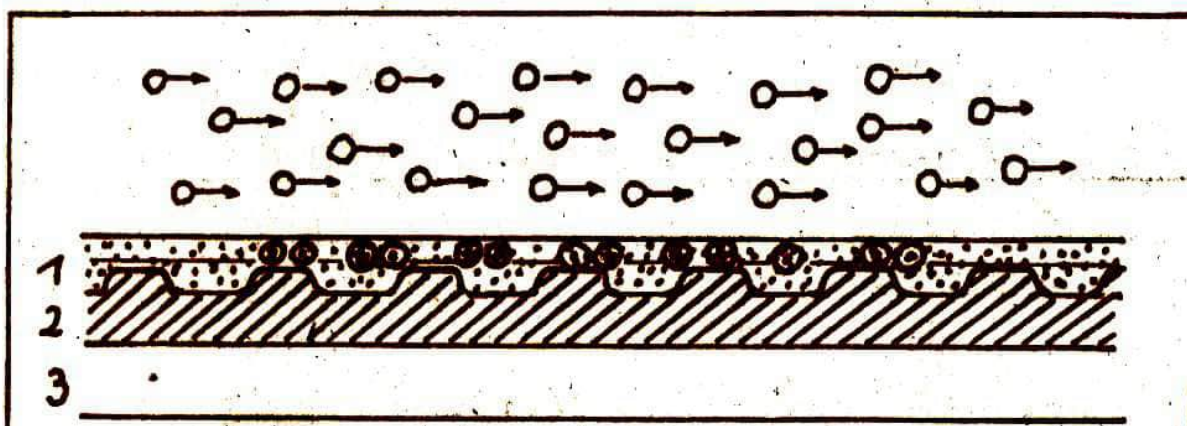
Ein Gaschromatograph besteht grundsätzlich aus 3 Elementen:

- Probeneinlaßsystem (2)
- Trennsäule (4)
- Detektorsystem (5-9) (Bild 2)



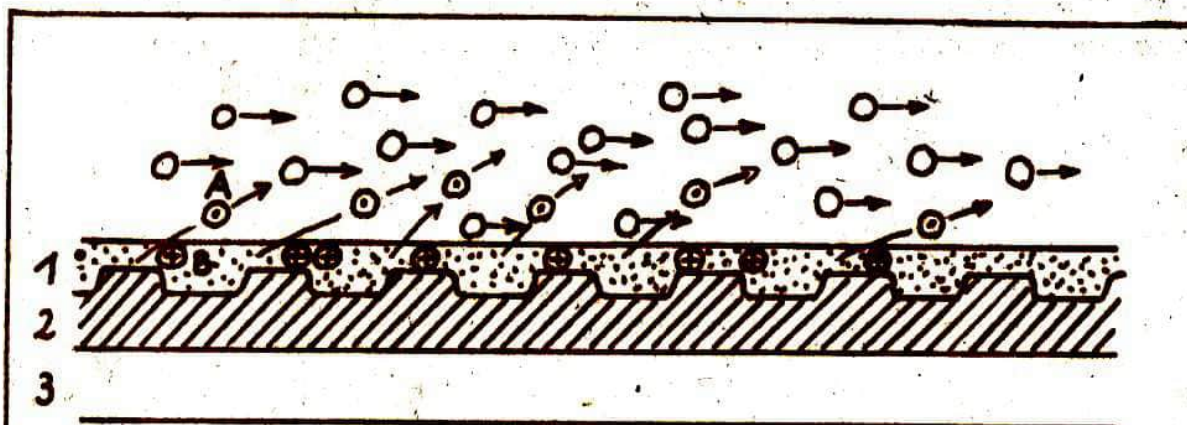
Lösung der Probenmoleküle in
der Trennflüssigkeit

Abb. 1a



Alle Probenmoleküle in Lösung

Abb. 1b



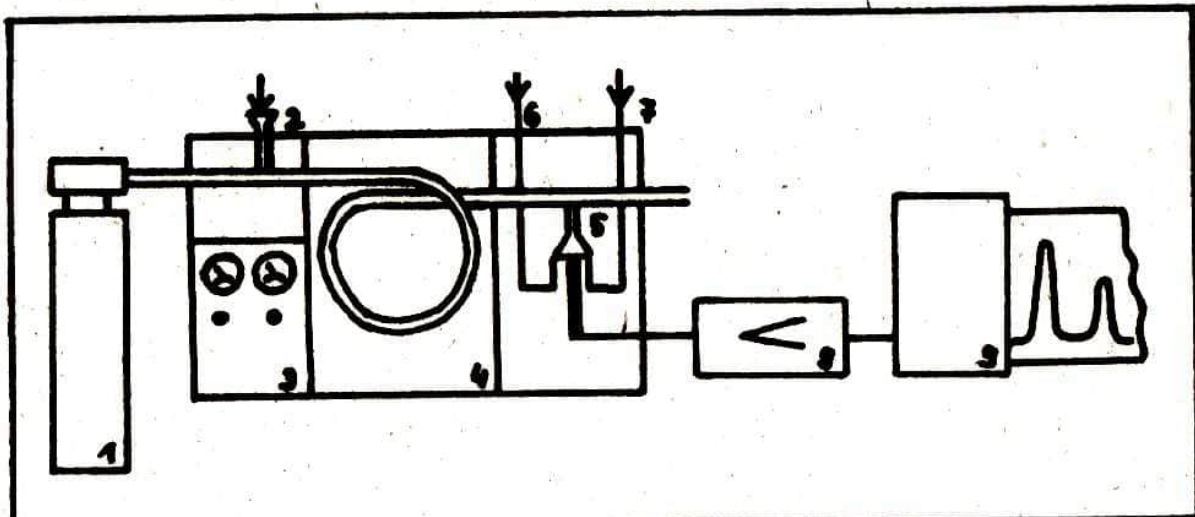
Moleküle der Komponente A treten aus der
Lösungsphase aus, Moleküle B noch
in Lösung

Abb. 1c

Das Probeneinlaßsystem

Das Probeneinlaßsystem hat die Funktion, die flüssige Probe in einen gasförmigen Zustand umzuwandeln, damit diese vom Trägergasstrom erfaßt und als gasförmige mobile Phase über die Trennsäule geleitet werden kann. Das System ist beheizt und wird über einen Thermostaten reguliert und auf der Temperatur gehalten, die ein sofortiges Verdampfen der Probe ermöglicht. Das zuströmende Trägergas, was die Funktion hat, die Probe gleichmäßig durch die Trennsäule zu leiten, darf seinen physikalisch-chemischen Zustand bei der Passage der Apparatur nicht verändern. Die Geschwindigkeit des Gasstromes besitzt ein Optimum. Sowohl zu kleine als auch zu große Gasströme führen zu schlechten Trennleistungen.

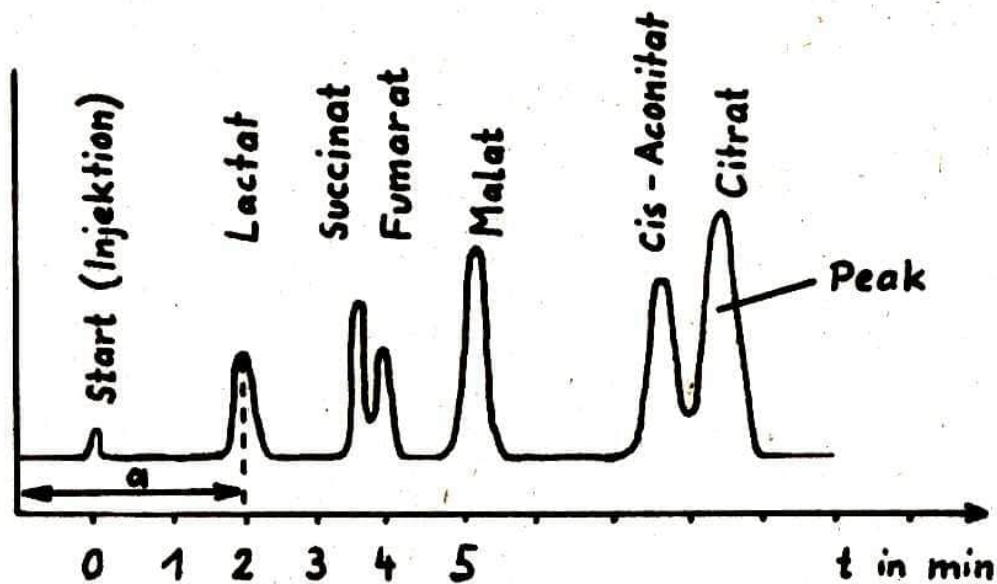
Als Trägergas wird meist Argon verwendet, da dieses Gas die Vorzüge der Ungefährlichkeit und chemischen Inertheit vereint. Die Trägergasgeschwindigkeit kann durch entsprechende Druckregulierung eingestellt werden.



Schema des Aufbaus eines Gaschromatographen :

- 1-Trägergas ; 2-Probeneinlaß ;
- 3-Temperaturprogrammierung und Heizung ;
- 4-Trennsäule ; 5-Detektor ;
- 6-Wasserstoffzufuhr ; 7-Preßluftzufuhr ;
- 8-Verstärker ; 9-Schreibeinheit

Abb. 2



Chromatogramm eines Zitronensäure -
zyklusgemisches

a = Retentionszeit für Lactat

Abb.3

Die Trennsäule

Die Trennsäule stellt das für die Trennung verantwortliche Element dar und ist den jeweiligen Trennbedingungen und -zielen in Länge, Material, Durchmesser und Präparation angepaßt. Die Säulenlänge hat auf die Trennleistung großen Einfluß. Durch eine Verlängerung der Säule erreicht man höhere Trennleistungen aber gleichzeitig steigt die Analysenzeit, und es kann zu Veränderungen des Trägergasdruckes kommen.

Die Trennleistung wird im allgemeinen durch einen möglichst kleinen Säulendurchmesser verbessert.

Die Innenfläche der Trennsäule ist mit einem Träger beschichtet, der die Aufgabe hat, die Trennflüssigkeit festzuhalten und eine große Grenzfläche zwischen mobiler und stationärer Phase zu schaffen, wobei er sich den Analysesubstanzen gegenüber völlig inert verhalten soll. Die Schaffung einer möglichst großen Oberfläche zwischen mobiler und flüssiger Phase wird durch Einsatz fester feinkörniger Materialien erreicht.

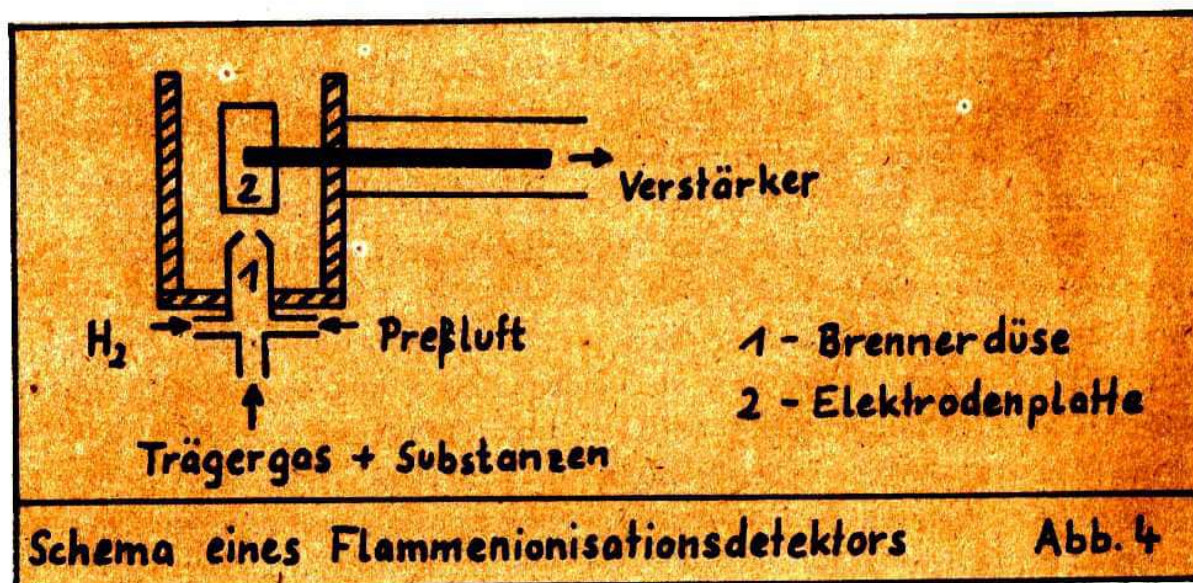
Heute haben sich in der GC-Praxis Träger auf Kieselgurbasis durchgesetzt, die eine spezifische Oberfläche bis zu $3 \text{ m}^2/\text{g}$

aufweisen. Daneben kommen aber auch Tone und Zeolithe, Metalle, Glas, Sande, Salze u.a. zum Einsatz.

Die Trennflüssigkeit muß ebenfalls einige charakteristische Eigenschaften aufweisen, um einen optimalen Trennvorgang zu ermöglichen. So ist z.B. ein niedriger Dampfdruck und eine niedrige Viskosität wichtig. Um die große Oberfläche zu erhalten, die durch das gekörnte Trägermaterial erreicht werden kann, muß die Trennflüssigkeit einen möglichst dünnen gleichmäßigen Film erzeugen. Ein gutes Lösungsvermögen der Substanzen in der Trennflüssigkeit verhindert auch, daß das Probenmisch ungetrennt durch die Säule wandert.

Das Detektorsystem

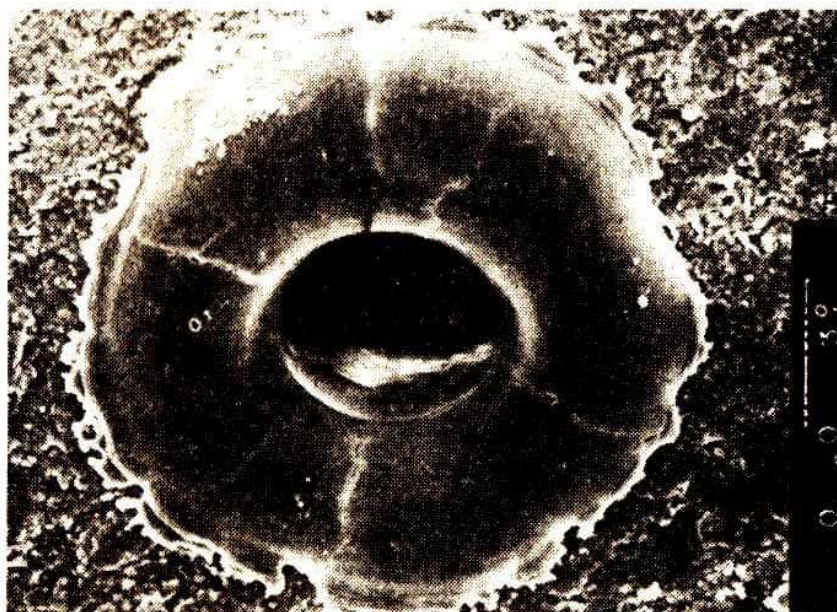
Der Detektor hat die Aufgabe, die Konzentration der zeitlich verschieden und damit getrennt aus der Säule austretenden Substanzen in der mobilen Phase in elektrische Signale umzusetzen. Entsprechend der eingesetzten Methoden und Analysesubstanzen lassen sich in der GC verschiedene Detektorsysteme verwenden. In der gaschromatischen Technik haben sich vor allen Dingen Wärmeleitfähigkeitsdetektoren, neben flammenphotometrischen und Elektronenanlagerungsdetektoren bewährt. Besondere Bedeutung kommt heute dem Flammenionisationsdetektor zu (Bild 4), da er zu den empfindlichsten Detektorsystemen in der GC gehört. Die theoretischen Nachweisspuren werden mit 10^{-12} g/s angegeben.



Das Prinzip dieses Detektors beruht auf der seit langem bekannten Erscheinung, daß Kohlenwasserstoff-Flammen im elektrischen Gleichspannungsfeld eine wesentlich höhere elektrische Leitfähigkeit zeigen, als reine Wasserstoff-Flammen.

Das Prinzip des Detektors ist folgendermaßen zu verstehen: Durch das Brennen einer durch Wasserstoff und Preßluft gespeisten Flamme im Gleichspannungsfeld fließt zwischen den Elektroden ein geringer Ionisationsstrom.

Nach Einbringen organischer Substanzen mit dem Trägergasstrom in die Flamme, erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit stark durch thermische Dissoziation ungesättigter Abbauprodukte, die zuvor durch Reduktionsprozesse in der Flamme entstanden. Mit der elektrischen Leitfähigkeitssteigerung der Flamme steigt auch der Ionisationsstrom beträchtlich an. Der Ionisationsstrom wird zu einem Verstärker (8) geleitet und ein elektrisches Signal erzeugt auf einer nachgeschalteten Schreibeinheit (9) das Bild des entsprechenden Chromatogramms (Bild 2).



Raster-Elektronenmikroskopische Aufnahme

Loch, das mit einem Laser-Strahl in eine Keramik geschossen wurde.

(die aus dem Innern stammende geschmolzene Keramik ist übergequollen)

Vergrößerung: 300fach (Aufnahme KWH)

Literatur über Leonhard Euler

Am 18. September 1983 jährte sich zum 200. Male der Todestag eines der größten Naturwissenschaftler und Mathematiker, Leonhard Euler, über dessen Leben und Werk wir bereits im Heft 2/16.Jg. berichteten.

Zwei Neuerscheinungen auf dem Büchermarkt sind dazu angetan, dem interessierten Leser diese vorzustellen und ihn zur weiteren Beschäftigung mit diesem Genius der europäischen Geistesgeschichte anzuregen.

Da wären zunächst die von Euler selbst verfaßten:

Briefe an eine deutsche Prinzessin
Verlag Philipp Reclam jun., Leipzig 1983
Reclams UB, Bd. 239
Best.-Nr. 660 1880, Preis 2,- M

Der Titel mag zunächst Verwunderung hervorrufen, doch wenn man weiß, daß es sich bei diesen Briefen um Lehrbriefe handelt, in denen Euler auf einfache Art und Weise einer Cousine Friedrichs des Großen die Grundfragen der Physik und Philosophie nahe zu bringen versuchte (inwieweit ihm dies gelang, wissen wir leider nicht), so ist eine Herausgabe dieser Briefe wie auch eine Rezension in unserer Zeitschrift gerechtfertigt. Ist es doch gerade die populäre und anschauliche Darstellung schwieriger physikalischer und philosophischer Probleme, die die Leser unserer Tage bei der Lektüre der Briefe immer noch fesselt.

Um ein paar Fragen herauszugreifen, die Euler in seinen Briefen behandelte, seien genannt:

Schwere, Gravitation, Kosmologie, Trägheit, Licht Äther u.v.a.

Für einen Physiker bzw. naturwissenschaftlich interessierten Leser ist es eigentlich bedauerlich, daß der Verlag bei der

Briefauswahl doch viele Briefe, die interessante physikalische Probleme enthalten, nicht berücksichtigt hat, so z.B. zur Akustik, zur physiologischen Optik, zum Magnetismus und zur Dioptrik. Kann man doch gerade aus den physikalischen Briefen, ausgehend vom heutigen Erkenntnisstand, sehr schön das Fortschreiten der wissenschaftlichen Erkenntnisse in der Auseinandersetzung mit falschen Lehrmeinungen verfolgen.

Es macht wirklich Spaß, Eulers Dispute zur Newtonschen Gravitationstheorie zu lesen, oder auch zu Fragen der Sonnenstrahlen oder des Weltäthers, obwohl Euler hier auch Meinungen vertritt, die erst durch die Entwicklung der modernen Physik unseres Jahrhunderts korrigiert werden konnten.

Die zweite nicht mehr ganz so frische Neuerscheinung ist R. Thieles Biographie

Leonhard Euler

**Reihe Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner
Bd. 56**

**B. G. Teubner Verlagsges., Leipzig 1982
Best.-Nr. 666 045 0, Preis: 9,60 M**

In dieser sich sehr gut in die Gesamtreihe einfügenden Biographie wird recht spannend und mit großer Detailkenntnis Leben und Werk Eulers vorgestellt. Eine chronologische Übersicht, sowie ein ausführliches Literaturverzeichnis sind dabei hervorzuheben.

Besonders beeindruckend für den Leser werden die oftmals schwierigen Lebensumstände Eulers dargestellt; so seine gesundheitlichen Probleme, seine Querelen mit der Berliner Akademie und dem Preußenkönig.

Auch eine, allerdings nur für den mathematisch interessierten Leser ausreichend verständlich geschriebene Erläuterung und Einschätzung von Eulers (vorwiegend) mathematischen Arbeiten findet sich in diesem Büchlein, dessen relativ hoher Preis angesichts des gebotenen Materials und der mehr als 30 Abbildungen auch für Schüler bzw. Studenten gerechtfertigt ist.

Michael Kaschke

Dr. Manfred Wolff
Sektion Physik
FSU Jena

**Mikroelektronik –
Leichtverständlich
Teil 9:
Zähler (I)**

Ein wichtiges Teilgebiet der in dieser Beitragsfolge beschriebenen digitalen Schaltungstechnik stellt die elektronische Zähltechnik dar. Am Beispiel elektronischer Zählschaltungen lassen sich einige wesentliche Vorzüge der Mikroelektronik aufzeigen. Zunächst wurden elektronische Zähler auf der Basis von Elektronenröhren und anderer, speziell zu diesem Zweck entwickelter Bauelemente aufgebaut. Mit der Entwicklung der Halbleitertechnik wurden diese Bauelemente abgelöst durch Halbleiterdioden und Transistoren. Das ging einher mit einer erheblichen Verkleinerung der Abmessungen der Zähler und der Vergrößerung ihrer Unempfindlichkeit gegen mechanische Beanspruchung. Im folgenden wird noch deutlich werden, daß Zählschaltungen in digitaler Technik sehr bauelementeintensiv sind. Die Vielzahl der zu verdrahtenden Transistoren und Dioden führte nicht nur zu hohen Herstellungskosten, sondern auch zu konstruktiven Problemen und technologischen Schwierigkeiten. Wesentlich günstigere Möglichkeiten werden durch die Mikroelektronik erschlossen. Die einzelnen Bauelemente bzw. Baugruppen einer Zählschaltung werden nicht mehr getrennt hergestellt und dann gemäß Schaltplan zusammengefügt, sondern die vollständige Schaltung entsteht im Produktionsprozeß sofort als eine einzige Funktionseinheit, als integrierter Schaltkreis (IS). Im folgenden sollen nun Grundlagen der elektronischen Zähltechnik vermittelt und Schaltungsbeispiele angegeben werden. Das Verständnis des Funktionsprinzips solcher Schaltungen wird erleichtert, wenn deren Aufbau gedanklich aus Grundbausteinen und einfacheren Funktionsgruppen vorgenommen wird. Der Leser muß sich aber immer bewußt sein, daß dies nur zum Zwecke der Erläuterung geschieht und nicht charakteristisch für die Mikroelektronik ist. Die mikroelektronische Realisierung eines

jedem hier diskutierten Problems besteht jeweils aus einem einzigen IS.

Einführung in das Grundprinzip der elektronischen Zähltechnik

Jeder kennt sicher mechanische Zählwerke, bei denen z.B. eine Welle mit jeder Umdrehung eine Ziffernscheibe um einen Zähl-schritt vorwärts dreht. Dieses Prinzip liegt auch dem Kilometer-zähler zugrunde, der gewöhnlich am Vorderrad eines Fahrrades montiert wird. Dort wird lediglich durch eine Untersetzung erreicht, daß der erste Zähl-schritt nach mehreren Umdrehungen des Vorderrades ausgelöst wird, nämlich dann, wenn es 100 m bzw. 200 m zurückgelegt hat. Manche Fotoapparate (z.B. SL 100) sind mit einem ähnlichen Zählwerk versehen, das bei jedem einzelnen Filmbildtransport, von der Gesamtzahl der zu belichtenden Bilder ausgehend, um einen Schritt rückwärts zählt.

Verallgemeinert erkennt man, daß hier beim Zählen nacheinander zwei Vorgänge ablaufen:

1. Addieren oder Subtrahieren eines Einheitswertes zu bzw. von einem gespeicherten Zahlenwert. (Zum gespeicherten Kilometerstand "836,6 km" wird 0,1 km addiert; von der Anzeige "10 noch zu belichtende Bilder" wird mit dem Filmtransport 1 subtrahiert).
2. Speichern des durch Vorgang 1 neu gebildeten Zahlenwertes. (Der Kilometerzähler zeigt 836,7 km, das Bildzählwerk 9 Bilder an!).

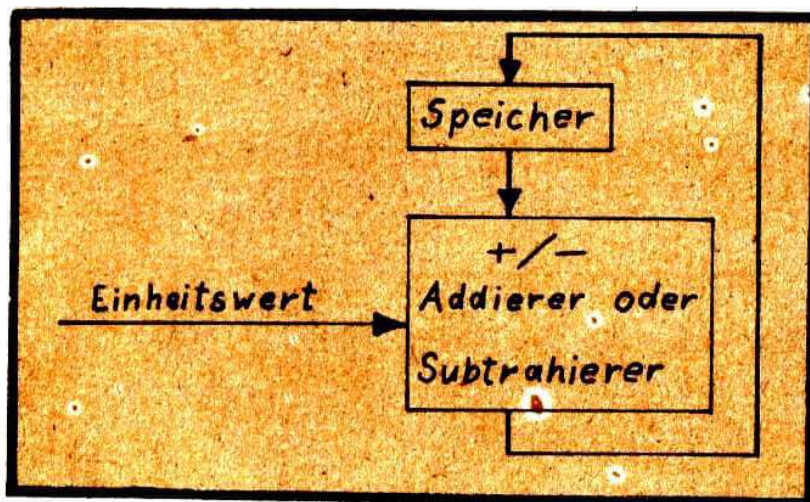


Bild 1: Prinzip des Zählens

Dieser Ablauf wiederholt sich ständig nach dem im Bild 1 wiedergegebenen allgemeinen Schema.

Das ist z.B. der Fall bei der Abarbeitung eines Programms in einer elektronischen Rechenanlage. Hier ergibt sich die Notwendigkeit, die einzelnen Programmschritte zu zählen. Als Speicher wird dabei meist ein Register verwendet. Auf Aufbau und Wirkungsweise von Registern wurde in den Beiträgen "Register" Teil 1 und Teil 2 in den Heften 3 u. 4 des Jahrganges 1983 eingegangen.

Um das Funktionsprinzip elektronischer Zähler zu erläutern, sollen einige Beispiele betrachtet werden:

1. Asynchroner rein dualer Vorwärtszähler

Bild 2 zeigt eine einfache Hintereinanderschaltung von Triggern. In den Beiträgen "Mikroelektronik - leicht verständlich" Teil 5 und Teil 6 in den Heften 1 und 2, 1983, wurden Aufbau und Wirkungsweise dieser Bauelemente beschrieben und das charakteristische Verhalten der JK-Master-Slave-Flipflops (JK-MS-FF) in folgender Tabelle zusammengefaßt:

S	S	TT	Q	J	K	Verhalten des JK-MS-FF	
J	&			L	L	Speichern	(sp)
T	C			H	L	Setzen	(s)
K	&			L	H	Rücksetzen oder Löschen	(L)
R	R			H	H	Kippen	(k)

Tab. 1

Speichern: Eine Änderung des Taktsignals T führt bei $J=K=L$ zu keiner Änderung des an den Ausgängen Q bzw. \bar{Q} anliegenden Signals.

Setzen: Mit $J=H$ und $K=L$ stellt sich die Ausgangsbelegung $Q=L$, $\bar{Q}=H$ ein, die durch das folgende Taktsignal nicht geändert wird.

Rücksetzen: $J=L$ und $K=H$ bewirken, daß durch den Takt die Ausgangsbelegung $Q=L$, $\bar{Q}=H$ hervorgerufen wird.

Kippen: Bei $J=K$ -lösen jeweils zwei Wechsel des Taktpegels einen Wechsel des Ausgangszustandes aus (Unter-
setzung der Taktfrequenz im Verhältnis 2 : 1).

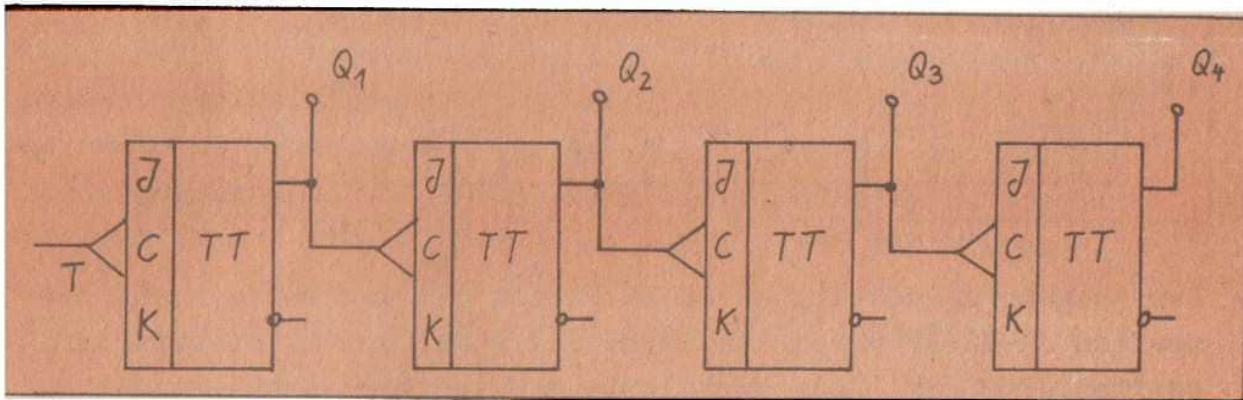


Bild 2

Die J- und K-Eingänge der JK-MS-FF im Bild 2 sind unbeschaltet und verhalten sich wie mit H belegt. Die JK-MS-FF sind also ständig kippvorbereitet. Sie werden durch den Takt gesteuert. Das Zeichen ∇ C bedeutet, daß dabei der Übergang des Taktpegels von H zu L schaltwirksam ist. Im Impulsdiagramm entspricht diesem Übergang die Rückflanke der Rechteckimpulse, aus denen das Taktsignal besteht. Jede Rückflanke des Taktsignals bewirkt einen Wechsel der Ausgangsbelegung bei Q_1 am ersten JK-MS-FF.

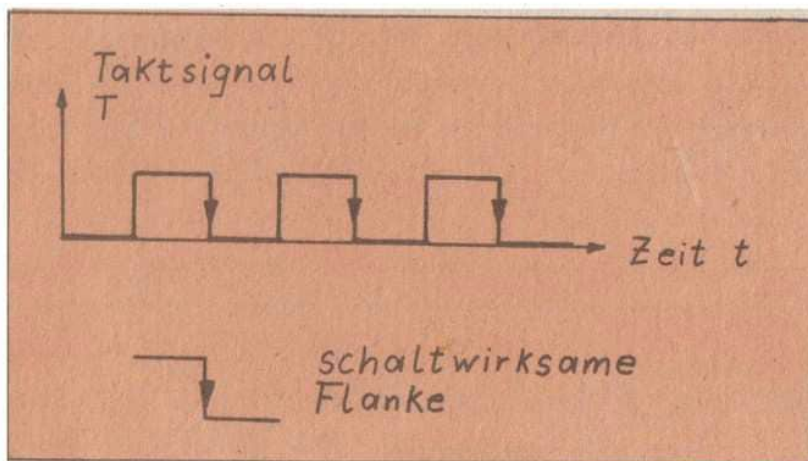
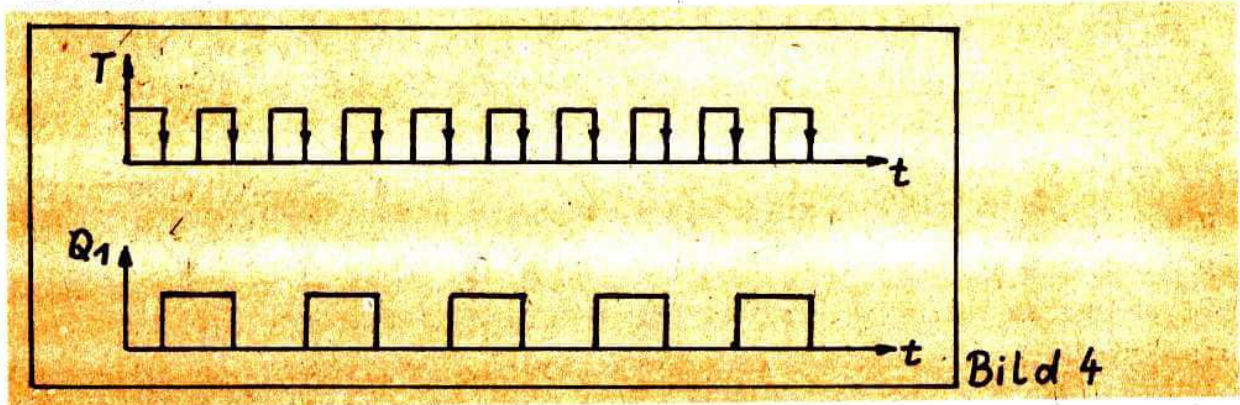


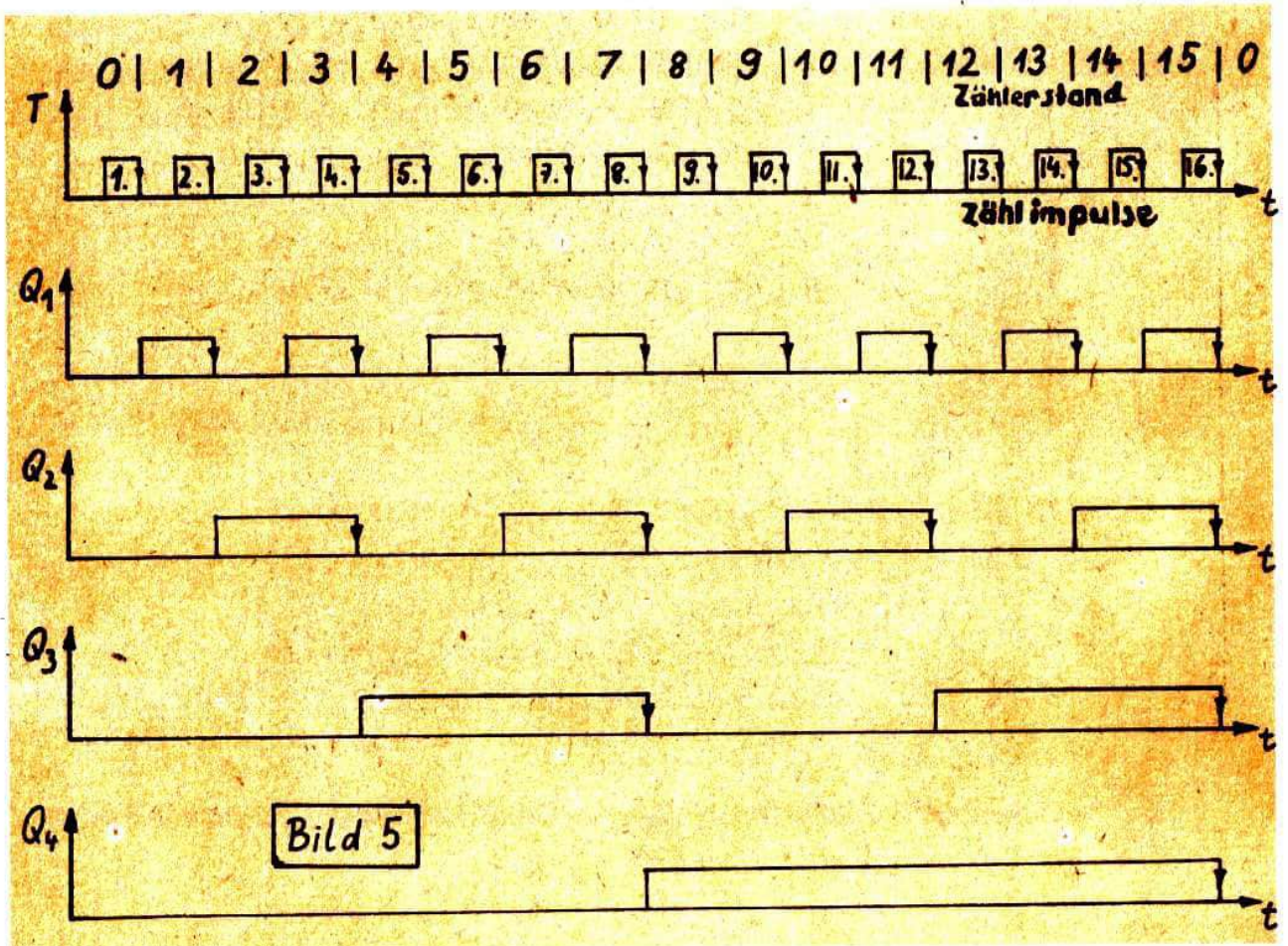
Bild 3



Dieser Vorgang wird im Impulsdiagramm folgendermaßen dargestellt:



Der Ausgang Q_1 des ersten JK-MS-FF ist mit dem Takteingang des zweiten JK-MS-FF verbunden, d.h. der Pegel von Q_1 steuert den zweiten JK-MS-FF. Jede Rückflanke des Ausgangssignals bei Q_1 führt zu einem Wechsel der Ausgangsbelegung bei Q_2 am zweiten JK-MS-FF. Dieser Sachverhalt gilt ebenso für die nächsten beiden JK-MS-FF: Das an Q_3 bzw. Q_4 anliegende Ausgangssignal ändert sich mit jeder Rückflanke des Signals bei Q_2 bzw. bei Q_3 . Eine gute Übersicht über alle Pegeländerungen gibt das vollständige Impulsdiagramm.



So entnimmt man z.B. dem Impulsdiagramm den Zählerzustand nach dem 1. Zählimpuls: $Q_4=Q_3=Q_2=L$, $Q_1=H$. Ordnet man den Ausgängen Q_4, Q_3, Q_2, Q_1 die dualen Wertigkeiten $2^3, 2^2, 2^1, 2^0$ zu und interpretiert man H-Pegel als 1 und L-Pegel als 0, so ergibt sich als Zählerstand nach dem 1. Zählimpuls $0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 1$. Nach dem 2. Zählimpuls ist $Q_4 = L = 0$, $Q_3 = L = 0$, $Q_2 = H = 1$, $Q_1 = L = 0$. Das entspricht dem Zählerstand $0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 2$. Die nächsten Zählerstände bis zum 6. Zählimpuls sind der Zustandstabelle 1 zu entnehmen. Nach dem 7. Zählimpuls ergibt sich aus $Q_4 = L = 0$, $Q_3 = Q_2 = Q_1 = H = 1$ der Zählerstand $0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 7$. Zur Übung möge der Leser diese Lücken in der Zustandstabelle 2 ausfüllen.

Zähl- im- pulse	duale Wertig- keit				Zählstand
	2^3	2^2	2^1	2^0	
	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	
1	L	L	L	H	$0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 1$
2	L	L	H	L	$0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 2$
3	L	L	H	H	$0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 3$
4	L	H	L	L	$0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 4$
5	L	H	L	H	$0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 5$
6	L	H	H	L	$0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 6$
7	L	H	H	H	$0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 7$
8					= 8
9	H	L	L	H	
10					
11					
12					
13					
14					
15					$1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 15$
16	L	L	L	L	= 0

Tabelle 2

Nach dem 16. Zählimpuls ist der Zähler wieder in den Grundzustand zurückgekehrt. Dabei könnte dem Zähler ein Übertragsimpuls entnommen werden, der zur Ansteuerung weiterer Zähler oder zur Anzeige der überschrittenen Zählkapazität dient. Unter der Zählkapazität n versteht man die maximal mögliche, eindeutig zuordenbare Anzahl von Impulsen, die die Zählschaltung aufnehmen kann. Für die betrachtete Zählschaltung mit $k = 4$ Zählstufen ist $n = 2^4 - 1 = 15$. Allgemein gilt $n = 2^k - 1$, da die Zählkapazität neben der Anzahl k der Zählstufen auch von deren logischer Verknüpfung abhängt.



Dr. sc. Klaus Juge
Sektion Physik
FSU Jena

Evangelista Torricelli –
Begründer der Physik der Gase,
Entdecker des Vakuums,
Erfinder des Barometers

Anlässlich seines 375. Geburtstages erinnern wir an dieser Stelle an einen hervorragenden Physiker, der zur Zeit der Entstehung der heutigen Physik neben anderen Leistungen der Wissenschaft ein völlig neues Gebiet erschlossen hat.

E. Torricelli wurde am 15. Oktober 1608 in Piancaldoli geboren und erhielt in Rom Mathematikunterricht bei Benedetto Castelli, einem Schüler Galileis. Als er dort Galileis "Gespräche über zwei neue Wissenschaften" (erschienen 1638) kennenlernte, gaben diese ihm Anlaß, eine Abhandlung über den freien Fall und den Wurf zu schreiben. Als der 77-jährige schon völlig erblindete Galilei diese Abhandlung las, äußerte er den Wunsch, Toricelli kennen zu lernen. Toricelli nahm das Angebot an und wurde im Oktober 1641 Galileis Mitarbeiter. Aber bereits 3 Monate später starb Galilei und Torricelli wurde sein Nachfolger als Hofmathematiker und Professor der Mathematik in Florenz. Gewiß war er der würdigste Nachfolger Galileis und hätte gewiß noch Wesentliches für die Physik geleistet, wenn er nicht bereits am 26. Oktober 1647, kurz nach Vollendung seines 39. Lebensjahres gestorben wäre.

Torricelli hat in verschiedenen Gebieten der Physik gearbeitet, über Fernrohre, Mikroskope, ausströmende Flüssigkeiten u.a. Am bekanntesten ist er aber durch die Erfindung des Barometers geworden, ihm zu Ehren wurde eine leider nicht mehr zulässige Einheit des Druckes "Torr" genannt. Über die Erfindung des Barometers hinaus ist aber seine Arbeit von grundlegender Bedeutung für die Physik. Um diese Bedeutung richtig verstehen zu können, sind einige Bemerkungen über Auffassungen der Physik vor Galilei und Torricelli erforderlich.

Man erklärte damals die Saugwirkung von Pumpen durch den sogenannten "horror vacui", dem Abscheu der Natur vor dem leeren Raum. Die Natur sollte die Eigenschaft haben, die Entstehung eines leeren Raumes dadurch zu verhindern, daß sie das nächstgelegene Ding zur sofortigen Auffüllung eines solchen entstehenden Vakuums benutzt. Es zeigte sich aber bald, daß dies Erklärung nicht immer möglich war. Galilei soll auch sehr überrascht gewesen sein, als er hörte, daß eine neu angelegte Pumpenanlage mit zufällig sehr langem Saugrohr das Wasser nicht höher als 10 m heben konnte - der "horror vacui" also über 10 m nicht hinausreicht! Von hier zur Erkenntnis, daß es der Luftdruck ist, der die Wassersäule trägt, war es eigentlich nur noch ein kleiner Schritt, der aber einen sehr klaren Geist und sehr viel intellektuellen Mut erforderte. Der Raum oberhalb der Wassersäule ist jenes Vakuum, das die Natur angeblich nicht zuläßt. Die Entdeckung des Vakuums war ein letzter und tödlicher Schlag gegen die Mechanik des Aristoteles.

E. Torricelli zog aus dieser seiner neuen Auffassung die Konsequenz, daß, wenn sie richtig ist, der Luftdruck eine Quecksilbersäule tragen müsse, deren Länge wegen der 13,6 fachen Dichte den 13,6ten Teil von 10 m, also etwa 74 cm beträgt. Dieser Gedanke führte ihn zu dem entscheidenden Versuch, den sein Freund Viviani, ebenfalls ein Schüler Galileis, 1644 durchführte. Ein Glasrohr, an einem Ende offen und am anderen Ende in einer geschlossenen Kugel endend, wurde mit Quecksilber gefüllt, am offenen Ende mit einem Finger verschlossen, umgedreht und unter dem Quecksilber eines größeren Gefäßes durch Wegnehmen des Fingers geöffnet. Das Ergebnis war das von Torricelli erwartete: Die Quecksilbersäule blieb im Rohr etwa 74 cm über dem Quecksilberspiegel des großen Gefäßes stehen, im oberen Teil des Rohres entstand ein Vakuum. Das war die Geburtsstunde des Barometers. Beim häufigeren Beobachten stellte Torricelli fest, daß sich die Höhe der Quecksilbersäule unregelmäßig ändert, und er schrieb in einem Brief an Ricci vom 11.6.1611 (übrigens die einzige diesbezügliche "Veröffentlichung" Torricellis), daß sich dieses Gerät sehr gut zur Messung des Luftdruckes verwenden läßt. Torricelli stellte sich vor, daß wir auf dem Grunde eines "Luftmeeres" leben, dessen Höhe er mit etwa 50 Meilen (90 km!) angab.

Torricelli teilte seine Entdeckung 1644 auch dem in Frankreich lebenden Pater Mersenne mit, über den Blaise Pascal (1623 bis 1662) Kunde davon erhielt. Diesem gefiel die Idee vom Luftdruck, er hielt sie aber für noch nicht hinreichend bewiesen. Neben anderen Untersuchungen zog er folgenden Schluß: Wenn die Quecksilbersäule vom Druck des über uns liegenden Luftmeeres getragen wird, so muß ihre Länge auf hohen Bergen geringer sein, weil dort der Luftdruck kleiner ist. Mit großer Sorgfalt wurde dieses Experiment von Pascals Schwager Perier am 19. September 1648 durchgeführt. Von diesem Zeitpunkt an gab es keine berechtigten Zweifel mehr an der Existenz des Luftdruckes.

Wesentlich ist bei E. Torricelli nicht so sehr die einzelne physikalische Entdeckung sondern die Erschließung eines bis dahin völlig unbekanntes Gebietes für die Physik: Die Welt der Gase. Mit demselben Problem beschäftigte sich um diese Zeit mit wesentlich größerem apparativen Aufwand auch der Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke.



Nur nebenbei sei angemerkt, daß es für's Denken gar keinen besseren Start gibt als das Lachen. Und insbesondere bietet die Erschütterung des Zwerchfells dem Gedanken gewöhnlich bessere Chancen dar, als die der Seele.

- W. Benjamin -





- RUIN EINES SPIELERS -

Selbst die beste Wahrscheinlichkeitstheorie hilft
nicht gegen einen erfahrenen Falschspieler

68

Impuls

Schülerzeitschrift für

PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

2/84

INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 18. Jg.

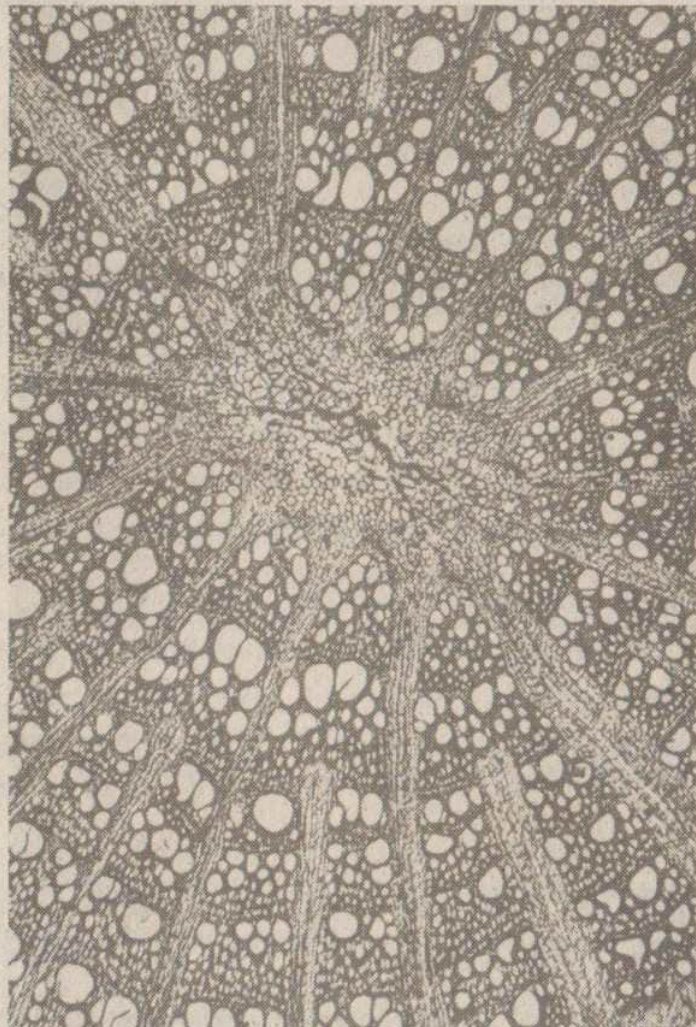
Flüge des
Space Shuttle



Mikroelektro-
nik leicht
verständlich



Büchermarkt



Quarks und
Leptonen



Chemische
Thermo-
dynamik



Titelbild:
Querschnitt
durch einen
Zweig des
Pfeifen-
strauches
(Repro: S. W.)

FÜR UND WIDER DER AKUPUNKTUR

– von Oliver und Michael Kaschke –



Dr. G. Hüller	Chemische Thermodynamik	3	CHE
H. Lich	(Teil 1)		
Max Steenbeck	Naturwissenschaften als Politikum	9	DOK
Thomas Boller	Space-Shuttle	15	
	- Flüge und Aufgaben -		
Dr. Michael Basler	Quarks und Leptonen	24	PHY
	(Teil 3)		
Dr. Manfred Wolff	Mikroelektronik -	33	PHY
	leichtverständlich		
	Teil 10: Zähler (2)		
Oliver Kaschke	Für und Wider der Akupunktur	42	BIO
Michael Kaschke	(Teil 1)		
Wolfgang König	Büchermarkt	47	

impuls 68 - SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“.

Anschrift der Redaktion: 6900 Jena, Max-Wien-Platz 1, Telefon 82-26286.

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR.

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: -,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb.

Satz und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht Gera, AN (EDV) 13228

REDAKTION:

Dipl.-Phys. Achim Dittmar (Chefredakteur), Dipl.-Phys. Michael Kaschke (stellv. Chefredakteur), Dr. Rosemarie Hild (Finanzen), Dr. Roland Colditz (Chemie), Dr. Jürgen Sauerstein (Biologie), Dipl.-Chem. Gabi Welsch (Gestaltung), Elke Schönheinz (Korrektur, Gestaltung), Silvia Butters (Gestaltung), Antje Schlegel (Öffentlichkeitsarbeit), Stefan Winter (Fotografie), Kerstin Leißling (Buchführung)

Die Redaktion wurde 1969 und 1980 mit dem Ehrentitel „Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR“ ausgezeichnet.

Gestaltung: A. Schlegel, S. Butters, G. Welsch

Redaktionsschluß: 31. 1. 1984

Dr. G. Hüller
H. Lich

Chemische Thermodynamik
(Teil I)

Die Thermodynamik untersucht die Zusammenhänge zwischen verschiedenen beobachtbaren makroskopischen Eigenschaften eines Systems (z.B. Temperatur T , Druck p , Volumen v , innere Energie, usw.). Unter "System" versteht man dabei das gerade betrachtete Objekt in Abgrenzung von seiner "Umgebung". Ausgehend von den auf allgemeiner Erfahrung beruhenden Hauptsätzen liefert die Thermodynamik zur Beschreibung dieser Eigenschaften eine vollständig abgeschlossene Theorie. Sie ist eine physikalische Theorie, die in der Chemie in Form der chemischen Thermodynamik ein sehr wichtiges Anwendungsgebiet findet. Bestandteile sind einmal die chemische Energetik und zum anderen die Theorie zur Beschreibung von Gleichgewichtsprozessen, zu denen z.B. die verschiedenen Arten von Phasenumwandlungen und jede beliebige chemische Reaktion gehören.

Im folgenden Abschnitt wird die Anwendung des 1. Hauptsatzes auf chemische Probleme behandelt. Er besagt, daß die Änderung der inneren Energie (u) eines Systems gleich der Summe aus geleisteter Arbeit (a) und umgesetzter Wärmemenge (q) ist:

$$\Delta u = \Delta a + \Delta q$$

(Große Buchstaben verwendet man, wenn sich die Größen auf ein Mol beziehen). (Die Vorzeichen richten sich danach, ob etwas vom System aufgenommen - positives - oder abgegeben wird - negatives Vorzeichen).

Wir wollen mit einer einfachen Phasenumwandlung beginnen, z.B. dem Verdampfen von Wasser. Wir wissen, daß hierbei ständig Wärme zugeführt werden muß. Um also eine bestimmte Menge Wasser in den gasförmigen Zustand zu überführen, muß dem System die Wärmemenge Δq zugeführt werden.

Ist dieses Gefäß offen, so müssen die in die Gasphase

tretenden Wassermoleküle die vorhandenen Luftmoleküle verdrängen; das System gibt also die Arbeit Δa an die Umgebung ab. In Abb. 1 ist ein Modell dieses Vorganges dargestellt. Diesen Vorgang können wir mit Hilfe des 1. Hauptsatzes beschreiben:

$$\Delta q - \Delta a = \Delta u \quad \text{bzw.} \quad \Delta q = \Delta u + \Delta a$$

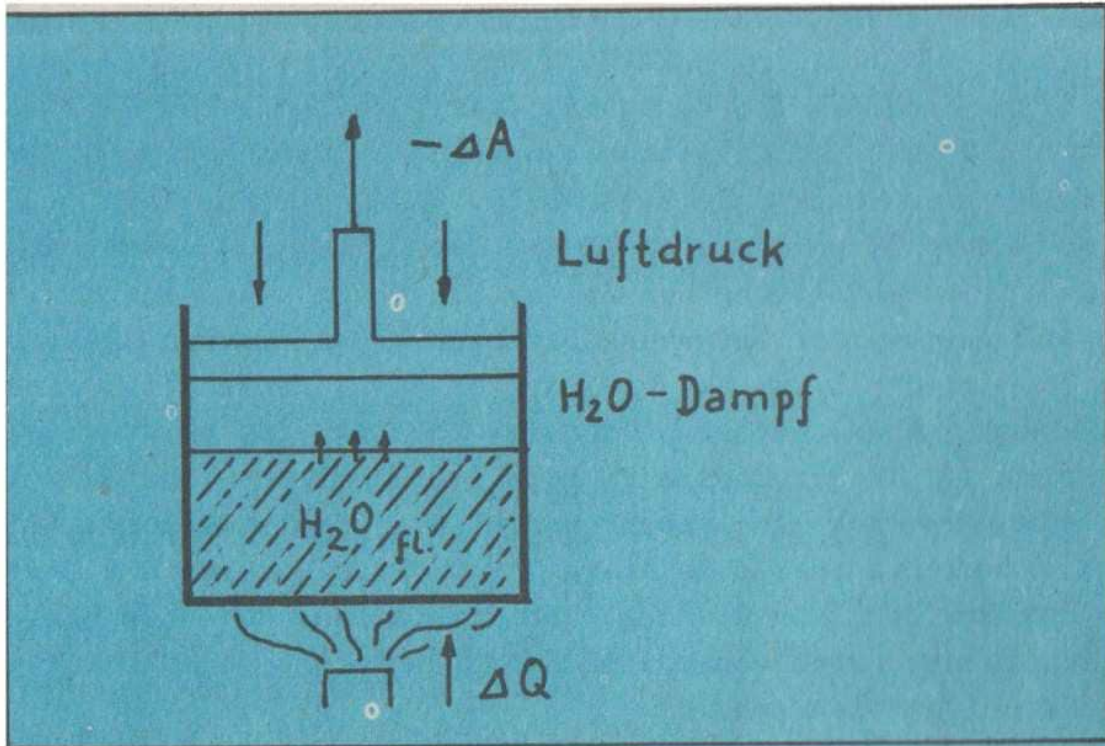


Abb. 1 Modell für eine Phasenumwandlung

Die zugeführte Wärmemenge wurde also in innere Energie und abgegebene Arbeit umgewandelt. Führt man diesen Vorgang so durch, daß beim Verdampfen keine Volumenänderung eintritt (man hält den in Abb. 1 dargestellten Kolben fest), so wird auch keine Arbeit an die Umgebung abgegeben und es gilt jetzt

$$\Delta q = \Delta u .$$

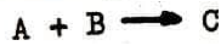
Die zugeführte Wärmemenge ist also gleich der Verdampfungsenergie

$$\Delta u = u(\text{Dampf}) - u(\text{Flüssigkeit}) .$$

Deshalb ist es möglich, die Änderungen der inneren Energie bei einer Phasenumwandlung zu messen. Solche Phasenumwandlungen sind neben Verdampfen noch Schmelzen und Sublimieren. Ähnliche

Verhältnisse finden wir auch, wenn sich verschiedene Modifikationen eines Stoffes ineinander umwandeln.

Jetzt wollen wir den 1. Hauptsatz auf eine chemische Reaktion anwenden. Wir wissen, daß hierbei eine Stoffumsetzung entsprechend der Reaktionsgleichung



erfolgt. Da jeder Stoff einen Anteil an innerer Energie besitzt, hat das System vor der Reaktion die innere Energie $u_A + u_B$ und nach der Reaktion u_C . Da der Energieinhalt der Stoffe unterschiedlich ist, wird

$$u_C - u_A - u_B = \Delta_R u. \quad (2)$$

$\Delta_R u$ ist die Reaktionsenergie. Damit lautet der 1. Hauptsatz für chemische Reaktionen

$$\Delta_R u = \Delta q + \Delta a \quad (3)$$

Wählen wir wie oben bei den Phasenumwandlungen die Bedingungen so, daß keine Arbeit geleistet wird ($v = \text{const}$), so wird

$$\Delta_R u = \Delta q \quad (4)$$

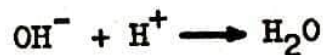
Wir sind also in der Lage, durch Messung der umgesetzten Wärmemenge Δq unter Konstanthaltung des Volumens die Reaktionsenergie zu bestimmen. Wir können also die Neutralisation von NaOH mit HCl in einer kalorimetrischen Bombe durchführen und durch Messung der Temperaturänderung des umgebenden Mediums entsprechend der Gleichung

$$\Delta q = m c \Delta T$$

$m = \text{Masse}$

$c = \text{spez. Wärme}$

die umgesetzte Wärmemenge bestimmen, die gleich der Reaktionsenergie für die Reaktion



ist. Das Meßprinzip ist in Abb. 2 dargestellt. Für diese Reaktion ist $\Delta_R u = -13,7 \text{ kcal/Mol}$.

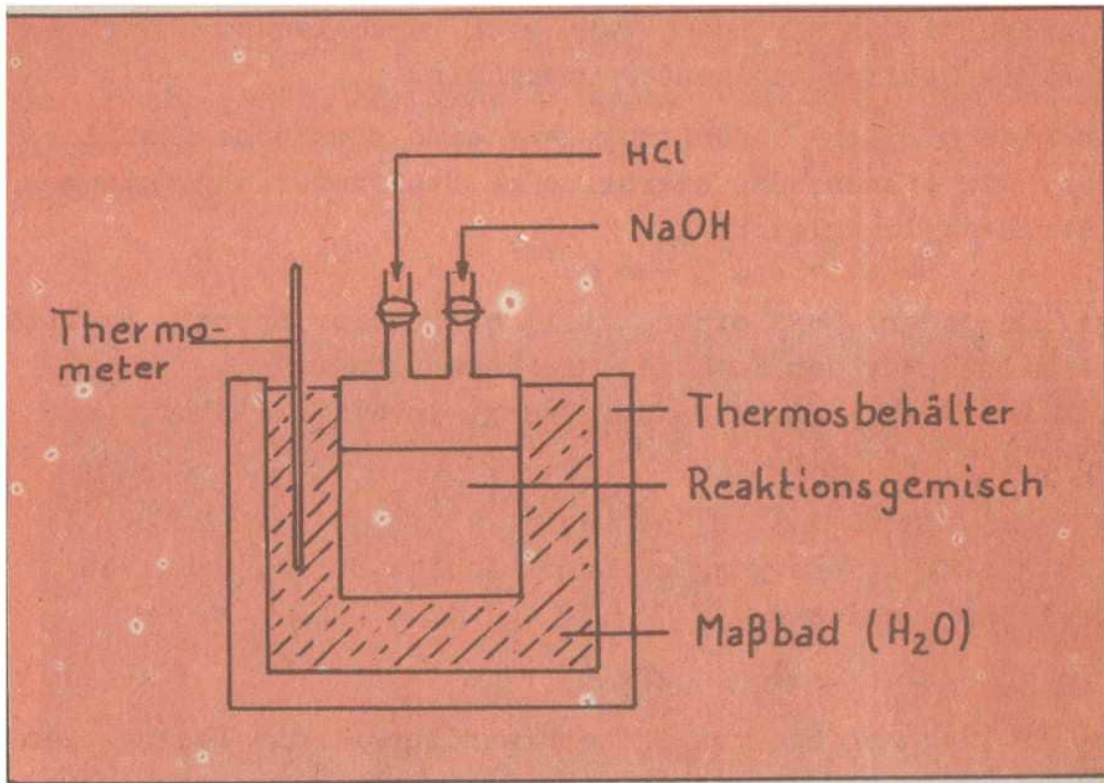


Abb. 2

Führen wir eine Reaktion nicht bei konstantem Volumen, sondern bei konstantem Druck durch, so treten Volumenänderungen auf und während der Reaktion wird Volumenarbeit geleistet. Hier ist es einfacher, mit der Enthalpie zu rechnen:

Aus $\Delta u = \Delta q + \Delta a = \Delta q - p \Delta v$ $-p \Delta v \hat{=}$ Volumenarbeit
 wird $h \hat{=}$ Enthalpie

$$\Delta q = \Delta u + p \Delta v = \Delta h$$

Arbeitet man bei konstantem Druck, wird die umgesetzte Wärmemenge gleich der Reaktionsenthalpie.

Verallgemeinern wir Gleichung (2) auf mehrere Stoffe, so erhalten wir folgende Ausdrücke zur Berechnung einer Reaktionsenergie bzw. -enthalpie:

$$\Delta_R u = \sum u_E - \sum u_A \quad \text{bzw.} \quad \Delta_R h = \sum h_E - \sum h_A \quad (5)$$

E = Endstoffe A = Ausgangsstoffe

u und h haben nun die Eigenschaft, wegunabhängige Größen zu sein, d.h. sie hängen nur vom Zustand des Systems, nicht aber vom Weg, auf dem dieser Zustand erreicht wurde, ab. Deshalb nennt man sie **Zustandsfunktionen**. Diese

Eigenschaften der inneren Energie und der Enthalpie wird im Heß'schen Satz ausgenutzt:

Führt eine Reaktion vom Zustand 1 in den Zustand 2, so muß die dabei auftretende Reaktionsenergie gleich der Summe der Reaktionsenergien sein, die auftreten, wenn der Übergang von 1 nach 2 über eine oder mehrere Zwischenstufen erfolgt (Abb.3).

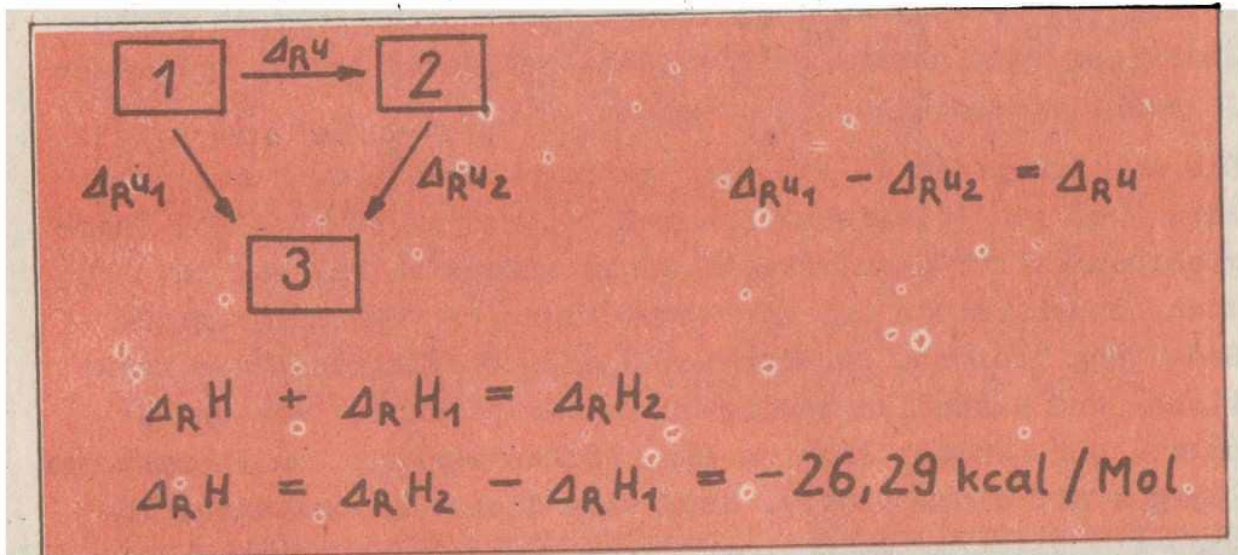


Abb. 3

Der Nutzen des Heß'schen Satzes liegt darin, daß er es gestattet, Reaktionsenergien (oder -enthalpien) zu berechnen, die experimentell nicht ermittelt werden können. Beispielsweise für die Reaktion



ist eine kalorimetrische Bestimmung von Δ_R^U unmöglich, da das gebildete CO sofort weiterreagiert:



Die Bruttoreaktion lautet:



Wegen dem Heß'schen Satz muß gelten:

$$\Delta_R^H + \Delta_R^H_1 = \Delta_R^H_2$$

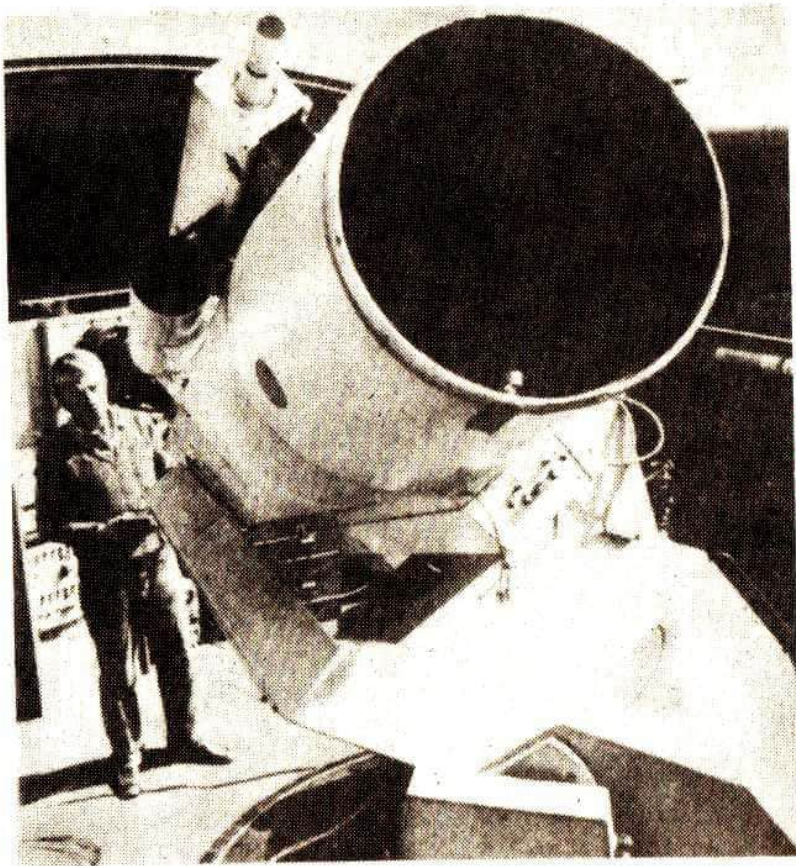
Daraus ergibt sich für die gesuchte Reaktionsenthalpie

$$\Delta_R^H = \Delta_R^H_2 - \Delta_R^H_1 = -26,29 \text{ kcal/Mol.}$$

Bei solch einer Rechnung muß man allerdings beachten, daß die innere Energie und die Enthalpie Funktionen der Temperatur sind. Die verwendeten Werte müssen sich also auf die gleiche Temperatur beziehen (in unserem Beispiel auf 25 °C).

Für eine ganze Reihe von Verbindungen sind nun sogenannte Standardbildungsenthalpien und -energien (Bezug auf 25 °C) tabelliert, so daß es möglich ist, durch Konstruktion eines Reaktionsweges unter Anwendung des Heß'schen Satzes unbekanntere Reaktionsenergien zu berechnen.

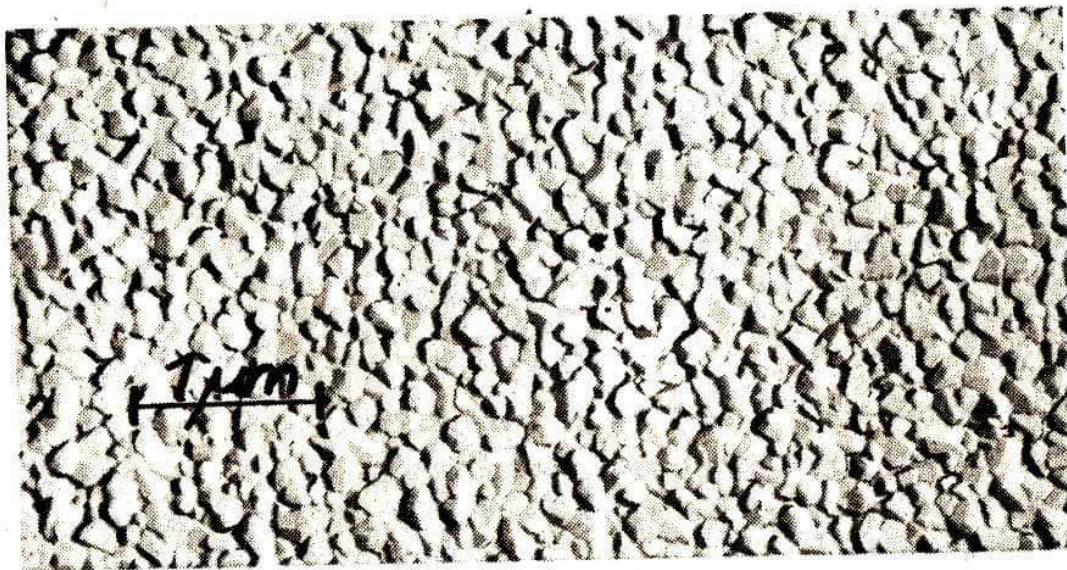
Die Anwendung des 1. Hauptsatzes der Thermodynamik auf chemische Probleme (chemische Energetik) ermöglicht es also, Energiebilanzen für chemische Vorgänge aufzustellen, was in der technischen Chemie bei der Entwicklung von Verfahren große Bedeutung besitzt. Darüberhinaus wird die Existenz von Reaktions- und Umwandlungsenergien zu analytischen Zwecken genutzt. (Es handelt sich um eine Wechselwirkung von thermischer Energie mit einem Stoff). Über eine dieser Anwendungen, nämlich die Differentialthermoanalyse, wird im nächsten Heft ein Artikel erscheinen.



Laserentfernungsmeßgerät SBG des Zentralinstituts für Physik der Erde zur Satellitenverfolgung.

Oben ist die Sendeoptik des Lasers zu sehen, als Empfangsoptik dient ein 50 cm Spiegelteleskop nach Schmidt.

(Repro S. W.)



***DOKUMENTATION für den
naturwissenschaftlichen und
Staatsbürgerkunde-Unterricht***



Im Heft 4/83 stellten wir innerhalb der Reihe "Dokumentation für den naturwissenschaftlichen und Staatsbürgerkunde-Unterricht" einen Brief Albert Einsteins vor, in dem er seine Ansichten über die moralische Verpflichtung des Wissenschaftlers äußert.

Die außerordentliche Aktualität dieser Frage veranlaßt uns, zu diesem Thema einen weiteren Aufsatz zu veröffentlichen, den wir aus der Autobiographie Max Steenbecks "Impulse und Wirkungen, Schritte auf meinem Lebensweg" (Verlag der Nation, Berlin 1977) entnehmen.

Max Steenbeck, dessen moralisches Credo etwa mit seinen eigenen Worten "Gewissen ohne Wissen bleibt leer" zusammengefaßt werden könnte, setzt dem intellektuellen Individualismus Einsteins ein Wissen um das Leben des Wissenschaftlers in einer konkreten Gesellschaft entgegen, welches den Wissenschaftler zu ganz bestimmten Konsequenzen zwingt.

Wir hoffen sehr, daß ausgehend von diesen beiden Aufsätzen eine Diskussion zur moralischen Verantwortung des Wissenschaftlers zustandekommt und würden uns sehr über Meinungen zu diesem Thema aus dem Leserkreis freuen.

NATURWISSENSCHAFTEN ALS POLITIKUM

Max Steenbeck

Es gibt gegenwärtig noch viel Unverständnis über Möglichkeiten und Grenzen naturwissenschaftlichen Arbeitens. Zwar wird kaum mehr ein Jurist beanspruchen, er könne in einem rein wissenschaftlichen Streit zwischen zwei Physikern entscheiden, wer von beiden recht habe - die absolute Wahrheit wisse ja niemand, aber zu beurteilen, was für die Menschen das Dienlichere und daher Richtige sei, habe der Jurist gelernt; noch in der Weimarer Zeit habe ich das selbst erlebt. Dagegen findet sich heute eine andere, ebenso falsche Vorstellung weit verbreitet und wird durch viele seichte Kino- und Fernsehspiele, aber auch durch ernstgemeinte Dramatik genährt: Ein einzelner genialer Forscher könne durch eine von ihm gefundene Formel die Welt in eine Katastrophe stürzen. In Dürrenmatts "Physiker" flüchtet sich dieser, wenn auch vergeblich, aus Angst - auch vor sich selbst - in ein Irrenhaus; die Einstein-Oper verläßt man mit der Lehre: Nichtwissen ist gut - oder, wie ich, in tiefer Depression. Ist denn der Kunst alles erlaubt, was gefällt, sogar Unwahrhaftigkeit? Für die Wissenschaft gilt das jedenfalls nicht. Brechts großartiger "Galilei" ist bei allem Wissen ein glaubhafter, uns voll verständlicher Mensch mit seinen Schwächen und Zweifeln - aber eben nicht einer aus unserer jetzigen Welt.

Heute gibt es noch oft die Auffassung: Hätten die Naturwissenschaftler doch bloß ihre Finger vom Atom- und vom Zellkern gelassen, dann stünden die Menschen heute nicht so hilflos da mit ihren Ängsten vor einem Nuklearkrieg oder vor plötzlich auftretenden, vielleicht schrecklichen und völlig neuartigen Lebensformen. Wenn hier auch tatsächlich sehr reale Gefahren liegen - ist das Schuld oder nur Schuld der Naturforscher? - Dazu eine einfache Feststellung: Ohne das rasche Anwachsen unserer naturwissenschaftlichen Erkenntnisse und ihrer Anwendungsmöglich-

keiten lebten die Menschen zwar nicht in diesen Ängsten - aber die meisten von uns lebten dann eben überhaupt nicht, wären gar nicht geboren oder schon als Kind gestorben. Gerade dieses Wissen hat es erst bewirkt- und wird es auch weiterhin tun -, daß genug Nahrung, Kleidung, Wohnung, Gesundheit ... für eine an Zahl und Ansprüchen wachsende Menschheit geschaffen werden kann - oder doch könnte.

Und dennoch bleibt ein Widerspruch: Wenn ein Lokomotivführer ein Zugunglück überlebt, das er ungewollt verursacht hat, wird er wegen Verstoßes gegen Dienstvorschriften bestraft. Aber die vieltausendfach größeren Katastrophen von Hiroshima und Nagasaki waren gewollt, das Ergebnis langer und gründlicher wissenschaftlicher Arbeit; kein daran beteiligter Forscher verlor in diesem Inferno sein Leben, keiner wurde zur Rechenschaft gezogen. Verträgt die Forschung also keine Dienstvorschriften, ist ein Naturforscher ein Mensch besonderer Art, anderen im Grunde unverständlich in seinen Fähigkeiten, dem man wegen seiner oft unheimlichen Wirkung doch nicht recht traut?

Noch in meinen Lehrjahren und eigentlich sogar bis Hiroshima galt das hohe Ideal einer "reinen Forschung" als Selbstzweck, bei der neue Erkenntnisse im Unbekannten ohne Rücksicht auf deren Anwendbarkeit gesucht wurden. Nutzen daraus zu ziehen erfreute sich geringerer Achtung - ähnlich, wie schon in der griechischen Antike Philosophie weit über der materiellen Arbeit stand, die nur Sache von Sklaven war. Den gefährlichen Hochmut dieser Einstellung erkannten viele erst nach der ersten Atombombe; es genügt offenbar doch nicht, sich nach einer neuen Entdeckung gar nicht dafür zu engagieren, daß damit etwas für die Zukunft Sinnvolles gemacht wird. Aber selbst die Suche nur nach neuer Erkenntnis hat ihre Gefahren. Wer danach strebt, zeigt damit daß ihm das vorhandene Wissen nicht genügt und damit wohl auch nicht das darauf gegründete Weltbild mit der hieraus erwachsenen Gesellschaftsordnung. Solches Suchen erregte bislang in der in gegensätzliche Klassen gespaltenen Gesellschaft bei den jeweils Mächtigen leicht den Verdacht einer ketzerischen Auflehnung; Kopernikus, Galilei, Darwin, Joliot-Curie sind nur einige Beispiele dafür. Ihr Weltbild setzte sich schließlich dennoch durch wegen der Zuverlässigkeit seiner naturwissenschaftlich gesicherten Konsequenzen.

Woran liegt es eigentlich, daß naturwissenschaftliche Ergebnisse durchweg weit eher glaubwürdig erscheinen als irgendwelche anderen Nachrichten? Der Grund ist sicher nicht ein besonders hoher ethischer Wert gerade des Naturwissenschaftlers; der ist ebenso ein Mensch wie andere, durch sein Wissen vielleicht sogar noch stärkeren Versuchungen ausgesetzt. Es war - lange Zeit auch bei mir - eine elitäre Überheblichkeit, zu erwarten, eine Art "Hippokratischer Eid" könne dem Naturwissenschaftler sein Verantwortungsbewußtsein stärken. Warum denn sollte gerade ein Wissenschaftler eher bereit sein als ein Arbeiter, einen gut bezahlten Job etwa in einer Napalmfabrik aufzugeben, den dann doch sofort nur ein anderer übernehmen würde? Der eigentliche Fehler ist, daß es einen solchen Job überhaupt gibt, ist also politischer Art. Das zu bessern, verlangt gesellschaftliche Einsicht und kämpferische, Partei nehmende Mitarbeit auch von Naturwissenschaftlichern und Technikern nicht weniger als vom Arbeiter.

Die besondere Glaubwürdigkeit naturwissenschaftlicher Ergebnisse - bewußte Irreführungen sind hier in der Tat ungewöhnlich selten - und daher auch die der Naturwissenschaftler selbst ist primär rein fachlich bedingt, und sie ist darauf begrenzt. Die gewonnenen Resultate sind nämlich immer nachprüfbar, meist in gleicher Weise oder mit noch strengeren Maßstäben von anderen wiederholbar, und sie sind unabhängig von der Person des Untersuchenden. Diesen kostete darum jede Unzuverlässigkeit sehr schnell seinen weiteren Kredit.

Eine solche nur durch die Sache "erzwungene Glaubwürdigkeit" hat Rückwirkungen - nicht nur auf den Wissenschaftler selbst und keineswegs nur positive. Ein Physiker zum Beispiel findet mit seiner Meinung oft auch dann mehr Beachtung als andere, wenn sie ein Gebiet außerhalb seines eigentlichen Fachwissens betrifft; die meisten Menschen kennen ja nicht Gründe und Grenzen seiner nur spezifischen Glaubwürdigkeit. Sicher spielt ebenfalls das bei ihm vorausgesetzte allgemein logische Denkenkönnen eine Rolle; doch das besitzt ja nicht nur er. Gerade ein Naturwissenschaftler sollte die Bedeutung seiner persönlichen Ansicht auf ihm nicht mehr als anderen Menschen vertrauten Gebieten keinesfalls noch verantwortungslos hochspielen - mitunter geschieht das ja. Wer aus seiner gründli-

chenArbeit auf einem Gebiet wirklich weiß, was Verstehen bedeutet, sollte die Grenzen seiner eigenen Urteilsfähigkeit kennen. Natürlich ist es gut, wenn er sich über sein eigentliches Fach hinaus Gedanken macht ...

Es ist selbstverständlich, daß nur aus ernsthafter gesellschaftlicher Mitarbeit eine klare Kenntnis des gesellschaftlichen Notwendigen erwächst - dies ist eine Voraussetzung, um durch eigenes Denken, mit dem Mut zu Rat und Warnung Entscheidungshilfe zu leisten. Vor fünfzig Jahren pflegten wir jungen, von unserem Fach völlig begeisterten Physiker zu sagen: Wenn einem alt gewordenen Physiker nichts Vernünftiges mehr einfällt, wird er Philosoph. Ich hätte damals in mir, so wie ich heute bin, wahrscheinlich eine Bestätigung dieser herrlich übermütigen Arroganz gesehen; in meiner Wertungsskala ist das reine Fachwissen gegenüber den gesellschaftlichen Notwendigkeiten stark abgesunken, und hier steht schon seit langem an erster Stelle als kategorischer Imperativ: Tue alles, was du kannst, um den Frieden zu erhalten, zu sichern und damit die Weiterexistenz unseres Lebens überhaupt zu ermöglichen. -

Was können wir außer unserer zuverlässigen Alltagsarbeit mit der dadurch bewirkten Stärkung der sozialistischen Welt sonst noch für den Frieden und damit für die Zukunft tun? Sicher gehört dazu, sich vor unseren Gegnern zu dieser Überzeugung entschieden zu bekennen, auch wenn das im Einzelfall wenig Nutzen zu bringen scheint.

Die Erklärung der "Göttinger Achtzehn" von 1957, sich selbst nicht an der Herstellung nuklearer Waffen für die BRD zu beteiligen, verklang schnell in der sofort einsetzenden Gegenpropaganda. C.F. von Weizsäcker, Wortführer dieser mutigen und ehrenwerten Gruppe, sagte mir einmal, an ihn sei von jungen Physikern die Bitte gerichtet worden, einen Verband mit den gleichen Zielen zu gründen, der ihnen notfalls Schutz gegen andere an sie zukünftig herangetragene Absichten geben könne. Das habe er abgelehnt; denn Gewissen sei keine Massenware - dem Sinn nach war das eine Begründung. Ich halte diese Ansicht für extremsten Individualismus und sich selbst befriedigenden Stolz, der sonst nichts bringt. Denn Gewissen ohne Wissen bleibt leer; darum muß man das Wissen verbreiten und darf sich

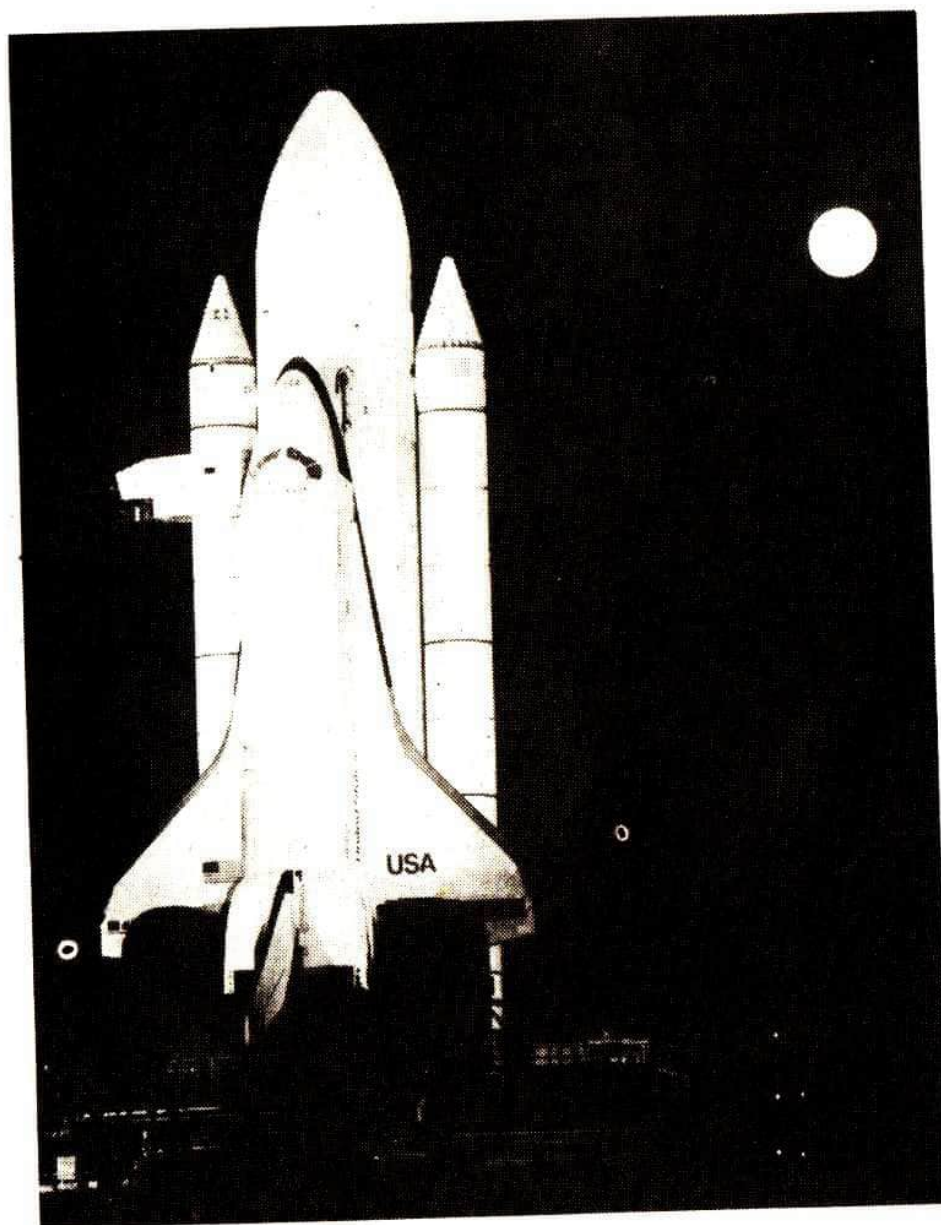
nicht davor fürchten, als Propagandist abgewertet zu werden - bei wem denn, wer zählt hierbei? Versuche selbst so zu leben, daß du glaubwürdig bleibst - das sei dein Stolz. So schloß ich mich den Massenbewegungen des Friedensrates und unseres Komitees für europäische Sicherheit und Zusammenarbeit an. Eine Erfahrung macht ein Naturwissenschaftler dabei schnell: Der Wirkungsgrad, an konkreten Ergebnissen gemessen, ist bei solchen Treffen geringer als etwa auf einem Physikertag. Aber dafür sind die behandelten Probleme von viel weiterreichender Bedeutung. Um mich aber dennoch sowenig wie möglich im Allgemeinen zu verlieren, schien mir die Mitarbeit im DDR-Komitee für europäische Sicherheit und Zusammenarbeit mit der begrenzten Zielsetzung am geeignetsten. Hierbei sollte zunächst durch Analyse und Propaganda des Möglichen jede Unterstützung gegeben werden, um die von der sozialistischen Welt schon lange gewünschte und gegen hinhaltenden Widerstand des Westens schließlich doch durchgesetzte Konferenz von Helsinki zustande kommen zu lassen. Es handelt sich im Grunde um die sehr einfache Notwendigkeit: die Garantie friedlicher Zusammenarbeit verschiedener Gesellschaftsordnungen, ohne darum die Unterschiede in grundsätzlichen Auffassungen zu verschleiern oder ausgleichen zu wollen; denn das ist ausgeschlossen. Aber das durchzusetzen, bleibt weiterhin noch eine vordringliche Aufgabe, der wir uns stellen in enger Zusammenarbeit mit analogen Komitees in fast allen Ländern Europas. Darüberhinaus hat die internationale Solidarität der fortschrittlichen Kräfte viele Formen.

Ich weiß aus eigener fachlicher Arbeit zuviel von dem unvorstellbaren Grauen eines mit allen heutigen nuklearen Mitteln geführten Krieges und von der Plötzlichkeit, mit der dieses Inferno ausbrechen kann - in wenigen Stunden könnte rein technisch gesehen, unsere ganze Welt zerstört sein - , als daß ich nicht geradezu allergisch auf alle Versuche reagierte, diese Gefahr zu verharmlosen oder sie nicht sehen zu wollen. Und ich weiß auch zuviel von sonstigen tödlichen Gefahren, die - genau wie ein großer Krieg - nur kommen, wenn wir sie nicht rechtzeitig erkennen und das zu ihrer Abwehr Nötige tun. Mir ist bewußt, daß dieses Nötige zu tun oft verdammt hart sein kann, und daß dennoch keine Anforderung zu groß ist, wenn sie zur Sicherung der Weiterexistenz der Menschheit erfüllt werden muß.

Wer solche Realitäten mißachtet, bewirkt in keiner Weise die Abwendung einer Gefahr und trägt auch nicht zur Verbesserung der Lage bei, sondern erreicht tatsächlich nur das Gegenteil. Wollten wir mit den notwendigen Maßnahmen zur Sicherung der Zukunft erst beginnen, wenn alle Menschen diesen aus gewonnener Einsicht zustimmen, dann allerdings wären sie schon unnötig.

Thomas Boller
FSU Jena
Sektion Physik
Student 4. Stdj.

Space-Shuttle – Flüge und Aufgaben



Im April 1981 startete der erste wiederverwendungsfähige Raumflugkörper - das Space Shuttle.

Die Wiederverwendbarkeit des Raumflugkörpers, gedacht ist an etwa 100 Flüge, sollte vor allem zu einer wesentlichen Reduzierung der Startkosten führen.

Nach 9 Testflügen des Space Shuttle ist nun klar, daß dieses Ziel nur zum Teil erreicht wurde. Die anderen zur Zeit eingesetzten Systeme haben noch ihre volle Berechtigung, man denke nur an das günstige Startkosten-Nutzen-Verhältnis bei den Langzeitflügen der Salut-Besatzungen.

Natürlich wird man in der Zukunft mit der Weiterentwicklung der Technologie mit wiederverwendbaren Raumflugkörpern die Raumfahrt billiger machen können, auch in der Sowjetunion wird an einem ähnlichen Projekt gearbeitet, dennoch ist der gegenwärtige Weg der amerikanischen Raumfahrt keineswegs bedeutungslos.

In diesem Beitrag wird ein Überblick über die bisherigen Testflüge des Space Shuttle gegeben. Untersucht wird auch die immer stärkere Einbeziehung von militärischen Aufgaben in die Testflüge und der damit verbundene Versuch des USA-Imperialismus, seine friedensgefährdende Politik auch auf den Weltraum auszudehnen.

Der Flugablauf

a) Der Start

Der Start eines Raumflugkörpers stellt eine der kritischen Phasen des Fluges dar. Deshalb sind eine Reihe von Sicherheitsmaßnahmen eingeplant, die auch einen Abbruch des Unternehmens vor Erreichen der Umlaufbahn ermöglichen. So wurden z.B. in der Kanzel des Space Shuttle während der ersten 4 Testflüge Schleudersitze installiert, später sind diese weggelassen worden. Sollte nach dem Start eines der Triebwerke ausfallen, dann kann das Shuttle bis 2 Minuten nach dem Start in den Gleitflug übergehen und wie ein normales Segelflugzeug landen. Möglich ist auch eine ein- oder mehrmalige Erdumkreisung und eine sich daran anschließende Landung, die vollautomatisch oder durch die Besatzung durchgeführt werden kann.

Verläuft aber alles planmäßig, werden 2 Minuten nach dem Start die seitlichen Raketentriebwerke abgeworfen, danach beginnen die Haupttriebwerke für 6 Minuten zu arbeiten, die danach ab-

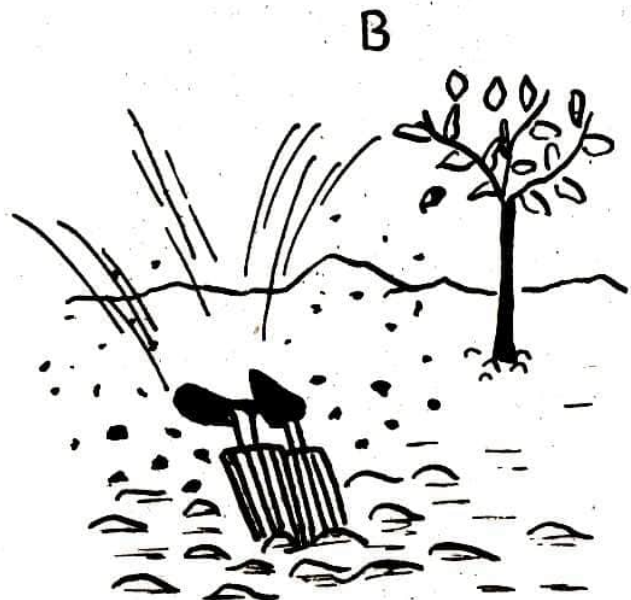
geschaltet werden. Die Orbitaltriebwerke des Space-Shuttle bringen den Flugkörper schließlich in eine Kreisbahn um die Erde.

b) Die Landung

Das Space Shuttle kann ähnlich wie ein Segelflugzeug landen. Dazu werden zunächst über dem Indischen Ozean die Brems-Triebwerke gezündet, das Shuttle dringt in die Erdatmosphäre ein und wird durch diese abgebremst. Dabei bricht kurzzeitig die Funkverbindung mit der Bodenstation ab, da durch die starke Hitzeentwicklung die Luft ionisiert wird. Die Vorderkanten des Bugs und der Flügel müssen Temperaturen bis 3000°C aushalten und sind deshalb mit einer Schutzschicht aus Kunststoff umgeben. Die Landung ist ein kritischer Punkt, da ein Fehler beim Eintauchen in die Atmosphäre nur teilweise durch die Besatzung korrigiert werden kann, das Shuttle besitzt keinen eigenen Antrieb mehr.

Verläuft alles planmäßig, landet das Shuttle mit der Geschwindigkeit eines Flugzeuges auf der fast 5000 Meter langen Piste von Cape Canaveral.

Am meisten gefragt unter den gängigen Raketentypen ist zur Zeit die „Jupiter privat“. Ihr gefälliges Äußeres (A) versöhnt mit der Tatsache, daß das Landeproblem noch nicht endgültig gelöst ist (B)



Die unmittelbare Flugvorbereitung

Vor dem ersten Start des Space Shuttle mußten dessen Flugeigenschaften in der Atmosphäre praktisch erprobt werden. Dazu wurde das Shuttle auf ein Großraumflugzeug montiert, auf Höhe gebracht und segelte danach selbständig zur Basis zurück. Insgesamt wurden zwei dieser unter der Bezeichnung "Huckepackflüge" bekannt gewordenen Flüge durchgeführt.

Der erste Flug 12. 4. 1981–14. 4. 1981

Besatzung: John Young, Robert Laurel Crippen

Der erste Start des Space-Shuttle war schon für September 1979 vorgesehen. Dieser mußte aber immer wieder verschoben werden, weil zum einen die Haupttriebwerke nicht ordnungsgemäß funktionierten und zum anderen die 4500 Hitzeschutzplatten an der Unterseite des Shuttle schlecht befestigt waren.

So konnte der erste Start des wiederverwendungsfähigen Raumflugkörpers erst im April 1981 durchgeführt werden.

Mit dem ersten Flug konnte die Flugfähigkeit des Shuttle unter Beweis gestellt werden und Schlußfolgerungen für technische Verbesserungen gezogen werden. Es wurden mehrere Bahnmanöver und das Öffnen der Klappen des Frachtraumes durchgeführt.

Der zweite Flug 12. 11.–14. 11. 1981

Besatzung: Joe Engle, Richard Truly

Der zweite Start war ursprünglich schon für den 09. Oktober vorgesehen, bei T-31 sec (31 Sekunden vor dem Zünden der Triebwerke) mußte der Countdown abgebrochen werden, da der Sauerstoffdruck in den Brennstoffzellen zur Bordenergie- und Trinkwasserversorgung nicht den Soll-Wert erreichte. So konnte auch der zweite Start nicht planmäßig erfolgen.

Kurz nach dem Start zeigte sich am 12. November außerdem, daß die Rückkehr zur Erde, nicht wie geplant am 16. November, sondern vorfristig erfolgen mußte. Eine der 3 Brennstoffzellen zur Bordenergieversorgung war ausgefallen.

Der dritte Flug

Besatzung: Jack Lousma, C. Fulleston

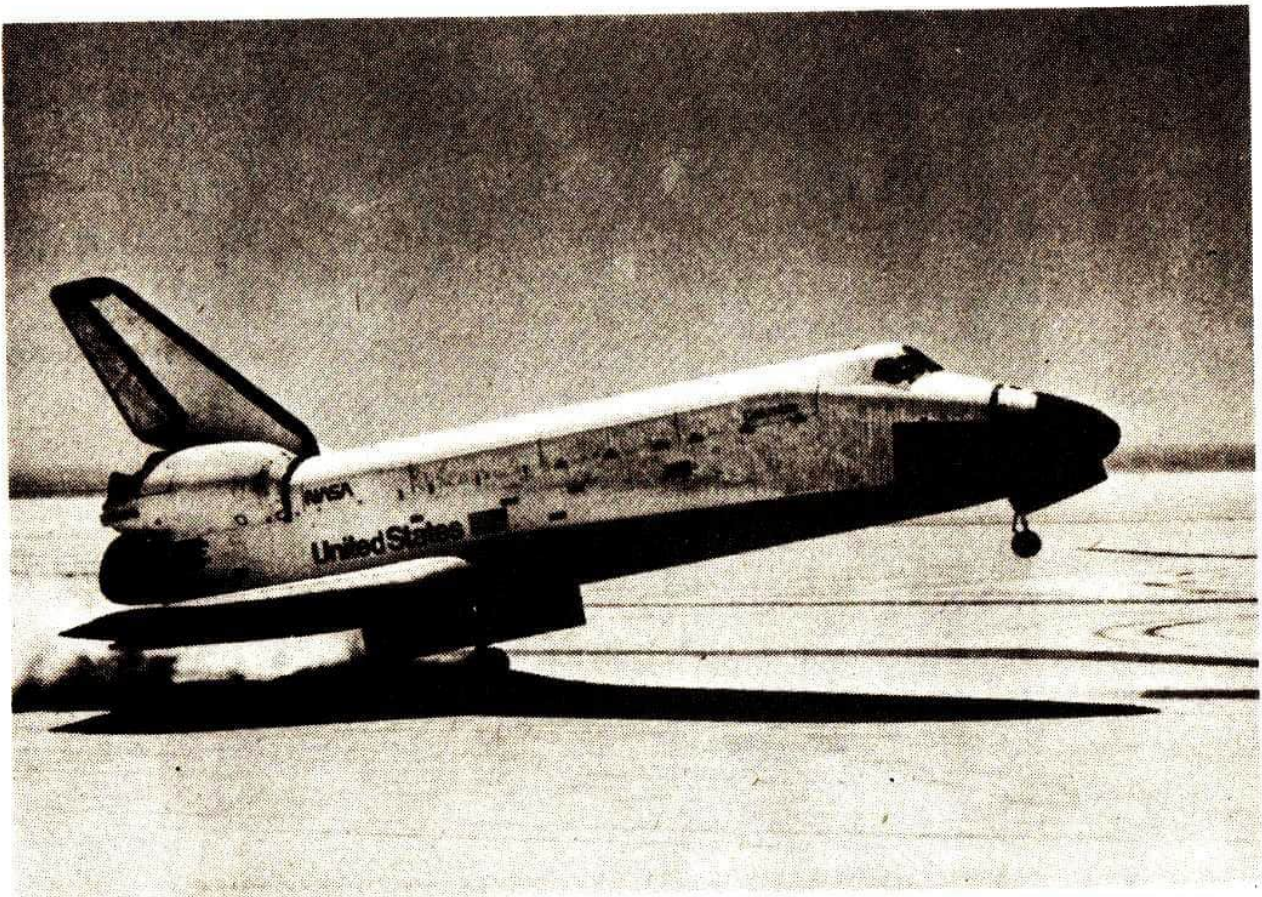
Im Gegensatz zu den mehrmaligen Startverschiebungen der ersten

beiden Flüge erfolgte der dritte Flug mit "nur" 1-stündiger Verspätung. Der dritte Flug schien nun endgültig zu bestätigen, daß sich das Space Shuttle als wiederverwendungsfähiges Transportsystem eignet.

An wissenschaftlichen Aufgaben waren u.a. vorgesehen:

- Studien des interplanetaren Staubes
- Sonnenuntersuchungen
- Bestimmung von Sternhelligkeiten außerhalb der Atmosphäre.

Außerdem wurde ein Gerät mitgeführt, welches der Registrierung von Elektronen, Ionen, elektrische und magnetischen Feldern in der Umgebung der Raumfähre diene.



Der vierte Flug 27. 6.—4. 7. 1982

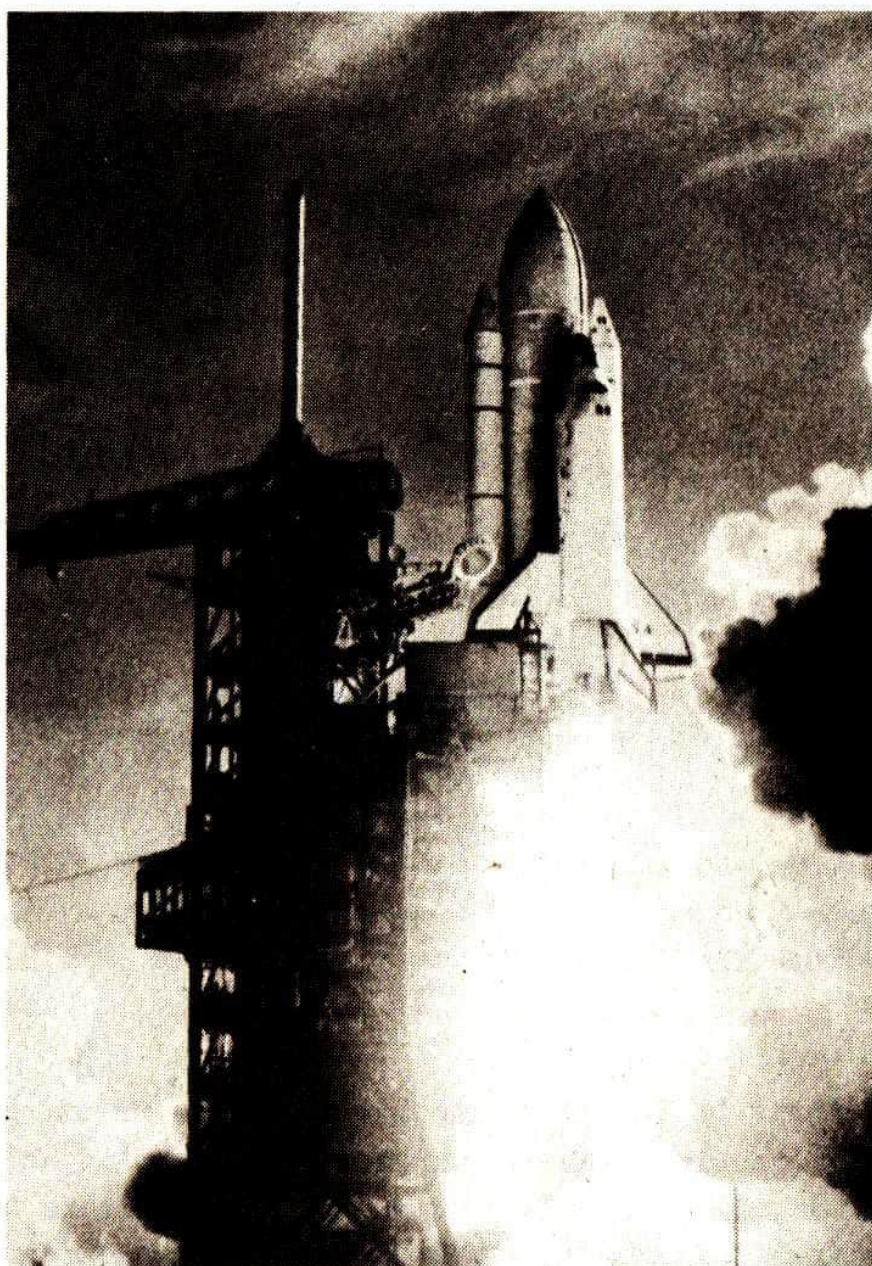
Besatzung: Thomas Mattingly, Henry Hartsfield

Die militärische Funktion des Space Shuttle tritt nunmehr offensichtlich in Erscheinung. Es wurde eine Aufgabenteilung vorgenommen; ein Kontrollzentrum dient der Leitung und Koordination der wissenschaftlich-technischen Aufgaben, ein zweites

spezielles Kontrollzentrum dient der Lenkung der militärischen Aufgaben. Damit erhält das Verteidigungsministerium eine größere Verantwortlichkeit bei der Durchführung des Unternehmens.

Beteiligung westeuropäischer Staaten am Space-Shuttle-Programm

Im Rahmen der weiteren Shuttle Flüge ist eine Beteiligung anderer kapitalistischer Staaten vorgesehen. Dafür müssen Beteiligungskosten entrichtet werden, die sich aus einem Grundbetrag, der für alle Benutzer gleich ist, und einem individuellen Kostenbeitrag, der vom jeweiligen Auftrag abhängig ist, entrichtet werden.



Der militärische Aspekt

Besonder der 4. Testflug des Shuttle zeigt, daß die US-Regierung daran interessiert ist, ihre Politik des kalten Krieges auch auf den Weltraum auszudehnen. Das muß den Interessen aller friedliebenden Menschen widersprechen und große Besorgnis hervorrufen. Die Aufgaben des Space Shuttle sind somit integriert in die Strategie der US-Regierung zur Erlangung der militärischen Überlegenheit über die sozialistischen Staaten. Demgegenüber treten die sozialistischen Länder für eine ausschließlich friedliche Nutzung des Weltraumes ein. Entsprechende Verhandlungsangebote an die Adresse der US-Regierung blieben bis jetzt ungenutzt.

Der Weltraum darf nicht zum Aufmarschplatz des Imperialismus werden, sondern muß zum Wohle für alle Völker der friedlichen Nutzung dienen!

Der fünfte Flug 11. 11. 1982–16. 11. 1982

Der fünfte Flug des Space Shuttle stellt den ersten kommerziellen Flug der Raumfähre dar. Zum ersten Male bestand die Mannschaft aus 4 Astronauten, darunter 2 Wissenschaftlern. Geplant war ein mehrstündiger Ausstieg zweier Mitglieder der Besatzung.

Dieser wurde zweimal verschoben, einmal wegen Anpassungsschwierigkeiten eines Wissenschaftlers an die Schwerelosigkeit, zum zweiten Male wegen Mängeln an den neuentwickelten Raumanzügen, die nicht behoben werden konnten. So mußte man schließlich ganz auf den Ausstieg verzichten.

Von der Umlaufbahn aus wurden zwei wissenschaftliche Satelliten gestartet.

Der sechste Flug

Besatzung: P. J. Weitz, K. J. Bobko, D. H. Petersen, St. Musgrave

Hauptziel des 6. Fluges war das Aussetzen eines 18 Tonnen schweren neuartigen Nachrichtensatelliten vom Typ TDRS (Tracking and Data Relay Satellite). Aus einer geostationären Bahn aus ist er in der Lage, maximal 28 Erdsatelliten als Relaisstation

zu dienen. Die Satellitendaten werden von diesen Satelliten kommend empfangen und direkt zur Bodenstation übertragen. Dadurch kann die Speicherkapazität des Satelliten erheblich niedriger gehalten werden.

Der siebente Flug 18. 6. 1983–24. 6. 1983

Besatzung: erstmals fünf Astronauten:

R. C. Crippen (Pilot), F. H. Hauck, Dr. S. U. Ride, J. F. Fabian, Dr. N. E. Thagard (Missionsarzt)

Bei diesem Flug war die erste US-Astronautin, Dr. Ride, an Bord des Space Shuttle. Am ersten Flugtag wurde ein kanadischer Nachrichtensatellit durch Katapultstart abgesetzt, am zweiten Flugtag ein indonesischer. Zum ersten Mal wurde der Einsatz des Manipulators zum Ein- und Aussetzen eines wiederverwendbaren Satelliten am fünften Flugtag vollständig erprobt.

Es wurden 21 Experimente durchgeführt, z.B. Herstellen von Pharmaka, Herstellung von Metallegierungen, Kristallzüchtung.

Der achte Flug 30. 8.–5. 9. 1983

Besatzung: R. Tonly (Kommandant), D. Brandenstein (Pilot), D. Gardner und Dr. G. Bluford (Missionsspezialisten), D. W. Thornton (Missionsarzt)

Als Besonderheiten dieses Fluges seien genannt: Start und Landung bei Nacht, Katapultstart eines indischen Satelliten am zweiten Flugtag und Test eines neuen Manipulators.

Biologische Experimente mit lebenden Zellen und sechs Ratten sowie Beobachtungen von Wolkenbildungen bildeten u.a. den wissenschaftlichen Rahmen.

Der neunte Flug 28. 11.–6. 12. 1983

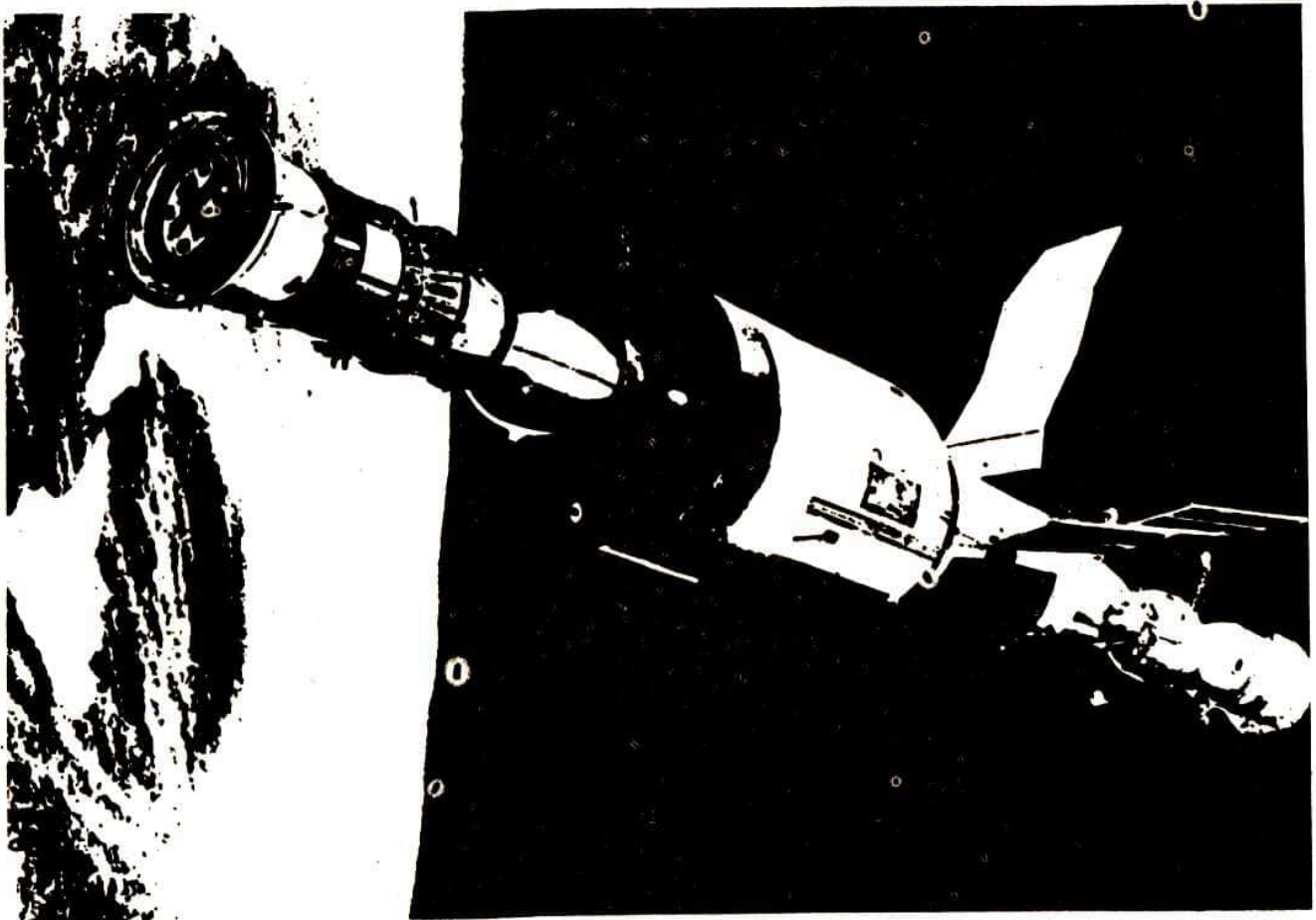
Besatzung: O. Geriat, B. Shaw, G. Lichtenberg, B. Young, R. Parker, U. Merbold (BRD)

Der Start zum neunten und vorerst letzten Flug erfolgte am 28.11.1983 um 17 Uhr MEZ. Zum ersten Mal befand sich dabei an Bord des Space Shuttle das von der westeuropäischen Welt-

raumorganisation ESA konstruierte Weltraumlabor "Spacelab". Der Flug diente dabei in erster Linie dem Test des Gesamtsystems Space Shuttle - Spacelab. Durch Öffnen der Ladeklappen des Space Shuttle wurde Spacelab Weltraumbedingungen ausgesetzt. In den neun Tagen des Fluges wurden 72 Experimente im Spacelab ausgeführt. Der größte Teil davon diente Versuchen zur Werkstoffkunde, außerdem wurden Experimente aus den Bereichen Astronomie, Medizin, Plasmaphysik und Erdbeobachtungen durchgeführt.

Neu bei diesem Flug war die Dauer von neun Tagen und die Anzahl der Besatzungsmitglieder (6 Personen), darunter auch einem Physiker aus der BRD.

(Fotos: Autor)



ORBITALKOMPLEX
SALUT - SOJUS - PROGRESS

(Repro: S. W.)

7. Das Quark-Parton-Modell

Wir haben im Teil II eine Fülle neuer Teilchen kennengelernt. Insgesamt belaufen sich diese heute auf einige Hundert. Schaut man sich ihre Einordnung in das Schema Abbildung 7 einmal an, so findet man, daß sich nicht in jeder Spalte gleichviel Teilchen angesammelt haben. Sieht man vom μ und τ sowie deren Neutrinos ab, so sind die neuen Teilchen ausschließlich Baryonen oder Mesonen, jedenfalls alles Hadronen. Vielleicht sind diese Teilchen gar nicht elementar, sondern Kombinationen von einigen wenigen, die durch eine neue Art starke Wechselwirkung zusammengehalten werden?

Diese Frage bewegte im Jahre 1964 die beiden Physiker Murray Gell-Mann und George Zweig. Bei dem Versuch, die Teilchen nach ihren Quantenzahlen zu ordnen, bemerkten sie bestimmte regelmäßige Strukturen. Man kann z.B. alle Mesonen mit dem Spin 0 und ähnlicher Masse in ein Ladungs(Q)-Strangeness(S)-Diagramm einordnen:

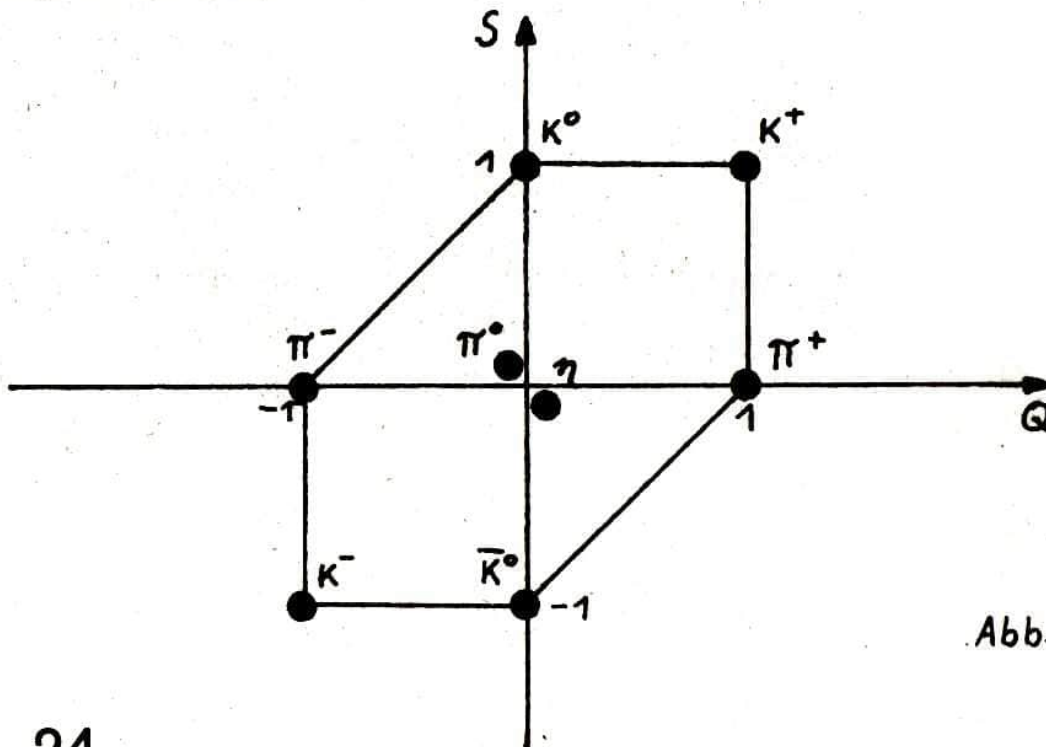


Abb. 8

Ein ähnliches Bild ließ sich für die Baryonen mit dem Spin $\frac{1}{2}$ und ebenfalls ähnlicher Masse finden:

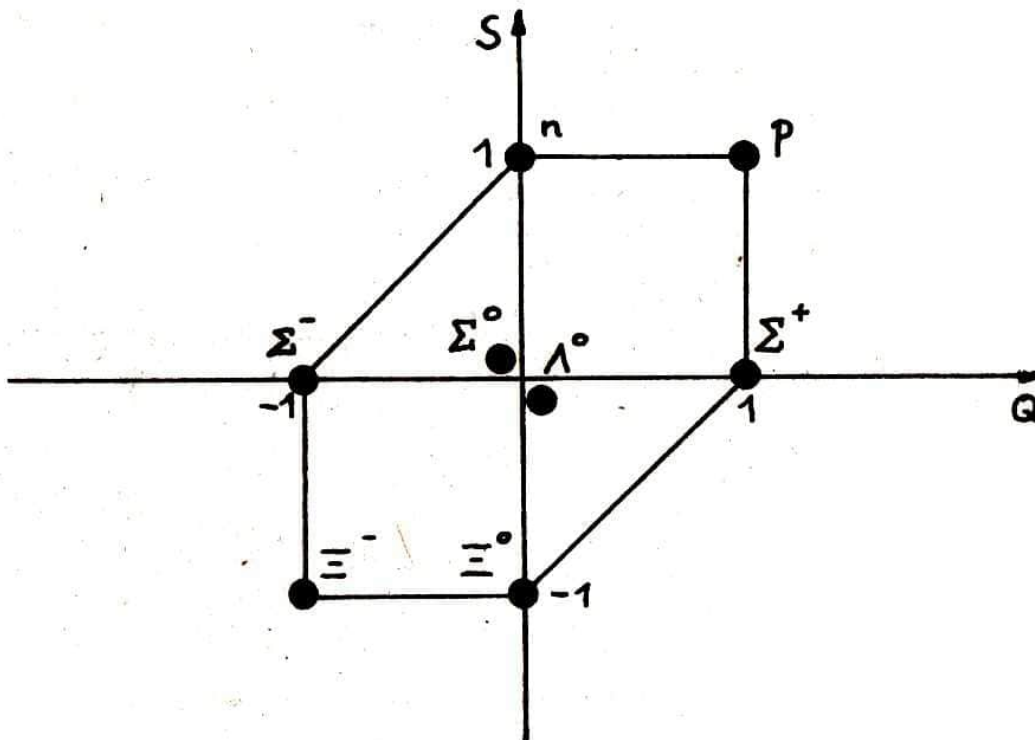


Abb. 9

Da gerade immer acht Teilchen ein solches Diagramm bilden (die Mitte ist stets doppelt besetzt) nannte Gell-Mann diese Klassifizierung den "eightfold way" (achtfachen Weg), in Anlehnung an ein altes indisches Sprichwort, welches acht Lebensweisheiten nahelegte. Man merkte bald, daß sich alle Hadronen, d.h. alle stark wechselwirkenden Teilchen, in solche und ähnliche Schemata einordnen ließen. Das ist durchaus erstaunlich, denn es könnten ja z.B. auch die Randpunkte einmal doppelt besetzt sein oder irgendwo ein Teilchen fehlen. Nein, immer ließ sich ein vollständiges Diagramm aufstellen und wenn wirklich mal ein Teilchen "fehlte", wurde es nach systematischer Suche bald gefunden.

Diese Regelmäßigkeit erinnert doch sehr an das Periodensystem der Elemente! Auch dort ist jeder Platz genau einmal besetzt, in jeder Periode und jeder Gruppe gibt es genau ein Element. Man kann sich mit dieser Klassifizierung, der sogenannten SU(3)-Klassifizierung, zufrieden geben und sie nehmen wie sie ist.

Das Periodensystem sagt ja aber mehr aus. Es ist eine Folge der zusammengesetzten Struktur des Atoms, von Element zu Element wird die Kernladungszahl um 1 erhöht. Vielleicht sind auch die Hadronen zusammengesetzt, und von Hadron zu Hadron (in einem sogenannten Multiplett, wie die Abbildungen 8 und 9 auch heißen) wird immer ein Bestandteilchen ausgetauscht? Tatsächlich zeigte sich, daß man alle bisher genannten Hadronen aufbauen kann aus nur 3 Bestandteilen. Diese wurden von Gell-Mann in Anlehnung an J. Joyce's Buch "Finnegan's Wake" als Quarks bezeichnet. Sie haben folgende Quantenzahlen:

Quark	Masse	Spin	elektr. Ladung	Baryonen-zahl	Strange-ness
u	$\approx 360 \text{ MeV}/c^2$	$\frac{1}{2} \hbar$	$+\frac{2}{3} e$	$\frac{1}{3}$	0
d	$\approx 360 \text{ MeV}/c^2$	$\frac{1}{2} \hbar$	$-\frac{1}{3} e$	$\frac{1}{3}$	0
s	$\approx 560 \text{ MeV}/c^2$	$\frac{1}{2} \hbar$	$-\frac{1}{3} e$	$\frac{1}{3}$	-1

Heute kennt man zwei weitere Quarks und ein sechstes wird vermutet:

Quark	Masse	Spin	elektr. Ladung	S	C	B	T
c	$\approx 1550 \text{ MeV}/c^2$	$\frac{1}{2} \hbar$	$+\frac{2}{3} e$	0	+1	0	0
b	$\approx 5000 \text{ MeV}/c^2$	$\frac{1}{2} \hbar$	$-\frac{1}{3} e$	0	0	+1	0
t	?	$\frac{1}{2} \hbar$	$+\frac{2}{3} e$	0	0	0	+1

(Die Quantenzahlen C, B und T heißen: C = Charm, B = Bottom, T = Top.)

Bis auf Masse und Spin haben die Quantenzahlen der Antiquarks \bar{u} , \bar{d} usw. jeweils das entgegengesetzte Vorzeichen, so hat z.B. das \bar{u} die Ladung $-\frac{2}{3} e$. Die 3 zuletzt genannten Quarks braucht man zur Konstruktion neuer, in den 70-er Jahren gefundener Teilchen, die sich in die bisherigen Multipletts (wie Abb.8) nicht einfügen, mit diesen gemeinsam aber größere Multipletts, ebenfalls wieder mit einer regelmäßigen Struktur, bilden.

Man kann Konstruktionsvorschriften angeben, wie man aus Quarks und Antiquarks Mesonen, wie π^+ , π^0 , u^+ usw. oder Baryonen wie p, n, Δ^{++} , ... konstruiert. Grundsätzlich sind

Mesonen aus einem Quark und einem Antiquark zusammengesetzt.
So ist z.B.

$$\pi^0 = (d\bar{u})$$

$$U^+ = (u\bar{s})$$

Die Kaonen haben ja, wie wir gesehen hatten, die Quantenzahl Strangeness, die ihren starken Zerfall in Pionen verhindert.

Addiert man die Quantenzahlen der beiden Quarks, so erhält man gerade die experimentell beobachteten Eigenschaften, etwa für das π^-

	d	\bar{u}	$\pi^- = (d\bar{u})$
Spin J	= $+\frac{1}{2}\hbar$	= $-\frac{1}{2}\hbar$	= 0
Ladung Q	= $-\frac{1}{3}e$	= $+\frac{2}{3}e$	= $-1e$
Strangeness S	= +0	= +0	= 0
Baryonenzahl B	= $+\frac{1}{3}$	= $-\frac{2}{3}$	= 0

Daß $B = 0$ ist, ist verständlich, da das Pion eben ein Meson und kein Baryon ist.

Bei der Masse ist eine einfache Addition nicht immer möglich. Bei der Verbindung der Quarks zu den Pionen wird eine Bindungsenergie freigesetzt, die wegen $E = mc^2$ noch von der Summe der Quarkmassen subtrahiert werden muß.

Im Gegensatz dazu bestehen Baryonen aus 3 Quarks, z.B.

$$n = (u d d)$$

$$p = (u u d)$$

$$\Delta^{++} = (u u u)$$

Auch hier stimmt die Summe der Quantenzahlen der Quarks gerade mit der der Teilchen überein.

Beim letzten Teilchen, der Δ^{++} -Baryonenresonanz entsteht aber ein prinzipielles Problem. Aus dem Chemieunterricht wissen wir ja, daß zwei Elektronen nicht in allen ihren Quantenzahlen übereinstimmen dürfen. Befinden sich z.B. zwei Elektronen im 1s-Orbital eines Atoms, so müssen sie entgegengesetzten Spin haben:

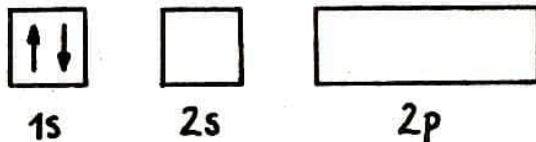


Abb. 10

Das ist in allen Orbitalen so. Wolfgang Pauli hat dies 1925 als allgemeines Prinzip formuliert: Zwei Fermionen, d.h. Teilchen mit halbzahligen Spin, dürfen nicht in allen Quantenzahlen übereinstimmen. Da Quarks mit Spin $\frac{1}{2} \hbar$ auch Fermionen sind, trifft dies natürlich auch für sie zu. Betrachtet man aber das Δ^{++} , so weiß man, daß

1. es weder Strangeness noch Charm o.ä. trägt, also höchstens aus u- und d-Quarks bestehen kann
2. es die Ladung $Q = + 2e$ trägt, dies also alles drei u-Quarks sein müssen ($3 \cdot (+\frac{2}{3})e = + 2e$)
- und 3. die Spins aller dieser drei u-Quarks auch noch die gleiche Richtung haben müssen, denn der Gesamtspin des Δ^{++} ist $J = \frac{3}{2} \hbar$.

Das durfte nicht sein! Trotzdem gab es dieses Teilchen. Offenbar trugen die drei Quarks noch eine weitere Quantenzahl, die man bisher nicht beobachtet hatte, und die für alle drei unterschiedlich war. Um ihr einen Namen zu geben, nannte man sie "Colour" ((englisch) = Farbe), obwohl sie natürlich mit der Farbe der uns umgebenden Gegenstände, die durch Absorptionserscheinungen in der Atomhülle hervorgerufen wird, nichts zu tun hat. Trotzdem hat diese neue Quantenzahl einige analoge Eigenschaften wie die Farbe. So muß das Δ^{++} insgesamt trotz seiner "farbigen" Bestandteile weiß sein, d.h. es darf keine Farbe haben, sonst müßte sich diese irgendwie nachweisen lassen, was aber nicht der Fall ist.

Wir müssen also unser Quark-Bild noch etwas erweitern. Jedes Quark (also u, d, s usw.) kommt in 3 Farben vor. Die aus ihnen konstruierten Hadronen müssen weiß sein. Wir wollen noch erwähnen, daß es neben der Existenz des Δ^{++} und einiger ähnlicher Teilchen noch weitere indirekte Hinweise auf die Existenz farbiger Quarks gibt.

Wie sieht in diesem "farbigen" Bild nun z.B. unser π^- -Meson aus? Nun, so wie das Quark eine Farbe trägt, wird auch das Antiquark eine Farbe haben - Antiquarks tragen die Komplementärfarben als Antifarben. Nennen wir die 3 Farben der Quarks rot, blau und grün, so haben die Antiquarks die Antifarben türkis, gelb und violett. Damit kann man dann z.B. ein "weißes" Pion konstruieren:

$$\pi^- = (d^r \bar{u}^r) + (d^b \bar{u}^b) + (d^g \bar{u}^g)$$

Das \bar{u}^r , welches antirot ist, kombiniert mit dem roten d^r zur Farbe weiß.

Wir können noch etwas weiter gehen und es zur **F o r d e - r u n g** erheben, daß alle Hadronen, gleich ob Baryonen oder Mesonen, weiß sein müssen, ja, daß nur solche Kombinationen in der Natur auftreten. Tatsächlich ist bisher kein Teilchen **f r e i** beobachtet worden, welches nicht "weiß" wäre. Das betrifft besonders auch einzelne freie Quarks selbst, die allein farbig sind. Obwohl gelegentlich Meldungen über das Auffinden freier Quarks durch die Fachpresse geistern, konnten alle diese Experimente bisher nicht von unabhängigen Forschergruppen reproduziert werden.

Man könnte nun diese ganze "Quark-Chemie" für eine pure mathematische Spielerei halten. Es kann ja sein, daß die Quantenzahlen der Hadronen bestimmte Regelmäßigkeiten aufweisen und sich mathematisch als Summe einfacher Quantenzahlen ergeben. Das allein beweist noch nicht, daß ein Hadron, etwa ein Proton, auch wirklich aus Teilchen mit diesen Quantenzahlen besteht. In der Tat läßt z.B. das Periodensystem einen zusammengesetzten Aufbau der Atome vermuten, beweisen kann es dies nicht. Das leisteten erst Rutherfords Streuexperimente. Ja, man müßte vielleicht solche Streuexperimente auch zur Untersuchung des Protons heranziehen. Natürlich wird man dazu kleinere Projektile als die "großen" α -Teilchen verwenden müssen und höhere Energien, um in das Proton eindringen zu können. Diese Idee veranlaßte eine Gruppe amerikanischer Elementarteilchenphysiker unter der Leitung von Wolfgang Panofsky dazu, an dem großen Linearbeschleuniger des Stanford Linear Accelerator Center, Protonen mit Elektronen einer Energie von rund 20 GeV zu bombardieren. Bei einer gleichmäßig über das Proton verteilten Ladung hätte man wieder nur eine geringe Abweichung der Bahn von wenigen Grad erwartet. Tatsächlich wurden in einzelnen Fällen die Elektronen auch hier um einen unerwartet großen Winkel abgelenkt. Dies deutete - wie seinerzeit bei Rutherford - auf eine innere Struktur des Protons hin. Man nannte die Streuteilchen innerhalb des Protons zunächst Partonen und identifizierte sie, als man gemerkt hatte, daß es gerade 3 sind, dann bald mit den Quarks. Die Quarks waren - zumindest indirekt - nachgewiesen!

8. Die Elementarteilchentheorie

Wir haben nun die ungeheure Vielfalt der Elementarteilchen - von denen die meisten Hadronen sind - in einige wenige Bestandteile aufgelöst. Was bleibt, ist die Aufgabe einer theoretischen Beschreibung dieser Teilchen und ihrer Wechselwirkungen. Wie reagieren die Quarks miteinander? Was hält sie in einem Proton zusammen? Wie kann man die Ergebnisse der Streuung z.B. von zwei Protonen aneinander oder eines Elektrons an einem Proton aus der Streuung der Quarks, aus denen diese Protonen bestehen, berechnen? Wie kann man die schwache Wechselwirkung der Leptonen und Quarks widerspruchsfrei beschreiben?

Bisher sind diese und weitere Fragen noch nicht alle endgültig beantwortet. Sicher wird die Beantwortung zumindest einiger von ihnen wieder neue Fragen aufwerfen. Zumindest das Problem, was die Quarks im Proton und Neutron zusammenhält, ist trotz interessanter Ideen noch nicht völlig geklärt. Eines glaubt man jedoch ziemlich sicher zu wissen. Die Kraft, welche die Quarks aufeinander ausüben, wird wie bei der elektromagnetischen Wechselwirkung durch Bindungsteilchen vermittelt. Entsprechend der verschiedenen Wechselwirkungen der Quarks und der dabei wesentlichen Ladungen haben wir hier mehrere Arten von Bindungsteilchen. Wir haben ja eine ganze Reihe von Ladungen der Quarks kennengelernt. Sicher wird ihre elektrische Ladung zu einer elektromagnetischen Anziehung oder Abstoßung durch Photonaustausch führen. Diese ist aber viel schwächer als ihre starke Wechselwirkung. Wie man inzwischen herausgefunden hat, hat diese gerade mit der Farbe der Quarks, der Farbladung, zu tun. So wird es entsprechend der 3 Quarks und Antiquarks zwischen diesen gerade $3 \times 3 = 9$ Überträgerteilchen der starken Wechselwirkung geben. Da sie zum Zusammenhalt der Quarks, etwa im Proton, den wesentlichen Beitrag liefern, werden sie als Gluonen (glue(englisch) = Leim; das sind also "Leimteilchen") bezeichnet. Man kann sich überlegen, daß eine Gluonenart zur Wechselwirkung der Quarks nichts beiträgt (ihr Beitrag ist durch den der restlichen 8 auszudrücken), so daß wir 8 Gluonen haben, die man mit $A^1 \dots$ bis A^8 bezeichnet. Die Theorie, die die Quark-Quark-Wechselwirkung auf den Austausch von Gluonen zurückführt, (sie ist ziemlich ähnlich der vorn beschriebenen Theorie der elektromagnetischen Wechselwirkung) hat sich bisher gut bewährt.

Vor allem beschreibt sie richtig, daß sich bei hochenergetischen Stößen, wie vorhin geschildert, die Protonen und Neutronen so verhalten, als ob die Quarks frei in ihnen herumfliegen. Bisher noch nicht endgültig geklärt ist die Frage, warum die Quarks sonst in den Protonen und Neutronen "drinbleiben" und nicht auseinanderfliegen.

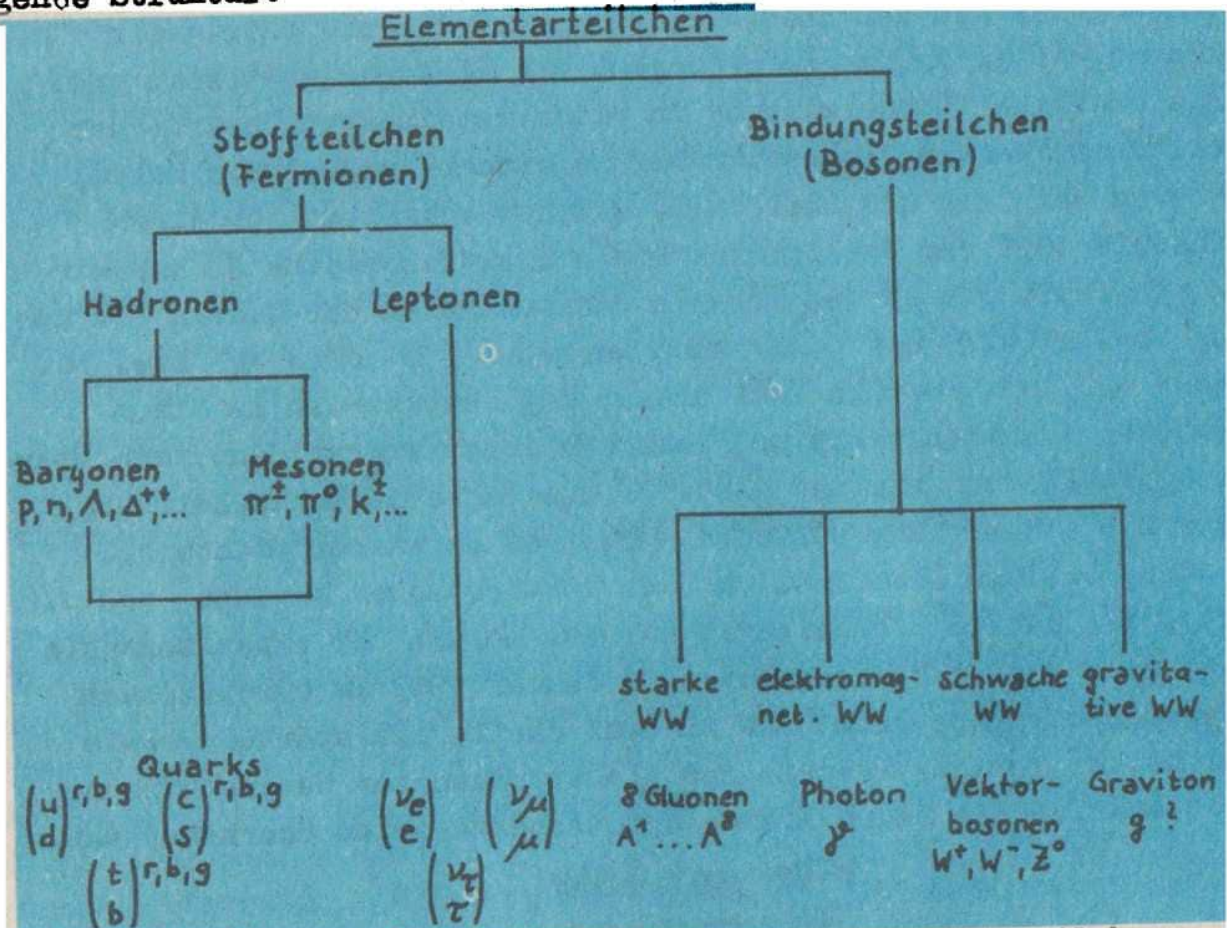
Auch für die uns vom β -Zerfall bekannte schwache Wechselwirkung hat man auf diesem Prinzip eine Theorie entwickeln können, ja es ist sogar gelungen, die elektromagnetische und die schwache Wechselwirkung in einer gemeinsamen Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung zu beschreiben. Abdus Salam, Steven Weinberg und Sheldon L. Glashow erhielten für diese Theorie 1979 den Nobelpreis. Diese elektroschwache Wechselwirkung greift nun an den anderen Quantenzahlen der Quarks (u und d bzw. s und c) oder auch Leptonen (e oder ν_e bzw. μ oder ν_μ) an. Jeweils zwei dieser Teilchen werden in einem Dublett zusammengefaßt und zwischen ihnen wirken dann ihre Überträgerteilchen. Man hat also für die schwache Wechselwirkung $2 \times 2 = 4$ Überträgerteilchen, wobei eines wieder nichts beiträgt, bleiben also drei, welche Vektorbosonen genannt und mit W^+ , W^- und Z^0 bezeichnet werden. Gerade der experimentelle Nachweis dieser Vektorbosonen im Januar 1983 im europäischen Kernforschungszentrum CERN in Genf dürfte ein starker Beweis nicht nur für die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung, sondern für die neuen Elementarteilchentheorien überhaupt sein:

W-Bosonen in Genfer CERN nachgewiesen

Genf (ADN). Eine Entdeckung ist den Experten am europäischen Kernforschungszentrum (CERN) in Genf geglückt: Sie wiesen die Existenz eines äußerst instabilen Teilchens nach, des Vektorbosons W , kurz W-Boson genannt. Sie bestätigten damit eine in den siebziger Jahren von Wissenschaftlern aufgestellte Theorie über die Einheit der elektromagnetischen und der schwachen nuklearen Wechselwirkung. Der Nachweis von W-Bosonen ist den CERN-Forschern insgesamt neunmal gelungen.

Abb. 11 Pressemitteilung im ND vom 26.1.1983

Wir wollen einmal Rückschau halten. Begonnen hatten wir mit dem Atom, dieses bestand aus Kern und Hülle, der Kern aus Protonen und Neutronen, diese wieder aus Quarks, die Hülle dagegen besteht aus Elektronen als einer Sorte Leptonen. Zwischen diesen Teilchen gibt es entsprechend ihren Wechselwirkungen eine Anzahl von Bindungsteilchen. Unser Schema von Abbildung 7 hat nun folgende Struktur:



Es ist doch noch eine recht beachtliche Zahl von Teilchen, die sogar auf dem niedrigsten bekannten Niveau übrigbleiben. Trotzdem fällt auch hier wieder eine gewisse Ordnung auf. Je 2 Quarks, z.B. u und d, bilden ein Dublett und sind sich ähnlich. Auch bei den Leptonen ist das der Fall. Ist diese Ordnung bereits wieder Anzeichen einer noch kleineren Struktur? Bestehen Quarks und Leptonen aus noch kleineren "Preonen"?

Eine endgültige Antwort auf diese Frage können wir heute noch nicht geben. Es gibt ernsthafte Versuche, die Quarks und Leptonen aus diesen "Preonen" aufzubauen. Andere Wissenschaftler sind der Meinung, daß das Matrjoschka-Prinzip (in jeder Puppe steckt wieder eine kleinere) auch einmal zum Abschluß kommen muß. Genug Aufgaben also, die die Elementarteilchenphysik auch für die Physiker von morgen noch interessant machen werden.

Bei dem im Teil 1 dieses Beitrages (Heft 1/1984) vorgestellten Zähler wird das Taktsignal nicht allen Zählstufen gleichzeitig zugeführt. Die JK-MS-FF arbeiten nicht synchron, es liegt ein asynchroner Zähler vor. Der Zählimpuls wird nur der ersten Zählstufe zugeführt, und diese steuert jeweils die ihr nachgeschaltete Zählstufe an. Benutzt man dazu nicht wie in dem bisher betrachteten Beispiel das Ausgangssignal Q , sondern das negierte Signal \bar{Q} , so entsteht aus dem Vorwärtszähler ein Rückwärtszähler.

Asynchroner rein dualer Rückwärtszähler

Im Bild 6 sind Schaltbild und Impulsdiagramm angegeben. Zu beachten ist, daß das Kippen jedes JK-MS-FF durch die Rückflanke des Signals \bar{Q} ausgelöst wird. Das ist der Fall, wenn für Q eine L/H-Pegeländerung stattfindet. Durch Ausfüllen der vorgegebenen Zustandstabelle (Tabelle 3) kann der Leser sich davon überzeugen, daß es sich um einen Rückwärtszähler handelt.

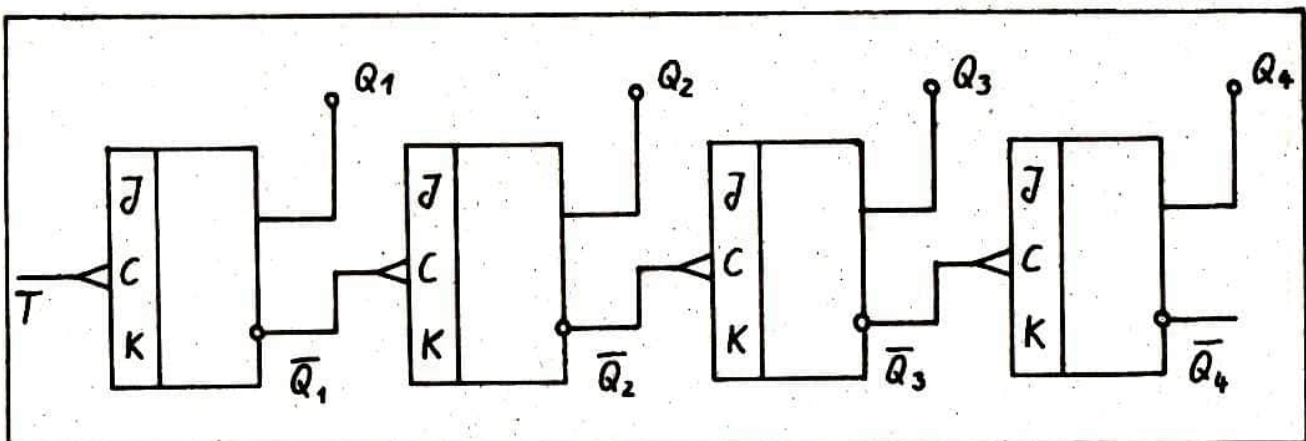
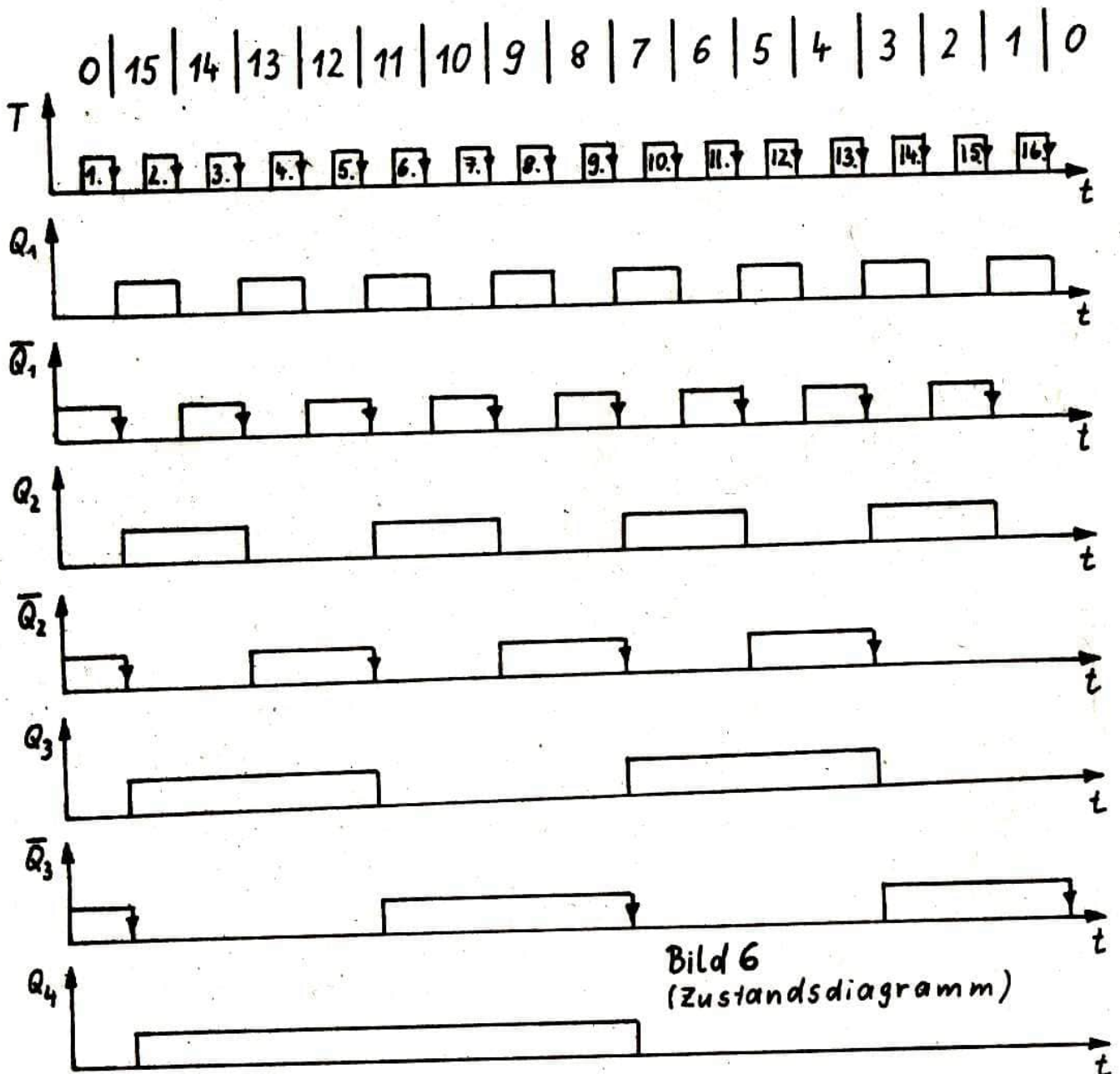


Bild 6 (Schaltbild)

Zu beachten ist, daß in Tabelle 3 der in einer Zeile angegebene Zustand des Zählers sich immer auf den Zeitpunkt unmittelbar nach dem betrachteten Zählimpuls bezieht. So löst z.B. die Rückflanke des 5. Zählimpulses einen L/H-Wechsel bei Q_1 aus. Nach dem 5. Zählimpuls ist also $Q_1 = H$. Dem L/H-Wechsel bei Q_1 entspricht ein H/L-Wechsel bei \bar{Q}_1 . Diese Rückflanke bewirkt bei Q_2 die Pegeländerung L/H, d.h. nach dem 5. Zählimpuls ist $Q_2 = H$. Bei Q_2 muß daher die umgekehrte Pegeländerung auftreten (H/L-Wechsel). Diese schaltwirksame Rückflanke löst das Kippen der nächsten Zählstufe aus; am Ausgang Q_3 des 3. JK-MS-FF kommt es zu einem H/L-Wechsel, dem bei \bar{Q}_3 ein L/H-Wechsel entspricht, d.h. der 4. JK-MS-FF erhält kein



schaltwirksames Signal. Nach dem 5. Zählimpuls wird also $Q_3=L$, und es bleibt $Q_4=H$. Der soeben entwickelte Zustand des Zählers $Q_4=H, Q_3=L, Q_2=H, Q_1=H$ ergibt folgenden Zählerstand: $1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 11$.

Rückblickend kann festgestellt werden, daß sich Vor- und Rückwärtszähler in der Ankopplung der nachfolgenden an die vorangehende Zählstufe unterscheiden. Dadurch, daß man diese Ankopplung umschaltbar gestaltet, erhält man Zähler, die sowohl vorwärts als auch rückwärts zählen können.

Zähl-impulse	duale Wertigkeit $2^3 \ 2^2 \ 2^1 \ 2^0$ $Q_4 \ Q_3 \ Q_2 \ Q_1$	Zählerstand
1	H H H H	$1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 15$
2	H H H L	$1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 14$
3		
4		
5		
6		
7		
8	H L L L	$1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 8$
9	L H H H	$0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 7$
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		

Tab.3

3. Dezimalzähler

Die bisher vorgestellten Zähler arbeiteten im Dualsystem. Im Dezimalsystem arbeitende Zähler erfordern andere logische Verknüpfungen der Zählstufen. Jeder Dezimalzähler besteht aus sogenannten Zähldekaden. Im folgenden soll die Arbeitsweise einer synchronen Zähldekade im 8-4-2-1-BCD-Kode erläutert werden.

Um die 10 Dezimalziffern 0 bis 9 darzustellen, benötigt man 4 FF. Damit erreicht man 16 Zustandskombinationen (auch als Tetraden bezeichnet). Ordnet man 10 dieser Tetraden die Ziffern 0 bis 9 beliebig zu, so spricht man vom BCD-Kode (englisch: binary coded decimal). Diese Zuordnung kann in sehr unterschiedlicher Weise erfolgen, so daß man zahlreiche verschiedene BCD-Kodes erhält. Eine sehr einfache Möglichkeit ergibt sich, wenn die Zuordnung der Dezimalziffern von 0 bis 9 genau dem reinen Binärkode entspricht. In Tabelle 4 ist dieser 8-4-2-1-Kode, der auch als natürlicher BCD-Kode bezeichnet wird, enthalten. Von den 16 Tetraden werden dabei 6 nicht benötigt. Sie werden als Pseudotetraden bezeichnet.

Dezimal- Zahl	Reiner Binärkode				
	2^3	2^2	2^1	2^0	
0	L	L	L	L	} 8-4-2-1 - BCD-KODE
1	L	L	L	H	
2	L	L	H	L	
3	L	L	H	H	
4	L	H	L	L	
5	L	H	L	H	
6	L	H	H	L	
7	L	H	H	H	
8	H	L	L	L	
9	H	L	L	H	
10	H	L	H	L	} Pseudo- tetraden
11	H	L	H	H	
12	H	H	L	L	
13	H	H	L	H	
14	H	H	H	L	
15	H	H	H	H	

Tab. 4

Jeder Dezimalziffer entspricht eine Tetrade oder 4-Bit-BCD-Zahl. Durch Hintereinanderschaltung solcher Tetraden erhält jede einen bestimmten Stellenwert. Jeder 4-Bit-BCD-Zahl wird nach dem Bildungsgesetz der Dezimalzahldarstellung eine Zehnerpotenz zugeordnet. Die Zahl 10 wird z.B. aus den Ziffern $1111 \hat{=} 1$ und $1111 \hat{=} 0$ zusammengesetzt: $1111 1111 \hat{=} 10$.

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Darstellung der Dezimalzahlen 10 bis 20 im 8-4-2-1-BCD-Kode. Zum Vergleich ist der reine Binärkode angegeben. Es wird deutlich, daß die Darstellung einer Zahl im 8-4-2-1-BCD-Kode wesentlich übersichtlicher als im Dualsystem ist, da jede Tetrade für sich dekodiert (entschlüsselt) werden kann. Der Leser möge zur Übung die Zahl 699 in beiden Systemen darstellen.

Dualsystem: $699 \hat{=} ?$ 8-4-2-1-BCD-System: $699 \hat{=} ?$

(Lösung am Ende des Beitrages)

Dezimalzahl	8-4-2-1-BCD-Kode	Binärkode (Dualsystem)
10	L L L H L L L L	H L H L
11	L L L H L L L H	H L H H
12	L L L H L L H L	H H L L
13	L L L H L L H H	H H L H
14	L L L H L H L L	H H H L
15	L L L H L H L H	H H H H
16	L L L H L H H L	H L L L L
17	L L L H L H H H	H L L L H
18	L L L H H L L L	H L L H L
19	L L L H H L L H	H L L H H
20	L L H L L L L L	H L H L L

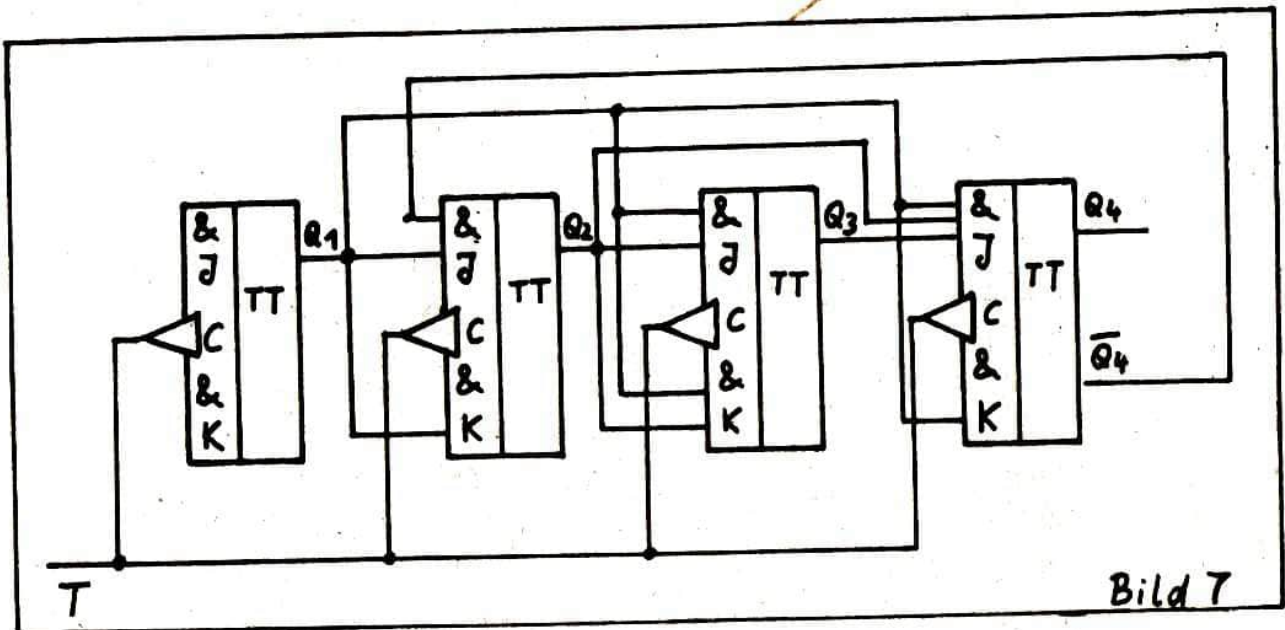
Tab. 5

Ich bin gegen die neue wie gegen die alte Sachlichkeit, wenn sie, wie mir allerdings scheint, ein Ausdruck ist für Gefühllosigkeit und Erlebnismangel.

Leonhard

Zum Aufbau einer binär-dezimal-kodierten Zählschaltung, z.B. unter Nutzung des 8-4-2-1-BCD-Kodes benötigt man für die Einer 4 FF. Hat diese erste Zähldekade den Zählerstand $9 \hat{=} HLLH$ erreicht, muß sie in den Grundzustand $0 \hat{=} LLLL$ zurückkehren. Der dabei auftretende Zählübertrag wird dann der nachgeschalteten Tetrade zugeführt. Diese zählt die Zehner, gibt den Zählübertrag an eine dritte Zähldekade für die Hunderter usw.

Als Beispiel für eine solche Zähldekade soll im folgenden eine synchrone Zähldekade im 8-4-2-1-BCD-Kode betrachtet werden. Ihr Aufbau ist durch Bild 7 vorgegeben.

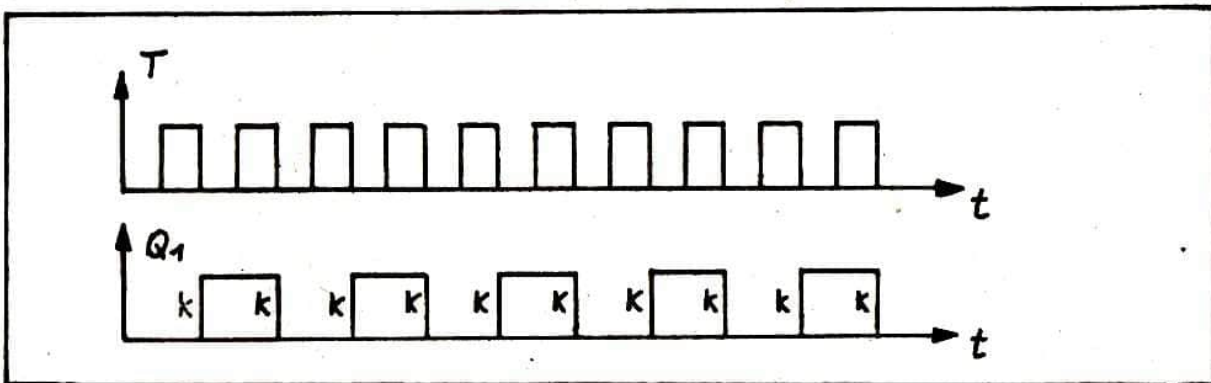


Zum Verständnis ihrer Wirkungsweise soll wieder das Impulsdigramm herangezogen werden. Um in jedem Falle entscheiden zu können, welcher Pegelwechsel an den Ausgängen Q_1 bis Q_4 jeweils durch die schaltwirksame Rückflanke des Zählimpulses ausgelöst wird, muß auf der Zeitachse für alle FF (gemeinsam fortschreitend) festgestellt werden, wie das betreffende FF vorbereitet ist. Das ist davon abhängig, welche Pegel an den J- und K-Eingängen anliegen. Zur Erinnerung sei noch einmal das charakteristische Verhalten des JK-MS-FF in Tabelle 6 zusammengestellt.

J	K	Schaltverhalten
L	L	Speichern (sp)
H	L	Setzen (s)
L	H	Löschen (l)
H	H	Kippen (k)

Tabelle 6

Die J- und K-Eingänge des ersten FF sind unbeschaltet, was gleichbedeutend mit anliegendem H-Pegel ist. Das erste FF ist also immer kippvorbereitet. Wir kennzeichnen dies auf der Zeitachse vor dem H/L-Wechsel des Zählimpulses (schaltwirksame Flanke) durch k. Das Verhalten des ersten FF kann somit bereits vollständig angegeben werden. Das Signal bei Q_1 wechselt ständig zwischen L und H. Das ist genau das gewünschte Verhalten des FF, das die Wertigkeit 2^0 besitzt. Man vergleiche dazu die Spalte 2^0 in der Tabelle 4! -



Die Vorbereitungen der anderen FF, die durch die schaltwirksame Rückflanke des Zählimpulses dann ausgeführt werden, sind nicht so ohne weiteres überschaubar, da sie sowohl durch die Ausgangssignale vorangehender als auch nachfolgender FF bestimmt werden. Dabei ist außerdem zu beachten, daß manchen J- und K-Eingängen mindestens 2 Signale zugeführt werden, die durch ein UND-Glied verbunden werden. (Zur Erinnerung: Am Ausgang eines UND-Gliedes ist nur dann H-Pegel vorhanden, wenn an allen Eingängen gleichzeitig H-Pegel anliegt! Es ist immer $x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 = L$, wenn mindestens ein $x_i = L$ ist.) Der Ausgangszustand der Zähldekade sei $Q_4 = L$ (d.h. $\bar{Q}_4 = H$), $Q_3 = L$, $Q_2 = L$, $Q_1 = L$. Am zweiten FF liegt dann an: $K = L$ (von Q_1) und $\underline{J} = L \wedge H = \underline{L}$ (von Q_1 und \bar{Q}_4), d.h. speichervorbereitet (sp.). Nach der ersten Rückflanke, ist am dritten FF $K = L \wedge L = \underline{L}$ (von Q_2 und Q_1) und $\underline{J} = L \wedge L = \underline{L}$ (von Q_2 und Q_1), d.h. ebenfalls speichervorbereitet (sp.). Nach der ersten Rückflanke wird auch hier in Übereinstimmung mit Tabelle 4 $Q_3 = L$ beibehalten. Am vierten FF ist vor der ersten Rückflanke $K = L$ (von Q_2) und $\underline{J} = L \wedge L = \underline{L}$ (von Q_1 , Q_2 und Q_3). Auch der vierte FF ist speichervorbereitet (sp.), $Q_4 = L$ wird beibehalten. Die

Vorbereitungen werden in das Impulsdiagramm vor der ersten Rückflanke eingetragen (im Bild 8 farblich hervorgehoben!) und die neuen Pegel nach der ersten Rückflanke gezeichnet. Der neue Zählerstand kann abgelesen werden: $Q_4 = L$, $Q_3 = L$, $Q_2 = L$, $Q_1 = H$, kurz $LLLH \hat{=} 1$.

Ermittlung des Zählerstandes nach der zweiten Rückflanke:

Vorbereitung des 1. FF: k (siehe oben!) $\longrightarrow Q_1 = L$

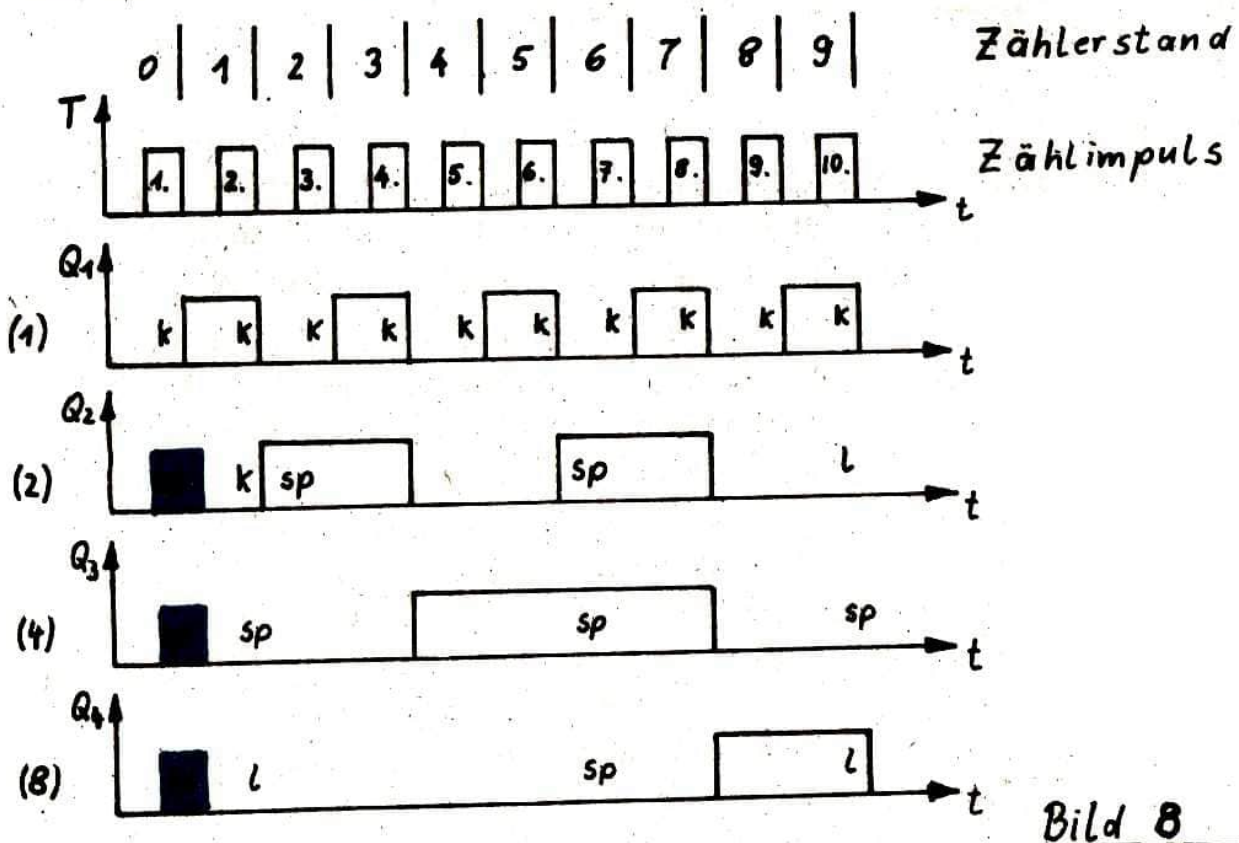
Vorbereitung des 2. FF: k , denn $J = H \wedge H = H$ (von Q_1 und $\overline{Q_4}$) und $K = H$ (von Q_1) $\longrightarrow Q_2 = H$

Vorbereitung des 3. FF: sp , denn $K = J = H \wedge L = L$ (von Q_1 und Q_2) $\longrightarrow Q_3 = L$

Vorbereitung des 4. FF: 1 , denn $L = H \wedge L \wedge L = L$ (von Q_1 , Q_2 und Q_3) und $K = H$ (von Q_1) $\longrightarrow Q_4 = L$

Zählerstand nach der zweiten Rückflanke: $LLHL \hat{=} 2$.

Der Leser bestätige zur Übung die weiteren im Impulsdiagramm eingetragenen Vorbereitungen und ergänze die Lücken!



Der sich nach jedem Taktimpuls einstellende Zählerstand kann zur Kontrolle mit Tabelle 4 verglichen werden. Nach dem 10. Zählimpuls kehrt die Zähldekade wieder in den Grundzustand zurück:

Vorbereitung des 1. FF: $k, \rightarrow Q_1 = L$

Vorbereitung des 2. FF: l , denn $J = L \wedge H = L$ (von \bar{Q}_4 und Q_1)
und $K = H$ (von Q_1) $\rightarrow Q_2 = L$

Vorbereitung des 3. FF: sp , denn $J = H \wedge L \wedge L = L$
(von Q_1, Q_2 und Q_3) und $K = H$ (von Q_1) $\rightarrow Q_4 = L$

Zählerstand nach dem 10. Zählimpuls: $LLLL \hat{=} 0$.

Es liegt also ein Dezimalzähler vor.

Da der Zählimpuls allen FF gleichzeitig zugeführt wird, handelt es sich in diesem Beispiel um einen Synchronzähler, im Gegensatz zum Asynchronbetrieb des im Teil 1 dieses Beitrages (Heft 1/1984) vorgestellten Zählers, bei dem der Zählimpuls nur der 1. Zählstufe zugeführt wird und diese jeweils die ihr nachgeschaltete Zählstufe ansteuert.

Abschließend sei noch einmal wiederholt, daß bei diskreter Bauweise bereits für eine einzige Zähldekade sehr viele Bauelemente benötigt werden. Für jedes JK-MS-FF wären 36 Transistoren, 9 Dioden und 36 Widerstände notwendig (vgl. Heft 2/83, S. 461). Um eine Zähldekade zu erhalten, müßte eine Leiterplatte mit 144 Transistoren 36 Dioden und 144 Widerständen bestückt werden. Der Raumbedarf und Fertigungsaufwand für einen Zähler mit z.B. 6 Zähldekaden wäre recht beträchtlich, die Zuverlässigkeit gering. Die integrierte Schaltungstechnik ermöglicht die Herstellung eines Zählers als integrierter Schaltkreis, z.B. D 192 D (synchroner 4-bit-BCD-Vor/Rückwärts-Dezimalzähler) mit 14 externen Anschlüssen.

Aufgabe von Seite 37: Dualsystem 699 = HLHLHHHLHH

8-4-2-1-BCD-System 699 = LHHL HLLH HLLH

*Wir aber wollen emsig darauf
bedacht sein, daß die Frucht
unseres Fleißes wahrhaft
nützliche Speise sei.*

Turgeniew

Oliver Koschke
5. Stdj. Medizin
HU Berlin

Für und Wider der Akupunktur (Teil 1)

Dipl. Phys. Michael Koschke
Sektion Physik
FSU Jena

In den letzten Jahren erschienen in den Medien aufsehenerregende Berichte über eine Heilmethode, die nicht nur als eine Modeerscheinung oder eine vorübergehende Quacksalberei abgetan werden kann. Gemeint ist die Akupunktur.

Akupunktur (lat. acus = Nadel; punctura - Stich) ist eine 5000 Jahre alte aus der chinesischen Medizin stammende Methode zur reflektorischen Beeinflussung der Organe durch Hautreizung. Der wissenschaftliche Meinungsstreit über die Wertigkeit dieser Methode ist inzwischen heftig entbrannt. Während die einen den Wert dieser Methode ablehnen und die gezeigten Ergebnisse als eine Folge psychisch suggestiver Wirkungen bezeichnen, bemühen sich die anderen, die Hintergründe und materiellen Ursachen dieses, nennen wir es Phänomens, aufzuzeigen.

Schon allein die Tatsache, daß eine Methode der Volksmedizin Chinas sich über mehrere tausend Jahre gehalten und so weit profiliert hat, daß daraus eine Wissenschaft wurde, läßt vermuten, daß man all die bekanntgewordenen erfolgreichen Anwendungen und spektakulären Heilungen nicht allein auf die fernöstliche Mystik reduzieren kann.

In China, dem volkreichsten Land der Erde, steht die Akupunktur bei fast allen Krankheiten am Anfang der Therapie und die erfolgreichen Heilungen belaufen sich auf über 90 %(!). So wurden 1966 im Pekinger Krankenhaus für Chinesische Medizin 151 Querschnittsgelähmte behandelt. Nach 36 Monaten waren 124 Patienten wieder allein gehfähig, allein durch eine gezielte Akupunkturbehandlung. Ein anderes Beispiel: Der gezielte Einsatz der Methode ermöglichte 261 von 273 taubstummen Kindern der Provinz Liaoning, daß sie sprechen und verstehen lernen konnten.

Es ließen sich noch viele weitere ermutigende Berichte aufführen, die geradezu eine Herausforderung an die moderne

Medizin sind, sich mit diesem Problem auseinanderzusetzen.

Und die moderne Medizin nimmt diese Herausforderung an, die Kontroverse über die Akupunktur war inzwischen auf das Heftigste entbrannt.

Beschäftigen wir uns zunächst etwas näher mit der Methode der Akupunktur, wobei wir uns zunächst auf die chinesischen Vorstellungen stützen wollen.

Bei der Behandlung werden sehr feine Metallnadeln an bestimmte Hautstellen des Körpers eingestochen. Hauptsächlich kommen dabei Gold- oder Silbernadeln zum Einsatz, z.T. sind aber auch Stahlnadeln in der Anwendung. Eingestochen werden kann an etwa 750 verschiedenen Punkten der Körperoberfläche. Es hat sich gezeigt, daß zur Erzielung eines therapeutischen Effektes bei verschiedensten Erkrankungen oft die Verwendung von 2 oder 3 Nadeln ausreichend ist, entscheidend ist die Lokalisation der Einstichstellen.

Wie aber erkennt man diese?

In der Jahrtausende währenden Entwicklung der Akupunktur hat sich die alte chinesische Vorstellung von der "Anatomie" des menschlichen Körpers erhalten. Sie stimmt in keiner Weise mit der tatsächlichen Anatomie überein. Die Ursache liegt darin, daß bis in unser Jahrhundert hinein, die Leichensektion in China als schwere Sünde betrachtet wurde und verboten war. In die altchinesische Vorstellung von der "Anatomie" flossen daher auch philosophische Elemente ein, die physiologische und pathologische Prozesse erklären sollten.

Betrachten wir uns doch einmal diese altchinesische "Anatomie"-Lehre etwas genauer.

Den NeiChing, den menschlichen Körper durchströmt eine unbestimmbare und unsichtbare Lebensenergie, Chi genannt. Sie ist für die Chinesen die motivierende Kraft aller Lebensprozesse. Chi ist in zwei Ausdrucksformen geteilt: Yin und Yang, die sich gegenseitig bedingen und ergänzen. (Man sollte vielleicht an das dialektische Verhältnis von Gut und Böse denken, denn gäbe es kein Böses, wer wüßte dann, was gut ist.)

Für die Chinesen besteht alle Materie, jedes Körperteil und auch jede Krankheit aus Yin und Yang. Es gibt ständige Schwankungen zwischen beiden Kräften, aber ihre Gesamtstärke

muß richtig auf die Organe verteilt sein. Eine Krankheit tritt auf, wenn dieses Gleichgewicht gestört ist.

Nach Ansicht der altchinesischen Mediziner durchströmt nun die Lebensenergie Chi die Körper in einem System von Kanälen, den "Meridianen", die sich unter der Hautoberfläche in die Arme und Beine erstrecken und in den Rumpf ziehen (Bild 1).

Wohlgemerkt, es handelt sich bei den "Meridianen" nicht um Blutgefäße oder Nervenbahnen. Bis vor einigen Jahren stritt man die Existenz dieser Kanäle ab, inzwischen haben jedoch französische, koreanische und sowjetische Mediziner Nachweise für die Existenz der "Meridiane" erbracht.

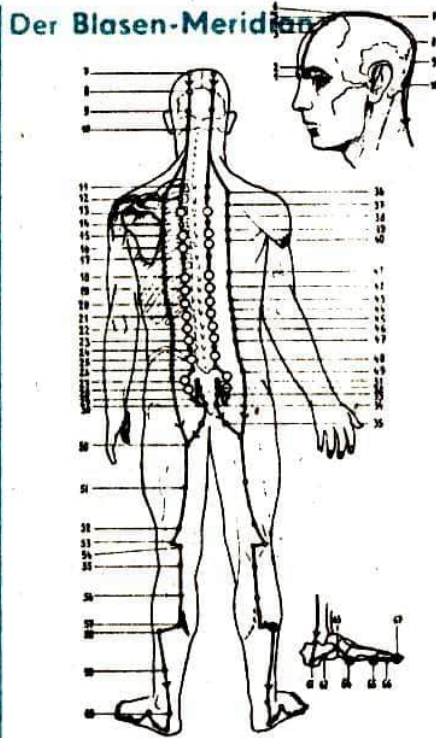
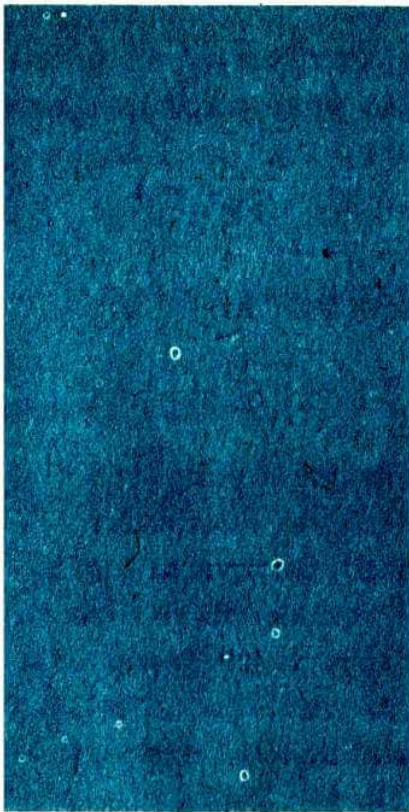
Der Akupunktur-Spezialist kennt nun den Verlauf dieser Meridiane genau und weiß wo er mit seinen Nadeln in diese eingreifen und den Chi mit einer Yin- oder Yang-Methode beeinflussen kann.

Diese Erklärung klingt sehr einfach, in Wirklichkeit ist der genaue Verlauf des Meridiansystems außerordentlich kompliziert. Die Vorstellung davon hat sich erst in tausenden von Jahren der Überlieferung bis zur heutigen Erkenntnis gefestigt.

Die altchinesische Vorstellung sieht darüberhinaus in den "Elementen" der Natur Parallelen zum menschlichen Körper. Die Körperorgane stehen mit den Elementen in unmittelbarer Wechselbeziehung, da der Mensch als ein Mikrokosmos des Universums verstanden wird. Holz, Feuer, Erde, Metall und Wasser entsprechen nach der altchinesischen Medizinaltheorie jeweils der Leber, dem Herzen, der Milz, der Lunge und den Nieren. Dies sind die sogenannten Tsang-Organen, d.h. die festen Organe im Körperinneren, bei denen Yin dominiert.

Jedem "kompakten", festen Organ entspricht ein "hohles", ein Fu-Organ, als da wären, Gallenblase, Dünndarm, Magen, Dickdarm und Harnblase. Die Funktionen und Eigenschaften dieser Organe sind durch Yang bestimmt.

Die Tsang-Organen und Fu-Eingeweide bestimmen die Körperfunktionen maßgeblich und bedingen sich (stark schematisiert dargestellt in Bild 2) entsprechend den ihnen zugeordneten Naturelementen.



O = Zustimmung- oder IU-Punkt
 (Punkt 35 liegt symmetrisch unterhalb Punkt 34.)

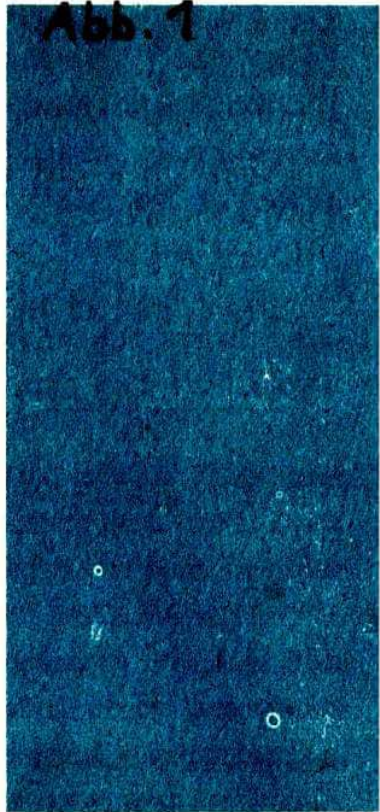
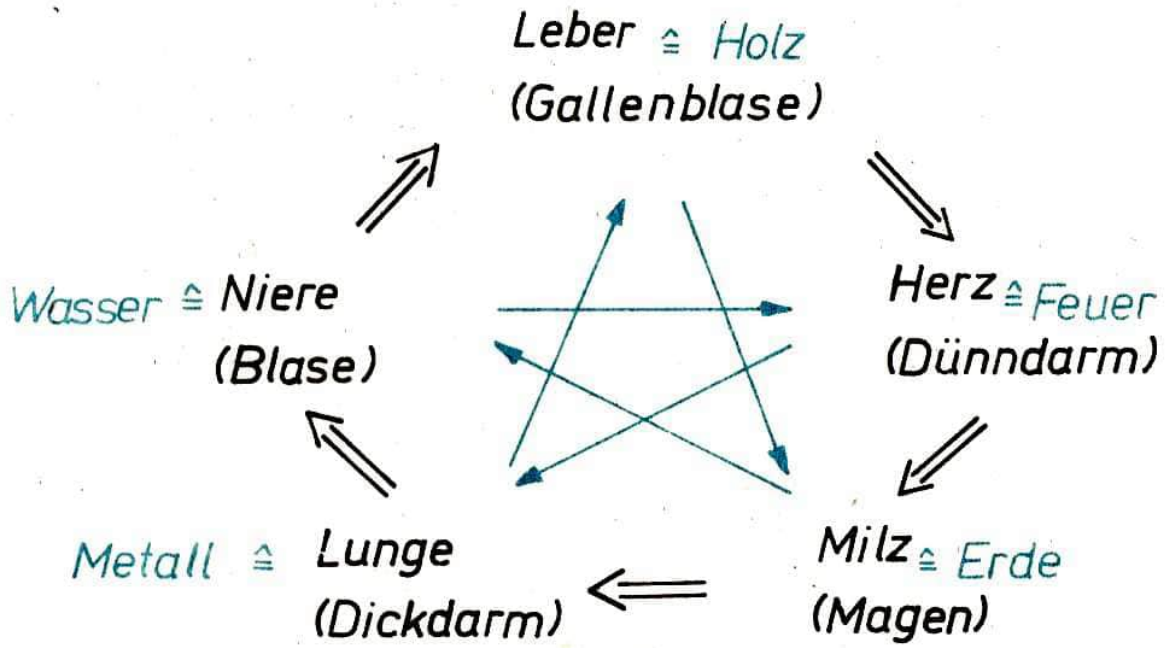


Abb.2



\Rightarrow stärkende Wirkung

\rightarrow schwächende Wirkung

So wie sich den überlieferten Vorstellungen der Chinesen zufolge die "Elemente" einander schaffen und zerstören, so erzeugen und begrenzen sich Organe und Eingeweide gegenseitig. Der Akupunkturspezialist geht nun davon aus, daß sich der Körper genau so verhält wie die Natur. Krankheiten sind für ihn "Entgleisungen" von Yin oder Yang. Er setzt seine Nadeln ein, um den Überfluß von Yin oder Yang zu verlagern und so das Gleichgewicht wiederherzustellen.

Ungeklärt ist nun noch die Frage, wie das System von Yin und Yang auf die Meridiane übertragen werden kann.

Man geht davon aus, daß jedem der obengenannten Organe ein Meridian zugeordnet ist. Die darauf befindlichen Hautpunkte können bei einer Reizung reflektorisch einen therapeutischen Effekt erzielen, aber nur bei Krankheiten, von denen man weiß, daß sie zu diesem Organsystem gehören. Entsprechend Tsang oder Fu-Organ wird jedem Meridian ein Übergewicht von Yin oder Yang zugeordnet. Insgesamt existieren 12 Hauptmeridiane, die nach den Organen benannt sind.

Ein Beispiel:

Dem Blasen-Meridian wird der größere Yang-Meridian des Beines zugeordnet. Sein Verlauf geht von der Nasenwurzel über die Stirn, das Scheitelbein, den Hinterkopf zum Hals und setzt sich fort entlang der Wirbelsäule über das Gesäß, die Rückseite des Oberschenkels, außen am Unterschenkel abwärts bis zur Spitze der kleinen Zehe.

Auf diesem Meridian liegen insgesamt 67 Punkte, die für eine Nadelung genutzt werden können. Es ist unmöglich, hier alle Krankheiten aufzuführen, die man über diesen einen Meridian beeinflussen kann. Greifen wir z.B. Punkt 16 heraus, der seitlich der Wirbelsäule etwa in Höhe der Brustdrüse liegt, so lassen sich bei einer gezielten Akupunktur, Blähungen, auch Herz- und Magenschmerzen, sowie Fieber und Schüttelfrost bekämpfen.

Meist reicht die Nadelung eines Punktes nicht aus und es müssen weitere 1-2 Nadeln auf dem Meridian gestochen werden.

Soweit die chinesische Lehre von der Akupunkturmethode.

In einem weiteren Teil wollen wir uns mit der heutigen Vorstellung von der Wirkung der Akupunktur beschäftigen und dabei auch Gegner dieser Heilmethode zu Wort kommen lassen.

BÜCHERMARKT

Thomas Borec · „Guten Tag, Herr Ampère!“

(Wissenswertes und Unterhaltsames über berühmte Wissenschaftler und nach ihnen benannte Maßeinheiten)

VEB Fachbuchverl. Leipzig 1982, 2. Aufl. 312 S., mit Porträtzeichn. u. techn. Fotos
Best.-Nr. 5463682, Preis 8,50 M

Wenn man bemerkt, wie schleppend sich das schon auf der XIV. Generalkonferenz für Maß und Gewicht 1970 in Paris angenommene SI (Internationales Einheitssystem) in der Praxis durchsetzt, kann man diesem Buch nur allerschnellste Verbreitung wünschen.

Erfreulich ist, daß jetzt die 2. deutsche Auflage herauskam (das Buch erschien in Bratislava, CSSR, schon 1973), wenngleich seiner Bedeutung nach der rund 300 Seiten umfassende Pappband eine bessere Aufmachung verdient hätte. 40 Wissenschaftler bzw. Techniker wurden von Dr.-Ing. Thomas Borec in die Abhandlung einbezogen, hauptsächlich solche, nach denen Grundeinheiten (z.B. Kelvin) und abgeleitete Einheiten (z.B. Joule) des SI benannt wurden. Wo auch ältere Maßeinheiten herangezogen worden sind, die dem Techniker zwar geläufig, aber nicht mehr zulässig sind (z.B. Gauß) gab der Autor die Umwandlungsbeziehungen zu SI-Einheiten mit an (z.B. $1 \text{ Gauß} = 10^{-5} \text{ Tesla}$).

Sehr übersichtlich und daher für Oberschüler und Studenten ausgezeichnet geeignet, ist die Anordnung der zu einer Forscherpersönlichkeit gehörigen Textstellen. Bild des Wissenschaftlers, Nennung der Einheit, Definition (dick gedruckt hervorgehoben), Anmerkung über Zulässigkeit im SI und gegebenenfalls Umrechnungsbeziehungen.

Dies alles findet man untereinander auf einer Seite abgedruckt. Darauf folgt die Kurzbiografie (Leben und Werk) sowie, wieder drucktechnisch abgesetzt (kursiv), eine Anekdote. Am Bildteil sind erhebliche Verbesserungen möglich. Ungeachtet dessen, werden z.B. viele Lehrer bei BOREC neue Anregungen finden für gute Motivationen bei der Einführung bestimmter Stoffeinheiten. Vor allem aber ist das Buch eine interessante Freizeitlektüre für alle naturwissenschaftlich und technisch interessierten Leser. Sie werden durch die Beschäftigung damit nebenbei angehalten, künftig mehr auf die Verwendung SI-gerechter Einheiten zu achten.

13228 2
WOLFIR

140 120 105

9072 2006 3265

GHDT 35

Aus dem Rosenprivileg von
Herzog Johann Wilhelm 1570

Die freie Schenckstadt Zur Rosen,
genandt soll von aller Tranksteuer
befreit sein . . .
damit auch die Professores,
Studentenn . . . einen gutenn Trunck
vonn Bier unnd Wein in einem
wohlfeilen Kauff . . . haben
mögen . . . Es soll auch der
Universität schenk schuldig sein
allerley erliche Conuinia zu
bestellen . . . doch uff billiche
bezahlunge unnd nicht viel borgenn
auch keine Leichtfertigkeit, Würfel
unnd Kartenspiel, hader und
Gotteslesterunge zulassen und
sonnes notfalls dem Rectori
antwortenn.



Jena „Zur Rosen“ Jena



UNIVERSITÄT JENA
VEREIN DER STUDENTEN
„ZUR ROSE“
VEREIN DER STUDENTEN



Auch heute noch genießen Profes-
soren und Studenten „Zur Rosen“
manch „gutenn Trunck von Wein und
Bier“. — Professoren mehr im
eigentlichen Rosengebäude, im Pro-
fessorenkasino, Studenten mehr in
dem ehemaligen Weinkellern der
„Rose“, wo sich heute Jenas tra-
ditionsreichster Studentenklub be-
findet.

68

Impuls

Schülerzeitschrift für
PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

3/84 INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 18. Jg.

Akupunktur



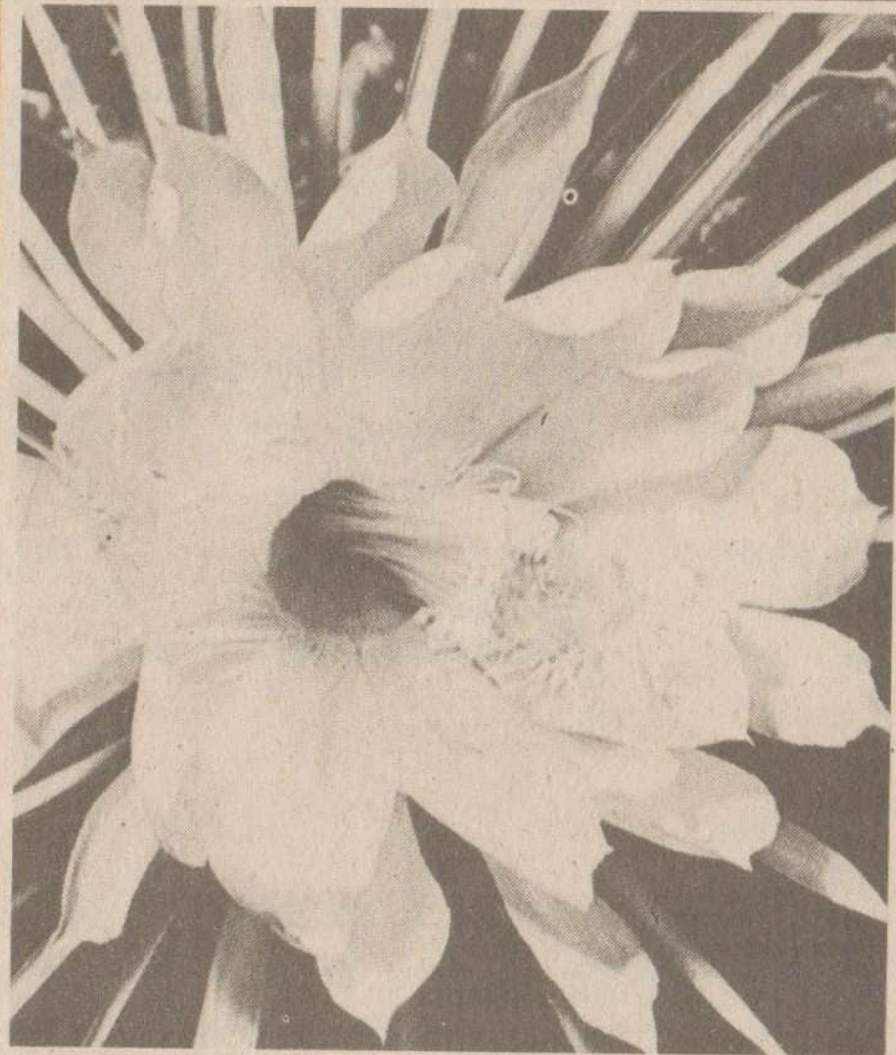
Chemische
Thermodynamik



Galaxienhaufen



Farbmetrik



Mikro-
elektronik –
leicht-
verständlich



Büchermarkt



Titelbild:
Blüte des Kaktus
„Königin der
Nacht“
(Repro: S. W.)

DER SEIFENFILM – EIN ANALOGCOMPUTER?

– von Thomas Köhler, Schüler einer 11. Klasse –



Oliver Kaschke Michael Kaschke	Für und Wider der Akupunktur (Teil 2)	BIO	3
Dr. G. Hüller H. Lich	Chemische Thermodynamik (Teil II)	CHE	9
Carsten Kruse	Büchermarkt		16
Wolfgang König	Galaxienhaufen – Fundamente des Universums	ASTRO	18
Dr. Manfred Wolff	Mikroelektronik – leicht- verständlich – Teil 11: Halbbänder	PHY	27
Dr. Bernd Schröder	Farbmetrik (Teil 1)	PHY	34
Thomas Köhler	Der Seifenfilm – ein Analogcomputer?		42

REDAKTION:

Chefredakteur: Dipl.-Phys. Achim Dittmar, stellv. Chefredakteur: Dipl.-Phys. Michael Kaschke,
Redaktionsmitglieder: Dr. Rosemarie Hild, Dr. Roland Colditz, Dr. Jürgen Sauerstein,
Dipl.-Chem. Gabi Welsch, Elke Schönheinz, Silvia Butters, Antje Schlegel, Kerstin Leißling,
Stefan Winter, Peter Kroll, Alexander Niehardt

Die Redaktion wurde 1969 und 1980 mit dem Ehrentitel „Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR“
ausgezeichnet.

Gestaltung: A. Schlegel, S. Butters, St. Winter, P. Kroll, A. Niehardt

Redaktionsschluß: 26. März 1984

Oliver Kaschke
5. Stj. Medizin
HU Berlin
Dipl.-Phys. Michael Kaschke
Sektion Physik
FSU Jena

Für und Wider der
AKUPUNKTUR
- Teil 2 -

(Teil 1 in impuls 68 Heft 2/84, S. 42 erschienen)

Von manchen Ärzten wird die Akupunktur als Suggestionmethode, abhängig im wesentlichen von den Beziehungen zwischen Patient und Arzt, angesehen.

Demgegenüber steht die Gruppe jener Mediziner, die sich aufbauend auf verschiedenen modernen Erkenntnissen der Medizin bestimmte Theorien und Vorstellungen über den Wirkungsmechanismus der Akupunkturmethode, gemacht haben.

Diese Theorien sind im allgemeinen recht schwer verständlich, bedingt auch dadurch, daß sie Begriffe und Vorstellungen verwenden, die oft keinen Bezug zur Anatomie und Physiologie besitzen, d.h., es fehlt z.B. das anatomisch-physiologische Korrelat zu dem zentralen Begriff des Störungs- und Ausgleichsfeldes.

Um dem Leser einen Eindruck zu vermitteln, welcher Art diese Theorien sind, wollen wir zwei prominente Vertreter der sogenannten Zentrenlehre zitieren.

A.D. Speransky, ein Schüler und Nachfolger Pawlows, entwickelte, anlehnend an die Pawlowsche Lehre, aufgrund seiner neurophysiologischen Forschungsergebnisse seine Auffassung über die herausragende Rolle des Nervensystems in Bezug auf die Regulierung aller Lebensprozesse, deren Essenz im folgenden Satz über den Wirkungsmechanismus der Hautreizmethoden hervortritt.

"Die uralten Behandlungsmethoden, wie die Hauterisierung (lokale Hautkoagulation, (d.A.)) mittels des glühenden Eisens, das Harseiß, die Fontanelle, die Schröpfköpfe, die Umschläge, die Anwendung von reizenden Hautsubstanzen usw., zugleich mit den modernen Methoden der subcutanen (unter die Haut gehenden (d.A.)) Injektionen von Milch und anderen Proteinkörpern, Rodimin, Röntgenstrahlen, Diathermie und alledem, was von dem Ausdruck Reiztherapie erfaßt wird - endlich die zeitliche

Unterbrechung von Teilen des Nervensystems - vermittels der Anästhesie -, sie alle finden die Erklärung ihrer Wirkung in jenem Phänomen der Interferenz, die im Nervensystem im Zusammentreffen der Reizprozesse vorkommen."

Die Länge des Satzes, wie auch die Verwendung des physikalischen Begriffes Interferenz können nicht über die mehr oder weniger globale, "beinahe nicht zu widerlegende" Aussage hinwegtäuschen. Doch lassen wir zunächst W.G. Wogralik zu Wort kommen:

"Bezüglich des Anfangsmechanismus der Nadelung bestehen zur Zeit keine Zweifel, daß die erste und entscheidende Bedeutung dem mechanischen Reiz der Rezeptoren der Punkte zukommt. Dieser wird ergänzt durch die Änderung des elektrischen Potentials, durch die Erscheinung biologischer Abläufe und bei wiederholten Reizen durch aseptische Entzündung. Eine bestimmte, aber nicht entscheidende Bedeutung hat sicher auch die positive psychologische Lage des Kranken.

Bei einer günstigen Durchführung der Nadelwirkung verlaufen die Reaktionen nach dem Typus der Adaptions-Schutzmöglichkeiten des Organismus mit normalisierender und heilender Bedeutung. Im Grunde des Mechanismus der Gesundung bei der Nadeltherapie liegt die Stärkung des zentralen Nervensystems, die Normalisation des Tonus (Spannungszustandes) und die Reaktivität seines vegetativen Anteils usw. usf. ..."

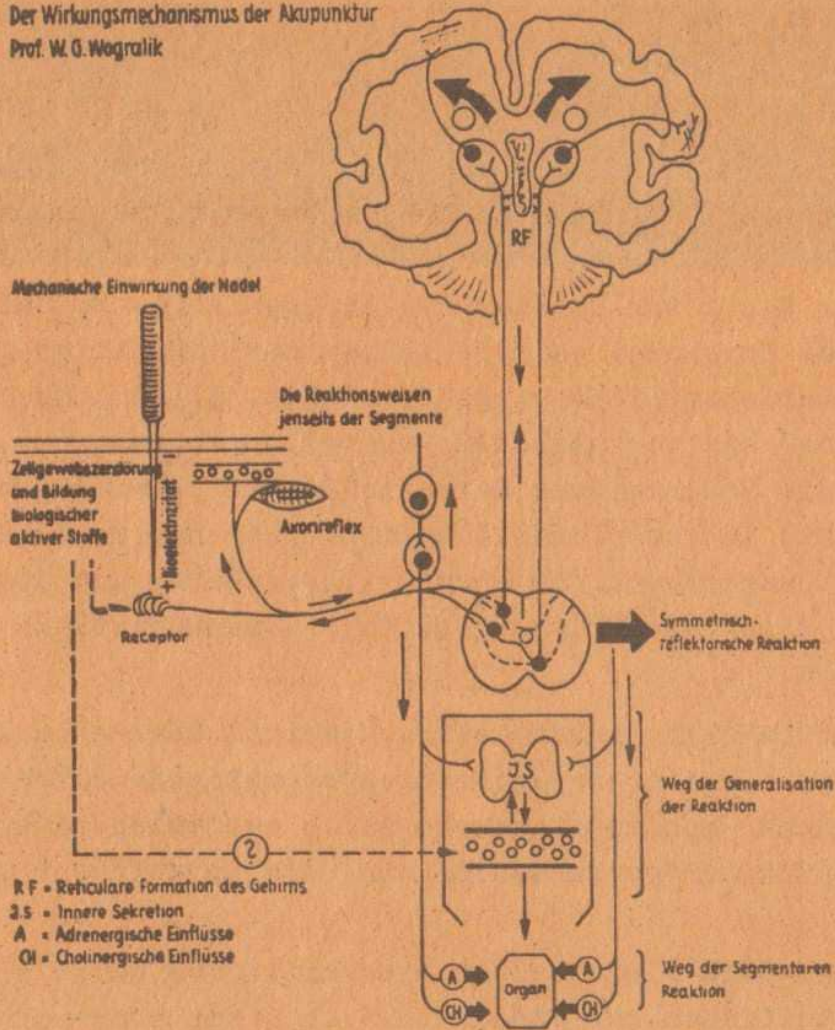
Der Wirkungsmechanismus ist noch einmal in Bild 3 schematisch dargestellt.

Bilderläuterung:

- RF Reticuläre (netzförmige) Formation des Gehirns
- IS Innere Sekretion
- A Adrenergische Einflüsse (Einflüsse vom Sympathischen Nervensystem)
- C Cholinergische Einflüsse (Einflüsse vom parasymphathischen Nervensystem)

(Man kann sich sehr vereinfacht A und C als Spieler und Gegenspieler (als + u. - Kräfte) vorstellen)

Der Wirkungsmechanismus der Akupunktur
 Prof. W. G. Wegralik



Der von der Nadel ausgelöste biophysikalische Reiz wird als elektrischer Impuls neural entweder über die Nervenbahnen im Rückenmark und die Formatio reticularis des Hirnstamms zur Großhirnrinde fortgeleitet oder aber er wirkt reflektorisch über das vegetative Nervensystem direkt auf das entsprechende Organ und ein bestimmtes Areal der Hautoberfläche (sogenannter Weg der segmentären Reaktion). Gelangt der Impuls zur Großhirnrinde, so wird er dort verarbeitet, umgeschaltet, und es erfolgt eine reflektorische Beeinflussung des Organs bzw. Organsystems, evtl. über die Sekretion von bestimmten Drüsensystemen (Hormone, spezifische Mediatorsubstanzen) oder die direkte Innervation. Es ist sicher, daß dieser Wirkungsmechanismus nicht der einzig vorstellbare ist, allerdings beschreibt er doch wesentliche Seiten des Ursache-Wirkungs-Verhältnisses bei der Akupunkturheilung.

Dazu noch einmal W.G. Wogralik:

" Im Grunde dieser Reaktion liegt zweifellos ein reflektori-
scher Mechanismus, mit nachfolgendem Einbeziehen der endo-
krinen Regulationskette (innere Drüsen (d.A.)) (insbesondere
das Hypophysen-Nebennierensystem) und vielleicht auch eine
humorale Wirkung biologischer aktiver Stoffe, die sich am Ort
der Einwirkung bilden."

Soweit ein paar Worte zur sogenannten Zentrenlehre. Es sei an-
geführt, daß es noch zwei weitere Lehren zur Akupunktur gibt,
auf die wir hier aber nicht eingehen wollen. Allen Lehren ge-
meinsam ist, daß sie von globalen Vorstellungen ausgehen, al-
lerdings oft die Beschreibung der ablaufenden physiologischen
Teilprozesse und ihr komplexes Zusammenwirken nur unzureichend
berücksichtigt werden und das Krankheitsgeschehen und dessen
Beeinflussung durch die Nadelung häufig zu mechanistisch dar-
gestellt werden.

Hingegen liegt sehr viel gesammeltes Material über ausgeführte
Nadelungen vor, zum Teil weitgehende systematische Untersu-
chungen, aus denen man, wenn man so will, empirisch gefunde-
ne Akupunktur-Anleitungen aufbauen kann, wie es weltweit auch
getan wird.

Schauen wir uns doch einmal einen Ausschnitt aus solch einem
kurzgefaßten "Leitfaden zur Akupunktur" an (was aber auf kei-
nen Fall dem Leser als Anleitung zum Selber-Praktizieren die-
nen soll!):

Beginnen wir mit dem Reiz, dem Nadelstich. Dieser mit einer
feinen, nichtrostenden Metallnadel oder mit einer Gold- oder
Silbernadel ausgeführte Reiz kann auf zwei verschiedene Wei-
sen wirken, beruhigend (sedierend) oder anregend (tonifizie-
rend).

Die sedierende Methode führt zu einer Beruhigung, Schmerzbe-
seitigung, wobei die Nadel mit langsam rotierender Bewegung
eingestochen wird. Nach Auftreten der Empfindung bleiben die
Nadeln noch 30-60 Minuten, in manchen Fällen bis zu 4 Stunden
eingestochen. Die Stichtiefe wird mit 1,5 - 9,0 cm angegeben.
So konnte z.B. bei Tetanuskranken der Opisthotonus (Nackenstei-
fe) durch Dauernadelung (48 Stunden) beseitigt werden.

Die sedierende Methode kann angewandt werden bei Schmerzen,
Spasmen, Zuckungen, Angst- und Unruhezuständen.

Soll eine stimulierende Wirkung erreicht werden, z.B. bei Vorhandensein einer herabgesetzten motorischen, sensorischen oder sekretorischen Funktion, z.B. Hypotonie (niedriger Blutdruck) und verschiedenen Schwächezuständen, wird die tonifizierende Methode angewandt.

Bei dieser wird die Nadel mit einem schnellen aber gut dosierten Stich bei leichter Schmerzempfindung und unter Drehbewegung eingestochen und zwischen 30 Sekunden und 5 Minuten am Ort belassen.

Zur Tonifizierung werden meist Goldnadeln, zur Sedierung meist Silbernadeln verwendet. Als Erklärung dazu gibt man an, daß neben dem mechanischen Reiz auch das elektrische Potential an der Reizstelle eine Rolle spielt. So hat die Goldnadel im Blutplasma bzw. der Ringer-Lösung (Gewebsflüssigkeit) ein positives Potential von +0,285 V, während die Silbernadel ein Potential von +0,048 V hat, was gegenüber dem Gewebepotential sogar negativ sein kann.

Die Erfahrungen der Akupunktur haben gezeigt, daß die Nadelung nicht notwendiger Weise in dem Bereich des entsprechenden Organs erfolgen muß (also z.B. bei Bauchschmerzen am Bauch), sondern durchaus an entfernten Punkten (z.T. sogar an den Extremitäten). Eine interessante Frage ist nach wie vor die Lage dieser Reizpunkte, der sogenannten chinesischen Punkte. Es wurden verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen zur Topographie dieser Punkte durchgeführt, so u.a. Hautwiderstandsmessungen und Messungen der IR-Strahlung u.v.a.m.

Bei den Hautwiderstandsmessungen wurden mit einem Röhrenmillivoltmeter die Potentiale bei einem Stich in einen chinesischen Punkt (etwa 40 ... 80 mV) und außerhalb eines chinesischen Punktes (ca. 10 ... 20 mV) gemessen. Allerdings werden diese Messungen von verschiedenen Ärzten angezweifelt, da verschiedenste Faktoren auf den Hautwiderstand Einfluß haben können und außerdem nach diesen Messungen mehr Punkte mit verändertem Hautwiderstand existieren, als chinesische Punkte. Jedoch ist die Regelmäßigkeit, der sich die chinesischen Punkte mit ihrem Potential gegenüber der Umgebung abheben, ein starkes Indiz für deren Existenz. Eine andere physikalische Nachweismethode besteht in der Messung der Ultraschallreflexion der Hautoberfläche, die an den chinesischen Punkten (\varnothing 3 mm) wesentlich verschieden ist von der Umgebung.

Auch hier gibt es Einwände von Medizinern zur Zuverlässigkeit dieser Methode. Zu ergründen ist auch die Existenz und der Verlauf, die bereits im Teil I erwähnt wurden (siehe "impuls 68", Heft 2/84).

Man sieht, daß es noch eine Reihe ungelöster, offener Fragen, nicht nur bei der Topographie der chinesischen Punkte, sondern auch im Verständnis der gesamten Ursache - Wirkungsmechanismus gibt.

Solange bleibt die Akupunktur noch eine Herausforderung an Mediziner und Naturforscher, die Für und Wider hervorbringen wird, aber doch zum Nutzen kranker Menschen weiter als eine, wenn auch noch unvollständig erforschte Heilmethode ihren Platz in der Medizin behalten wird.



Anwendung des Jacobstabes zur geometrischen Vermessung

(Repro: S. W.)

Der 2. Hauptsatz
(Teil I in Heft 2/84, Seite 3 erschienen)

Während die Anwendung des 1. Hauptsatzes der Thermodynamik auf chemische Reaktionen Energiebilanzen liefert, erhält man unter zusätzlicher Benutzung des 2. Hauptsatzes Aussagen über die Richtung einer chemischen Reaktion. Der 2. Hauptsatz, der wie der erste auf Erfahrung beruht, besagt, daß in einem abgeschlossenen System (kein Energie- und kein Stoffaustausch mit der Umgebung) die Entropie bei irreversiblen Vorgängen einem Maximum zustrebt, während bei reversiblen Vorgängen keine Entropieänderung stattfindet. Er läßt sich demnach so formulieren

$$\Delta s \geq 0 \quad (1)$$

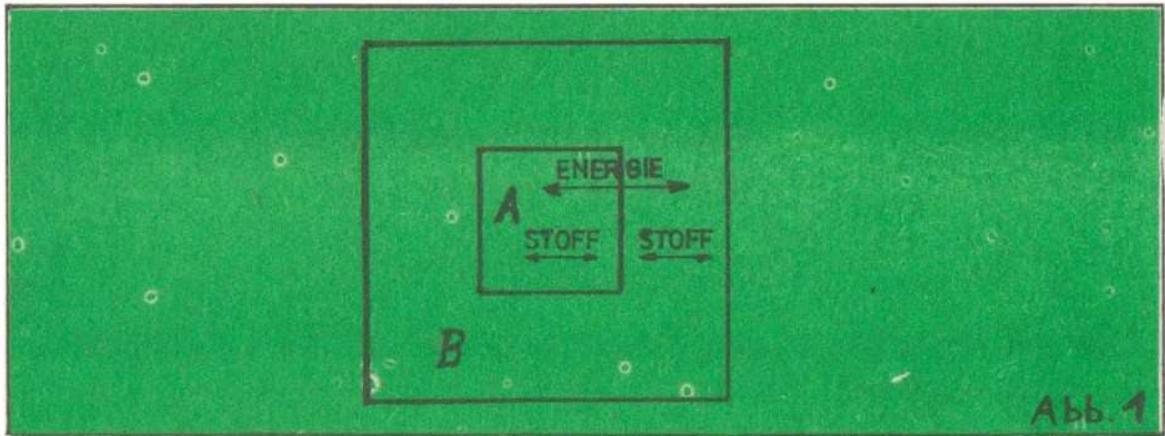
wobei das Ungleichheitszeichen im Falle der Irreversibilität, das Gleichheitszeichen im Falle der Reversibilität gilt.

Die Entropie ist definiert durch den Quotienten aus bei der Temperatur T reversibel ausgetauschter Wärme und dieser Temperatur:

$$\Delta s = \frac{\Delta q_{\text{rev}}}{T} \quad (2)$$

Da chemische Systeme im allgemeinen nicht abgeschlossene Systeme (Energie- und Stoffaustausch) sind, ist es notwendig, eine Formulierung des 2. Hauptsatzes zu gewinnen, die für ein solches System gilt. Hierbei muß man davon ausgehen, daß dieses System nur Teil eines großen abgeschlossenen Systems ist, für das Gl.(1) gilt. (Abb. 1)

Im folgenden sollen zur Vereinfachung die Wände des nicht abgeschlossenen Systems zwar für Energie, aber nicht für Stoff durchlässig sein.



In Abb. 1 soll das System A eine kalorimetrische Bombe darstellen, die stofflich und volumenmäßig abgeschlossen ist, deren Wände aber für Wärme durchlässig sind. Das System B ist das Wasserbad (die Umgebung des Systems A), das mit der kalorimetrischen Bombe in Wärmeaustausch steht. Beide zusammen ergeben das abgeschlossene System, für das Gl. (1) gilt.

Um nun eine Beziehung zu gewinnen, die nur für das System A gilt, muß der erste mit dem zweiten Hauptsatz kombiniert werden. Der 1. Hauptsatz für eine chemische Reaktion lautet:

$$\Delta_R u = \Delta q + \Delta a \quad (3)$$

Fordert man, daß der Vorgang unter Temperatur-Konstanz reversibel abläuft, so kann man Gl.(2) in Gl.(3) einsetzen, wobei wegen der Forderung nach Reversibilität ($T = \text{konstant}$,

$\Delta q = \Delta q_{\text{rev}}$) die umgesetzte Arbeit gleich der maximal gewinnbaren Arbeit wird:

$$\begin{aligned} \Delta_R u &= \Delta q_{\text{rev}} + \Delta a_{\text{max}} = T \Delta_R s + \Delta a_{\text{max}} \\ \Delta a_{\text{max}} &= \Delta_R u - T \Delta_R s \end{aligned} \quad (4)$$

Für die rechte Seite in Gleichung (4) definiert man neue Funktionen:

$$\begin{aligned} \Delta_R u - T \Delta_R s &= \Delta_R f \quad (\text{freie Energie}) \\ \Delta_R h - T \Delta_R s &= \Delta_R g \quad (\text{freie Enthalpie}) \end{aligned} \quad (5)$$

Zur zweiten Gleichung von (5) gelangt man, indem man auf jeder Seite den Ausdruck für die Volumenarbeit addiert:

$$\begin{aligned} \Delta_R u + p \Delta v - T \Delta_R s &= \Delta_R f + p \Delta v \\ \Delta_R h - T \Delta_R s &= \Delta_R g \end{aligned}$$

Soll in Δa_{\max} nur die maximal gewinnbare Nutzarbeit enthalten sein, so muß das Volumen konstant gehalten werden ($p\Delta v = 0$) oder anstelle der inneren Energie die Enthalpie verwendet werden:

$$\Delta a = \Delta a_{\max} + \Delta a_{\text{vol}} = \Delta a_{\max} - p \Delta v = \Delta_{R^f}$$

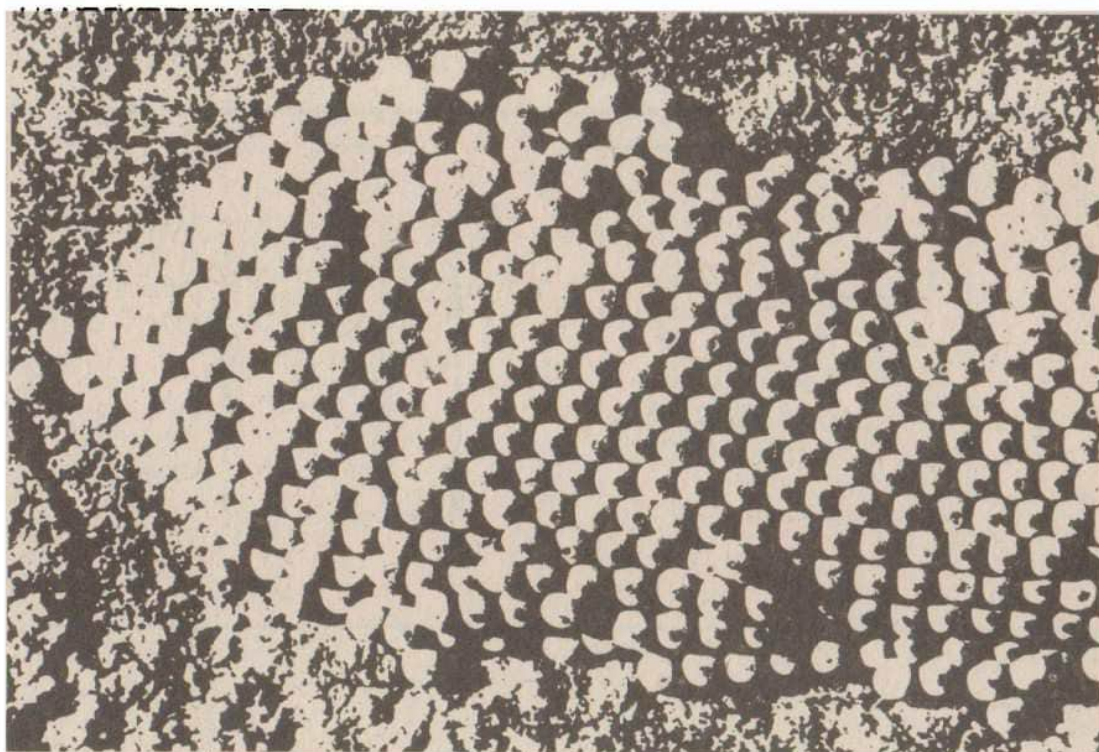
$$\Delta a_{\max} = \Delta_{R^f} + p \Delta v = \Delta_{R^g}$$

Für die maximal gewinnbare Nutzarbeit erhält man also

$$\Delta a_{\max} = \begin{cases} \Delta_{R^f} & v, T \text{ konstant} \\ \Delta_{R^g} & p, T \text{ konstant} \end{cases} \quad (6)$$

Diese Gleichung gilt nach Voraussetzung (s. oben) nur dann, wenn die chemische Reaktion reversibel abläuft.

Wir wollen das Gesagte an einem Beispiel erläutern, wobei wir auch die zu Gl. (6) äquivalente Formulierung für irreversible Vorgänge erhalten werden.



Schmetterlingseier auf der Unterseite eines Blattes

(Repro: R. L.)

Es soll die Redoxreaktion $\text{Zn} + \text{Cu}^{++} \longrightarrow \text{Zn}^{++} + \text{Cu}$ betrachtet werden. Für diese Reaktion wurde nach Gl.(5) aus tabellierten molaren Reaktionsenthalpien und -entropien ($T = 298 \text{ }^\circ\text{K}$) die molare freie Reaktionsenthalpie berechnet:

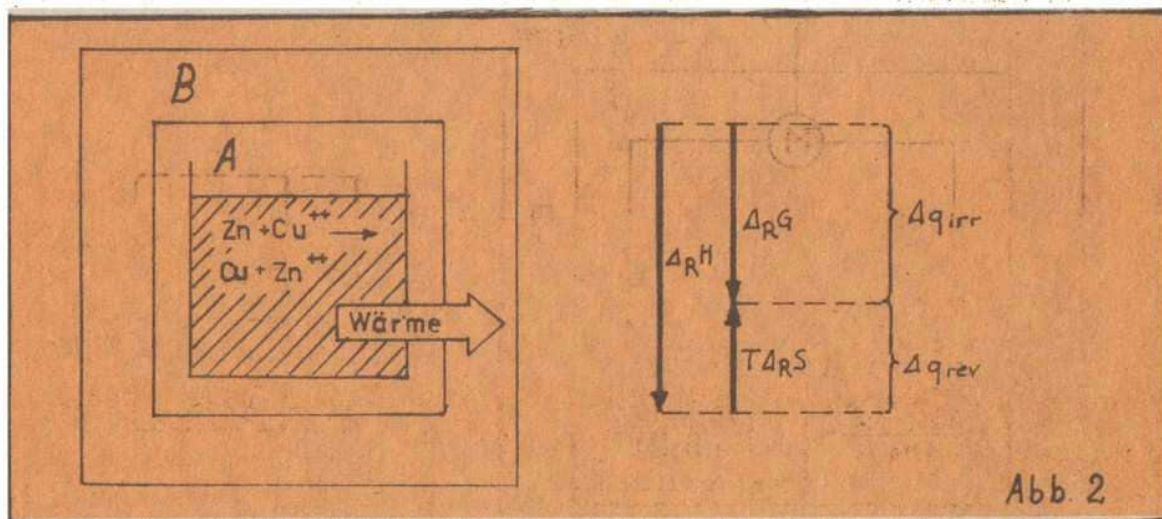
$$\Delta_{\text{R}}G = -51 \text{ kcal/Mol } ^1)$$

(Dieser Wert gilt nur für bestimmte Konzentrationsverhältnisse, da $\Delta_{\text{R}}G$ von den Konzentrationen der Reaktionspartner abhängt; diese Abhängigkeit soll erst im nächsten Artikel behandelt werden).

Zuerst soll die Reaktion so durchgeführt werden, daß sich Kupfersulfatlösung in einem Becherglas befindet, in das Zinkstaub gegeben wird. (Diese Reaktion können Sie selbst durchführen). Wir beobachten eine spontan ablaufende Reaktion, wobei an die Umgebung keine Arbeit, sondern nur Wärme abgegeben wird. (Das Becherglas erwärmt sich). (Abb. 2)

$\Delta_{\text{R}}G$ wird bei dieser Versuchsdurchführung nicht in Form von Arbeit sondern in Form von Wärme irreversibel an die Umgebung abgegeben. Deshalb läßt sich dieser Vorgang auf gleichem Wege nicht zurückführen; er ist irreversibel. Für diesen Fall gilt:

$$\Delta_{\text{g}}_{\text{gas}} = \Delta_{\text{R}}G < 0 \quad (7)$$



1) Werden thermodynamische Größen mit großen Buchstaben bezeichnet, so beziehen sie sich immer auf die Stoffmenge von einem Mol.

Führen wir diese Reaktion elektrochemisch in einer galvanischen Kette durch (Abb. 3) (diese Reaktion liegt dem Kupfer-Zink-Element zugrunde), so ergibt sich auf Grund der Tatsache, daß zwischen elektromotorischer Kraft und freier Enthalpie folgende Beziehung existiert:

$$\Delta_R G = nCE \quad (8)$$

n = Zahl der bei einem Elementarschritt ausgetauschten Elektronen

C = Faraday-Konstante $C = 96500 \text{ As/Mol}$

für die EMK dieser Kette

$$- 51 \text{ kcal/Mol} = - 214230 \text{ Ws/Mol} \quad (1 \text{ cal} = 4,19 \text{ Ws})$$

$$E = \frac{- 214230 \text{ VAs/Mol}}{2 \cdot 96500 \text{ As/Mol}} = - 1,11 \text{ V.}$$

In diesem Falle gibt unser System A an die Umgebung Arbeit ab. Doch auch in diesem Falle ist der Vorgang irreversibel, da noch ein Teil der freien Enthalpie in Wärme und nicht in Arbeit umgewandelt wird.

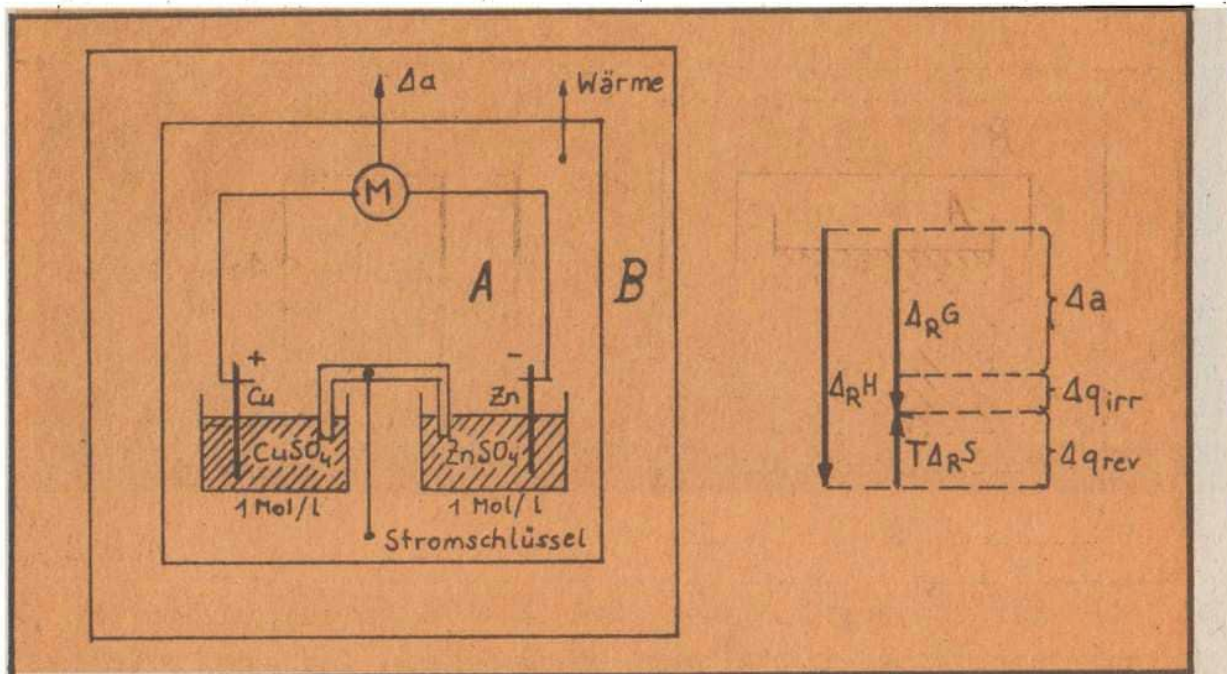
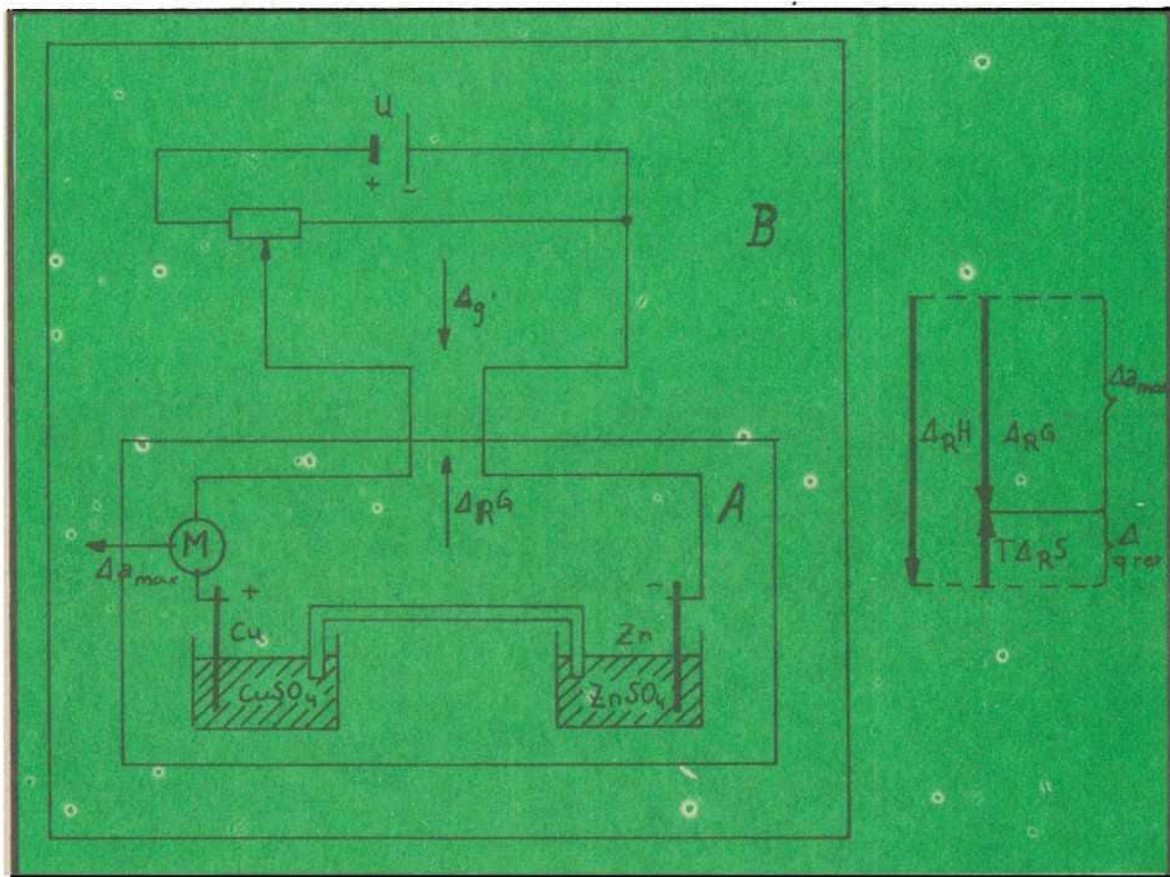
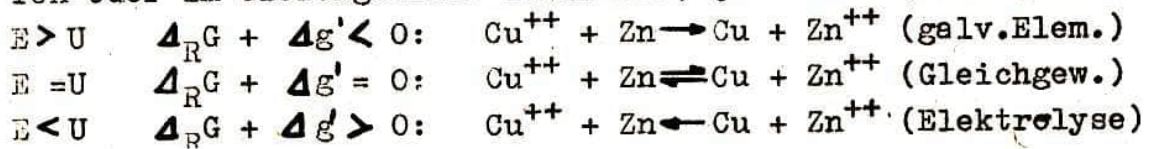


Abb. 3

Schalten wir dieses Element jedoch so in einen Stromkreis, daß über ein Potentiometer durch eine zweite Stromquelle eine Gegenspannung angelegt werden kann, so wird der freien Reaktionsenthalpie unseres Systems durch die Gegenspannung eine zweite freie Enthalpie Δg aufgeprägt (Abb. 4).

In diesem Fall ist es möglich, durch entsprechende Einstellung der Gegenspannung den Vorgang in jede beliebige Richtung laufen oder im Gleichgewicht zu lassen, je nachdem, ob $E \gtrless U$ ist:



Da jetzt der Vorgang in jedem Punkt des Ablaufens im Gleichgewicht gehalten oder umgekehrt werden kann, ist die Reversibilitätsbedingung erfüllt. Bei langsamer stufenweiser Zurücknahme der Gegenspannung ist es jetzt möglich, die maximale Nutzarbeit zu gewinnen. Es wird also

$$\Delta_{RG} = \Delta a_{\max}$$

wobei in jedem Punkt des Ablaufens gilt

$$\Delta g_{\text{ges}} = \Delta_{RG} + \Delta g' = 0 \quad (9)$$

Diese am Beispiel des Kupfer-Zink-Elementes erläuterten Gesetzmäßigkeiten gelten für jede beliebige chemische Reaktion. Sie sollen noch einmal zusammengefaßt werden:

p, T konstant	v, T konstant
$\Delta g < 0$	$\Delta f < 0$

diese Reaktion läuft freiwillig und irreversibel ab (sie kann nur durch eine geeignete Versuchsführung in einen reversiblen Ablauf gezwungen werden - s.o.),

$\Delta g = 0$	$\Delta f = 0$
----------------	----------------

die Reaktion befindet sich im Gleichgewicht (10)

$\Delta g > 0$	$\Delta f > 0$
----------------	----------------

die Reaktion kann nur erzwungen werden; freiwillig läuft sie in die umgekehrte Richtung.

Berechnet man also für eine Reaktion die freie Enthalpie (Energie), so läßt sich aussagen, in welche Richtung die Reaktion ablaufen wird und welche Nutzarbeit bei geeigneter Prozeßführung maximal gewonnen werden kann.

Abschließend soll noch auf einen wichtigen Aspekt hingewiesen werden, der sich aus dem Zusammenhang von freier Enthalpie und EMK ergibt.

Gegenwärtig ist eine weitgehende Annäherung an die reversible Prozeßführung und damit die Gewinnung von Nutzarbeit direkt aus einer chemischen Reaktion nur auf elektrochemischem Wege möglich. (Im lebenden Organismus wird in den Muskelzellen die freie Energie chemischer Reaktionen unmittelbar in mechanische Arbeit umgewandelt. Die Übertragung dieses Vorganges könnte eine weitere Möglichkeit der unmittelbaren Arbeitsgewinnung aus chemischen Reaktionen darstellen.) Geling es also, eine chemische Reaktion elektrochemisch ablaufen zu lassen (was nur begrenzt möglich ist), so kann dadurch elektrische Arbeit gewonnen werden.

Wird also zum Beispiel die Oxydation von Kohlenstoff zu Kohlendioxid (oder die von Wasserstoff zu Wasser) elektrochemisch in einer "Brennstoffzelle" durchgeführt, so ist es möglich, den Wirkungsgrad der Energiegewinnung aus Kohle gegenüber dem traditionellen (indirekten) Weg zu erhöhen. Solche Brennstoffzellen existieren bereits. Z.B. wird die Verbrennung von Wasserstoff zu Wasser zur Energiegewinnung in Weltraumschiffen ausgenutzt, und es existieren auch Versuchsautos, die Brennstoffzellen als Energiequelle für den Antrieb ausnutzen. Ob die Brennstoffzelle allerdings die Energiequelle der Zukunft darstellen wird, bleibt abzuwarten, da die Schwierigkeiten bei einer technischen Nutzung recht erheblich sind.

BÜCHERMARKT

Paul Ahnert

„Kleine praktische Astronomie“

2. überarbeitete und erweiterte Auflage

Verlag J. A. Barth 1983

164 Seiten, 74 Abb. u. Tabellen, Preis: 18,- M, Best. Nr. 7936869

Dieses ausgezeichnete Buch, das den Amateur mit befähigen soll, "sich mit den so überaus interessanten und reizvollen Erscheinungen der Himmelskörper vertraut zu machen" (S. 10), steht nach jahrelangem Vergriffensein (endlich) wieder zum Verkauf bereit. Was sich da aus den "Beobachtungsobjekten für Liebhaber-astronomen" (J.A.Barth, 1961) "gemausert" hat, dient meines Erachtens voll dem Zweck, dem Sternfreund "... das nötige Rüstzeug in die Hand zu geben". (S. 10)

So weist der Autor anfangs den Platz der Amateurastronomie aus, wohl dosiert den Wert kleiner "Rohre" preisend. Dr. Ahnert, der sich selbst "als Amateur, der seine Beobachtungsobjekte ganz nach Belieben und Neigung auswählen kann" ("Kalender für Sternfreunde", 1983, S. 10) betrachtet, gibt dann Hinweise zur Wahl des Fernrohres, erläutert Refraktor und Reflektor, deren optische Leistungen und Nebenapparate und erläutert kurz deren Pflege.

Dem schließen sich Bemerkungen zu den ersten Beobachtungen, exakter Aufstellung und 2 möglichen Beobachtungsgebieten an. Hier seien vor allem die praktischen Beispiele gelobt. Insgesamt sind diese Abschnitte kurz und übersichtlich gehalten, an betreffender Stelle wird auf weiterführende Literatur verwiesen.

Der sich anschließende "Tabellenteil" ist wie gewohnt übersichtlich und mit Sorgfalt erstellt. Begrüßenswert hier ebenfalls praktische Beispiele und ggf. kritische Anmerkungen zur Datengenauigkeit (bspw. Parallaxen).

Der Bildteil ist, wie bei dem Verlag nicht anders zu erwarten, gut ausgestattet.

Obwohl der Rezensent sich in Bezug auf die große Erfahrung P. Ahnerts der Gefahr der Beckmesserei bewußt ist, seien doch auch kritische Töne vermerkt. Die Himmelskugel umfaßt nicht 41252, 961 \square° , sondern 41250,87 \square° (Sterne 59 (1983), 2, S. 102).

Das Beharren am cgs-System ist dem Rezensenten angesichts der bekannten Exaktheit P. Ahnerts unverständlich, da auch in der Astronomie "endlich" das SI-Einheitensystem durchgesetzt werden sollte und z.B. im "ABC der Astronomie" auch ist. Der Rezensent hält es dann zumindest für erforderlich, die Umrechnungsfaktoren in SI-Einheiten anzugeben (z.B. 1 dyn = 10^{-5} N). Die Dimension der Arbeit (S. 68) muß 1 dyn x cm statt 1 dyn/cm lauten.

Neben dem Mondfinsternisverzeichnis (S.71) vermißte der Rezensent eins für die Sonnenfinsternisse.

Kritisch möchte sich der Rezensent zur Abbildungsnumerierung äußern.

Zu den Abb. 69-74 suchte der Rezensent vergeblich eine Textstelle, die ihre "Entstehung" erläutert.

Dies alles sind jedoch nur kleine, unauffällige Schönheitsfehler in einem Buch, das unbedingt zur Standardausrüstung jedes Astronomen gehören sollte und wofür dem Autor vorbehaltlos zu danken ist.

Carsten Kruse

1. Die Fragestellung:

Im Anschluß an Planetariumsvorführungen ergeben sich nicht selten Diskussionen mit den Zuhörern, aus denen hervorgeht, daß doch eine Art "kosmisches Denken" um sich greift und immer größere Kreise der Bevölkerung erfaßt, vielleicht auch ein Ergebnis des Astronomie-Unterrichtes (Klasse 10) in unserer Republik.

Kürzlich fragte eine Besucherin: "Wie kann man sich eigentlich das Entfernungsmaß 1 Lichtjahr (1 ly) anschaulich klarmachen?" Mit der Definition, das sei die Wegstrecke, die das Licht in einem Jahr durchheilt, war ihr nicht gedient, das war ihr noch zu abstrakt, zu unanschaulich. Ich versuchte es folgendermaßen:

Kein Fixstern der Galaxis, also unseres Milchstrahlensystems, ist der Sonne näher als 4,3 Lichtjahre. Die meisten mit bloßem Auge sichtbaren "Sonne" sind einige 10 bzw. 100 oder gar 1000 Lichtjahre von uns entfernt. Da das Milchstraßensystem den meisten Schulabgängern ein anschaulicher Begriff ist (sein Durchmesser in Breite beträgt ca. 100 000 ly), wird nun 1 ly als derjenige Abstand begriffen, der dem vierten Bruchteil zweier benachbarter Sterne in der Sonnenumgebung entspricht.

Genau so oft wird die Frage nach den Dimensionen des überschaubaren Teils des Weltalls gestellt. Das rührt an die Problematik der Struktur des Universums.

2. Der Kosmos ist hierarchisch aufgebaut

Hierarchie bedeutet Rangordnung, Vorherrschaft. Wer herrscht im All über wen? Auf Grund welcher Gesetzmäßigkeiten müssen sich bestimmte kosmische Systeme anderen unterordnen?

Ein universelles Gesetz, das den gesamten Raum beherrscht und alles in seinen Bann zwingt, ist das Gravitationsgesetz, das

Gesetz von der allgemeinen Massenanziehung. Es wurde in der 2. Hälfte des 17. Jahrhunderts von Isaac Newton entdeckt ... und später von Einstein zur relativistischen Gravitationstheorie erweitert und auf die gesamte Metagalaxis angewandt. Unter der Metagalaxis versteht man "jenes riesige System, dem alle beobachteten Galaxien und deren übergeordnete Systeme (Galaxienhaufen) angehören." (Miroslav).

Die großräumige Verteilung der stofflichen Materie zu untersuchen, konnten sich die Wissenschaftler erst zu dem Zeitpunkt vornehmen, als sie es gelernt hatten, mit großen Spiegelteleskopen und unter Zuhilfenahme der Fotografie beobachtend in den Weltraum einzudringen. Nach längerer Durchmusterung des Himmels kam man zu dem Schluß, daß die Himmelskörper unregelmäßig "gestreut" seien.

Mond und Erde zum Beispiel bilden einen "Doppelplaneten" und stehen relativ dicht beieinander. Die neun Planeten des Sonnensystems scharen sich um ihren Zentralstern, die Sonne. Sie bilden eine Planetenfamilie. Tausende von Sternen der Sonnenumgebung gehören zu einem Spiralarm der Galaxis, d.h. zu einer gewissen Population des Milchstraßensystems. Die Galaxis ihrerseits stellt eine Art "Sterneninsel" dar, in der an die 100 Milliarden Sonnen konzentriert sind. Bildet man dieses Spiralsystem "Galaxis" modellmäßig in der Größe eines Suppentellers ab, schweben die Nachbargalaxien in durchschnittlich 8 Meter Entfernung voneinander im Raum. Etwa 24 Sternsysteme (extragalaktische Systeme) bilden zusammen mit unserem Milchstraßensystem innerhalb eines Umkreises von 1 Mpc (ein Megaparsec) = 3,26 Millionen Lichtjahren die sog. "Lokale Gruppe". Zu ihr gehören solche Vertreter wie die Magellanschen Wolken,

der Triangulum-Nebel, der Andromeda-Nebel u.a. Die in Abb. 1 dargestellte Strudelgalaxie liegt bereits außerhalb der Lokalen Gruppe. Nach ihren äußeren Formen und ihrem inneren Aufbau (Alter und Verteilung der Sterne, Anteil interstellaren Gases) werden die Galaxien auf Vorschlag des amerikanischen Astronomen Hubble seit 1925 eingeteilt in Spiralsysteme, Balkenspiralen, elliptische und irreguläre Systeme. Der nächste Galaxienhaufen außerhalb der Lokalen Gruppe ist so weit entfernt, daß sich in unserem oben angeführten Modell die Durchschnittsentfernung zwischen zwei benachbarten Galaxien nunmehr auf 70 Meter(!) beläuft. Der Anschaulichkeit halber wurde dabei eine statisti-

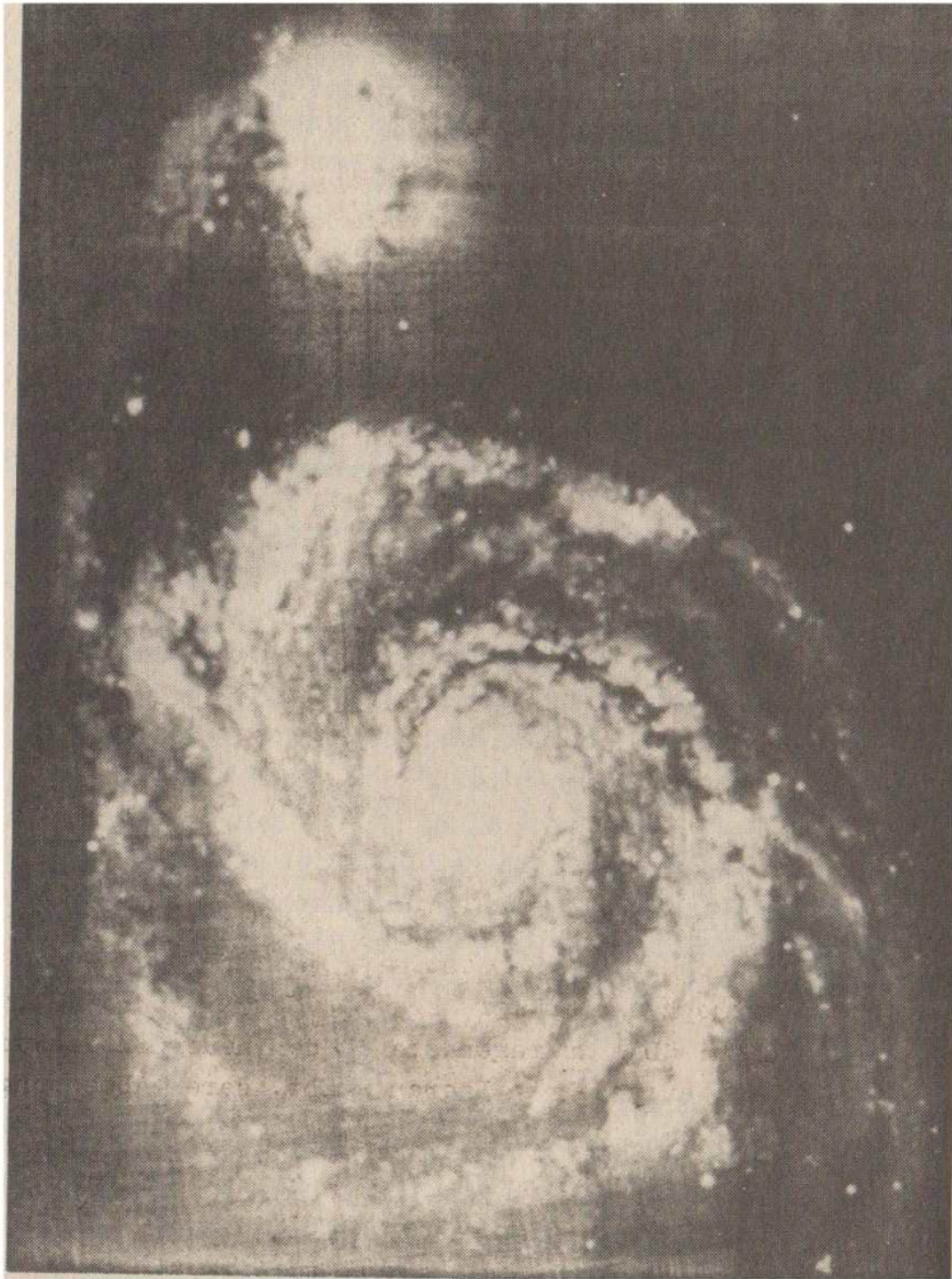


Abb. 1 Strudelgalaxie M 51 im Sternbild "Jagdhunde".
Sie ist wenigstens 6 Millionen Lichtjahre entfernt und hat eine scheinbare Helligkeit von 8,4 Größenklassen, d.h. sie kann mit bloßem Auge nicht mehr gesehen werden. An diesem Nebel entdeckte 1850 Lord Rosse mit seinem Spiegelteleskop erstmals die Spiralstruktur von Galaxien. Für die hier gezeigte Aufnahme vom Mount-Wilson-Observatorium wurde eine Belichtungszeit von 3 Stunden benötigt.

sche Gleichverteilung angenommen, die in Wirklichkeit aber nicht existiert (s. Abb. 3). Treibt man diese Systematisierung weiter - wir hatten von Hierarchien gesprochen - erhebt sich die Frage, welche höhere Rangordnung über den Galaxienhaufen steht. Man hat in der Vergangenheit solche Begriffe wie Superhaufen oder Metagalaxis geprägt, ohne deren Eigenschaften im einzelnen beschreiben zu können. Hier stoßen wir auf ein Forschungsfeld, das in der neueren Kosmologie anscheinend zu einem bevorzugten Thema geworden ist, denn sowohl aus der Sowjetunion (Seldowitsch, Schandarin) als auch aus den USA (Texas-Symposium von 1982) kamen diesbezüglich übereinstimmende Nachrichten. Man spricht von einer "Zellenstruktur" des Kosmos und meint damit, daß es Häufungspunkte von Galaxiengruppen gibt, die (s. Abb. 3) im Laufe der Evolution des Universums unterschiedlichen Dichtegrad aufweisen und in den Randgebieten bzw. Knotenpunkten von räumlich ausgebildeten Zellen liegen.

Diese "Zellenstruktur" schließt Hohlräume ein, welche mit Hilfe optischer und radioastronomischer Beobachtungsmethoden nachgewiesen werden konnten. Solche "Löcher" im Universum, sie werden auch "Kavernen" genannt, haben nichts mit den "Schwarzen Löchern" (blank holes) zu tun, die einen ganz anderen Forschungsgegenstand der modernen Astrophysik darstellen. Die "gigantischen Poren" des Universums, von denen hier die Rede ist, strahlen deswegen kein Licht aus, weil sie weder Einzelsterne noch Galaxien enthalten.

Prof. Dr. K.-H. Schmidt, Direktor des Zentralinstitutes für Astrophysik an der Akademie der Wissenschaften der DDR, sagte dazu: "Das Aufregendste an den neuen Entdeckungen ist, daß es Löcher, ausgedehnte Leeren, gibt, deren Abmessungen mehr als 100 Mpc (Megaparsec) ausmachen, das sind ca. 300 Millionen Lichtjahre. Die größten Verdichtungen sind dort zu finden, wo die Zellenwände aneinanderstoßen."

Früher hatte man angenommen, daß nur 5-10 % aller Galaxien in den Haufen konzentriert seien (s. Abb. 2). Die übrigen Sternensinseln (Galaxien) wurden einer sogenannten "Feldkomponente" zugeschlagen, von der sich nun herausstellt, daß es sie gar nicht gibt. Wenn man sich erst in der Gegenwart intensiver mit Nebelstatistik beschäftigt, dann, weil die mächtigsten Spiegelteleskope der Erde und die dazugehörigen elektronischen Geräte bei der Untersuchung von fernen Galaxien neue Methoden ermöglichen. Diese führten dazu, daß man Fluchtgeschwindig-



Abb. 2 Galaxienhaufen im Sternbild "Pegasus".
Belichtungszeit: 7,75 Stunden. Je länger man eine solche Astro-Platte belichtet, um so größer ist die Anzahl der optisch nachgewiesenen Galaxien. Dieser Methode sind jedoch natürliche Grenzen gesetzt. Hier übernimmt die Radioastronomie das weitere Forschungsfeld.

keiten und damit Entfernungen für mehrere 1000 Galaxien messen konnte.

3. Nebel auf der Flucht

Erinnern Sie sich bitte an Ihr letztes Motor-Cross, dem Sie als Zuschauer beiwohnten, oder auch nur an die Reportage eines Rennens, welches im Radio oder Fernsehen übertragen wurde. Dann kennen Sie den Doppler-Effekt, aus der Akustik. In dem Moment, in welchem das Motorrad oder der Rennwagen am Mikrophon des Reporters vorbeirauscht, schlägt der Ton (Frequenz des Motorengeräusches) deutlich um. Wir vernehmen eine andere Tonhöhe, obwohl die Schallquelle dieselbe Frequenz wie vorher ausstößt. Derselbe Effekt tritt im optischen Bereich ein, wenn Lichtquellen, z.B. Galaxien, sich auf uns zu (Violettverschiebung) bzw. von uns weg (Rotverschiebung) bewegen.

1929 entdeckte Edwin P. Hubble am Mount-Wilson-Observatorium in den USA die Rotverschiebung der Galaxien und deutete sie auf der Grundlage des Doppler-Effektes als "Nebelflucht".

Unter Einsatz der Spektralanalyse und der photographischen Langzeitbelichtung an Spiegelteleskopen konnte nachgewiesen werden, daß die Verschiebung der Spektrallinien eines Galaxien-Spektrums nach dem roten Ende eines irdischen Vergleichsspektrums um so größer ausfiel, je lichtschwächer, d.h. je weiter entfernt eine Galaxie war. Seither schließt man aus dem Grad der Rotverschiebung auf die Entfernung der "Sterneninseln". Die Entweichgeschwindigkeit aller beobachtbaren und spektroskopisch erfaßbaren Galaxien nimmt in dem Maße zu, wie sie sich von uns entfernen. Dieses Prinzip, das für die gegenwärtige Situation und unsere kosmische Umgebung eine Naturgesetzlichkeit zu sein scheint, hat man "Expansion des Weltalls" genannt. Die Rückwärtsrechnung auf der Basis der Hubble-Konstanten ($H = 75 \text{ km/s.Mpc}$) führte auf den schon an anderer Stelle beschriebenen "Urknall".

Wissenschaftler wiesen daraufhin, daß die jetzt in der Diskussion befindliche "Zellenstruktur-Theorie" des Kosmos nicht im Widerspruch zur kosmologischen Ansicht von der Nebelflucht steht, sondern diese nur in einem neuen Licht erscheinen läßt.

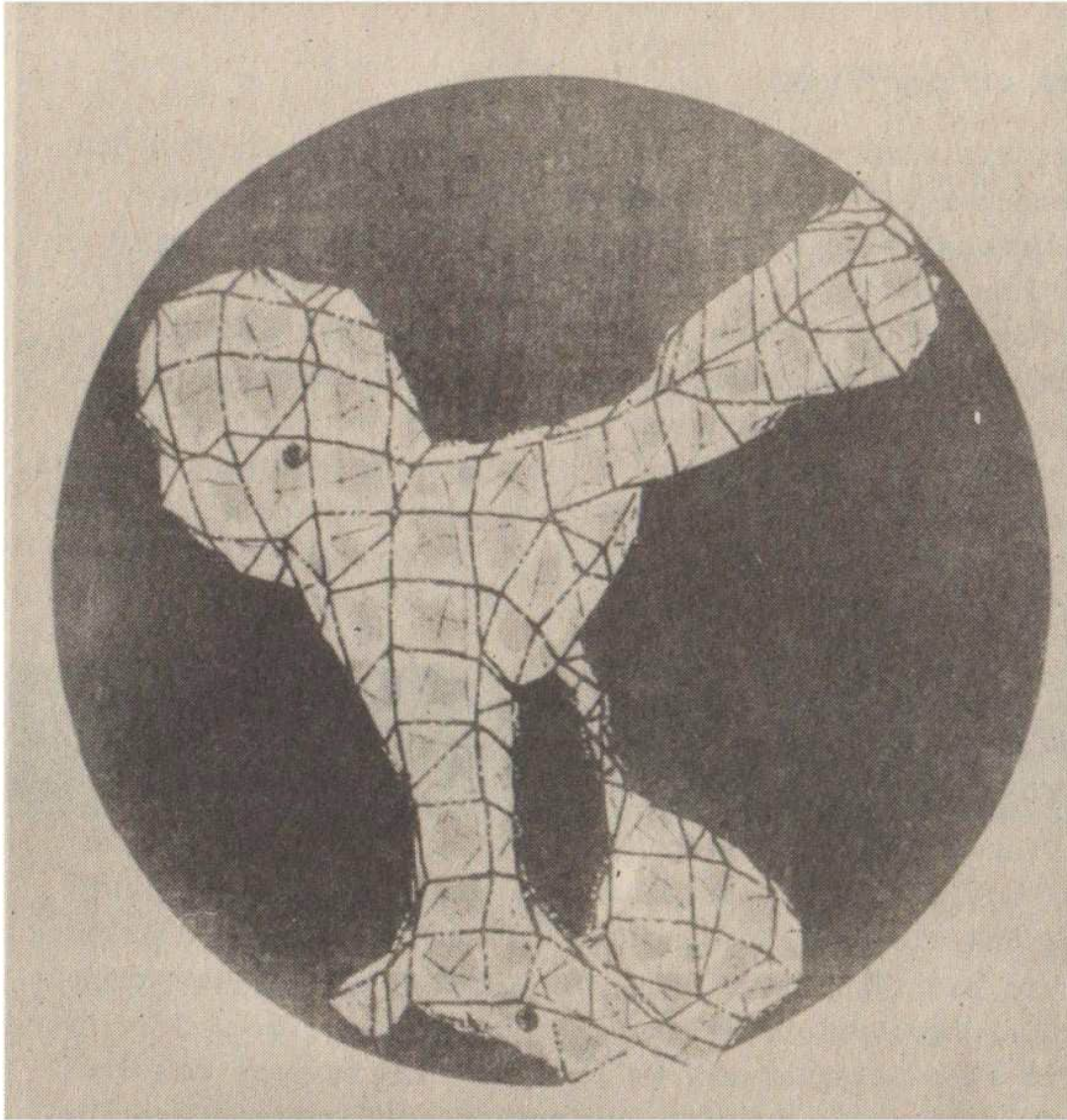


Abb. 3 Willkürlicher Ausschnitt des Raumes, in dem die Galaxien (Sternsysteme) unregelmäßig verteilt sind. In den Knotenpunkten des hier abgebildeten Zellenstrukturmodells denke man sich Anhäufungen von Galaxien. Die Zentren von Galaxienhaufen sind durchschnittlich 300 Millionen Lichtjahre voneinander entfernt. Die Zwischenräume stellen im Gegensatz zu früheren Ansichten relativ leere "Kavernen" dar.

(Repro: Autor)

4. Vom „Pfannkuchenmodell“ zur „Zellenstruktur“

Stimmen die Ergebnisse elektronischer Modellrechnungen, also die Computer-Resultate, mit neueren kosmischen Beobachtungsergebnissen bezüglich der Dichte von Galaxienhaufen überein, macht das hellhörig. Abb. 3 zeigt, was rechnerisch herauskommt,

wenn man einige Hunderttausend Galaxien eines homogenen und isotropen Weltalls jahrmillionenlang sich selbst überläßt. Es erfolgt eine Umverteilung der Materie.

Trotz der oben beschriebenen Hierarchien kann über Entfernungen von 100 Mpc (Megaparsec) und mehr die kosmische Substanz als im Mittel gleichmäßig verteilt aufgefaßt werden (Homogenität). Die Eigenschaft, daß das Universum nach allen Seiten hin gleich aufgebaut ist, bezeichnet man als "Isotropie des Weltalls". Die Theorie der "Gravitationsinstabilität" besagt, daß sich die Galaxien eines Galaxienhaufens so verdichten, daß sie in den "Knotenpunkten" der "Zellenstruktur" immer dichter zu liegen kommen, während in den "Löchern" der Zellen der Grad der Verdünnung im Laufe der Entwicklung noch zunimmt.

Der sowjetische Astrophysiker J. Seldowitsch gebrauchte zur Veranschaulichung seines Szenariums das Bild vom "Bimsstein" (poröses Material vulkanischen Ursprungs), indem er schrieb: "Obwohl die Steinmasse von Trennwänden in ungleichförmige Hohlräume geteilt ist, bezeichnen wir sie als homogen. Stellen Sie sich nun vor, daß die Trennwände nicht durchgehend wären, sondern aus stark konzentrierten Teilchen bestünden, von denen jedes einzelne eine Galaxie ist, schon haben Sie ein anschauliches Modell des Universums. Die Vorstellung von seiner Homogenität bleibt somit unangetastet."

("Wissenschaft in der UdSSR", Heft 1/82, S. 36).

Wie solche Strukturen entstanden sein könnten, darüber gibt es mehrere Theorien. Die meisten gehen von der Expansion des Universums und einem Evolutionskosmos (nichtstationäres All) aus. Eine dieser Theorien stammt von Seldowitsch (UdSSR) und wird von Fachleuten mit dem eigentümlichen Namen "Theorie der Plinsen" oder "Pfannkuchen-Modell" belegt. Der Grund dafür: Die Verformung der kompakten Materie im Laufe der Evolution des Universums gleicht dem "Breitlaufen" eines Pfannkuchens, wenn dieser in den Tiegel kommt. Massenkonzentrationen von 10^{15} bis 10^{16} Sonnenmassen (in Worten: 1000-10 000 Billionen) sogenannte Protohaufen, kontrahieren längs ihrer kleinsten Achse, während sie sich in den beiden anderen Achsen ausdehnen. Diese Protohaufen zerfallen später (Fachausdruck: "Fragmentations-Szenarium") in Galaxien, wobei sich jene räumliche Verteilung einstellt, wie sie gegenwärtig im Kosmos angetroffen wird und wie sie unserem "Zellenstrukturmodell" (s. Abb. 3) entspricht.

Bei all diesen Darlegungen müssen wir uns darüber im klaren sein, daß ein Modell keine Beweiskraft für die Richtigkeit der Theorie besitzt. Frei nach Goethe könnte man aber sagen: "Ein Gleichnis dürft Ihr nicht verwehren, wie sollte ich mich sonst erklären?"

Ob das hier beschriebene "Fragmentationsszenarium" (Zerfallstheorie) oder das von anderen Forschern vertretene "Anhäufungsszenarium" (schon vorhandene Galaxien bilden später lokale Verdichtungen) zutrifft, wird letztlich die Zukunft (weitere Beobachtungsergebnisse) entscheiden.

5. Schlußfolgerungen:

Erstens: Je länger sich die Menschheit mit Fragen der Kosmologie (Lehre vom Bau der Welt als Ganzes) beschäftigt, um so komplizierter erscheinen die Strukturen des Universums, um so schwieriger werden die Möglichkeiten ihrer Beschreibung.

Zweitens: Zu keinem Zeitpunkt können wir unsere Vorstellungen vom Weltall als abgeschlossen und in allen Teilen als vollkommen betrachten. Immer wieder ergeben sich neue, das Alte ergänzende Gesichtspunkte, wird unser Erkenntnisschatz reicher. Das Erstaunlichste aber ist an dieser Welt, um mit Einstein zu sprechen, ihre Begreiflichkeit.

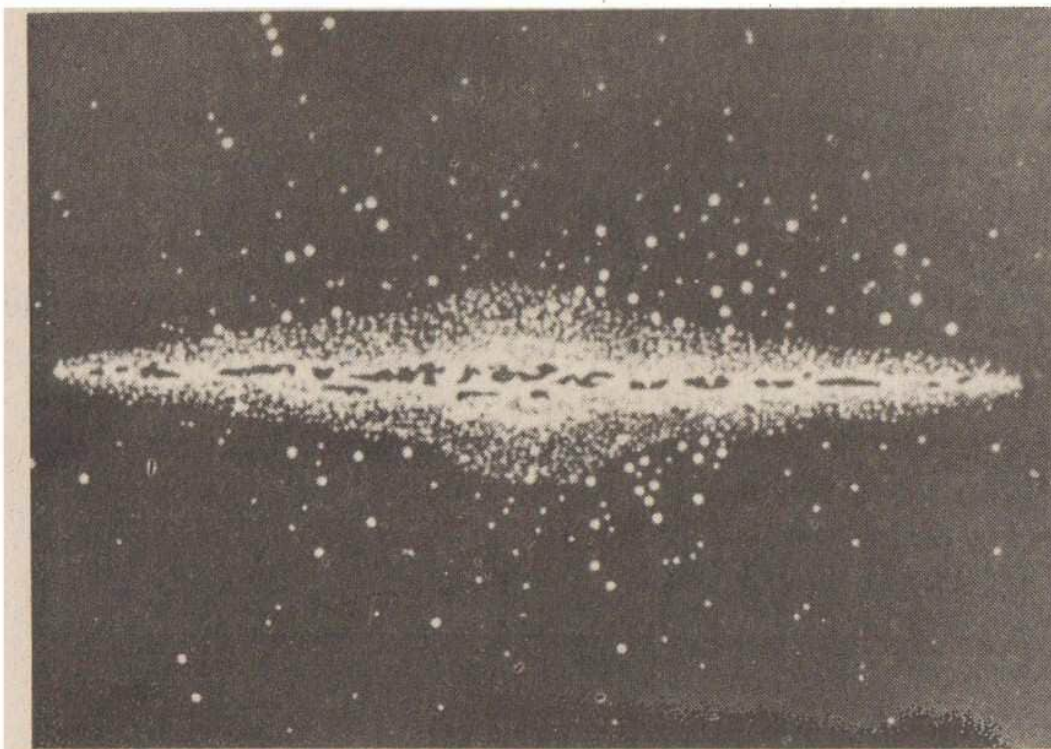


Abb. 4 Modell unseres eigenen Milchstraßensystems.

(Repro: Autor)

In den bisher erschienenen Beiträgen zur Thematik "Mikroelektronik - leicht verständlich" wurden ausgewählte binäre Grundschaltungen vorgestellt und deren vielfältige Anwendungsmöglichkeiten hin und wieder angedeutet. Im folgenden soll nun eine Vorstellung vermittelt werden, wie durch binäre Schaltungen das Rechnen mit Zahlen realisiert werden kann.

Wenden wir uns zunächst der Addition im Dualsystem zu. Bekannt ist das Vorgehen bei der Addition zweier Dezimalzahlen. Diese werden stellengerecht untereinander geschrieben und mit den Einern beginnend, addiert. Wird dabei die Grundzahl 10 des Dezimal-

$$\begin{array}{r} 14 \\ + 16 \\ \hline 30 \\ \text{Beispiel} \\ (1) \end{array} \quad \begin{array}{r} 14 \\ + 18 \\ \hline 32 \\ \text{Beispiel} \\ (2) \end{array}$$

systems erreicht, wie im nebenstehenden Beispiel (1) $4+6=10$, so entsteht ein Übertrag 1, der bei der Addition der Zehner zu berücksichtigen ist: $1+1+1=3$. Entsprechend verfährt man, wenn die Grundzahl 10 überschritten wird. Wenn im Beispiel (2) bei der Addition der Einer 12 entsteht, schreibt man 2 und "merkt" 1 als Übertrag für die Addition der nächsten Stellen.

So geht man auch bei der "schriftlichen" Addition zweier Dualzahlen vor. Wir greifen das Beispiel (1) wieder auf und schreiben beide Zahlen in dualer Darstellung: $14_D = 1110_B$; $16_D = 10000_B$ (D bzw. B hinter der Ziffernfolge weisen auf dezimale bzw. binäre oder duale Darstellung hin). Unter Beachtung von $0+0=0$, $0+1=1$ und $1+0=1$ ergibt sich die Dualzahl 11110. Durch Umrechnung in das Dezimalsystem erhält man wieder 30.

$$\begin{array}{r}
 1110 \text{ B} \\
 10000 \text{ B} + \\
 \hline
 11110 \text{ B}
 \end{array}$$

Für das Beispiel (2) tritt der Fall ein, daß bei 1+1 die Grundzahl des Dualsystems erreicht wird und ein Übertrag entsteht: 1+1=10, d.h. als Summenziffer s wird 0 geschrieben und der Übertrag ü=1 wird bei der Addition der nächsten Stelle berücksichtigt. Hier wiederholt sich dieser Fall. Man erhält schließlich 100000 B = 32 D.

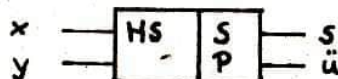
$$\begin{array}{r}
 14 \text{ D} = 1110 \text{ B} \\
 18 \text{ D} = 10010 \text{ B} + \\
 \hline
 100000 \text{ B}
 \end{array}$$

Im allgemeinen liegt folgender Sachverhalt vor: Zu einer Dualzahl $x_n x_{n-1} \dots x_1 \dots x_2 x_1$ mit n Stellen ist eine zweite Dualzahl $y_m y_{m-1} \dots y_2 y_1$ mit m Stellen

$$\begin{array}{r}
 x_n x_{n-1} \dots \quad x_1 \dots x_2 x_1 \\
 y_m y_{m-1} \dots \quad y_1 \dots y_2 y_1 \quad + \\
 \hline
 \end{array}$$

zu addieren. Für die x_1 und y_1 steht entweder 0 oder 1. Schaltungstechnisch wird die Ziffer 0 durch das Nichtvorhandensein (L) und die Ziffer 1 durch das Vorhandensein (H) eines binären Signals realisiert. Die Addition der beiden Dualzahlen beginnt an der letzten Stelle, also mit $x_1 + y_1$, unter Beachtung folgender Rechenregeln: 0+0=0, 0+1=1, 1+0=1, 1+1=10. Die logische Schaltung, durch die dieser Sachverhalt realisiert wird, bezeichnet man als Halbadder. Es hat die beiden Eingänge x und y und die Ausgänge s und ü. Der Logikplan des Halbadders soll im folgenden entwickelt werden.

Symbol für Halbadder



Die Schaltbelegungstabelle 1 enthält die jeweils letzte Ziffer x_1 bzw. y_1 der zu addierenden Dualzahlen, die zugehörige Summenziffer s_1 und den Übertrag $ü_1$.

x_1	y_1	s_1	\bar{u}_1	
L	L	L	L	, denn $0+0=0$
L	H	H	L	, denn $0+1=1$
H	L	H	L	, denn $1+0=1$
H	H	L	H	, denn $1+1=0$

Tabelle 1

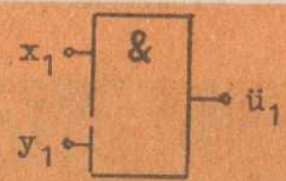
Zunächst soll die Schaltung zur Ermittlung des Übertrages entwickelt werden: Man erkennt, daß am Ausgang \bar{u}_1 nur dann ein Signal erscheinen darf, wenn an den beiden Eingängen x_1 und y_1 gleichzeitig ein Signal anliegt. Die beiden Eingangsgrößen sind also durch die logische Funktion UND zu verknüpfen, die schaltungstechnische Realisierung erfolgt durch ein UND-Gatter (vgl. Heft 1(1982/83!))

Schaltbelegungstabelle 2

Logiksymbol

Schaltgleichung

x_1	y_1	\bar{u}_1
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H



$$s_1 = x_1 \wedge y_1 \quad (1)$$

gelesen:

s_1 gleich x_1 und y_1

Die schaltungstechnische Realisierung des Halbadders erfordert daher mindestens ein UND-Gatter. Die Ausgangsgröße s_1 stellt eine wesentlich kompliziertere Verknüpfung der Größen x_1 und y_1 dar. Es erweist sich als zweckmäßig, den aus den Ausgangsgrößen x_1 und x_2 gebildeten Übertrag $\bar{u}_1 = x_1 \wedge x_2$ in die weiteren Überlegungen einzubeziehen. Die Schaltbelegungstabelle für das Halbadder wird erweitert durch den negierten Übertrag $\bar{\bar{u}}_1$ (gelesen: nicht \bar{u}_1) und die ODER-Funktion $x_1 \vee x_2$ (gelesen: x_1 oder x_2)

x_1	x_2	$x_1 \vee x_2$	\bar{u}_1	$\bar{\bar{u}}_1$	s_1
L	L	L	L	H	L
L	H	H	L	H	H
H	L	H	L	H	H
H	H	H	H	L	L

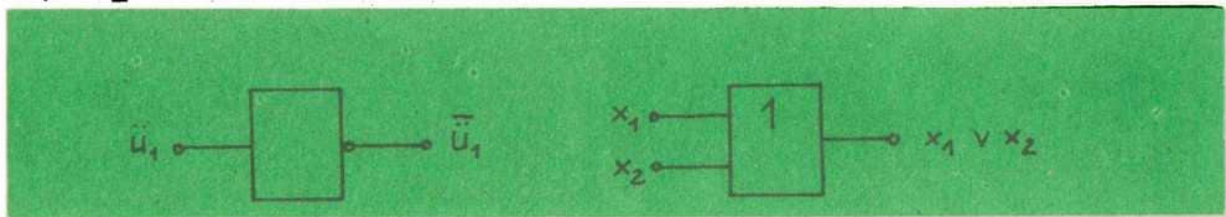
Tabelle 3

Ein Vergleich der Spalten \bar{u}_1 , $x_1 \vee x_2$ und s_1 zeigt, daß s_1 die UND-Verknüpfung von \bar{u}_1 und $x_1 \vee x_2$ ist. d.h. es gilt die Schaltgleichung $s_1 = \bar{u}_1 \wedge (x_1 \vee x_2)$ (2). Der Leser kann die Richtigkeit dieser Aussage durch Vervollständigung der Schaltbelegungstabelle 4 bestätigen, indem er die UND-Verknüpfung von \bar{u}_1 und $(x_1 \vee x_2)$ nach Schaltbelegungstabelle 2 vornimmt.

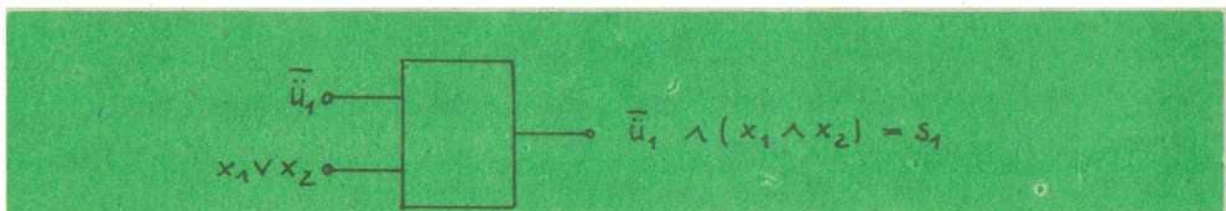
\bar{u}_1	$x_1 \vee x_2$	$\bar{u}_1 \wedge (x_1 \vee x_2)$
H	L	L
H	H	H
H	H	H
L	H	L

Tabelle 4

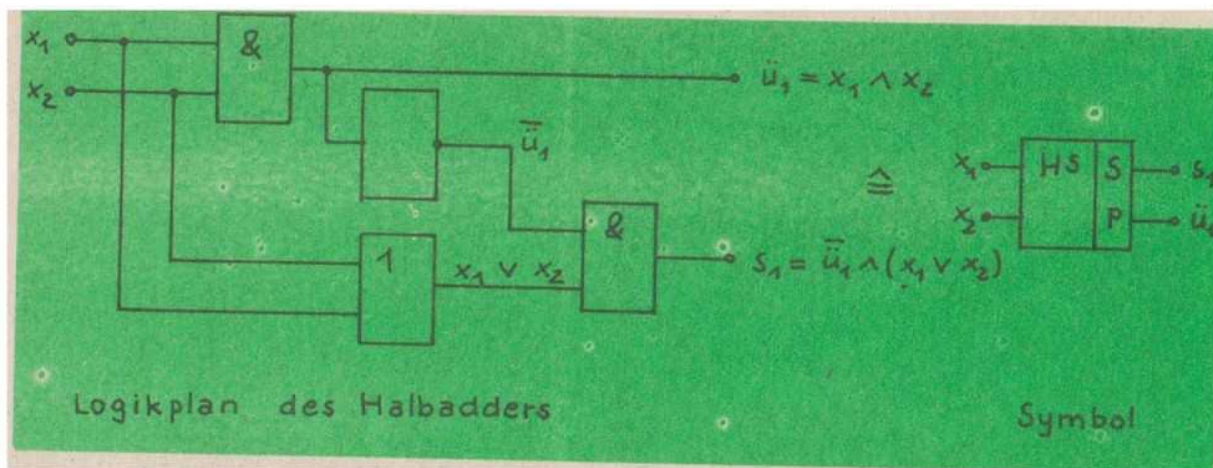
Der Vergleich mit der Spalte s_1 in Tabelle 3 zeigt die Gültigkeit der Schaltgleichung (2), aus der man ihre schaltungstechnische Realisierung ablesen kann. Nach Heft 1 (1982/83)S.38/39 erhält man das Signal \bar{u}_1 durch einen NEGATOR, das Signal $x_1 \vee x_2$ durch ein OR-Glied:



Die Signale \bar{u}_1 und $x_1 \vee x_2$ sind dann durch ein UND-Gatter zu verknüpfen:



Der Logikplan für das Halbadder kann jetzt gezeichnet werden. Die Realisierung eines Halbadders erfordert 1 NEGATOR, 1 OR-Gatter und 2 UND-Gatter:



Das hier gewählte Vorgehen der Erarbeitung eines Logikplanes für das Halbadder führt bereits zu einem geringen Aufwand bezüglich der Auswahl der verwendeten Gatter. Wenn man zur Aufstellung der Schaltgleichung für die Summeziffer s_1 nur die Eingangssignale x_1 und y_1 und nicht auch noch den Übertrag u_1 heranzieht, so gelangt man zunächst zu einem ungünstigeren Resultat. Die Schaltgleichung lautet dann:

$$s_1 = (\bar{x}_1 \wedge y_1) \vee (x_1 \wedge \bar{y}_1) \quad (3)$$

Durch Vervollständigung der Schaltbelegungstabelle 5 kann der Leser die Richtigkeit dieser Schaltgleichung bestätigen.

x_1	\bar{x}_1	y_1	\bar{y}_1	$\bar{x}_1 \wedge y_1$	$x_1 \wedge \bar{y}_1$	$(\bar{x}_1 \wedge y_1) \vee (x_1 \wedge \bar{y}_1)$	s_1
L	H	L	H	L	L	L	L
L	H	H	H				H
H	L	L	H				H
H	L	H	H				L

Tabelle 5

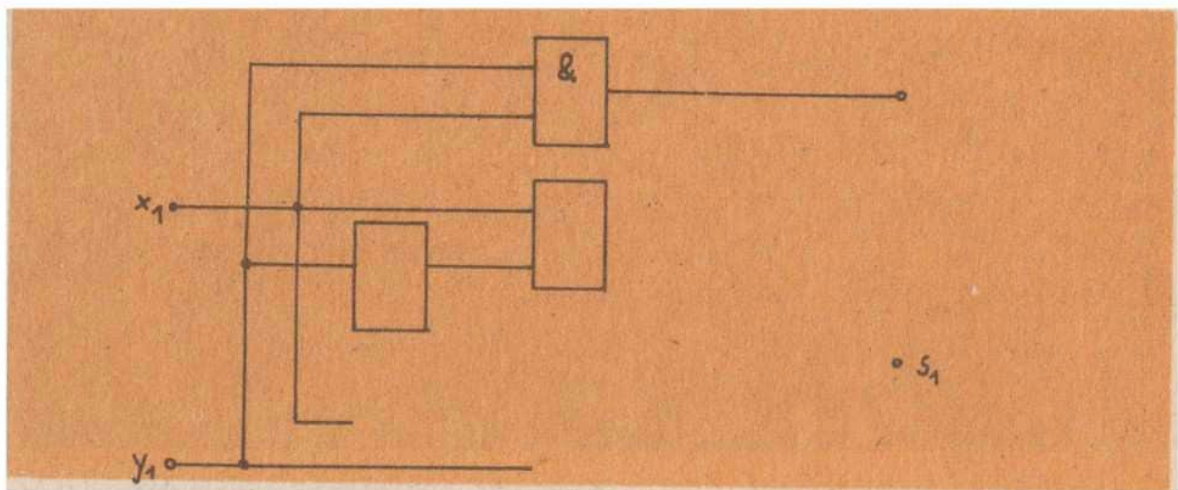
Das Halbadder wird also auch durch die beiden Schaltgleichungen

$$s_1 = (\bar{x}_1 \wedge y_1) \vee (x_1 \wedge \bar{y}_1) \quad (3)$$

$$u_1 = x_1 \wedge y_1 \quad (1)$$

beschrieben. Sie erfordern zur Realisierung mit 2 NEGATOREN, 3 UND- und 1 OR-Gatter einen größeren Aufwand als die Schaltgleichung (1) und (2). Der Leser möge zur Übung aus den Schaltgleichungen (1) und (3) die Vervollständigung des Logikplanes ableiten.

(Lösung im nächsten Heft!)



Die folgenden Überlegungen sind für anspruchsvollere Leser gedacht und werden für das Verständnis weiterer Ausführungen nicht unbedingt benötigt. Die Gleichungen (1) und (3) lassen sich unter Nutzung von Rechengesetzen der mathematischen Disziplinen Schaltalgebra in die mit weniger Grundbausteinen zu realisierenden Gleichungen (1) und (2) umformen. Um eine Vorstellung davon zu vermitteln, daß digitale Schaltungen durch Einsatz mathematischer Kenntnisse optimiert werden können, werden diese Umformungen exemplarisch angegeben: Wir gehen aus von den Schaltungsgleichungen

$\bar{u}_1 = x_1 \wedge y_1$ (1) und folgenden Rechengesetzen:

$$s_1 = (\bar{x}_1 \wedge y_1) \vee (x_1 \wedge \bar{y}_1) \quad (3)$$

$$\overline{x \wedge y} = \bar{x} \vee \bar{y} \quad (\text{I})$$

$$x \wedge y = y \wedge x \quad (\text{II})$$

$$x \vee y = y \vee x \quad (\text{III})$$

$$x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z) \quad (\text{IV})$$

Aus (1) folgt $\bar{\bar{u}}_1 = \overline{x_1 \wedge y_1} = \bar{x}_1 \vee \bar{y}_1$ nach (I)

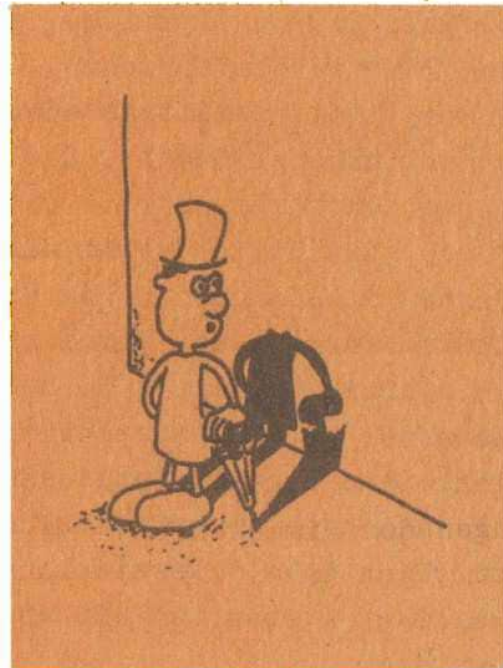
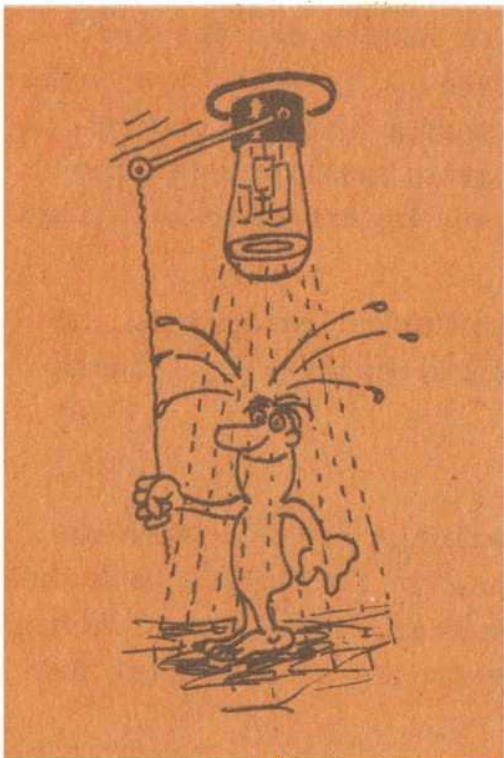
$$\begin{aligned} \bar{\bar{u}}_1 \wedge (x_1 \vee y_1) &= (\bar{x}_1 \vee \bar{y}_1) \wedge (x_1 \vee y_1) = [(\bar{x}_1 \vee \bar{y}_1) \wedge x_1] \vee [(\bar{x}_1 \vee \bar{y}_1) \wedge y_1] \quad \text{nach (IV)} \\ &= [x_1 \wedge (\bar{x}_1 \vee \bar{y}_1)] \vee [(\bar{x}_1 \vee \bar{y}_1) \wedge y_1] \quad \left. \vphantom{[x_1 \wedge (\bar{x}_1 \vee \bar{y}_1)]} \right\} \text{nach (II)} \\ &= [x_1 \wedge (\bar{x}_1 \vee \bar{y}_1)] \vee [y_1 \wedge (\bar{x}_1 \vee \bar{y}_1)] \\ &= [(x_1 \wedge \bar{x}_1) \vee (x_1 \wedge \bar{y}_1)] \vee [(y_1 \wedge \bar{x}_1) \vee (y_1 \wedge \bar{y}_1)] \\ & \quad \text{nach (IV)} \\ &= [0 \vee (x_1 \wedge \bar{y}_1)] \vee [(y_1 \wedge \bar{x}_1) \vee 0] \\ & \quad \text{nach der Rechenregel } x \wedge \bar{x} = 0 \\ &= (x_1 \wedge \bar{y}_1) \vee (y_1 \wedge \bar{x}_1) \\ & \quad \text{nach der Rechenregel } x \vee 0 = 0 \\ & \quad \text{nach der Rechenregel } 0 \vee x = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (y_1 \wedge \bar{x}_1) \vee (x_1 \wedge \bar{y}_1) && \text{nach (III)} \\
 &= (\bar{x}_1 \wedge y_1) \vee (x_1 \wedge \bar{y}_1) && \text{nach (II)} \\
 &= \underline{s_1} && \text{nach (3)}
 \end{aligned}$$

Es gilt also $s_1 = (\bar{x}_1 \wedge y_1) \vee (x_1 \wedge \bar{y}_1)$ (3)
 $= \bar{u}_1 \wedge (x_1 \vee y_1)$ (2) w. z. b. w.

Begriffserklärung

Abschattungsverlust →



← Rieselkatode

Einleitung

Der Begriff Farbe wird im Alltag in zweierlei Bedeutung verwendet. Es werden demit Stoffe bezeichnet, die zur Farbgebung von bestimmten Gegenständen oder Kunstwerken gedacht sind, wie Anstrichfarben, Textilfarben und Kunstmalerfarben. Um Verwechslungen zu vermeiden, wollen wir in diesem Zusammenhang von Farbmitteln sprechen.

In der zweiten Alltagsbedeutung ist Farbe diejenige Eigenschaft unserer Umwelt, die bei einer Hell-Dunkel-Abbildung derselben verlorenggeht. Die Bezeichnung Schwarz-Weiß-Abbildung wurde absichtlich vermieden, weil man Schwarz und Weiß zu den Farben zählen muß; neben Grau machen sie die sogenannten unbunten Farben aus. Würde unser Auge nur Hell-Dunkel-Unterschiede wahrnehmen, wie z.B. nachts oder wie das lichtempfindliche Material der Schwarz-Weiß-Fotografie, so könnte man das Wort Farbe aus unserem Sprachschatz verbannen. Aber weder aus ästhetischen noch aus praktischen Gründen würden wir auf unsere Farbtüchtigkeit verzichten wollen. Unsere Umwelt würde langweiliger wirken und ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal ginge verloren.

Um Farben messen zu können, ihnen also Zahlen zuzuordnen, müssen wir den Begriff Farbe über seine Alltagsbedeutung hinaus präzisieren.

Farbreiz und Farbempfindung

Elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen etwa 380 und 700 nm ruft bei ausreichender Intensität nach Einfall in unser Auge Farbempfindungen hervor. Zerlegt man Sonnenlicht mit einem Prisma in seine Bestandteile hinsichtlich der

Wellenlänge, so erscheint dem Betrachter das eindrucksvolle Bild der Spektralfarben. Ein solches Experiment demonstriert die heute jedem bekannte Tatsache, daß Farbempfindungen eng mit der Wellenlänge des gesehenen Lichtes verbunden ist. Wir müssen uns jedoch darüber im klaren sein, daß Farbe keine Eigenschaft des Lichtes ist, sondern an dessen Rezeption im Auge und die anschließende nervliche Weiterverarbeitung gebunden ist. Wir wollen vom Licht, wenn wir dessen Fähigkeit zur Auslösung von Farbempfindungen beim Menschen hervorheben möchten, als einem Farbreiz sprechen. Nun wissen wir aus Erfahrung, daß sich die Mannigfaltigkeit unserer Farbempfindungen nicht in den Spektralfarben erschöpft. Das ist zunächst nicht weiter verwunderlich wenn wir bedenken, daß sich auch die Farbreize nicht in Licht, das nur eine bestimmte Wellenlänge enthält, erschöpfen. Im allgemeinen bestehen die Farbreize hinsichtlich ihres Wellenlängengehaltes aus den unterschiedlichsten Zusammenstellungen. Jede beliebige über dem sichtbaren Spektralbereich definierte Intensitätsverteilungsfunktion stellt einen Farbreiz dar. Da zu jedem der unendlich vielen Argumente (Wellenlängen) unendlich viele Funktionswerte (Intensitäten) auftreten können, gibt es sozusagen (∞) verschiedene Farbreize. Die Dimension des Raumes, in dem man die Farbreize darstellen kann, ist also unendlich, denn jede der unendlich vielen Wellenlängen stellt eine Koordinate dar. Soweit die Farbreize. Kommen wir zu den Farbempfindungen durch das menschliche Auge. Kann man sie überhaupt sinnvoll klassifizieren? Will man Farbempfindungen eindeutig und reproduzierbar beschreiben und meßbar machen, so muß man ihnen Zahlen zuordnen. Man kann das so tun, daß man eine (noch zu bestimmende) Anzahl von Basisfarben zugrundelegt, und aus diesen die anderen Farben mischt. Das hat natürlich nur Aussicht auf Erfolg, wenn man beim Mischen der Grundfarben deren Anteile - ihre Helligkeiten - geeignet einstellen kann. Ist so eine Mischung zu einer vorliegenden "Nichtgrundfarbe" geglückt, so wären die dabei eingestellten relativen Helligkeitswerte (bezogen auf eine feste Grundhelligkeit der jeweiligen Grundfarbe) der Grundfarben geeignet, die vorliegende Farbe zahlenmäßig zu beschreiben. Die Farbe könnte dann jederzeit reproduziert werden, wenn nur die Grundfarben reproduzierbar definiert sind.

Dieses Vorgehen ist analog zur Beschreibung von Vektoren. Für diese legt man zunächst bestimmte Grund- oder Basisvektoren fest und bezeichnet andere Vektoren durch die Zahlen, Komponenten genannt, mit denen die Basisvektoren zu multiplizieren sind, um bei ihrer Addition den fraglichen Vektor zu ergeben. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Frage, wieviele Zahlen notwendig sind, um einen Vektor eindeutig zu beschreiben. Die ist die Dimensionsfrage. Über die Klärung dieses Problems für Vektoren gibt der Informationskasten Auskunft. Versuchen wir soweit das Vektorkonzept auf die Farbeempfindungen anzuwenden. Bilden sie auch einen Raum mit unendlich vielen Dimensionen wie die Farbreize? Diese Frage kann man mit nein beantworten. Zum Glück muß man sagen, wie wir noch sehen werden. Bevor wir genauer darauf eingehen können, ist noch einiges zu klären.

Zunächst muß auf ein Problem hingewiesen werden, das unser Unternehmen, Farbeempfindungen eindeutig Zahlen zuzuordnen, gefährdet. Unsere Farbeempfindungen lassen sich nämlich täuschen. Bei einunddemselben Farbreiz wird unsere Empfindung davon beeinflusst, welche Farbe wir vorher gesehen haben (Sukzessivkontrast) oder welche Farbe die Umgebung der zu beurteilenden Farbe hat (Simultankontrast). Unser Farbsehen ist, wie der Sukzessivkontrast zeigt, "stimmungsabhängig". Beispielsweise erscheint ein ansonsten als weiß beurteiltes Stück Papier nach längerem (einige Sekunden) Betrachten eines kräftigen Blaus nicht mehr weiß sondern gelblich.

Oder betrachtet man die Umgebung einige Zeit mit Filtern unterschiedlicher Farbe vor den Augen, so erhält man auch nach Wegnahme der Filter mit linkem und rechtem Auge unterschiedliche Farbeindrücke von der Umgebung, was man durch Zuhalten je eines Auges leicht nachprüfen kann.

Glücklicherweise wird nun das Gleichheitsurteil des Auges bezüglich zweier Farben nicht von seiner Farbstimmung beeinflusst. Zwei Farbreize, die einmal als gleichfarbig beurteilt wurden, werden das auch noch nach einer Änderung der Farbstimmung des Auges, obwohl sich der Farbeindruck durchaus verschoben haben kann. Das ist nicht etwa trivial, denn zwei gleichaussehende Farbreize (also physiologisch bewertet) können physikalisch bewertet (spektrale Zusammensetzung) ganz verschieden sein. Im folgenden wird das aber noch klarer

⊗ s. S. 41

werden. Nun brauchen wir zur Farbmessung die konkrete Farbmempfindung des Auges (d.h. die Bezeichnung mit einem Farbnamen) gar nicht. Es reicht aus, wenn wir das Auge nur in seiner Eigenschaft, zwei Farbreize als gleich- oder nicht gleichaussehend zu beurteilen, benutzen. Die mit dem Gleichheitsurteil bewertete Wirkung eines Farbreizes auf das Auge nennt man Farbvalenz. Dieser Begriff wird später noch präzisiert werden. Im Sinne des Vektorkonzepts entspricht einem Vektor also eine Farbvalenz. Für die Bezeichnung der Farbensprechung von Basisvektoren findet das Wort Primärvalenz Verwendung.

„Rechengesetze“ für Farben, das Dimensionsproblem, geometrische Darstellung von Farben

Die Anwendung des Vektorkonzepts setzt auch voraus, daß klar ist, was unter Gleichheit, Multiplikation mit einer reellen Zahl und Addition in Bezug auf Farben zu verstehen ist. Zum Feststellen der Gleichheit läßt man die zu vergleichenden Farbfelder möglichst aneinandergrenzen und sorgt wegen der bereits genannten Farbkontrasterscheinungen für gleichfarbiges Umfeld. Wenn dann das Auge keinen Farbunterschied zwischen den Farbfeldern mehr feststellen kann, ist Farbgleichheit gegeben. Eine reelle Zahl als Faktor vor einer Farbvalenz gibt eine entsprechende Erhöhung oder Verringerung der (objektiven, also physikalisch meßbaren) Helligkeit an. Zur Farbaddition gibt es folgendes zu sagen.

Zwei Farben \vec{F}_1 und \vec{F}_2 werden addiert (additiv gemischt), wenn die sie hervorrufenden Lichtreize gleichzeitig in das gleiche Gebiet der Netzhaut einfallen. Da das Auge nur etwa 20 Farbreize pro Sekunde unterscheiden kann, werden in schnellerer Folge erscheinende Farbreize praktisch gleichzeitig gesehen. Das ergibt eine praktische Methode zur Realisierung der additiven Farbmischung, den sogenannten Farbkreisel. Ordnet man auf einer Kreisscheibe verschiedenfarbige Sektoren an und läßt die Scheibe genügend schnell rotieren, so können die einzelnen Sektoren nicht mehr aufgelöst werden und rufen im Auge die Empfindung einer Mischfarbe hervor.

Die anschaulichste Methode zur additiven Farbmischung besteht jedoch in der Überlagerung des Lichtes verschiedener Lichtquellen. So kann man das durch bestimmte Filter gefärbte Licht

verschiedener Diaprojektoren auf eine Leinwand übereinanderprojizieren. Es soll ausdrücklich daraufhingewiesen werden, daß es etwas ganz anderes ist, das Licht verschieden gefilterter gleichartiger Quellen zu überlagern, als alle Filter zusammen vor einunddieselbe Quelle zu halten und das dann noch durchgelassene Licht zu betrachten.

Letzteres wird etwas irreführend als subtraktive Farbmischung bezeichnet und hat nichts mit der Addition von Farben zu tun. Wir haben jetzt die Voraussetzungen geschaffen, um uns wieder der Frage nach Dimensionalität des menschlichen Farbsehens zuzuwenden. Aus der Erfahrung sind folgende Eigenschaften des vollständig farbtüchtigen menschlichen Sehens bekannt. Drei verschiedene Farben \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 sind i.a. linear unabhängig, d.h. es läßt sich keine der drei Farben durch Linearkombination der anderen beiden ermischen. Die Farbgleichung

$$h_1\vec{F}_1 + h_2\vec{F}_2 + h_3\vec{F}_3 = \vec{0}$$

läßt sich durch keine Kombination der relativen Helligkeiten h_1 , h_2 , h_3 erfüllen. Beispielsweise wird bei keiner Helligkeits-einstellung eines Rot- und eines Grünprojektors die Übereinanderprojektion blau ergeben. In bestimmten Fällen (z.B. rot, gelb, orange) werden drei Farben linear abhängig sein, so wie das auch bei drei Vektoren des Raumes der Fall ist, wenn sie gerade in einer Ebene liegen. Demgegenüber erweisen sich vier Farben immer als linear abhängig, d.h., es wird immer mindestens eine aus den drei anderen durch Linearkombination ermischbar sein. Die Einschränkung mindestens eine ist i.a. bei Vektoren sonst nicht nötig. Sie rührt daher, daß die Multiplikation einer Farbe mit einer negativen Zahl, also negative Helligkeit, keine reale Farbe gibt.

Die maximale Anzahl linear unabhängiger Farben ist also 3 - eine Eigenschaft des menschlichen Auges. Diese Aussage ist Inhalt des 1. Grassmannschen Gesetzes der Farbmatrik.

Farbvalenzen lassen sich demzufolge in einem dreidimensionalen Koordinatensystem darstellen. Wir können als drei Primärvalenzen ein Rot, ein Grün und ein Blau nehmen (Bezeichnung R, G bzw. B) und legen dazu beispielsweise die Spektrallinien bei 700, 546 bzw. 436 nm fest. Die beiden letzteren fallen mit der hellgrünen bzw. blauen Linie einer Quecksilberdampflampe zusammen. Die drei relativen Helligkeitswerte (R, G und B), die ein-

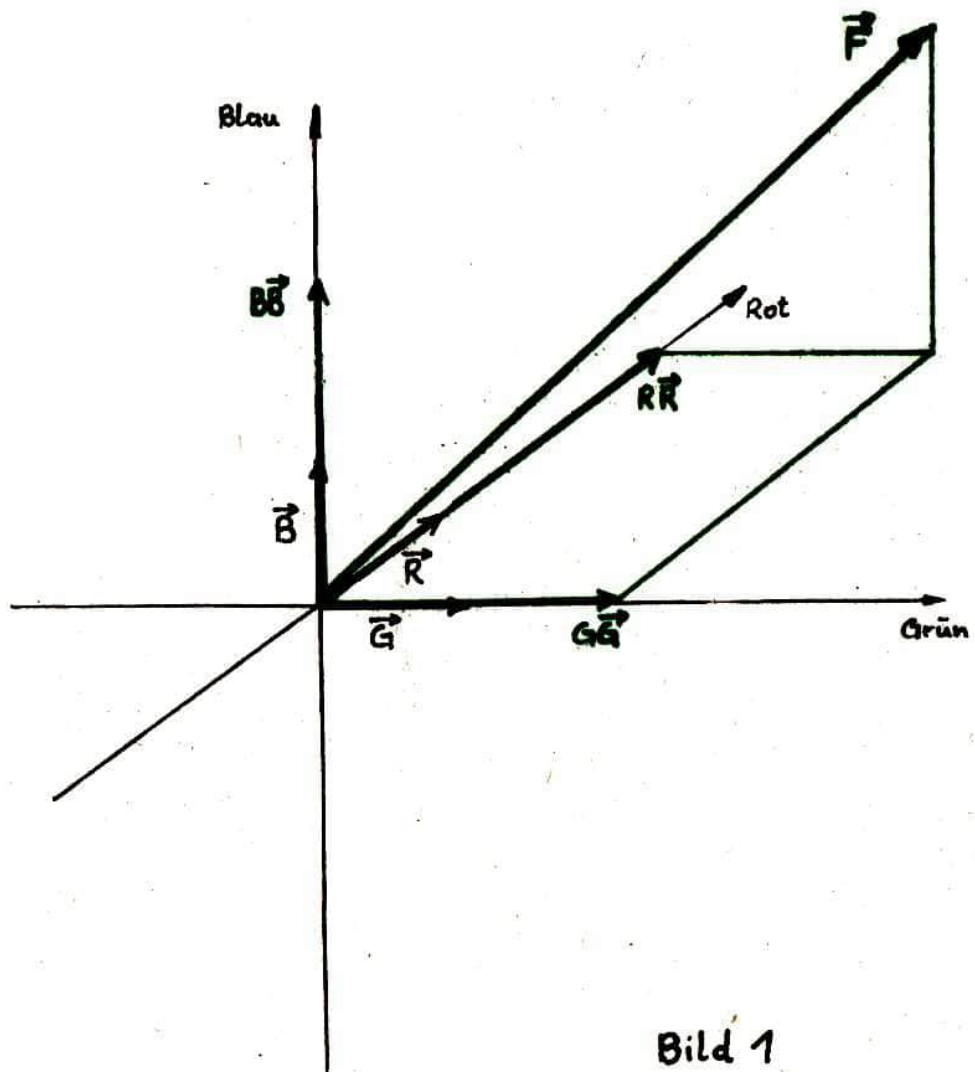


Bild 1

gestellt werden müssen, um bei additiver Mischung eine vorliegende Farbe zu synthetisieren, können an den Achsen eines kartesischen Koordinatensystems angetragen werden. Der resultierende Vektor ist dann die geometrische Darstellung unserer fraglichen Farbe.

Die drei Komponenten werden hier als trichromatische Maßzahlen bezeichnet, weil sie die Helligkeitswerte dreier Farben darstellen. Wir werden noch sehen, daß es auch andere Möglichkeiten gibt. Mathematisch läßt sich ein Farbmischungsexperiment durch eine Gleichung

$$\vec{F} = R\vec{R} + G\vec{G} + B\vec{B}$$

darstellen.

Es gibt nun allerdings Farben, die wir aus obengenannten Primärvalenzen nicht ermischen können. Zum Beispiel das spektrale Blaugrün von 490 nm Wellenlänge. Man erhält zwar bei geeigneter Mischung von G und B den entsprechenden Farbton, aber viel zu ungesättigt (verweißlicht). Mischt man aber zu dem Blaugrün einen bestimmten Anteil unseres Primärrotes R, so kann man Farbgleichheit mit einer entsprechenden Mischung von G und B herstellen. Dem entspricht die Farbgleichung

$$\vec{F} + R\vec{R} = G\vec{G} + B\vec{B} \quad \text{bzw.} \quad \vec{F} = -R\vec{R} + G\vec{G} + B\vec{B}.$$

Im Unterschied zu der obigen eigentlichen (oder inneren) spricht man hier von uneigentlicher (oder äußerer) Farbmischung. Das Problem besteht offensichtlich darin, daß man eine Primärvalenz zwar mathematisch mit einer negativen Zahl multiplizieren kann, aber nicht praktisch die entsprechende Farbe negativer Helligkeit realisieren kann.

Wenn den Primärvalenzen die positiven Richtungen eines rechtwinkligen Koordinatensystems zugeordnet sind, so lassen sich durch eigentliche Mischung nur diejenigen Farbvalenzen darstellen, die innerhalb (deshalb auch innere Farbmischung) des Achtels des Raumes liegen, wo alle Komponenten positiv sind. Nimmt man die äußere Farbmischung hinzu, so lassen sich alle Farben mit den drei Primärvalenzen ermischen. Dann hat man, wie im Falle des spektralen Blaugrüns von 490 nm, auch Farben mit negativen Komponenten.

Informationskasten

- Als Linearkombination von Vektoren bezeichnet man eine Summe aus Vielfachen dieser Vektoren

$$a_1 \vec{x}_1 + a_2 \vec{x}_2 + \dots + a_n \vec{x}_n \quad (a_1, \dots, a_n \text{ reell})$$

- Als linear unabhängig bezeichnet man einen Satz von Vektoren, wenn sich keiner dieser Vektoren als Linearkombination der anderen darstellen läßt oder wenn gleichbedeutend damit

$$a_1 \vec{x}_1 + a_2 \vec{x}_2 + \dots + a_n \vec{x}_n = 0$$

nur dann erfüllbar ist, wenn alle Koeffizienten a_1, \dots, a_n Null werden.

- Die maximale Anzahl linear unabhängiger Vektoren ist gleich der Dimension des entsprechenden Vektorraumes. Jeder Satz maximal vieler linear unabhängiger Vektoren in einem Vektorraum ist ein vollständiger Satz linear unabhängiger Vektoren und kann als Basis des Vektorraumes dienen, da sich alle Vektoren desselben als Linearkombination der Basisvektoren darstellen lassen. Hat ein Vektor y die Basisdarstellung

$$\vec{y} = a_1 \vec{x}_1 + a_2 \vec{x}_2 + \dots + a_n \vec{x}_n,$$

so heißen die Koeffizienten a_1 bis a_n Komponenten des Vektors \vec{y} bezüglich der Basis $(\vec{x}_1, \dots, \vec{x}_n)$.

- Als ein Beispiel sei der Vektorraum der Ortsvektoren der x - y -Ebene genannt. Er ist zweidimensional. Eine Basis bilden z.B. die beiden Einheitsvektoren i und j entlang der x - bzw. der y -Achse. Maximal zwei Vektoren der Ebene sind linear unabhängig, denn jeder dritte ließe sich als Linearkombination der beiden linear unabhängigen Vektoren darstellen. Nicht linear unabhängig sind alle Vektoren, die gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind.

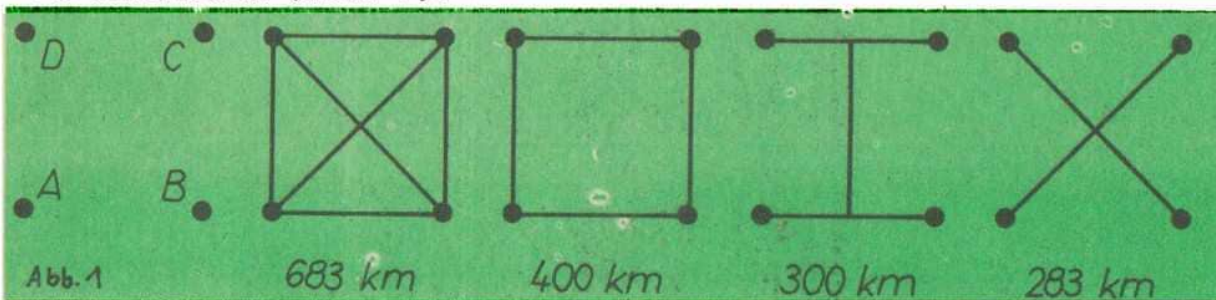


Wohl jeder hat schon einmal mittels Fingerring und Strohhalm Seifenblasen fabriziert und sich an ihren herrlichen Interferenzfarben erfreut. So unterschiedlich die Seifenblasen auch in ihren Farben sind, so einheitlich sind sie in ihrer Form: Es entstehen stets Kugeln. Warum eigentlich?

Wenn wir eine der Seifenblasen anpusten, wird sie deformiert. Sobald wir aber aufhören, bildet sich die Kugelform zurück. Die Kugel ist also eine stabile Gleichgewichtsform. Solche Gleichgewichtsformen werden mit Hilfe der Thermodynamik theoretisch behandelt. Wenden wir die Prinzipien der Thermodynamik auf unser Problem an, so erhält man als Hauptergebnis: Ein Körper, der seine Form ändern kann und auf den keine äußeren Kräfte wirken, strebt im Gleichgewicht eine minimale Oberfläche an. Bei gegebenem Volumen ist aber die Kugel der Körper mit der kleinsten Oberfläche. Deshalb entstehen stets Kugeln, wenn der Seifenfilm nicht durch andere Körper begrenzt wird. Nach den obengenannten Prinzipien bildet ein Seifenfilm aber auch Minimalflächen (Flächen geringster Oberflächengröße) aus, wenn er zwischen irgendwelchen Rahmen aufgespannt wird: In einem Drahtring entsteht so ein ebener Seifenfilm. Wir wollen jetzt untersuchen, ob man das ausnutzen kann.

In der Mathematik gibt es eine Reihe von Problemen, die sich zwar leicht formulieren lassen, die aber sehr schwer analytisch zu lösen sind. Eine solche Aufgabenstellung besteht z.B. darin, n Punkte so zu verbinden, daß die Gesamtlänge des Liniensystems minimal wird. Dieses Problem entsteht, wenn Rohrleitungen oder Kabel mit möglichst geringem Materialaufwand verlegt werden sollen. Einfach ist die Aufgabe bei zwei Punkten zu lösen, da der kürzeste Weg zwischen zwei Punkten – wie jeder weiß – eine Gerade ist. Doch wie sieht das bei drei oder

mehr Punkten aus? Wir stellen uns folgendes Problem vor:
 Vier Städte liegen an den Eckpunkten eines Quadrates mit der
 Seitenlänge $a = 100$ km. Welches ist der kürzeste Gesamtweg
 zwischen den Städten? Wir versuchen die Lösung durch Probieren
 zu ermitteln (Abb. 1).



Ist die letzte Variante die Lösung? Wir befragen den Seifenfilm. Auf einer Platte befestigen wir 4 Stifte, deren Abstände denen in der Wirklichkeit ähnlich sind (Abb. 2a). Darauf legen wir eine Deckplatte und tauchen das Ganze in eine Seifenlösung. Beim Herausziehen der Platte bilden sich zwischen den Stiften Seifenlamellen, die von oben betrachtet Geraden ergeben (Abb. 2b). Diese Geraden sind die kürzeste Verbindung zwischen den 4 Punkten.

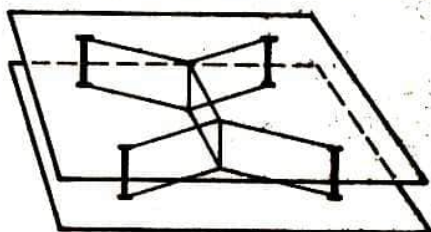


Abb. 2a

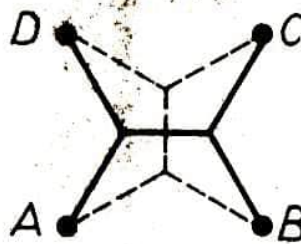


Abb. 2b 273 km

Die gestrichelten Linien in Abb. 2 bedeuten:
 Wenn der Seifenfilm von außen gestört wird (z.B. durch leichtes Anblasen), kann er in eine andere Konfiguration (gestrichelt) umspringen. Diese hat aber dieselbe Gesamtlänge.
 Mögliche Lösungen für 3 bis 6 Punkte sind in Abb. 3 gezeigt.

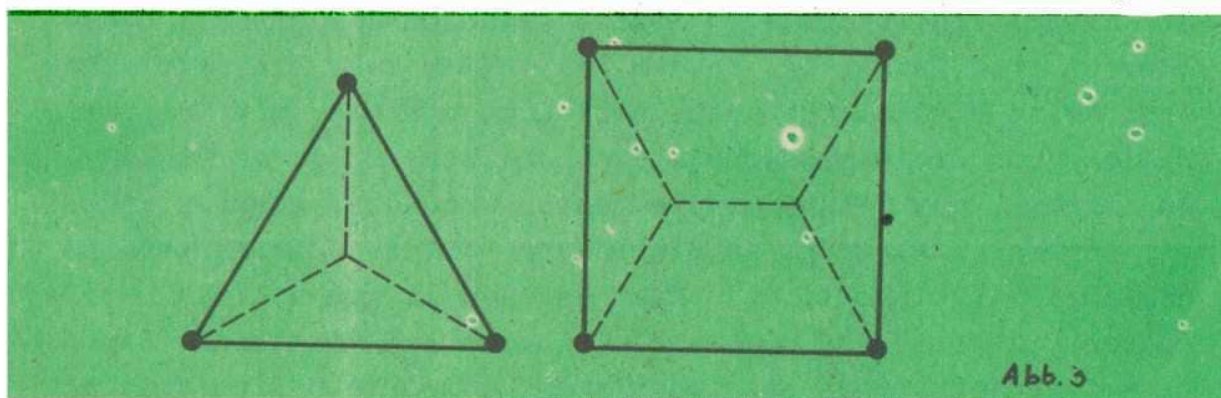
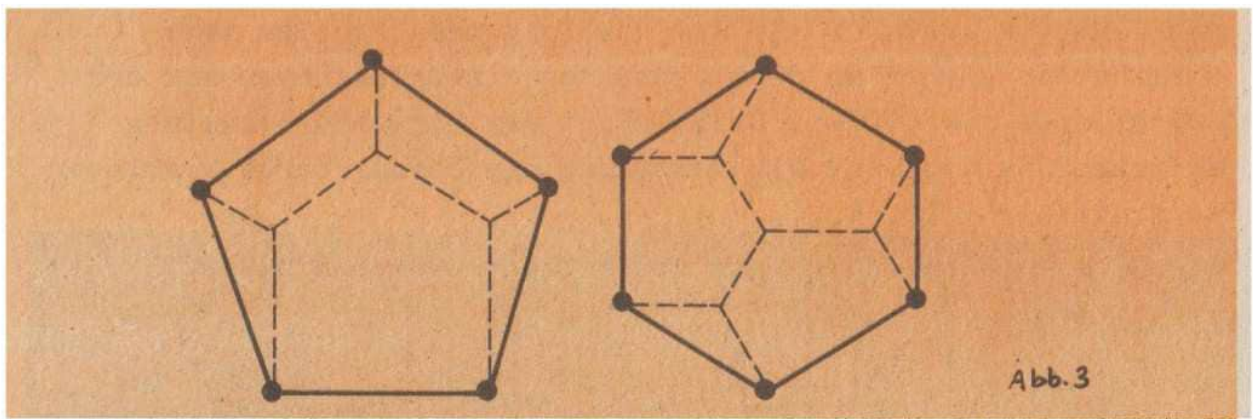
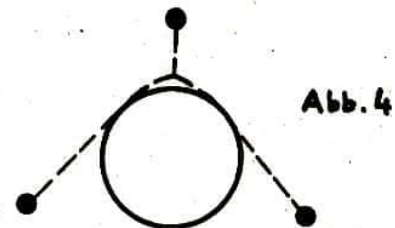


Abb. 3



Es kann natürlich sein, daß genau zwischen drei Städten ein See liegt. Auch dieses Problem können wir mit dem Seifenfilm behandeln. Wenn wir auf unserer Platte zwischen den 3 Stiften noch einen Zylinder (den "See") befestigen, so bildet der Seifenfilm Flächen, die die kürzeste Verbindung der Städte um den See herum darstellen (Abb. 4).

Untersucht man die Konfigurationen des Seifenfilms, so kann man Gesetzmäßigkeiten feststellen:



- Die Lösungen können Schnittpunkte enthalten. Bei n -Ecken sind es höchstens $(n-2)$ Schnittpunkte.
- In jedem Schnittpunkt treffen sich genau drei Linien unter einem Winkel von 120° .
- Von jedem Eckpunkt gehen höchstens 2 Linien aus (Winkel $\geq 120^\circ$).
- Es sind oft mehrere Konfigurationen möglich, man erreicht sie durch Störung von außen (Anblasen). Sie verdeutlichen verschiedene Gleichgewichtszustände des Seifenfilms.

Bisher haben wir zweidimensionale Probleme gelöst, indem wir sie in dreidimensionale (4 Stifte zwischen 2 Platten!) überführten. Das ist nötig, da der Seifenfilm zwar Minimalflächen, aber keine Minimalwege ausbildet. Kann man aber mit Seifenlamellen auch dreidimensionale Probleme lösen? Wir versuchen das an Körpern, von denen nur die Kanten und Ecken gegeben sind. Wir tauchen zwei Ringe in die Lösung, die so angeordnet sind, daß ihre Mittelpunkte auf einer Geraden liegen und die Durchmesser senkrecht auf dieser Linie stehen. Hält man die Ringe zu weit auseinander, entstehen zwei getrennte Seifenlamellen. Bei kleinerem Abstand bildet der Seifenfilm eine Rotationsfläche zwischen den Ringen aus (Abb. 5a). In Abb. 5b sehen

wir die Fläche, die an einem räumlich schiefen Viereck entsteht. Ein Architekt kann solche und ähnliche Formen für den Entwurf der Dachfläche einer Tragwerkkonstruktion nutzen.

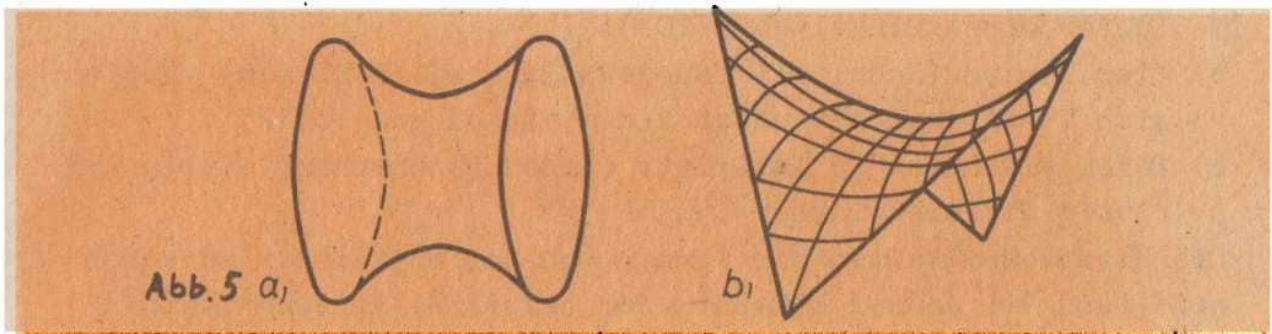
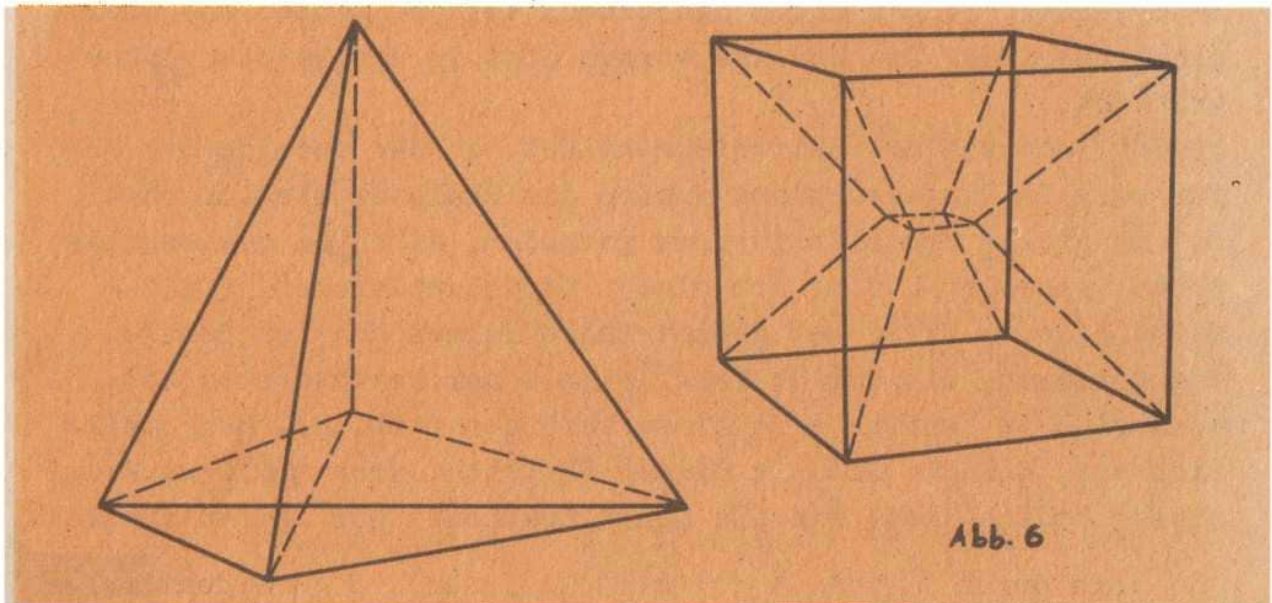
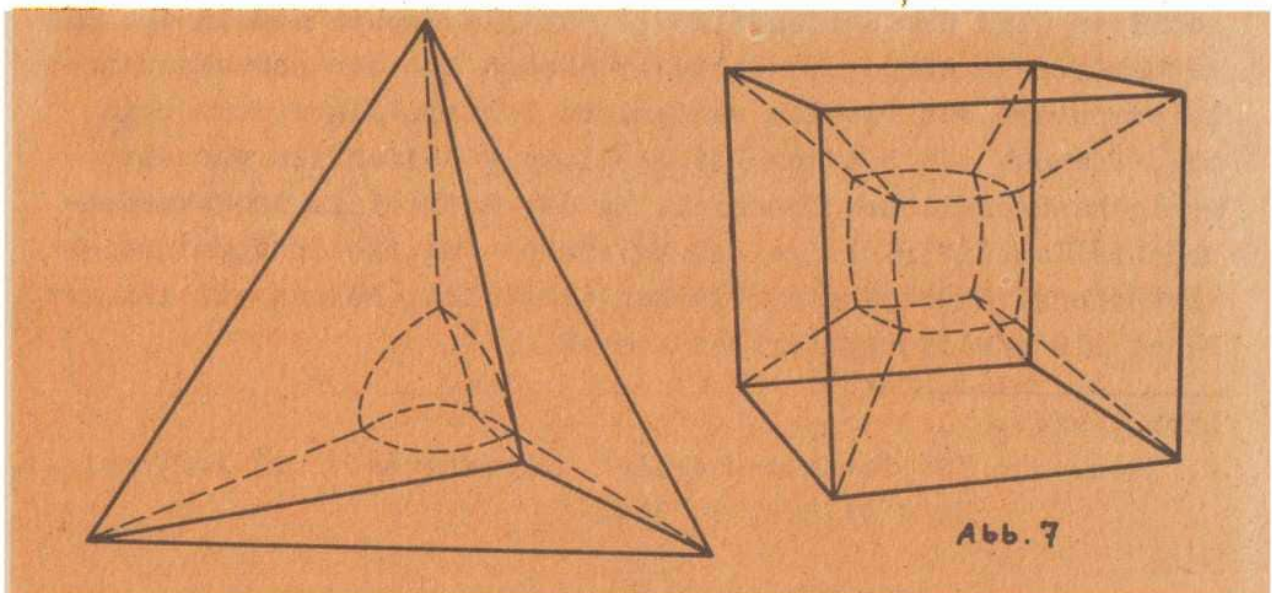


Abb. 6 zeigt die Minimalflächen, die sich in einem Würfel und in einem Tetraeder bilden.



Es ist auch möglich, daß in den Konfigurationen Blasen entstehen. Beispiele dafür sind in Abb. 7 dargestellt. In diesen Fällen fügen sich die Blasen in die Symmetrie des Rahmens ein.



Durch Beobachtung stellt man auch bei den Flächen in den Rahmen Gesetzmäßigkeiten fest:

- a) Entlang einer Linie treffen genau 3 Flächen aufeinander (unter einem Winkel von 120°).
- b) Vier Linien (Schnittlinien jeweils dreier Flächen) treffen sich in einem Punkt unter einem Winkel von $109^\circ 28'$.
- c) Jedes Flächenstück ist glatt (genau gesprochen, stetig und stetig differenzierbar).

Die Gesetzmäßigkeiten der Formen von Seifenfilmen sind schon seit rund 100 Jahren bekannt. Der belgische Forscher Antoine Ferdinand Plateau (1801-1833) zeigte als erster, daß dreidimensionale Probleme mittels Seifenfilmen gelöst werden können. Er erkannte die genannten Gesetzmäßigkeiten, konnte sie aber nicht beweisen. Die Beweise wurden erst in den letzten Jahren erbracht.

Formen, wie sie der Seifenfilm bildet, kommen auch in der Natur vor. Im Tiefseeschlamm wurden die Skelettreste von etwa 0,1 mm großen Strahlentierchen gefunden, also von mikroskopischen Einzellern. Eine Art dieser Strahlentierchen (*Callimitra agnesae* Hkl.) hat geometrische Formen ähnlich den Konfigurationen, die der Seifenfilm in einem Tetraeder bildet, wenn sich im Zentrum eine Blase befindet (Abb. 8). Man stellt sich vor, daß die Bildung dieser Skelette durch ähnliche Prinzipien bedingt ist, wie die Konfigurationen der Seifenlamellen.

Wie wir gesehen haben, kann man den Seifenfilm bei allen Problemen, bei denen Minimalflächen oder -wege im Spiel sind, anstelle eines Computers benutzen. Auf Grund seiner Eigenschaften wird der Seifenfilm als physikalisches Modell für die mathematische Lösung verwendet. Während bei den normalen Analogcomputern das Problem wenigstens formelmäßig erfaßt sein muß, braucht man bei der Lösung mittels Seifenfilm nur ein wenig handwerkliches Geschick. Da der Seifenfilm in Sekundenbruchteilen die richtige Lösung findet und sie in Form dreidimensional angeordneter Flächen darstellt, können wir ihn mit Recht als Analogcomputer bezeichnen.

Literatur:

C. Isenberg: "Seifenfilm-Modelle", Wissenschaft und Fortschritt, Heft 9/1982, S. 334.

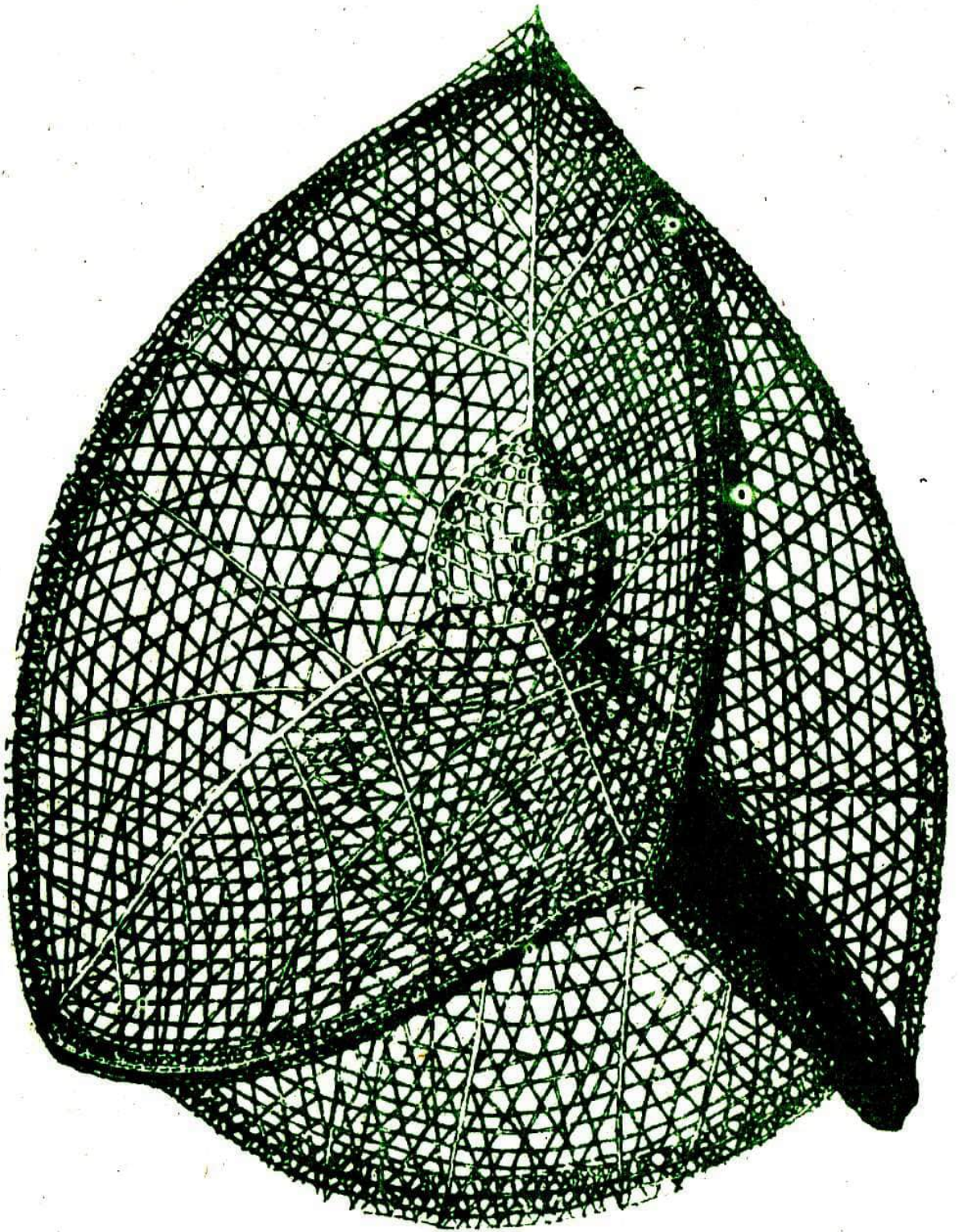


Abb. 8



So manchem dicken

ENDE

ging ein dünner

ANFANG

voraus

Es gibt mündliche Wasserfälle, unter die man sich besser nicht stellen sollte.

G.W. Heyse



68

Impuls

Schülerzeitschrift für

PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

4/84

INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 18. Jg.

Mikro-
elektronik
– leicht-
verständlich –
(Schluß)

★

Der
Magische
Würfel

★

Chemische
Thermo-
dynamik

★

Mosaik



Farbmetrik

★

Büchermarkt

★

Titelbild:
Der Schuß
des Wilhelm
Tell –
zeitgemäß
(Montage
S. W.)

GRUNDLAGEN DER SCHWARZWEISS-
UND FARBFOTOGRAFIE – von Stefan Winter –



Stefan Winter	Physikalisch-chemische Grundlagen der Schwarzweiß- und Farbfotografie – Teil 1 –	PHY, CHE	3
Thomas Glomb	Der Magische Würfel – logisch einfach geknackt –		10
Dr. Manfred Wolff	Mikroelektronik – leichtverständlich Teil 12: Volladder	PHY	18
	MOSAİK		26
Carsten Kruse	Büchermarkt		27
Dr. Bernd Schröder	Farbmetrik – Messen von Farben (Teil 2)	PHY	29
Dr. G. Hüller H. Lich	Chemische Thermodynamik (Teil 3)	CHE	42

impuls 68 – SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“.

Anschrift der Redaktion: 6900 Jena, Max-Wien-Platz 1, Telefon 82-26286.

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR.

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: –,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb.

Satz und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht Gera, AN (EDV) 13228

REDAKTION:

Dipl.-Phys. Achim Dittmar (Chefredakteur), Dipl.-Phys. Michael Kaschke (stellv. Chefredakteur), Dr. Rosemarie Hild (Finanzen), Dr. Roland Colditz (Chemie), Dr. Jürgen Sauerstein (Biologie), Dipl.-Chem. Gabi Welsch (Gestaltung), Elke Schönheinz (Korrektur, Gestaltung), Silvia Butters (Gestaltung), Antje Schlegel (Öffentlichkeitsarbeit), Stefan Winter (Fotografie), Kerstin Leibling (Buchführung)

Die Redaktion wurde 1969 und 1980 mit dem Ehrentitel „Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR“ ausgezeichnet.

Gestaltung: Antje Schlegel

Redaktionsschluß: 18. 5. 1984

Jahr für Jahr - besonders in den Sommermonaten - drücken sicher viele von Ihnen auf den Auslöser ihrer Kamera, um Erinnerungswertes und Schönes im Bild festzuhalten. Selbst der Wunsch, seine Umgebung in ihren natürlichen Farben festzuhalten, ist schon seit einigen Jahrzehnten auch für den Amateur erfüllbar. Hält man später die fertigen Fotos in der Hand, egal ob man die Verarbeitung einem Fotolabor überläßt oder ob man selbst in der Dunkelkammer agiert, so wird sich vielleicht mancher in einer Musestunde schon einmal gefragt haben: Wie funktioniert eigentlich ein Schwarzweiß- oder ein Farbfilm? Was passiert chemisch und physikalisch bei der Entwicklung? Warum zeigen manche Filme sofort ein positives Bild, andere ein negatives?

Auf diese und weitere wichtige Detailfragen will der folgende Artikel einige grundlegende und allgemeinverständliche Antworten geben. Dabei wollen wir uns zunächst mit der Schwarzweiß-Technik beschäftigen, da sich das dort Erkannte auch in der Farbfotografie immer wiederfindet.

1. Wie kommt der Film zu seinem „Langzeitgedächtnis“?

Sicher ist jedem die Tatsache bekannt, daß der Film eine lichtempfindliche Schicht besitzt, die unser Bild aufzeichnet. Sie ist auf ein Trägermaterial aus Acetylzellulose aufgebracht. Unentwickelte Filme sind auf ihrer Rückseite meist grau-grünlich gefärbt. Das ist die Lichthofschuttschicht. Sie soll vermeiden, daß Reflexionen von der Ober- und Unterseite der Trägerschicht zu einer Überstrahlung der Lichter im Bild (Lichthof) führt. Bei der Verarbeitung (meist beim Fixieren) wird diese Schicht zerstört, der Film wird klar.

Den prinzipiellen Aufbau eines Schwarz-Weiß-Films zeigt Abb.1.

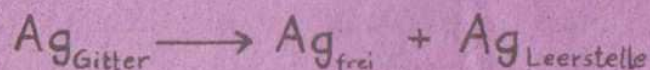


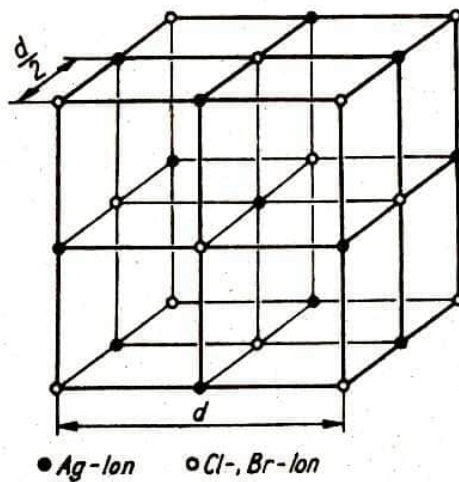
Abb. 1

Drückt man auf den Kameraauslöser, so wird auf den eingelegten Film durch das Objektiv kurzzeitig das Bild, das wir gerade "anvisiert" haben, projiziert. Bereits eine sehr kurze Zeit genügt, um alle Bildinformationen im Film zu speichern. In der lichtempfindlichen Schicht müssen also während der Belichtung Veränderungen eintreten, die auch nach dem "Abschalten" des Lichtstromes nicht mehr verschwinden. Unser Film "merkt" sich also das aufgenommene Bild. Dabei ist dieses nicht etwa schon auf dem Film sichtbar, sondern nur als sogenanntes latentes Bild vorhanden, das man selbst mit mikroskopischen (auch elektronenmikroskopischen) Mitteln nicht sehen kann. Erst durch die spätere Entwicklung wird es sichtbar.

Die lichtempfindliche Schicht unserer heutigen Schwarz-Weiß-Filme besteht aus in Gelatine eingelagerten Kristallen aus Silberhalogeniden. Das sind Verbindungen des Silbers mit Elementen der 7. Hauptgruppe des PSE, z.B. AgBr, AgI. In Bild 2 ist der Kristallaufbau dieser Verbindungen dargestellt.

Wären die kleinen Kristallite allerdings so regelmäßig (perfekt) gebaut, wie das Bild 2 zeigt, dann wären sie nicht lichtempfindlich. Erst Störungen des Kristallaufbaus speziell durch eingebaute Fremdatome (z.B. Schwefel oder Gold), bilden sogenannte Empfindlichkeitszentren. Sie bilden Elektronenfallen, die die bei der Belichtung entstehenden freien Elektronen einfangen. Eine andere für den fotografischen Prozeß wichtige Störung des Kristallaufbaus ist die Frenckel-Fehlordnung. Hierbei sitzen manche Silberionen nicht auf ihrem regulären Gitterplätzen, sondern beliebig zwischen den durch die Atome gebildeten "Gitterstäben". Sie lassen dabei negativ geladene "Löcher" im Kristallgitter zurück:

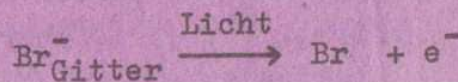




Kubisch
flächenzentriertes Gitter von
AgCl und AgBr

Abb.2

Bei der chemischen Reifung werden im Herstellungsprozeß der Filme solche Kristallstörungen erzeugt. Wird die so vorliegende Emulsion belichtet, läuft als fotochemischer Primärprozeß die Spaltung eines Bromidions im Kristallgitter des Silberbromids in ein neutrales Bromatom und ein Elektron ab. Dazu ist ein Lichtquant bestimmter Energie nötig.



Das Elektron ist leicht beweglich und verbleibt solange im Leitfähigkeitsband (d.h. ungebunden), bis es in eine der Elektronenfallen gerät und diese negativ auflädt.

Im Kristall bleibt ein positives "Loch" zurück, weil dem Bromion ja ein Elektron fehlt. Damit dieses positive Loch kein Elektron wegfängt, wird es an anderer Stelle im Kristall neutralisiert. Das Bromatom kann aus dem Kristallverband entweichen. Die durch das eingefangene Elektron negativ geladene Elektronenfalle kann nun ein Silberion, das sich relativ frei beweglich auf Zwischengitterplätzen befindet und positiv geladen ist, anziehen und entladen. Es entsteht ein neutrales Silberatom. Dieses stellt eine tiefere Elektronenfalle als die bei der chemischen Reifung gebildeten dar. Die Elektronenfalle fängt sich wieder ein Elektron ein und entlädt ein Silberion. So entstehen winzige Spuren von metallischem Silber, die das latente Bild erzeugen.

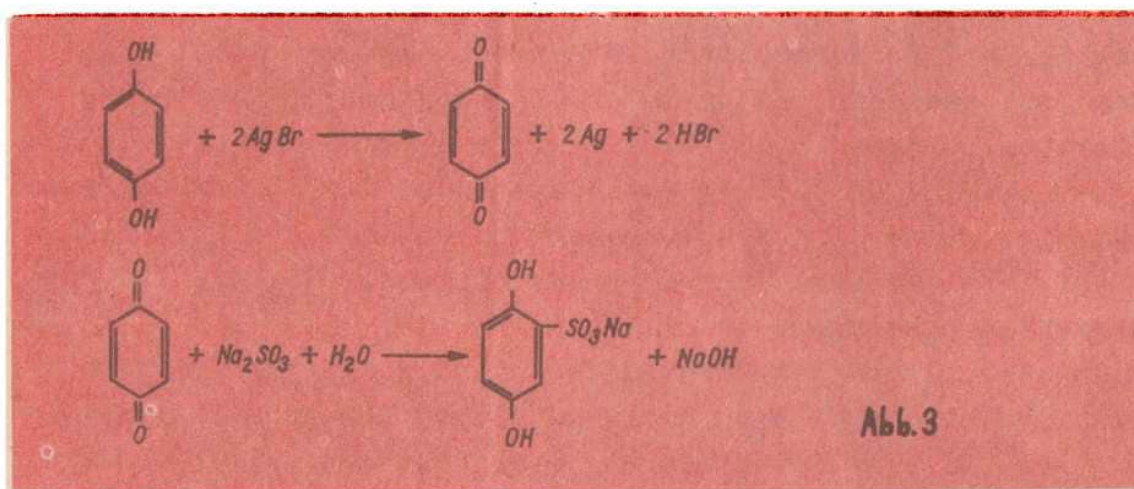
Die Entstehung des latenten Bildes ist ein differenzierter Prozeß, der bis heute noch nicht in all seinen Einzelheiten geklärt ist. Es existieren mehrere Theorien dazu. Die hier dargestellten Prinzipien gelten aber als gesichert.

2. Vom latenten zum sichtbaren Bild

In der Anfangszeit der Fotografie (1820-1835) waren enorm lange Belichtungszeiten nötig (etwa 8 Stunden bei strahlendem Sonnenschein), um ein sichtbares Bild auf der Fotoplatte zu erzeugen. Die im vorigen Abschnitt beschriebene Bildung von metallischem Silber unter Einwirkung von Licht wurde eben solange fortgeführt, bis das Bild sichtbar wurde. Der Prozeß der Entwicklung war noch nicht bekannt. Daquerre entdeckte 1835 diesen Prozeß zufällig, als er belichtete Fotoplatten zusammen mit offenem Quecksilber lagerte. Das Quecksilber verstärkte das latente Bild so, daß es sichtbar wurde.

Chemische Substanzen sind also in der Lage, die Bildung von metallischem Silber an den belichteten Stellen zu beschleunigen. Dabei setzt sich eigentlich der Prozeß, der zur Entstehung des latenten Bildes geführt hatte, fort, nur mit höherer Geschwindigkeit und ohne Einwirkung von Licht. Der fotochemische Primärprozeß, die Abspaltung des Elektrons vom Bromion, läuft nicht ab. Dagegen liefert der Entwickler die notwendigen Elektronen, er wird oxydiert. Nur die Silberatome - Bildkeime genannt - fangen die Elektronen ein und ziehen ein weiteres Silberion an. Dieser Prozeß wiederholt sich wechselseitig, der Keim wächst, bis das ganze Korn zu Bildsilber reduziert ist. Die Halogenidionen gehen in Lösung.

Heute verwendet man zur Entwicklung nicht mehr Quecksilberdämpfe, da diese stark gesundheitsschädigend sind und auch noch andere Nachteile haben. Man benutzt heute Derivate des Benzens, z.B. Hydrochinon. Dann läuft bei der Entwicklung bruttonmäßig folgende Reaktion ab: (Abb. 3).



So bilden sich an den Stellen des Films, die von Licht getroffen wurden, dunkle Gebiete in der Emulsion, ein negatives Bild des Objektes entsteht.

Neben dem entwickelten Silberbild liegt in der Emulsion aber immer noch unbelichtetes Silberbromid vor, das weiterhin lichtempfindlich ist. Es muß, bevor der Film dem Licht ausgesetzt werden darf, entfernt werden. Dieser Verarbeitungsgang wird als Fixieren bezeichnet. Wie bereits vor 140 Jahren von Herschel vorgeschlagen, benutzt man dazu eine wässrige angesäuerte Lösung von Natriumthiosulfat $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Dabei wird das unlösliche Silberbromid in eine lösliche Komplexverbindung $\text{Na}_3 [\text{Ag} (\text{S}_2\text{O}_3)_2]$, $\text{Na}_5 [\text{Ag} (\text{S}_2\text{O}_3)_3]$ überführt und aus der Emulsion ausgewaschen.

2.1. Umkehrentwicklung

Will man als Resultat des Entwicklungsprozesses kein Negativ, sondern ein Positiv erhalten - wie bei Diapositiven - müssen noch drei Verarbeitungsschritte vor das Fixieren geschaltet werden. Bei der Erstentwicklung entsteht zunächst auch ein negatives Bild aus metallischem Silber. Es schließt sich ein Bleichvorgang an, bei dem das gebildete metallische Silber aus der Emulsion gelöst wird, nicht aber das noch unbelichtete Silberbromid. Danach wird der Film diffusem Licht ausgesetzt. Die in der Schicht verbliebenen Silberbromidkristalle werden belichtet und in der darauffolgenden Zweitentwicklung zum Silberbild entwickelt. Es ist also jetzt an den Stellen Bildsilber entstanden, wo bei der Belichtung in der Kamera kein Licht den Film traf. Die vom Licht getroffenen Stellen sind klar, denn das bei der Erstentwicklung gebildete Silber wurde im Bleichbad herausgelöst. Es war dort kein Silberbromid mehr vorhanden, was bei der Einwirkung von diffusem Licht hätte belichtet werden können. Im Endeffekt erhält man so ein Positiv. Dieses Verfahren besitzt auch bei der Farbdia-Entwicklung Bedeutung.

3. Wie der Film farbtüchtig wird

Die Silberhalogenide der fotografischen Emulsion sind zunächst nur für blaues Licht empfindlich. Die Lichtquanten des grünen bis roten Bereiches besitzen nicht genügend Energie, um ein Elektron aus dem Bromion abzulösen. Man erreicht deshalb keine tonwertrichtige Wiedergabe von Farben in den entsprechenden

Grautönen, außerdem wären solche Emulsionen für die Farbfotografie ungeeignet.

Die Schicht muß daher für das gesamte sichtbare Licht empfindlich gemacht werden. Dieser Vorgang heißt spektrale Sensibilisierung. Hierzu werden Farbstoffe benutzt, die in den gewünschten Spektralbereichen absorbieren. Sie werden durch Absorption von Lichtquanten angeregt und geben ihre Energie an den Silberbromidkristall weiter, womit das latente Bild aufgebaut wird. Soll z.B. eine Schicht neben der bereits vorhandenen Empfindlichkeit noch für Grün empfindlich gemacht werden, so muß ein Farbstoff gewählt werden, der Grün absorbiert, also purpurne Farbe besitzt. Solche Schichten heißen orthochromatisch. Panchromatische Emulsionen sind zusätzlich noch für Rot - und damit dann für den gesamten sichtbaren Bereich empfindlich (Abb. 4).

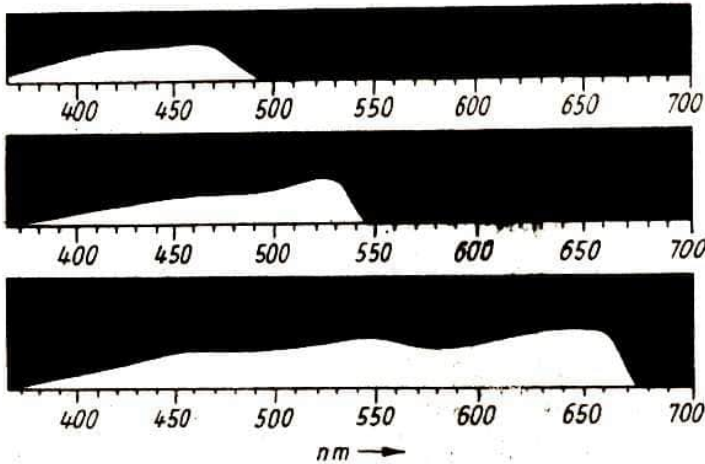


Abb. 4

Empfindlichkeitsspektren (Oben: unsensibilisierte AgBr-Emulsion; Mitte: orthochromatische Emulsion; Unten: panchromatische Emulsion.)

Als Sensibilisierungsfarbstoff haben - neben vielen anderen - die Thiocyanine Bedeutung: (Abb. 5). Durch Variation der Kettenlänge - $(CH=CH)_n$ - $CH=$ können die Absorptionsmaxima über weite Wellenlängenbereiche verschoben werden (siehe Tabelle Abb. 5).

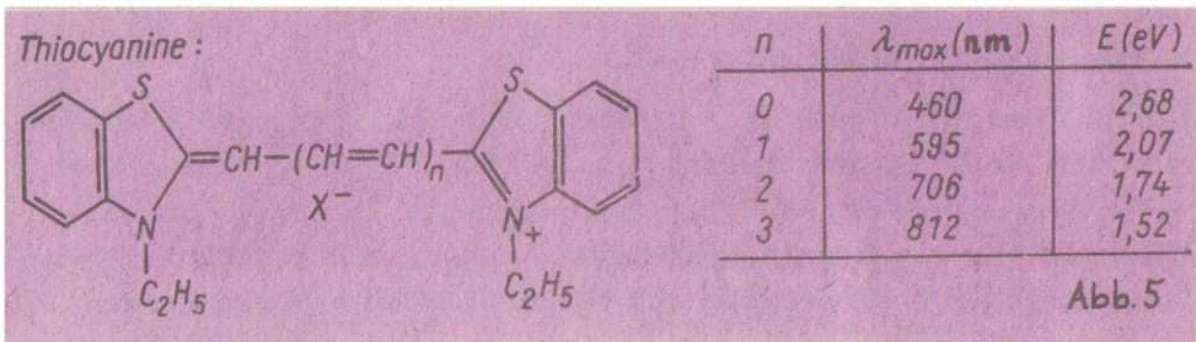
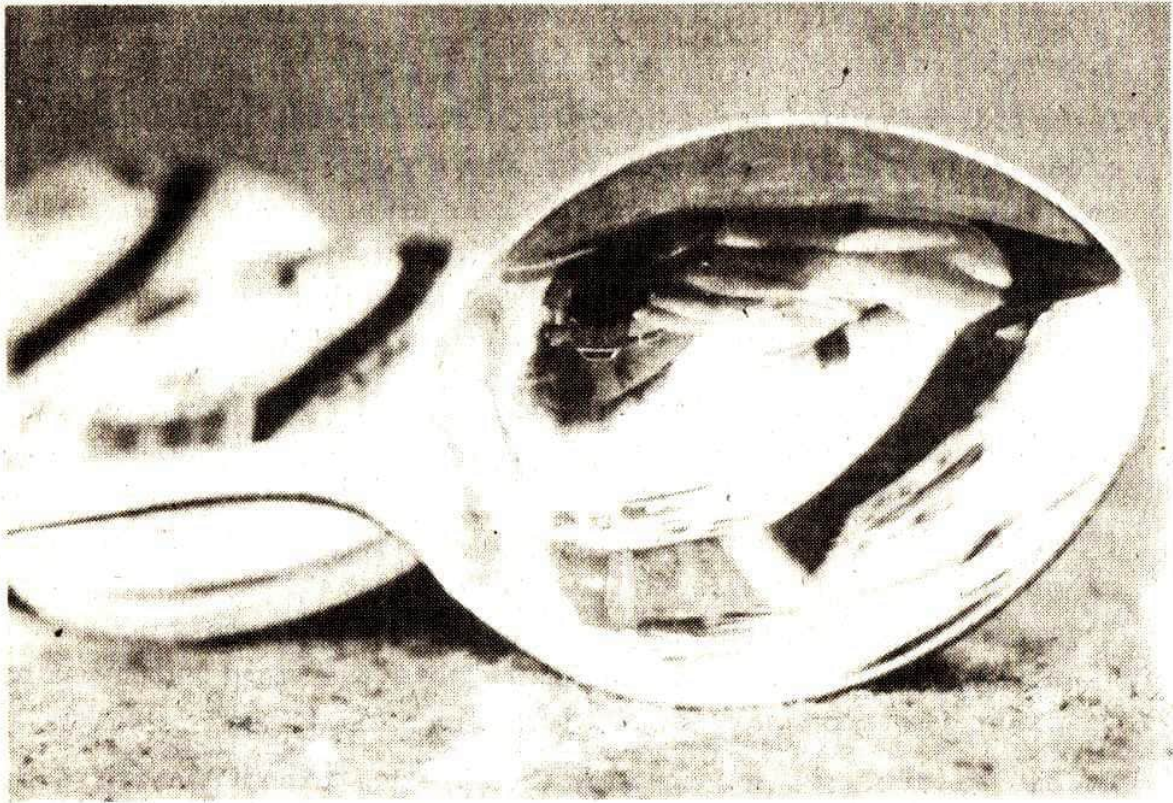


Abb. 5

Nachdem im ersten Teil dieses Artikels einige grundlegende Probleme des fotografischen Verfahrens beleuchtet wurden, wollen wir uns im zweiten Teil speziell der Farbfotografie zuwenden.



OHNE WORTE

(Aufnahme: S. W.)

*Farbe wirkt unmittelbar auf uns,
auf unsere Sinne.*

*Das Farbenfreudige macht uns heiter,
düstere, dunkle Farben stimmen uns ernst.*

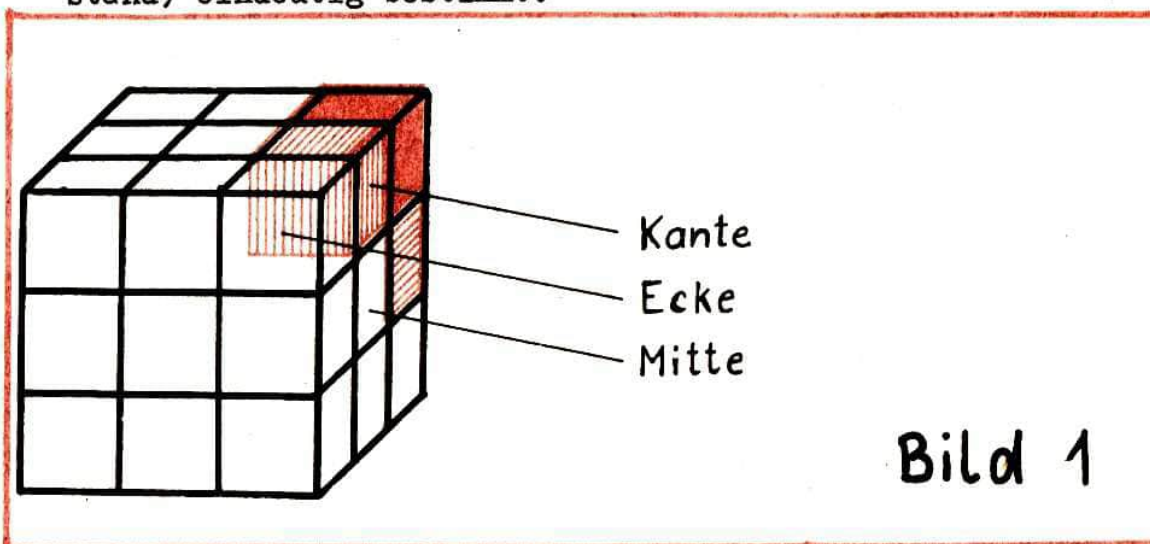
L. Grundig

Natürlich kann man den Zauberwürfel "knacken", indem man einen vorgegebenen Lösungsalgorithmus auswendig lernt. Doch schon beim nächsten logischen Prozeß braucht man einen neuen Algorithmus. Versucht man jedoch die Grundprinzipien zu erkennen, kann man diese auf die meisten Verwandten des Zauberwürfels übertragen. Im weiteren werden einfache Betrachtungen angestellt und Fragen beantwortet, die schließlich zu einem logisch einfachen Algorithmus führen, der mit nur einer "universellen" Drehfolge auskommt.

(Hinweis: Es ist günstig, wenn man sich einen Würfel zur Hand nimmt und beim Weiterlesen gleich "mitdreht").

Beim ersten Ansehen des Würfels bemerkt man folgendes:

1. die Segmentseiten - Ecke, Kante, Mitte - sind untereinander nicht vertauschbar (Bild 1)
2. die Mitten können ihre Lage zueinander nicht ändern, d.h.
3. die Lage der einzelnen Segmente ist (im geordneten Endzustand) eindeutig bestimmt.



Ausschlaggebend für die endgültige Lage sind die 3 Farben einer Ecke und die 2 Farben einer Kante. Prinzipiell existieren 2 Arten der Unordnung: die Segmente befinden sich am falschen Platz oder am richtigen Platz aber mit vertauschten Farben. D.h. die Kante ist entweder geordnet oder gekippt. Sie besitzt also 2 mögliche Orientierungen. Analog hat eine Ecke 3 Orientierungen.

Bevor es richtig losgeht, muß man eine (inzwischen international übliche) Schreibweise einführen, um die Züge und deren Wirkung geeignet notieren zu können. Der Würfel wird von jetzt an immer so gehalten, daß seine Flächen oben, unten, rechts, links, vorn und hinten liegen (diese Bezeichnungsweise ersetzt die Farben). Ein Segment oder sein Stammplatz wird nun mit kleinen Anfangsbuchstaben seiner Lage gekennzeichnet. Z.B. ist ov der oben - vorn liegende Kantenplatz und gleichzeitig die dorthin gehörige Kante, ovr der oben - vorn - rechts liegende Eckplatz oder die entsprechende Ecke (Bild 2).

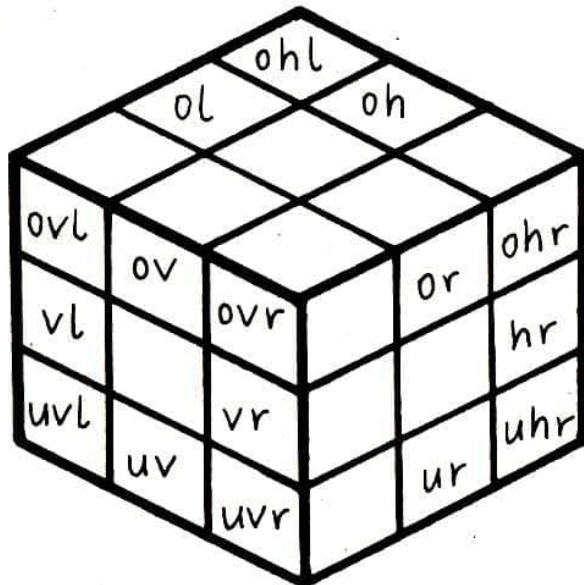


Bild 2

Die Reihenfolge der Kleinbuchstaben ist für eine Bezeichnung der Stellung beliebig, später jedoch (Zyklendarstellung) von Bedeutung.

Ein Scheibenzug (\triangleq -drehung) wird mit großen Buchstaben bezeichnet. So bedeutet R eine 90° -Drehung der rechten Scheibe im Uhrzeigersinn (Blick auf Scheibe) und R' eine 90° -Drehung entgegen dem Uhrzeigersinn.

$R^2 = R \cdot R$ bedeutet zwei entsprechend hintereinander ausgeführte Drehungen - also hier 180° der rechten Scheibe.

Es sei A eine der 6 möglichen Drehungen O, U, R, L, V, H . Dann gilt $A^2 = (A')^2$ und $A^3 = A'$ usw.

Wir können nun jede Zugfolge und deren Wirkung notieren, z.B. $\gamma = O'ROR'$.

Es wird zuerst O' dann R , dann O und schließlich R' ausgeführt. Die Wirkung ist im Bild 3 dargestellt (nachprüfen!).

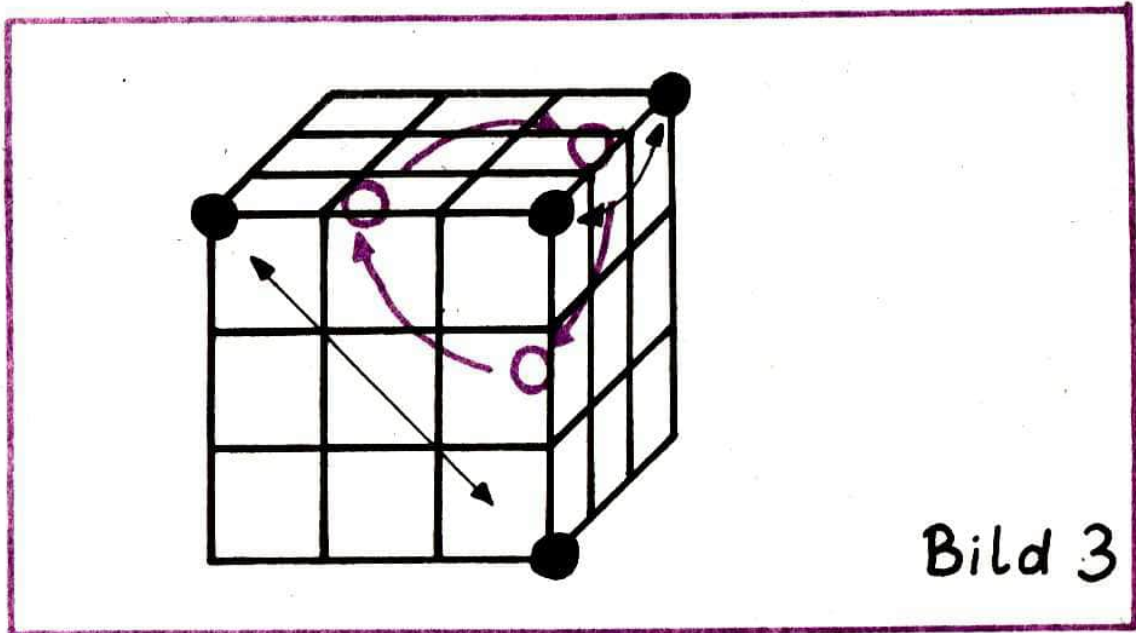


Bild 3

Man kann die Wirkung von γ auch mittels einer sogenannten Zyklendarstellung angeben. Und zwar $\gamma = (ov, or, vr)$ $(vlo, uvr)_+$ $(vro, hro)_-$. Der erste, drei Kanten betreffende Zyklus bedeutet, daß die Kante ov auf den Platz or wandert, die dort befindliche auf den Platz vr und diese schließlich auf den Platz ov . Diese Art der Bezeichnung enthält genau genommen gleich zwei Zyklen. So bedeutet die Folge (ov, or, \dots) nicht nur, daß Kante ov nach or wandert, sondern, daß außerdem die Teilflächen o nach o und v nach r übergehen. (Die Folge (ov, ro, \dots) bedeutet hingegen, daß o nach r und v nach o wandert). Es kommt also innerhalb eines Zyklus auf die Reihenfolge der Segmentbezeichnung an.

Enthält eine Zyklendarstellung k -Eintragungen, so nennen wir sie k -Zyklus. Die erste Klammer bedeutet also einen 3-Kantenzyklus. Der nächste, ein 2-Eckenzyklus, bedeutet zunächst, daß

die Ecke v1o nach uvr wandert, daß aber die Ecke uvr um $+1/3$ gedreht nach v1o zurückkehrt (durch Index "+" angedeutet), also ihre Orientierung ändert. Beim letzten Zyklus (2-Ecken-Zyklus) erfolgt analog eine Drehung um $-1/3$; der hier als Beispiel angegebene Prozeß γ ist, wie sich noch herausstellen wird, in der Tat so etwas wie ein "Universalprozeß" für den Lösungsalgorithmus.

Um einen Würfel zu ordnen, müßte man nach einer Prozedur suchen, die die Veränderung des Würfels hinsichtlich Lage und Orientierung der Segmente Schritt für Schritt und einzeln rückgängig macht. Zweckmäßigerweise sucht man nach "kleinsten" Prozessen - Elementarprozessen (d.h. Prozesse, die mit möglichst wenig Zügen auskommen). Man benötigt also Ecken- und Kantenvertauschungen, Eckendrehungen und Kantenkippen, die mit beliebigen Segmenten ausgeführt werden können. Zuerst werden Prozesse an speziellen Segmenten betrachtet. Um das Gesamtproblem zu lösen, braucht man noch Erweiterungs- oder Hilfsoperationen.

Auf die Frage: "Wie findet man Elementarprozesse?" gibt es eine übertrieben einfache Antwort: Aus jedem "nicht allzu kurzen" Prozeß lassen sich ein oder mehrere Elementarprozesse isolieren (unser "nicht allzu kurzer" Prozeß ist γ ; es sind natürlich auch andere möglich). Die Wirkung eines Prozesses ist im allgemeinen durch mehrere Zyklen verschiedener Länge gegeben. Der Grundgedanke des Isolierens ist folgender: k-faches Wiederholen eines k-Zyklus hebt dessen Wirkung auf. Das soll im folgenden beschrieben werden.

Positionierung: γ enthält einen 3-Zyklus und zwei 2-Zyklen. Man betrachtet also γ^2 und γ^3 und findet (vergleiche mit Bild 3):

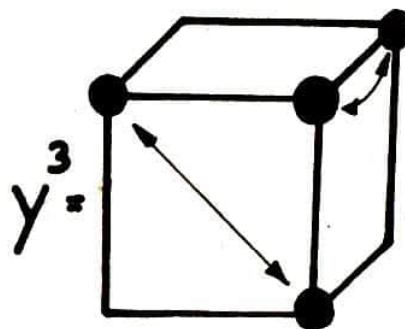
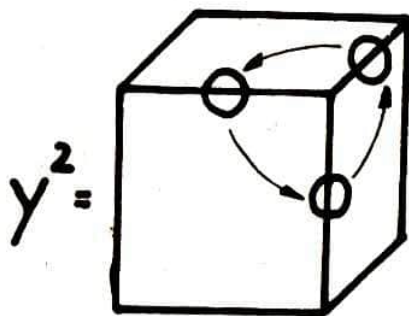


Bild 4

Orientierung: Der Wirkungsbereich von γ ist auf ein "Dreibein" beschränkt (farbiges Gebiet in Bild 5).

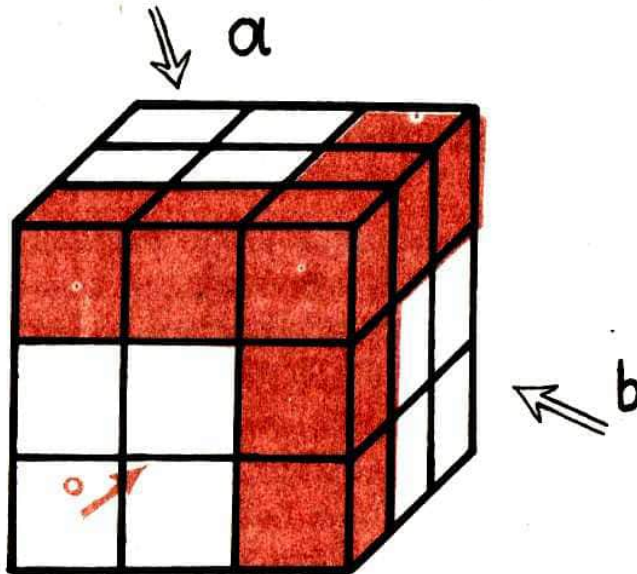


Bild 5

Das legt es nahe, den Prozeß γ um die Ecke ovr herumzuführen. Das bedeutet, γ dreimal von verschiedenen Blickrichtungen aus durchzuführen und dabei nur die Scheiben O, V und R zu drehen. Also zuerst normale Blickrichtung $\gamma = O'ROR'$. Danach aus Blickrichtung a (Bild 5) $\gamma_a = O'ROR'$. Übersetzt in normale Blickrichtung heißt das $\gamma_{a_0} = R'VRV'$. Zuletzt aus Blickrichtung b (wobei hier R durch L ersetzt werden muß! - Dreibein!)

$\gamma_b = O'LOL'$ und übersetzt in normale Blickrichtung

$\gamma_{b_0} = V'OVO'$. Alle 3 Prozesse hintereinander ausgeführt (normale Blickrichtung) ergibt

$$X = \gamma \cdot \gamma_{a_0} \cdot \gamma_{b_0} = O'ROR' R'VRV' V'OVO'$$

oder

$$X = (vo)_+ (ro)_+ (vor)_- (ovl)_- (ohr)_-$$

((vo)₊ - gekippte Kante; (vor)₋ - um $-1/3$ gedrehte Ecke; ...)

Wie man leicht nachvollziehen kann, ergibt X in Bezug auf die Lage der Segmente eine Einheitsoperation (oder identische Operation). Es werden nur die Orientierungen der Segmente geändert. Wegen der in X auftretenden 2- und 3-Zyklen betrachtet man natürlich X^2 und X^3 .

Das ergibt folgendes:

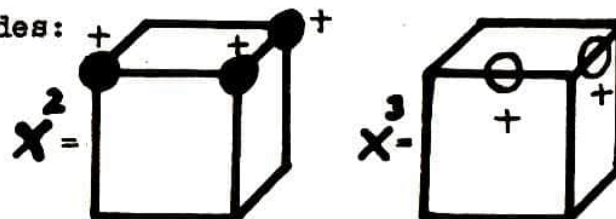


Bild 6

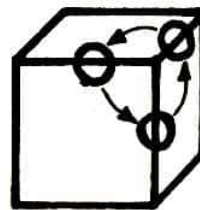
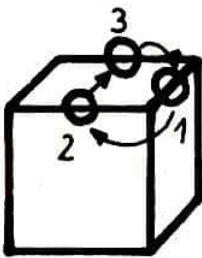
("+" \rightarrow $+1/3$ Drehung der entsprechenden Ecke bzw. Kippung einer Kante).

Man benötigt jetzt noch die angesprochenen Hilfsoperationen. Diese sind nötig, um beliebige Ausgangsstellungen der Segmente in eine Position zu überführen, die es ermöglicht, die Elementarprozesse anzuwenden.

Konjugation: Diese wichtige Operation sei am Beispiel eines 3-Kantenzyklus erklärt (Bild 7)

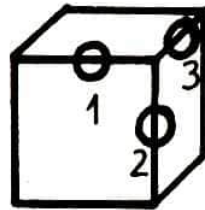
gesucht :

bekannt : γ^2



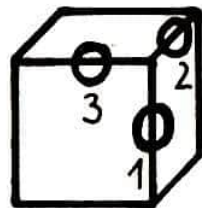
1. zuführen :

$V_0 \Rightarrow$



2. vertauschen :

$\gamma^2 \Rightarrow$



3. zurückführen :

$O'V' \Rightarrow$

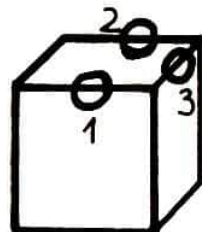


Bild 7

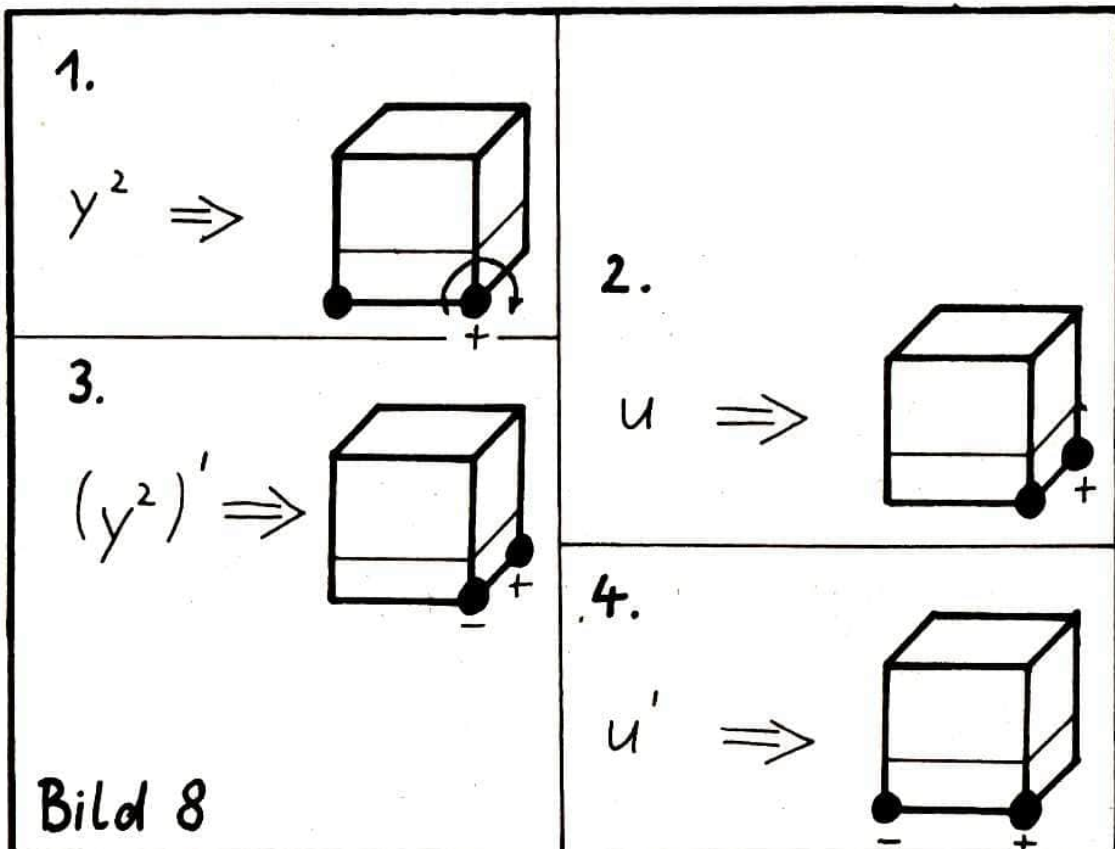
Gesucht ist also ein 3-Kantenzyklus in der oberen Ebene.
 Wie kann man den einzigen uns bekannten 3-Kanten-Zyklus γ^2 benutzen, um diese Operation auszuführen? Man transportiert zunächst die zu vertauschenden Kanten in die Arbeitsposition von γ^2 (zuführen), nimmt die Vertauschung gemäß γ^2 vor (vertauschen) und bringt die vertauschten Kanten nun wieder-auf umgekehrtem Wege - in ihre Ausgangsposition zurück (zurückführen). Ganz analog kann man offenbar beliebige drei Kanten des Würfels vertauschen.

Die allgemeine Struktur dieser als Konjugation bezeichneten Operation ist $Q^* = P Q P'$. Q^* heißt in Q konjugierter Prozeß. Bei obigem Beispiel ist

$$Q^* = V O \gamma^2 O' V' \quad (R = \gamma^2, Q = V O, P' = (V O)' = O' V')$$

Genauso sind alle Eckenvertauschungen und die Orientierungsänderungen von Kanten und Ecken mittels Konjugation von γ^3 , X^2 und X^3 erreichbar. Es soll nun ein letzter, recht hilfreicher Prozeß beschrieben werden.

Kommutation: Diese Operation soll an einem Beispiel erläutert werden, bei dem erreicht werden soll, daß eine Ecke um $-1/3$ und eine andere Ecke um $+1/3$ gedreht sein soll (Bild 8).



Das Ergebnis soll durch den Prozeß Y^2 erreicht werden. Dieser hat die interessante Eigenschaft, in der unteren Ebene nur die Ecke uvr um $+1/3$ zu drehen. (Die beiden oberen Scheiben geraten dabei in hier nicht näher interessierender Weise durcheinander). Dreht man jetzt mittels U eine andere Ecke in die Arbeitsposition von Y^2 , so wird diese Ecke mittels der Umkehrung $(Y^2)'$ um $-1/3$ gedreht, und gleichzeitig werden beide oberen Scheiben wieder in Ordnung gebracht. U' transortiert schließlich die Ecken wieder in ihre Ausgangsposition zurück. Die allgemeine Struktur dieses als Kommutator bezeichneten Prozesses ist $K = P Q P' Q'$ (im Beispiel ist $K = Y^2 U (Y^2)' U'$).

Nun hat man alles beisammen, um den Würfel "knacken" zu können. Man wird dabei so vorgehen, daß man zuerst die Kanten mittels Y^2 und die Ecken mittels Y^3 positioniert. Danach die Ecken mittels X^2 und die Kanten mittels X^3 orientiert. Das Wort "mittels" bedeutet hierbei die geeignete Verwendung der Hilfsoperationen. Nach dem Verstehen des Grundprinzips besteht die einzige noch verbleibende Schwierigkeit darin, z.B. bei der Konjugation die geeignete Zuführungsoperation zu finden. Aber gerade diese Schwierigkeiten sind es, die ja nicht prinzipieller Natur sind (es sind einfache und überschaubare Operationen), die den Würfel immer wieder interessant erscheinen lassen (und nicht wie bei einem "Auswendig-Lern-Algorithmus" nach Göhring "Der Zauberwürfel aus Ungarn", (Leipzig 1982), wo man 22 verschiedene Operationen kennen muß und das Interesse recht bald erlahmt).

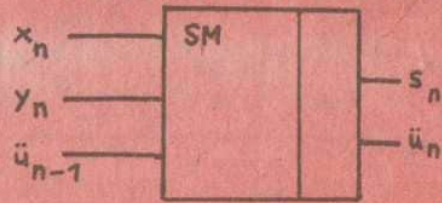
Man muß sich nur den Grundprozeß $Y = O'ROR'$ merken. Alles andere kann schnell aus geometrischen Überlegungen reproduziert werden. Es liegt auf der Hand, daß dieses Herangehen so universell ist, daß es ohne weiteres auf andere logische Prozesse übertragbar ist (z.B. Tetraeder). Man muß eben nur ein günstiges Y finden. Und, daß das nicht allzu schwer ist, sollte das Beispiel des Würfels gezeigt haben.

Viel Spaß beim Probieren! -



$$\begin{array}{r}
 14 \text{ D} = 1110 \text{ B} \\
 18 \text{ D} = 10010 \text{ B} \quad + \\
 \hline
 100000 \text{ B}
 \end{array}$$

Symbol für Volladder



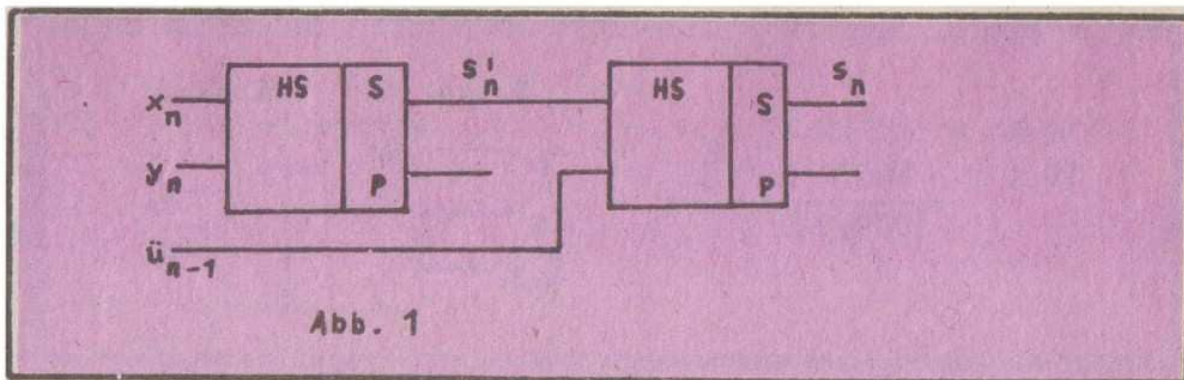
x_n	y_n	\ddot{u}_{n-1}	s_n	\ddot{u}_n
L	L	L	L	L
L	L	H	H	L
L	H	L	H	L
L	H	H	L	H
H	L	.	.	.
H	L	.	.	.
.
.

Tabelle 1

Logikplan umzusetzen sind. Es ist jedoch günstiger, Volladder nicht aus logischen Grundbausteinen aufzubauen, sondern auf Halbadder zurückzugreifen.

Die Summenziffer s_n läßt sich dann recht einfach ermitteln, indem man die Addition $x_n + y_n + \ddot{u}_{n-1}$ in zwei aufeinanderfolgenden Schritten ausführt: $(x_n + y_n) + \ddot{u}_{n-1} = s'_n + \ddot{u}_{n-1}$. Für die technische Umsetzung bedeutet das, zunächst mit einem ersten Halbadder die Summenziffer s'_n für die Addition $x_n + y_n$ und anschließend mit einem zweiten Halbadder die Summenziffer s_n der Addition $s'_n + \ddot{u}_{n-1}$ zu ermitteln. Die bei beiden Additionen entstehenden Überträge werden vorerst unberücksichtigt gelassen.

Der Logikplan muß also mindestens zwei Halbadder enthalten, durch die zunächst folgende, in Abb. 1 dargestellte Informationsverarbeitung vorgenommen wird.



Nun muß noch der bei der Addition von x_n , y_n und \bar{u}_{n-1} entstehende Übertrag \bar{u}_n realisiert werden. Neben den bereits betrachteten Signalen x_n , y_n , \bar{u}_{n-1} , s'_n und s_n stehen dafür außerdem noch folgende Signale zur Verfügung:

- \bar{u}'_n - Übertrag bei der Addition $x_n + y_n$ am Ausgang P des 1. Halbadders
- \bar{u}''_n - Übertrag bei der Addition $s'_n + \bar{u}_{n-1}$ am Ausgang P des 2. Halbadders

Wir verschaffen uns einen Überblick über die Belegung der P-Ausgänge beider Halbadder mit Hilfe der erweiterten Schaltungstabelle 2

x_n	y_n	s_n	\bar{u}_{n-1}	s_n	\bar{u}''_n	\bar{u}'_n
L	L	L	L	L	L	L
L	L	L	H	H	L	L
L	H	H	L	H	L	L
L	H	H	H	L	H	L
H	L	H	L	H	L	L
H	L	H	H	L	H	L
H	H	L	L	L	L	H
H	H	L	H	H	L	H

Tabelle 2

Wir stellen fest, daß niemals in beiden Halbaddern gleichzeitig ein Übertrag entsteht. Tritt in einem Halbadder ein Übertrag auf (d.h. $\dot{u} = H$), dann kommt am anderen Halbadder kein Übertrag zustande. Dieser Sachverhalt folgt aus der Schaltbelegungstabelle des Halbadders (vergl. Heft 3/84 Seite 29, Tabelle 1!).

Wenn am P-Ausgang des 1. Halbadders das Signal H anliegt, denn liegt am S-Ausgang das Signal L. Letzteres ist aber Eingangssignal bezüglich des 2. Halbadders, d.h. beim 2. Halbadder kann kein Übertrag auftreten, an seinem P-Ausgang liegt das Signal L.

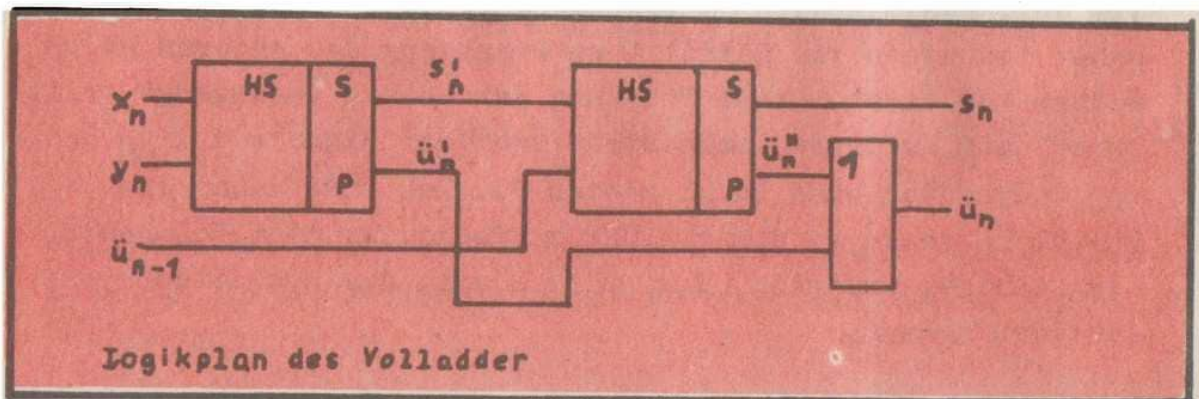
Fassen wir zusammen:

Ein Übertrag an beiden Halbaddern tritt niemals gleichzeitig auf. Das Signal H am P-Ausgang eines der beiden Halbadder ist stets vom Signal L am P-Ausgang des anderen Halbadders begleitet. Diese Belegung der beiden P-Ausgänge tritt genau dann auf, wenn mindestens zwei der Signale x_n , y_n und \dot{u}_{n-1} vorhanden sind (d.h. gleich H). Das sind genau die Fälle, in denen an dem von uns zu realisierenden Volladder ein Übertrag auftritt, d.h. $\dot{u}_n = H$ soll das noch einmal deutlich machen.

x_n	y_n	\dot{u}_{n-1}	\dot{u}'_n	\dot{u}''_n	\dot{u}_n
L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L
L	H	L	L	L	L
L	H	H	L	H	H
H	L	L	L	L	L
H	L	H	L	H	H
H	H	L	H	L	H
H	H	H	L	H	H

Tabelle 3

Man erkennt, daß \bar{u}_n als logische Verknüpfung von \bar{u}'_n und \bar{u}''_n realisiert werden kann. Ein Vergleich mit den Schaltbelegungstabellen der logischen Grundverknüpfungen führt zur OR-Funktion als geeigneter logischer Verknüpfung von \bar{u}'_n und \bar{u}''_n , um \bar{u}_n zu erhalten, denn am Ausgang eines OR-Gliedes erscheint dann ein Signal, wenn an mindestens einem Eingang ein Signal anliegt. Für den Übertrag \bar{u}_n am Volladder gilt also $\bar{u}_n = \bar{u}'_n \vee \bar{u}''_n$. Diese Aussage kann der Leser bestätigen, indem er in Tabelle 3 in die freie Spalte $\bar{u}'_n \vee \bar{u}''_n$ einträgt und mit \bar{u}_n vergleicht. Der weiter oben begonnene Logikplan des Volladders kann jetzt vervollständigt werden. Er ist durch ein OR-Gatter zu ergänzen, dessen Eingängen die Signale \bar{u}'_n und \bar{u}''_n zuzuführen sind, so daß an dessen Ausgang der gewünschte Übertrag \bar{u}_n anliegt.



Mit dem Volladder kann die eingangs formulierte Teilaufgabe gelöst werden, zwei beliebige Stellen x_n und y_n zweier Dualzahlen und den Übertrag \bar{u}_{n-1} aus der vorangehenden Addition zu addieren. Es ist interessant, der Frage nachzugehen, wieviel logische Grundbausteine notwendig sind, wenn man das Volladder aus Gattern aufbauen wollte.

x_n	y_n	\bar{u}_{n-1}	s_n	\bar{u}_n
L	L	L	L	L
L	L	H	H	L
L	H	L	H	L
L	H	H	L	H
H	L	L	H	L
H	L	H	L	H
H	H	L	L	H
H	H	H	H	H

Schaltbelegungstabelle des Volladders

Im Beitrag "Die schaltungstechnische Realisierung einiger logischer Funktionen" (Heft 1, 1982/83) wurde bereits auf die grundlegende technische Bedeutung des NAND-Gatters hingewiesen und im Beitrag "Aufbau, Funktionsweise und Zusammenschaltung von NAND-Gattern" (Heft 2, 1982/83) der Aufbau logischer Grundschaltungen aus NAND-Gattern erläutert. Untenstehender Tabelle, die sich auf diese Artikel bezieht, ist zu entnehmen, daß zu einem Halbadder 8 NAND-Gatter erforderlich wären. Da jedes NAND-Gatter in direkter Bauweise 4 Transistoren, 4 Widerstände und 1 Diode enthält, müßten bei der Herstellung eines Halbadders in diskreter Bauweise eine Leiterplatte mit 32 Transistoren, 32 Widerständen und 8 Dioden bestückt werden. Für ein Volladder wäre die doppelte Anzahl von Bauelementen erforderlich zuzüglich der 12 Transistoren, 12 Widerstände und 3 Dioden, die für das OR-Gatter zur Ermittlung des Übertrages $ü_n$ notwendig sind: 76 Transistoren, 76 Widerstände und 19 Dioden.

Baustein	Anzahl	Anzahl der NAND-Gatter je Baustein	Anzahl der NAND-Gatter insgesamt
NEGATOR	1	1	1
OR-Gatter	1	3	3
UND-Gatter	2	2	4
			<u>8</u>

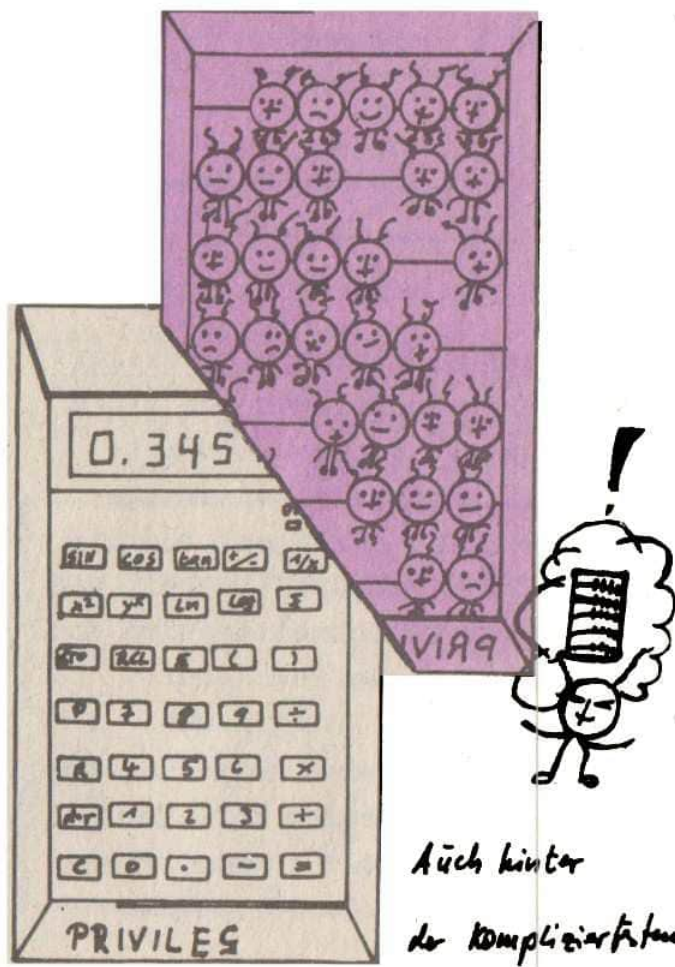
Wird ein Adder dagegen als integrierter Schaltkreis realisiert, so werden alle benötigten elektronischen Funktionen auf einem Plättchen aus einkristallinem Silizium von wenigen Quadratmillimeter Fläche erzeugt und durch aufgedampfte Leiterzüge zu einer komplexen Schaltung verbunden. Die sonst erforderliche Vielzahl von Lötstellen entfällt, die Störanfälligkeit des Schaltkreises wird erheblich verringert. Gleichzeitig wird auch der Raumbedarf und die Masse des Schaltkreises vermindert. Besonders hervorzuheben ist, daß eine solche integrierte Schaltung bedeutend erweitert und ergänzt werden kann. Die dadurch zustandekommenden integrierten Schaltkreise sind dann vollständige Arithmetikeinheiten oder zentrale Verarbeitungseinheiten in Gestalt eines Mikroprozessors z.B. für Mikrorechnersysteme.

Anhang :

Die vollständige Tabelle 1 lautet:

x_n	y_n	\bar{u}_{n-1}	s_n	\bar{u}_n
L	L	L	L	L
L	L	H	H	L
L	H	L	H	L
L	H	H	L	H
H	L	L	H	L
H	L	H	L	H
H	H	L	L	H
H	H	H	H	H

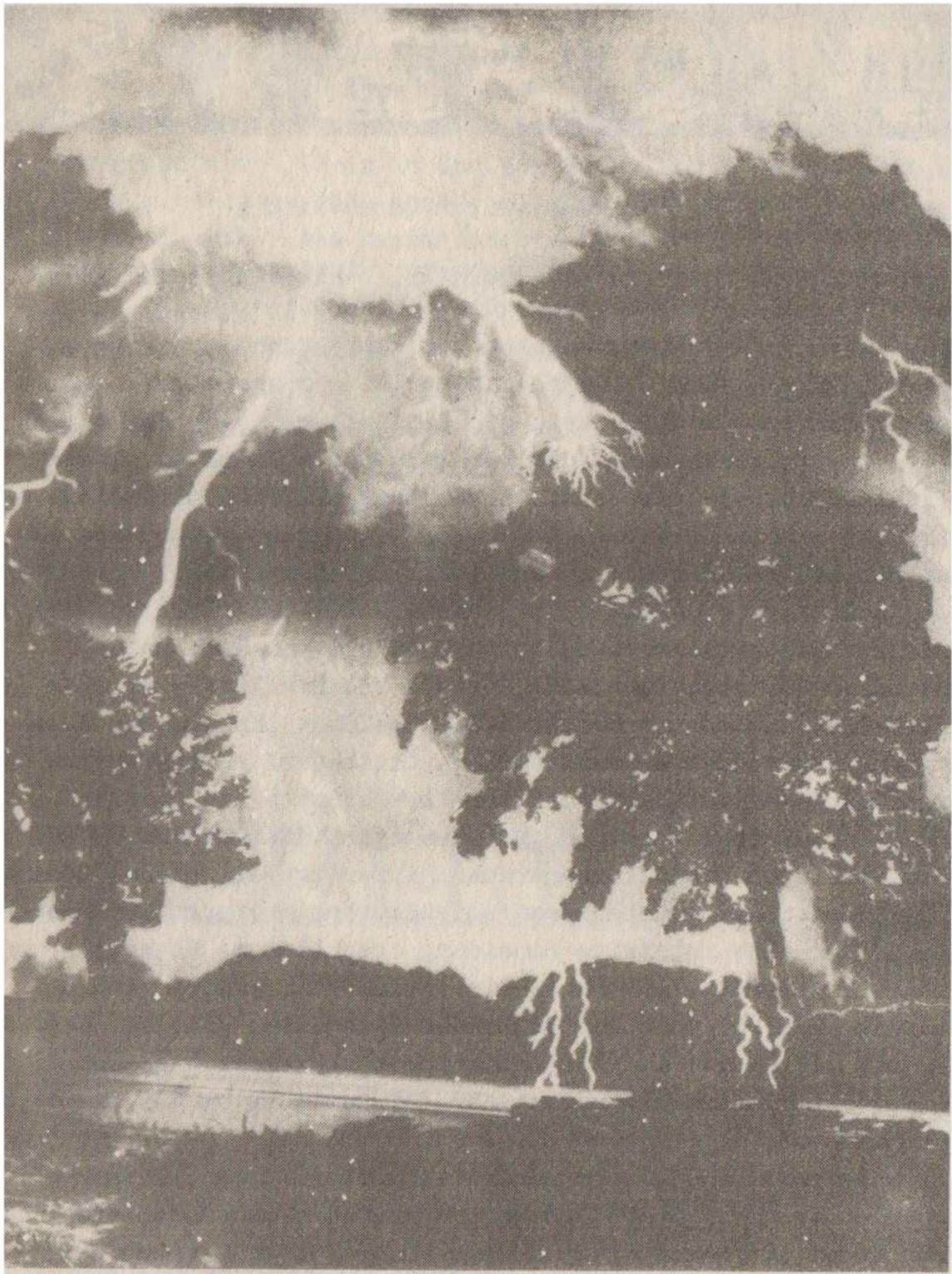
Vervollständigung des im Heft 3/84 auf Seite 32 angegebenen Logikplanes



Auch hinter
der kompliziertesten Technik steckt ein einfacher Kern.

Anmerkung der Redaktion:
Die Artikelserie „Mikroelektronik – leichtverständlich“ ist mit diesem Teil 12 vorläufig abgeschlossen. Auf diesem Wege möchten wir, sicher auch im Namen unserer Leser, ein herzliches Dankeschön an die beiden Autoren Dr. Wolf und Dr. Lühr richten. In unsere Redaktion sind bereits während der bisherigen Erscheinungszeit wiederholt Zuschriften mit der Bitte um zusätzliche Zusendungen von Exemplaren dieser Serie eingegangen. Wir können auch weiterhin noch die gesamte Artikelserie „Mikroelektronik – leichtverständlich“ oder einzelne Teile davon abgeben.

Bitte schreiben Sie an uns!
Redaktion „impuls 68“
6900 JENA
Max-Wien-Platz 1



Schöne und erholsame Ferientage
wünschen wir unseren Lesern!

Redaktion impuls 68

Tip von uns: ... immer schön wetterfest bleiben!!

MOSAIK

Die Naturwissenschaft im Dienste der Landwirtschaft

Die wohl bekanntesten Auswirkungen von Wissenschaft und Technik auf die Land- und Nahrungsgüterwirtschaft sind die Züchtung neuer, ertragreicher, gegen bestimmte Schädlinge und Krankheiten resistente, oder extremen Witterungsbedingungen angepasste Pflanzenarten sowie die Entwicklung neuer Bearbeitungs- und Pflorgetechnik. Hierfür kann der aufmerksame Leser in vielen popularwissenschaftlichen Zeitschriften zahlreiche Beispiele finden.

Kasachische Pflanzenzüchter entwickelten eine schnell reifende Reissorte, so daß die Anbaugrenze dieser Kultur weiter nach Norden verschoben werden kann. Auch bemüht man sich in der Sowjetunion um eine intensive Nutzung und Rekultivierung der Halbwüsten, Wüsten und Steppen. Dies gelingt ihnen durch Züchtung anspruchsloser Getreidesorten. Oft bedarf es aber auch gar keiner Neuzüchtung. So führten sowjetische Biologen in Halbwüsten standortfremde Grassorten ein, die in ihren natürlichen Biotopen ebenfalls extremen Witterungsbedingungen standhalten müssen und konnten damit die Erträge steigern und diese Gebiete für eine intensive Beweidung erschließen. Ebenfalls in der Kasachischen SSR wurde eine neue Hybridpappel gezüchtet, die auch auf salzigem Boden der Halbwüsten gedeiht. Sie zeichnet sich außerdem durch ein extrem schnelles Wachstum aus: Längenwachstum 3-4 m pro Jahr. Dickenwachstum 4-5 cm pro Jahr.

Täglich hören wir auch von neuen technischen Entwicklungen. So findet in der LPG "Thomas Müntzer" eine Häckselmaschine Verwendung, die gerodete Obstbäume bis zu einem Stammdurchmesser von 200 mm mit Krone und Wurzel zerkleinert. In der LPG "Gemüse" Erfurt ist seit einiger Zeit eine Erntemaschine für Blumenkohl, Kohlrabi und andere Kopfkohlarten im Einsatz. In Odessa wurde ein Veredelungsautomat für Weinpflanzfreiser entwickelt, der ganze 20 Arbeitskräfte ersetzen kann und in einer Schicht 18 000 Veredelungen vornimmt.

Dieses Buch, das das "Wecken der Begeisterung für die Astronomie bei Naturfreunden aller Altersstufen" (S. 7) zum Ziel hat, "wendet sich damit den Beobachtungstechniken mit einfachen Mitteln" (S. 7) zu. Das Buch ist übersichtlich in einen optischen und einen astronomischen Abschnitt gegliedert, so daß vielfältige Beobachtungen auch mit selbstgebastelten weiteren Instrumenten möglich sein sollten. Hauptschwerpunkt ist und bleibt jedoch das Fernglas, das mit seiner Lichtstärke, seinem großen Gesichtsfeld und dem geringen Gewicht vielseitig verwendbar ist. Besonders loben möchte der Rezensent die sehr gute und anschauliche Darstellung der Themen: "Das Sehen", "Umlenksysteme", "Sonnenokulare", "Optik der Atmosphäre", "Planetenbewegung" und "Planeten".

Die Ausstattung des Buches ist vortrefflich. Angefangen vom Kunstdruckpapier bis zu den "fernrohrgerechten" Bilddarstellungen, die zudem Möglichkeiten und Grenzen der Amateurastronomie abstecken, ist hier Verlag und Autoren besonders zu danken.

Gewünscht hätte sich der Rezensent die Anschriften der Lieferanten der jeweiligen astronomisch-optischen Bauteile, im Abschnitt "Sterne" ein Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD), ein ausführliches Verzeichnis veränderlicher Sterne und Fixsternnamen, ein ausführlicheres Stichwortverzeichnis und einen der Qualität des Buches adäquateren Umschlag.

Das Zeichen für Pluto (s. 273) ist ♇ statt Pl (Initialen von P. Lowell, Flagstaffobservatorium).

Gemeinsam mit der "Kleinen praktischen Astronomie" hat jeder Sternenfreund einen sicheren Wegweiser auf dem Weg in "seinen" "neuen Kosmos" bei sich, dem man noch viele weitere Auflagen wünscht.

(Teil 1 wurde in Heft 3/84 veröffentlicht)

Neben der Dimensionstatsache des Farbsehens ist auch folgende Eigenschaft desselben sehr wichtig, die den Inhalt des 2. Graßmannschen Gesetzes bildet:

Für das Ergebnis einer Farbmischung ist ausschließlich das Aussehen der gemischten Farben ausschlaggebend, nicht deren Zusammensetzung.

Wir wollen das erläutern. Das Licht zweier Lampen erweise sich bei einer Messung von den Farben

$$\vec{F}_1 = R_1 \vec{R} + G_1 \vec{G} + B_1 \vec{B} \quad \text{bzw.}$$

$$\vec{F}_2 = R_2 \vec{R} + G_2 \vec{G} + B_2 \vec{B}$$

\vec{F}_1 z.B. sieht also genauso aus wie das Gemisch aus $R_1 \vec{R}$, $G_1 \vec{G}$ und $B_1 \vec{B}$. Das zweite Graßmannsche Gesetz drückt nun aus, daß \vec{F}_1 direkt gemischt mit Licht der Farbe \vec{F}_2 die gleiche Mischfarbe gibt, wie wenn \vec{F}_2 mit den drei Lichtern $R_1 \vec{R}$, $G_1 \vec{G}$ und $B_1 \vec{B}$ gleichzeitig gemischt wird.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = R_1 \vec{R} + G_1 \vec{G} + B_1 \vec{B} + \vec{F}_2.$$

Der zur rechten Seite der Farbgleichung für \vec{F}_1 bzw. \vec{F}_2 gehörige Farbreiz enthält spektral gesehen nur die drei Wellenlängen der Primärvalenzen, nämlich 700 nm, 546 nm und 436 nm, während \vec{F}_1 z.B. durchaus ein kontinuierliches Spektrum haben kann. Beide spektral völlig unterschiedlichen Reize rufen im Auge die gleiche Empfindung hervor, beide Reize haben die gleiche Farbvalenz. Da nun durch Hinzufügen eines Farbreizes der Valenz \vec{F}_2 auf beiden Seiten wiederum zwei völlig unterschiedliche Farbreize entstehen, ist die Aussage des 2. Graßmannschen Gesetzes keine von vornherein zu erwartende Tatsache. Sie erlaubt uns aber, die Analogie zwischen Farben und Vektoren auszuweiten. Die Aussage des 2. Graßmannschen Gesetzes

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = (R_1 + R_2)\vec{R} + (G_1 + G_2)\vec{G} + (B_1 + B_2)\vec{B}$$

entspricht genau der Rechenregel für Vektoren, daß die Komponenten eines Summenvektors die Summen der Komponenten der einzelnen Summandenvektoren sind.

Es gibt noch ein 3. Graßmannsches Gesetz, das sich auf die Stetigkeit der Farbmischung bezieht. Wenn irgendwelche Farben wenig geändert werden, so ändert sich auch deren Mischfarbe wenig.

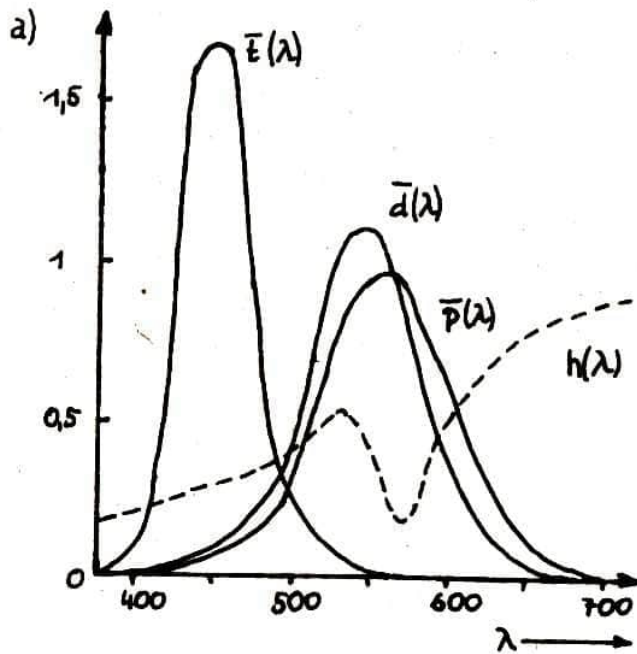
Physiologische Grundlagen des menschlichen Farbsehens

Die drei genannten Graßmannschen Gesetze sind in Richters farbmimetrischem Grundgesetz zusammengefaßt:

"Der helladaptierte Zapfenapparat des trichromatischen Auges bewertet die einfallende Strahlung nach drei voneinander unabhängigen, spektral verschiedenen Wirkungsfunktionen linear und stetig, wobei sich die drei Einzelwirkungen additiv linear zu einer einheitlichen, untrennbaren Gesamtwirkung zusammensetzen, die Farbvalenz genannt wird."

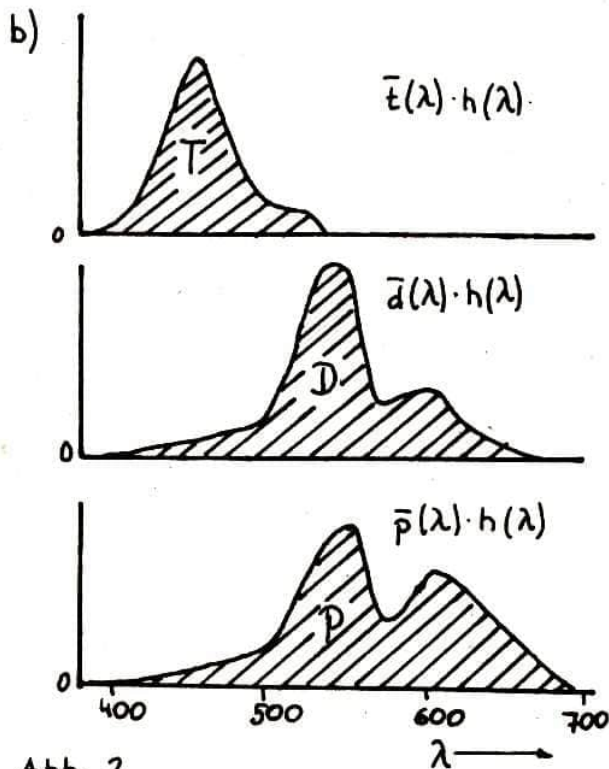
Am Beginn dieses Satzes kommt etwas zur Physiologie des Farbsehens zum Ausdruck. Helladaptiert drückt aus, daß es sich um Tagsehen handelt; die Lichtintensität reicht aus, um die Farbeempfindungen des Auges voll wirksam werden zu lassen. Beim Zapfenapparat handelt es sich um die Rezeptoren in der Netzhaut, die das Farbsehen ermöglichen. Trichromatisch drückt die Dreidimensionalität des Farbsehens aus; damit werden die Augen von Menschen ausgeschlossen, deren Farbtüchtigkeit eingeschränkt ist. Es wird heute allgemein anerkannt, daß die Dreidimensionalität des Farbsehens ihre Ursache darin hat, daß es drei unterschiedliche und unabhängige Rezeptortypen, nämlich drei Sorten von Zapfenzellen gibt. Historisch gesehen, ist diese Theorie des Farbsehens mit den Namen Lomonossow, Palmer, Young, Maxwell und Helmholtz verbunden. Man spricht auch von der Young-Helmholtz-Theorie des Farbsehens.

Die drei Zapfensorten haben nun unterschiedliche spektrale Empfindlichkeitskurven, d.h., sie besitzen gegenüber Licht einer bestimmten Wellenlänge λ die unterschiedlichen Empfindlichkeiten $\bar{p}(\lambda)$, $\bar{d}(\lambda)$ bzw. $\bar{t}(\lambda)$. Der ungefähre Verlauf



$\bar{E}, \bar{d}, \bar{p}$ Grundspektralwertkurven

$h(\lambda)$ Beispiel eines Farbreizes
 (spektrale Intensitätsverteilung)



Die Flächen unter den
 Produktkurven entsprechen
 der durch $h(\lambda)$ hervorgeru-
 fenen Erregungsstärke
 P, D, T der drei Grund-
 empfindungen

Abb. 2

dieser Kurven geht aus Abbildung 2 hervor. Da jede Zapfenzelle in einem ganzen Wellenlängenbereich empfindlich ist, kann sie durch Licht unterschiedlicher Wellenlänge gereizt werden. Wirken mehrere Wellenlängen gleichzeitig ein, so summieren sich ihre Reizwirkungen. Mathematisch läßt sich das durch Integrale ausdrücken.

$$\begin{aligned}
 P &= \int \bar{p}(\lambda) h(\lambda) d\lambda \\
 D &= \int \bar{d}(\lambda) h(\lambda) d\lambda \\
 T &= \int \bar{t}(\lambda) h(\lambda) d\lambda
 \end{aligned}$$

Dabei ist $h(\lambda)$ die spektrale Intensitätsverteilung des einfallenden Lichtes (Farbreizes). Die Integration ist zu erstrecken über den gesamten sichtbaren Spektralbereich, also etwa von 380 bis 700 nm. Wenn die drei Reizstärken P , D und T jeweils eine ihnen proportionale nervliche Reaktion hervorrufen, die letztlich zur Farbempfindung im Gehirn verarbeitet wird, so haben wir in P , D und T die drei grundlegenden Komponenten für unser Farbsehen vor uns. Diese Zahlen entsprechen also den Komponenten bezüglich dreier spezieller Primärvalenzen, den sogenannten Grundempfindungen. Welcher Farbe entsprechen die drei Grundempfindungen? Diese Farbeindrücke würden wir empfinden, wenn jeweils eine Zapfensorte allein gereizt werden würde. Wie aus Abb. 2 hervorgeht, gibt es aber keinen Farbreiz, auf den nur eine Zapfensorte anspricht. An jeder Stelle des sichtbaren Spektralbereiches sind mindestens zwei Zapfensorten empfindlich. Mit anderen Worten gesagt, kennen wir die dem alleinigen Ansprechen je einer Zapfenart entsprechenden Grundempfindungen nicht. Solche Farbvalenzen, die zwar mathematisch gesehen im Farbenraum liegen (durch Linearkombination dreier Primärvalenzen darstellbar sind) aber keiner menschlichen Farbempfindung entsprechen, nennt man virtuell. Etwas deutlicher kann man die virtuelle Farbe der Grundvalenzen noch ausdrücken, wenn man zu einer anderen Art von Farbkoordinaten übergeht. Die bisher besprochenen trichromatischen Maßzahlen entsprechen den kartesischen Koordinaten eines Punktes im dreidimensionalen Raum. In diesem kann die Lage eines Punktes aber auch durch andere Koordinaten angegeben werden, z.B. durch die Zylinderkoordinaten. Wichtig ist nur, daß man entsprechend der Dimensionalität immer genau drei unabhängige Zahlenangaben zur eindeutigen Lagekennzeichnung eines Punktes braucht. Etwa analog den Zylinderkoordinaten im dreidimensionalen Ortsraum, sind bezüglich der Farben die sogenannten Helmholtz-Koordinaten. Eine Farbvalenz wird diesbezüglich durch die drei Angaben Farbton, Farbsättigung und Helligkeit festgelegt. Der Farbton bleibt erhalten, wenn einer Farbe reines weiß zugemischt wird, die Sättigung nimmt dabei ab. Als Farben höchster Sättigung

werden von uns die Spektralfarben empfunden, da sie keinerlei Weißanteil enthalten. Eine Helligkeitsverminderung kann als **Zumischen** von Schwarz verstanden werden. Mit den Maßzahlen Farbton- und -sättigung können wir die Farbe der Grundempfindungen wie folgt charakterisieren. Die Farbtöne der drei Grundempfindungen lassen sich angeben; es sind dies ein Rot, ein Grün und ein Blau. Die Sättigung ist aber stärker als die der Spektralfarben des entsprechenden Farbtones.

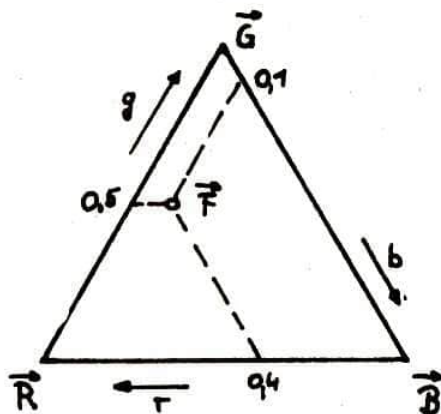
Die Farbtafel

Die Helmholtz-Maßzahlen zeichnen sich durch ihre große Anschaulichkeit aus. Wir können zum Zwecke der besseren Darstellbarkeit von Farbvalenzen ausnutzen, daß eine der Koordinaten, nämlich die Helligkeit, über die Farbqualität nichts aussagt. Bleiben für die Kennzeichnung der Farbart zwei Dimensionen, d.h., die Darstellung auf einem Blatt Papier wird möglich.

Die drei trichromatischen Koordinaten können wir nun um eine reduzieren auf folgende Weise. Wir einigen uns auf eine relative Gesamthelligkeit eins und bestimmen nur die Anteile der drei Grundfarben daran. Dementsprechend nennt man die Größen

$$r = \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B}, \quad b = \frac{B}{R+G+B}$$

die Farbwertanteile, Wegen $r+g+b = 1$ genügt die Angabe zweier Farbwertanteile, z.B. r und g . Aus $b = 1-(r+g)$ geht dann die dritte als abhängig hervor.



Darstellung von Farbvalenzen in der Farbtafel

Abb. 3

In Abb. 3 ist veranschaulicht, wie man durch Angabe der Farbwertanteile die Farbarten in der Ebene darstellen kann. Man zeichnet ein (nicht notwendig) gleichseitiges Dreieck, legt in die Ecken die obigen drei Grundvalenzen und trägt die Farbwertanteile r, g, b auf den Dreieckseiten ab. Eine Farbe mit dem Farbwertanteil $r = 0,4$ liegt auf der entsprechenden Parallelen zur \vec{R} gegenüberliegenden Dreieckseite. Analog verfährt man mit z.B. $g = 0,5$ (b ergibt sich dann automatisch) und erhält dann als Schnittpunkt die Farbvalenz mit den Farbwertanteilen $r = 0,4 \quad g = 0,5 \quad b = 1 - (r+g) = 0,1$.

Wählt man die Intensitätsverhältnisse der drei Linien bei $\lambda_r = 700 \text{ nm}$, $\lambda_g = 546 \text{ nm}$, $\lambda_b = 436 \text{ nm}$ wie 73:1,4:1, so liegt die Farbvalenz \vec{E} des sogenannten energiegleichen Spektrums (in spektral gleichbreiten, (d.h. $\Delta\lambda = \text{const}$), Spektrumausschnitten ist derselbe Energieinhalt) bei $r = g = b = 1/3$. Das energiegleiche Spektrum sieht weiß aus.

Ermittelt man in Mischexperimenten die Farbwertanteile der Spektralfarben und trägt das Ergebnis in das Koordinatensystem ein, so erhält man den sogenannten Spektralfarbenzug. Man ergänzt ihn durch eine gerade Verbindung der beiden Endpunkte entsprechend $\lambda = 700 \text{ nm}$ und $\lambda = 380 \text{ nm}$ zu einer geschlossenen Kurve. Die Farben auf der Verbindungsgeraden stellt man praktisch durch Mischen von Spektrallicht obiger beider Grenzwellenlängen her. Da diese Farben purpur aussehen, nennt man die Gerade die Purpurgerade.

Will man allgemein den Ort einer Mischfarbe \vec{F}_m in der Farbtafel ermitteln, wenn bekannt ist, daß die Ausgangsfarben bei \vec{F}_1 und \vec{F}_2 liegen und mit den Helligkeiten h_1 bzw. h_2 gemischt werden, so geschieht das folgendermaßen:

Der Punkt \vec{F}_m ist so auf die Verbindungsgerade zwischen \vec{F}_1 und \vec{F}_2 zu legen, daß das Abstandsverhältnis

$$\frac{\overline{F_1 F_m}}{\overline{F_m F_2}} = \frac{h_2}{h_1} \quad \text{erfüllt ist.}$$

Wenn man die Abstände $\overline{F_1 F_m}$ und $\overline{F_m F_2}$ als Hebelarme und h_1 und h_2 als die dort angreifenden Kräfte interpretiert, so stellt diese Beziehung gerade das Hebelgesetz dar. Diese Konstruktionsregel ist natürlich beweisbar, wenn man entsprechend dem 2. Graßmannschen Gesetz voraussetzt, daß die Farbmischung den Regeln der Vektoraddition gehorcht.

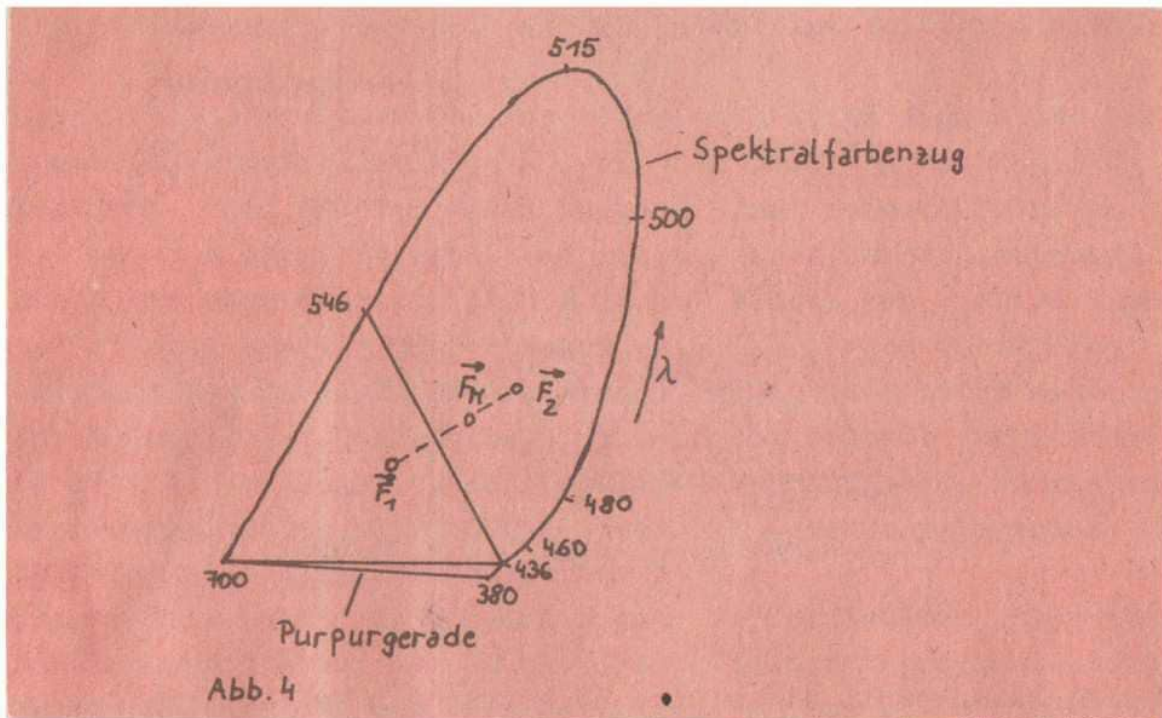
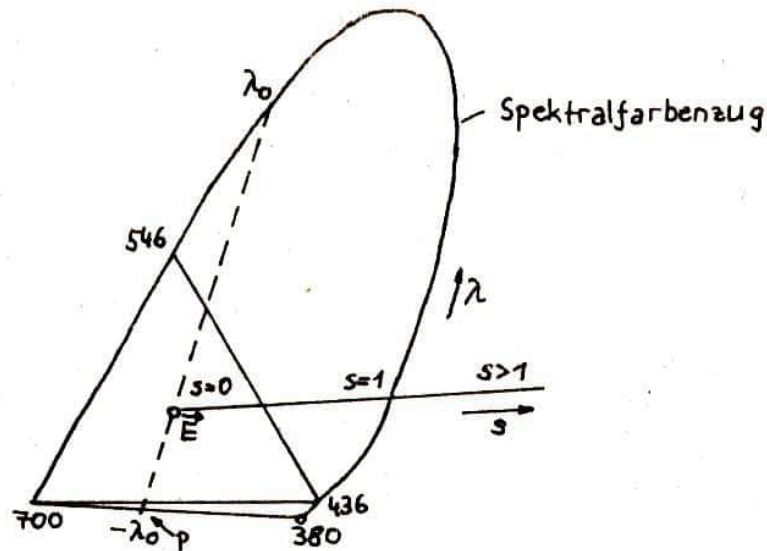


Abb. 4

Die zweidimensionale Darstellung der Farbqualität, wobei die fehlende dritte Dimension der Helligkeit entspricht, nennt man Farbtafel. Der durch Spektralfarbenzug und Purpurgerade eingegrenzte Bereich enthält die realen Farben, die also vom Auge tatsächlich empfunden werden können. Außerhalb dieses Bereiches liegen virtuelle Farben, deren Komponenten man zwar mathematisch angeben kann, die aber keiner Augenempfindung entsprechen. Hierzu gehören, wie bereits erwähnt, auch die Grundempfindungen. Es sei noch einmal daraufhingewiesen, daß die Existenz von virtuellen Farben keine Folge eigenartiger Eigenschaften des Auges ist, sondern eine Folge der mathematischen Modellierung von Farben als Vektoren. Mathematisch hat eine negative Vektorkomponente (Richtung des Vektors dreht sich um) einen Sinn, eine negative Reizung einer Grundempfindung des Auges nicht. Darüberhinaus sind auch alle Farbvalenzen virtuell, die bezüglich der Grundempfindungen als Primärvalenzen nur eine von Null verschiedene Komponente haben. Das war dadurch bedingt, daß durch keinen Farbreiz eine der Grundempfindungen allein entspricht.

Leider können wir im Rahmen der Druckmöglichkeiten dieser Zeitschrift die Verteilung der Farben über die Fläche der Farbtafel nicht für sich sprechen lassen (abgesehen davon, daß man mit Farbmitteln nie an die Farbsättigung von Spektral-



Helmholtz-Koordinaten in der Farbtafel

Abb. 5.

farben herankommt, diese also höchstens vom Ton her treffen kann). Deshalb einige Wort zur Farbverteilung über die Farbtafel. Neben der eindeutigen Bezeichnung eines Punktes der Farbtafel durch Angabe zweier der drei Farbwertanteile r, g und b muß das auch möglich sein durch die Angabe zweier den verbleibenden Helmholtz-Koordinaten Farbton und Farbsättigung entsprechenden Maßzahlen. Das läßt sich folgendermaßen realisieren. Wir zeichnen zunächst den dem Weiß des energiegleichen Spektrums entsprechenden Punkt \vec{E} ein. Auf dem Spektralfarbenzug tragen wir die jeweilige Wellenlänge ein. Einem Punkt \vec{P} auf der Purpurgeraden ordnen wir diejenige Wellenlänge mit negativem Vorzeichen zu, die dem Schnittpunkt der Gerade durch \vec{P} und \vec{E} mit dem Spektralfarbenzug entspricht. Bewegt man sich von einem Spektralfarbenpunkt geradlinig in Richtung Weißpunkt \vec{E} , so entspricht das einer Mischung Spektralfarbe und Weiß bei zunehmendem Weißanteil. Das bedeutet aber eine Verringerung der Sättigung bei gleichbleibendem Farbton. Farben gleichen Farbtons liegen also auf Strahlen, ausgehend vom Weißpunkt E . Als Maßzahl der Sättigung in einem Farbpunkt läßt sich nun das Abstandsverhältnis

$$s = \frac{\text{Weißpunkt} - \text{Farbpunkt}}{\text{Weißpunkt} - \text{Spektralpunkt}}$$

definieren.

So hat der Weißpunkt die Sättigung Null, jeder Spektralpunkt die Sättigung 1, virtuelle Farben haben eine Sättigung größer 1.

Damit ist jeder Punkt der Farbtafel auch durch Angabe des Farbtones (Spektralwellenlänge λ) und der Sättigung s eindeutig bestimmt. Geht man von einem Spektralpunkt kommend über den Weißpunkt hinaus, so erhält man einen neuen Farbton entsprechend dem gegenüberliegenden λ -Wert. Mischt man Spektrallichter solcher sich gegenüberliegenden Wellenlängen (natürlich im richtigen Helligkeitsverhältnis), ergibt das Licht mit der Farbvalenz \bar{E} des Weißpunktes. Man spricht deshalb von kompensativen Wellenlängen. Deshalb war es auch sinnvoll, Punkte auf der Purpurgeraden mit dem Negativen der gegenüberliegenden Spektralwellenlänge zu bezeichnen.

Kompensativ nennt man allgemein zwei Farbreize dann, wenn ihre Mischung weiß aussieht. Solchen Farbreizen entsprechende Farbvalenzen liegen in der Farbtafel (falls \bar{E} bei $r = g = b = 1/3$) jeweils in gleichem Abstand und in entgegengesetzter Richtung vom Weißpunkt \bar{E} . Eine spezielle Art kompensativer Farbreize sind die komplementären. Von ihnen fordert man, daß sie bei Addition das komplette Weißspektrum ergeben und nicht nur so aussehen wie dieses.

Präzisierung des Farbvalenzbegriffes

Es dürfte längst klar geworden sein, daß zwei vom Auge nicht unterscheidbare, d.h. gleichaussehende, Farbreize physikalisch völlig verschieden sein können. Zum Beispiel sieht die Mischung zweier Spektrallinien mit kompensativen Wellenlängen genauso weiß aus, wie das vollständige kontinuierliche Weißspektrum. Natürlich kann diese Nichteindeutigkeit schon dann nicht erstaunen, wenn man nur die Dimensionen des Raumes der Farbreize mit der Dimension 3 des Raumes der Farbempfindungen vergleicht. Das Auge unterscheidet Farbreize nicht, indem es deren Spektren bei jeder Wellenlänge vergleicht, sondern indem es entsprechend obengenannter Grundempfindungen die Reizintensität über 3 verschiedene Spektralbereiche integriert und dann die Integrale vergleicht. Damit sehen alle Farbreize $h(\lambda)$ gleich aus, für welche die oben definierten Integralwerte P , D und T übereinstimmen; diese Farbreize gehören zur gleichen Farbvalenz. M. Richter hat das so ausgedrückt:

"Das menschliche Auge ist nicht in der Lage, die Mannigfaltigkeit der Strahlungsfunktionen, die von der Dimension des Funktionenraumes ist, wahrzunehmen. Es ordnet die Menge aller physikalischen Reize in Klassen für das Auge gleichaussehender Farbreize, in Farbvalenzen".

Eine praktisch äußerst bedeutsame Konsequenz daraus ist, daß sich, wo es um Farben geht, Farbreize der gleichen Valenz gegenseitig vertreten können. Würde das Auge alle spektral unterschiedlichen Reize farblich unterscheiden können, so wäre die farbechte Naturwiedergabe bei Farbdruck, Farbfotografie und Farbfernsehen unmöglich.

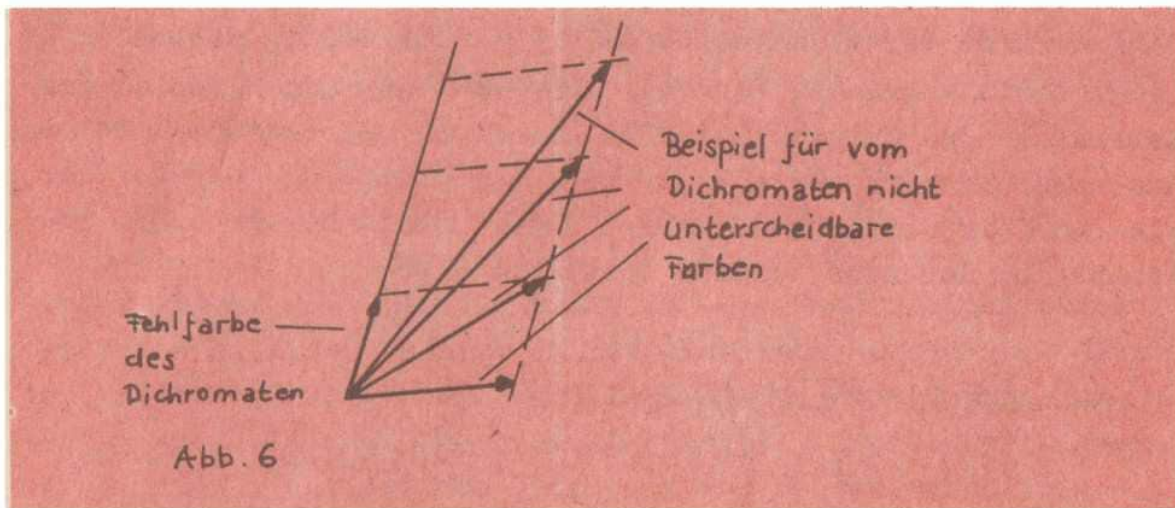
In dieser so grundlegenden Eigenschaft unterscheidet sich unser Gesichtssinn vom Hörsinn. Das Ohr unterscheidet akustische Reize sehr wohl hinsichtlich ihrer spektralen Zusammensetzung. Davon lebt die Musik. Auch mit der Stetigkeit sieht es anders aus. Der wohltuendste Zusammenklang zweier Töne schlägt bereits bei geringer Änderung der Frequenz einer der Töne in eine aufreizende Dissonanz um.

Wenn eine eindeutige Zuordnung von einer Farbvalenz zu einem Farbreiz nur mit Ausnahme der Spektralfarben unmöglich ist, so ist die umgekehrte Zuordnung eindeutig. Bei Kenntnis des Farbreizes $h(\lambda)$ ist die Berechnung der die Farbvalenz bestimmenden Integralwerte P, D und T möglich.

Übrigens spielen die Grundempfindungen nur physiologisch gesehen, eine ausgezeichnete Rolle. Für die zahlenmäßige Festlegung einer Farbe sind die Komponenten (Mischungsverhältnisse) bezüglich jeden anderen Tripels linear unabhängiger Basisvektoren (Primärvalenzen) völlig gleichwertig. Da sich jeder Farbreiz additiv aus Spektralreizen zusammensetzt, genügt es, die Mischungsverhältnisse der drei Basisfarben nur für die Spektralfarben zu messen. Dann lassen sich durch Integralbildungen analog P, D und T die Mischungszahlen für beliebige Reizfunktionen $h(\lambda)$ berechnen.

Bezüglich der Grundempfindungen ist aber interessant, daß man sie aus Versuchen mit Farbfehlsichtigen, speziell Dichromaten, bestimmt. Dichromaten sind Menschen, bei denen eine der Grundempfindungen nicht funktioniert. Sie können folglich alle diejenigen Farben nicht auseinanderhalten, die sich nur in eben dieser Grundempfindungskomponente unterscheiden. Farbvalenzen,

die sich nur in der Komponente bezüglich einer einzigen Grundvalenz unterscheiden, liegen auf einer Geraden parallel zu der fraglichen Grundvalenz. Farbunterscheidungsexperimente mit einem Dichromaten liefern nun solche Geraden und damit die Richtung der ihm fehlenden Grundempfindung im Farbenraum. Das Farbsehen von Dichromaten läßt übrigens auch unmittelbar erkennen, daß die Grundempfindungen virtueller Farbvalenzen entsprechen. Daß nämlich keine Farbreize existieren, die nur eine einzelne Grundempfindung erregen, folgt unmittelbar daraus, daß es keinen Farbreiz gibt, den Dichromaten gar nicht sehen (Abb. 6).



Daß die Grundempfindungen virtuelle Valenzen sind, könnte man auf den ersten Blick als von der Natur nicht optimal gelöst ansehen. Denn würden sich die Grundempfindungen einzeln reizen lassen, so würden u.a. auch die Farben mit nur einer von Null verschiedenen Komponenten real. In der Farbtafel wäre der Bereich der realen Farben das Dreieck, gebildet aus den Farbvalenzen der Grundempfindungen. Diese Ausweitung des realen Farbbereiches hätte aber schwerwiegende Nachteile. Würden sich die Empfindlichkeitskurven der Grundempfindungen nicht überlappen, so hätte unser Farbsehen entweder spektrale Dunkellücken oder es gäbe an den Berührungsstellen zweier Empfindlichkeitskurven Farbsprünge beim Wechsel der Grundempfindung. Ferner wären z.B. alle Spektralreize, die in einem überlappungsfreien Empfindlichkeitsbereich lägen, farblich gleich.

Neben dem großen praktischen Vorteil der Gruppeneinteilung der Farbreize in Farbvalenzen durch das Auge, kann einem diese Eigenschaft auch Streiche spielen.

Die Farbempfindung, die ein nicht selbstleuchtender Körper hervorruft, ist von der spektralen Zusammensetzung des von ihm remittierten Lichtes abhängig. Diese wird jedoch neben den Remissionseigenschaften des Körpers auch durch die spektrale Zusammensetzung des Beleuchtungslichtes bestimmt. Wechselt dieses, so kann sich auch der Farbeindruck des fraglichen Körpers ändern. Da in Kaufhäusern oft Leuchtstoffröhren mit ziemlich linienförmigen Spektren zur Beleuchtung eingesetzt werden, kann z.B. ein dort gekaufter Stoff bei Tageslicht besehen einen weniger schönen oder passenden Eindruck machen. Es kann sogar passieren, daß bei Tageslicht beurteilte Stoffe unterschiedlicher Farbe bei stimmtem Kunstlicht gleichfarbig wirken (sog. bedingt gleiche Farben). Angewandt auf das Beispiel von Reparatur- und Originallack für das Auto: Zufrieden mit seinem Ausbesserungswerk verläßt der Besitzer abends die Garage; das gleiche Werk am nächsten Morgen unter freiem Himmel betrachtet, könnte ihm durchaus Verdruß bereiten. Also:

Schätzt Du eine Farbe ein,
laß Tageslicht Beleuchtung sein!

Wer glaubt, jetzt die Farbsehproblematik in den wesentlichen Zügen verstanden zu haben, der prüfe sich durch die Erklärung folgender Erscheinung.

Zwei nebeneinanderstehende, völlig gleich aussehende grüne Flaschen (leer) füllt jemand mit einundderselben Flüssigkeit. Eine Flasche behält dabei ihre Farbe, als wäre sie mit Weißwein gefüllt worden, die andere wirkt dagegen schwarz, man könnte auf eine Rotweinfüllung tippen.

Es soll dazu noch bemerkt werden, daß wir hier ein Beispiel dafür haben, daß sich die Gesetze der additiven Farbmischung im allgemeinen nicht auf die subtraktive Farbmischung (Hintereinanderschaltung mehrerer Farbfilter) übertragen lassen. Hier hat die Addition (Hintereinanderschaltung) zweier gleichaussehender Filter offenbar nicht notwendig die gleiche Gesamtfilterwirkung. Das heißt, das Aussehen der Filter ist hier

nicht das alleinige Kriterium für das Mischungsergebnis. Wenn wir nun zum Schluß unserer Farbdiskussion kommen, so ist sich der Autor bewußt, trotz der an "impuls"-Maßstäben gemessenen großen Seitenzahl viele wichtige Dinge nur sehr knapp, andere gar nicht behandelt zu haben. Da aber durch den normalen Bildungsweg über die Methoden eines systematischen und exakten Herangehens an das Thema "Farbe" wenig vermittelt wird, brauchte das Streben nach erschöpfender Vollständigkeit auch nicht Anliegen dieser Artikelfolge zu sein.

Dem Leser mag vielleicht die Analogie zwischen Vektoren im dreidimensionalen Raum und Farbvalenzen selbstverständlich geworden sein. Es muß aber vor übereilten Schlüssen gewarnt werden. Die hier benutzte Analogie blieb auf die Darstellbarkeit im dreidimensionalen Raum, die Multiplikation mit reellen Zahlen und die Addition beschränkt. Die Analogie läßt sich nicht auf die eigentliche Metrik ausdehnen, in der der Abstandsbegriff einen zentralen Platz einnimmt. Der Abstand zweier Punkte kann nicht als Maß für die Unterschiedlichkeit der Farbe gewertet werden. In der hier behandelten sogenannten niederen Farbmétrie wurde vom Auge nur dessen Entscheidung über Gleichheit oder Nichtgleichheit zweier Farben verwendet. Der quantitativen Bewertung von Farbunterschieden durch das Auge widmet sich die höhere Farbmétrie. Während das Gebiet der niederen Farbmétrie relativ abgeschlossen ist, kann man das von der höheren nicht sagen. Hier gibt es bis heute viele offene Probleme. Der Fortschritt bei deren Lösung ist eng verbunden mit Ergebnissen bei der weiteren Klärung der Vorgänge beim Farbsehen durch das Auge einschließlich der nervlichen Weiterleitung zum Gehirn und der dortigen Verarbeitung der Nervenreize.

Man lebt nicht lange genug,
um aus seinen Fehlern zu lernen.

Sie begleiten uns das ganze Leben hindurch;
und nach allem Irren bleibt uns
schließlich nur übrig,
gebessert zu sterben.

La Bruyère

Der letzte Artikel über chemische Thermodynamik beschäftigte sich mit der Richtung einer chemischen Reaktion. Diese Aussagen sollen nun präzisiert werden, was auf die Behandlung des chemischen Gleichgewichtes führt.

Es wurde gesagt, daß der Wert der freien Enthalpie (g) bzw. freien Energie (f) ein Kriterium dafür darstellt, ob ein Vorgang in die vorgesehene Richtung freiwillig abläuft, ob er erzwungen werden muß (d.h. er würde freiwillig in die umgekehrte Richtung laufen), oder ob nichts geschieht, d.h. das System befindet sich im Gleichgewicht. Die Kriterien hierfür lauten:

<p>p, T konstant</p> <p>$\Delta g < 0$</p> <p>freiwillig ablaufende Vorgänge</p> <p>$\Delta g = 0$</p> <p>Gleichgewicht liegt vor</p> <p>$\Delta g > 0$</p>	<p>v, T konstant</p> <p>$\Delta f < 0$</p> <p>$\Delta f = 0$</p> <p>$\Delta f > 0$</p>
---	--

(1)

Vorgang kann nur unter Zwang realisiert werden; er läuft in die umgekehrte Richtung freiwillig ab.

Um genauere Aussagen machen zu können, müssen wir uns überlegen, von welchen Größen die Funktionen f und g abhängen.

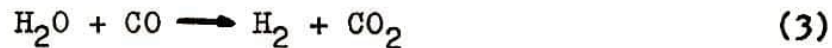
Infolge der Definitionen

$$\begin{aligned}\Delta f &= \Delta u - T \Delta s \\ \Delta g &= \Delta h - T \Delta s\end{aligned}\tag{2}$$

werden f und g von denselben Parametern abhängen wie u, h und s , also von p bzw. v, T und der Stoffmenge.

Deshalb ist es auch für die Größen f und g sinnvoll, molare Standardgrößen einzuführen, die sich auf ein und denselben Zustand (Standardzustand) beziehen und deshalb Konstanten darstellen.

Da u , h und s von der vorhandenen Stoffmenge abhängen und bei chemischen Reaktionen Stoffumsätze erfolgen, werden sich die freie Energie bzw. Enthalpie während des Ablaufes einer Reaktion ändern (jedoch nicht die Standardgrößen). In der folgenden Betrachtung sollen bei einem festgelegten p, T bzw. v, T nur die Veränderungen von f und g untersucht werden, die aus Konzentrationsänderungen während des (isobaren bzw. isochoren) Ablaufs der Reaktion resultieren. Die hierfür geltende Gesetzmäßigkeit wollen wir am Beispiel der Wassergasreaktion entwickeln. Die Reaktionsgleichung lautet



Wir wollen die Reaktion modellmäßig beschreiben, wobei die Reaktionspartner gasförmig vorliegen sollen.

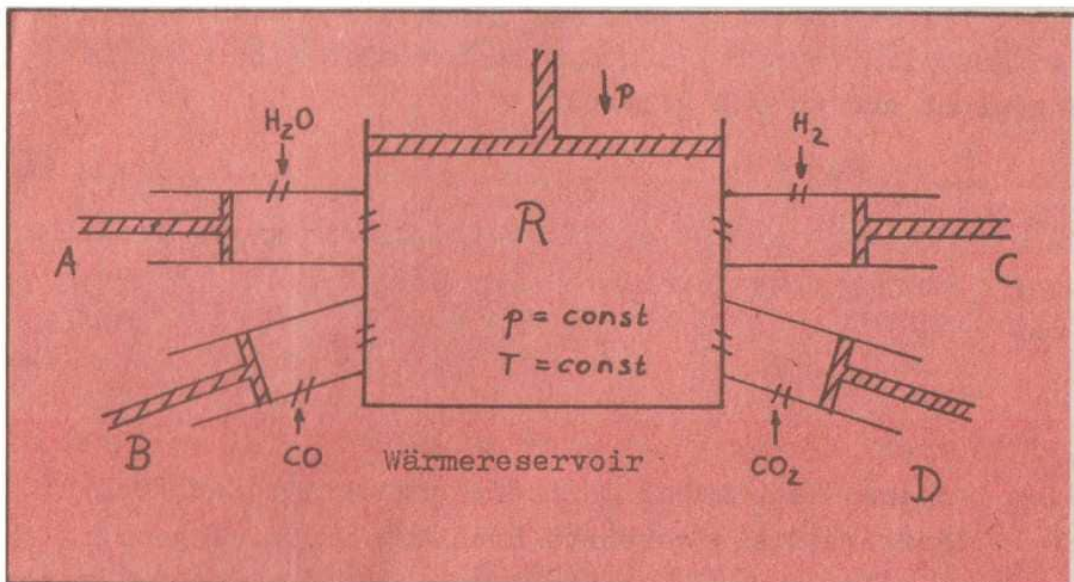


Abb. 1

In Abb. 1 ist das Modell dargestellt. In der Mitte befindet sich der Reaktionsraum (R), der eine bewegliche Wand besitzt, so daß während der Reaktion der Gesamtdruck konstant bleibt (wir müssen also die freie Enthalpie verwenden). Die Temperatur soll ebenfalls konstant gehalten werden, was durch das den Reaktionsraum umgebende Wärmereservoir erreicht wird. Rechts und links des Reaktionsgefäßes befinden sich vier Zylinder, in denen eine bestimmte Menge der Reaktionspartner (H_2O , CO , H_2 , CO_2) vorgelegt werden kann. Durch die Kolben können nun die genau definierten Konzentrationen der Reaktionspartner

($p_i v = n_i RT \leadsto \frac{n_i}{v} = c_i = \frac{p_i}{RT}$) in das Reaktionsgefäß gebracht werden.

Mit Hilfe der Spektroskopie (IR, UV) können wir die Konzentrationsänderungen messend verfolgen. Findet keine Übersetzung mehr statt, so ist die Reaktion beendet und wir messen ganz bestimmte Konzentrationen für H_2O , H_2 , CO und CO_2 . So sehr wir auch in weiteren Versuchen die eingesetzten Konzentrationen verändern, am Ende messen wir immer dieselben Konzentrationen für die einzelnen Stoffe.

Die Reaktion läuft in Abhängigkeit von den Konzentrationen der eingesetzten Stoffe entweder in die eine oder andere Richtung oder - wenn wir die Endkonzentrationen wählen - es geschieht überhaupt nichts.

Auf diese Beobachtungen wollen wir die allgemein gültigen Beziehungen (1) anwenden. Setzen wir genau die Endkonzentrationen ein, so geschieht nichts, das System befindet sich also im Gleichgewicht und es muß gelten:

$$\Delta_R G = 0 \quad (4)$$

Setzen wir mehr H_2O und CO ein, so wird die Reaktion in die vorgesehene Richtung ablaufen bis wieder Gleichgewicht herrscht. Hier muß

$$\Delta_R G < 0 \quad (5)$$

sein. Setzen wir demgegenüber mehr H_2 und CO_2 ein, so läuft die Reaktion bis zum Gleichgewicht in die umgekehrte Richtung. In diesem Fall ist also

$$\Delta_R G > 0 \quad (6)$$

Dieser Zusammenhang zwischen $\Delta_R G$ und den eingesetzten Konzentrationen der Reaktionspartner wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\Delta_R G = \Delta_R G^\ominus + RT \cdot \ln \frac{c_{H_2} \cdot c_{CO_2}}{c_{H_2O} \cdot c_{CO}} \quad (7)$$

Die c_i sind die in den Zylindern vorgelegten Konzentrationen der Reaktionspartner, $\Delta_R G^\ominus$ ist die molare freie Standardreaktionsenthalpie, die eine Konstante darstellt. Da diese Gleichung für jede beliebige Reaktion gilt, kommen wir zu folgender wichtiger Aussage: Jede chemische Reaktion führt immer nur bis zu einem Gleichgewichtszustand. Die Aussage, in welche Richtung eine chemische Reaktion verläuft, ist also nur eine Aussage darüber, auf welcher Seite der Reaktionsgleichung das Gleichgewicht liegt. Selbst die Verbrennung von Wasserstoff zu Wasser läuft nur auf einen Gleichgewichtszustand und keineswegs vollständig ab ($c_{\text{H}_2} = c_{\text{O}_2} = 0$). Im Wasserdampf sind - wenn auch nur sehr kleine - Spuren von Wasserstoff und Sauerstoff enthalten.

In Abbildung 2 ist Gl.(7) grafisch dargestellt (schematisch), wobei $\Delta_R G$ gegen den Umsetzungsgrad α (prozentualer Anteil der umgesetzten Stoffmenge gegenüber der eingesetzten) aufgetragen wurde.

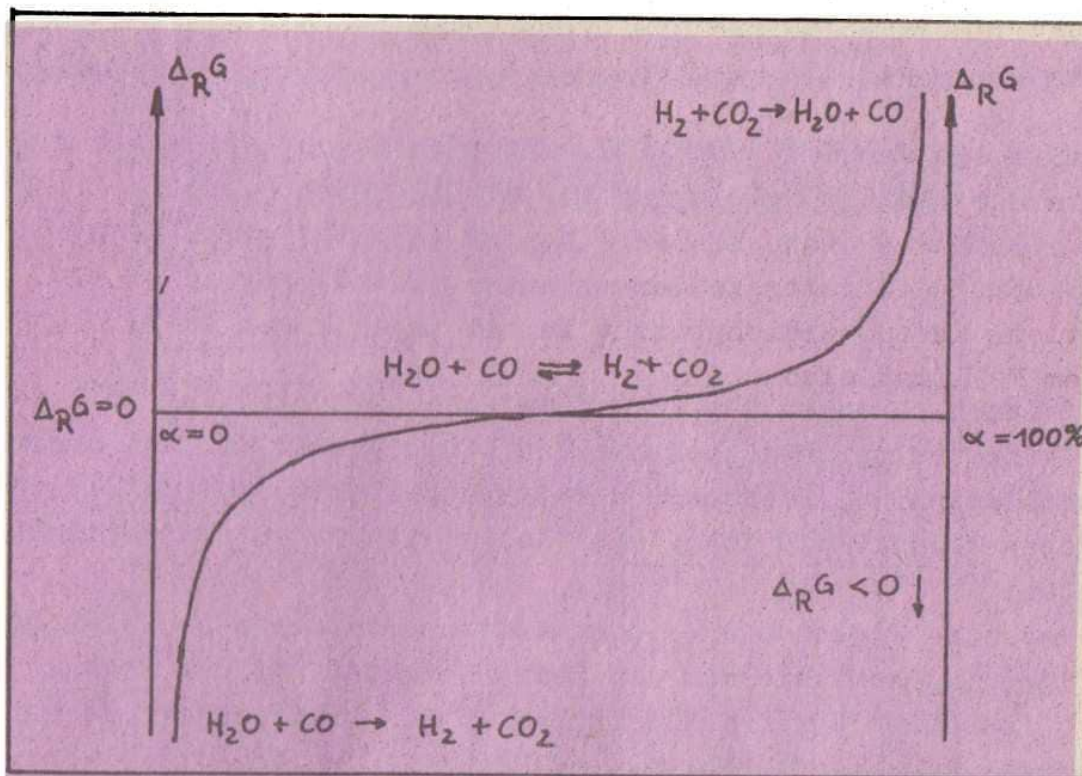


Abb. 2

Für $\alpha = 0$ ist $\Delta_R G = -\infty$, für $\alpha = 100\%$ ist $\Delta_R G = +\infty$. Der Schnittpunkt mit der α -Achse ($\Delta_R G = 0$) gibt die Gleichgewichtslage an. Die Pfeile entlang der Kurve sollen die Reaktionsrichtung andeuten.

Für den Gleichgewichtszustand gilt: (in allgemeiner Form)

$$\Delta_R G = 0 = \Delta_R G^\ominus + RT \cdot \ln \frac{c_C^c \cdot c_D^d}{c_A^a \cdot c_B^b} = \Delta_R G^\ominus + RT \cdot \ln K \quad (8)$$

für die Reaktion



wobei K wegen der Konstanz von $\Delta_R G^\ominus$ ebenfalls eine Konstante - die Gleichgewichtskonstante ist. Aus dieser Gleichung folgt also das Massenwirkungsgesetz. Da $\Delta_R G^\ominus$ die Gleichgewichtslage bestimmt ($\Delta_R G$ gibt an, nach welcher Seite die Auslenkung aus dem Gleichgewicht erfolgt ist) ist es möglich, aus tabellierten Werten nach Gl.(2) die molare freie Standardreaktionsenthalpie und daraus den Wert für die Gleichgewichtskonstante zu berechnen:

$$\ln K = - \frac{\Delta_R G^\ominus}{RT} \quad (9)$$

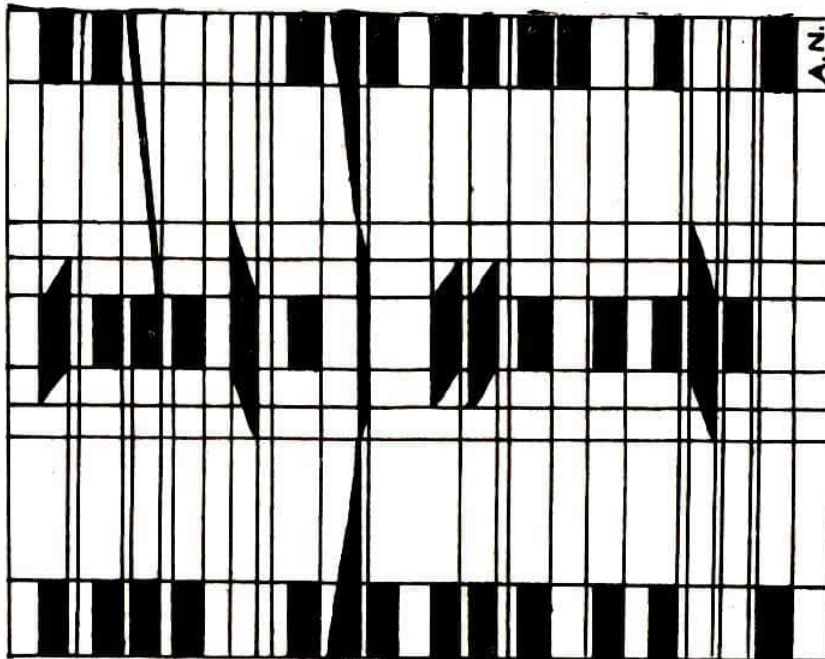
Bereits aus dem Wert von $\Delta_R G^\ominus$ läßt sich sagen, auf welcher Seite der Reaktionsgleichung das Gleichgewicht liegt:

$$\begin{aligned} \ln K > 0 & \text{ wenn Zähler} > \text{Nenner (} K > 1 \text{)} \quad \Delta_R G^\ominus < 0 \\ \ln K = 0 & \text{ wenn Zähler} = \text{Nenner (} K = 1 \text{)} \quad \Delta_R G^\ominus = 0 \\ \ln K < 0 & \text{ wenn Zähler} < \text{Nenner (} K < 1 \text{)} \quad \Delta_R G^\ominus > 0 \end{aligned}$$

Mit diesen Aussagen über das chemische Gleichgewicht soll der kurze Exkurs durch die chemische Thermodynamik beendet werden. Abschließend soll jedoch noch ein Überblick über ihre Bedeutung gegeben werden. Sie folgt unmittelbar aus ihren Aussagemöglichkeiten:

1. Ist eine Reaktion exo- oder endotherm und wie groß ist der Energieumsatz. Wie muß das Reaktionsgefäß bei der technischen Durchführung konstruiert sein, damit die erforderliche Energiemenge während der Reaktionszeit zu- oder abgeführt werden kann, daß also bei einem Dauerbetrieb weder eine Aufheizung noch eine Abkühlung erfolgt.

2. Auf welcher Seite liegt das Gleichgewicht (auch die Beeinflussung der Gleichgewichtslage durch Druck und Temperatur ist Gegenstand der Thermodynamik). Ist die Synthese überhaupt durchführbar und ist die Ausbeute so groß, daß das Verfahren wirtschaftlich vertretbar ist. Beispielsweise wurde die Synthese von Ammoniak aus den Elementen erst dadurch ermöglicht, daß Wild durch thermodynamische Berechnungen nachwies, daß das Gleichgewicht auf der Seite des Ammoniaks liegt und daß somit nur die kinetische Hemmung des Stickstoffs (z.B. durch einen geeigneten Katalysator) überwunden werden muß.
3. Die Thermodynamik kann allerdings nichts über den zeitlichen Ablauf einer chemischen Reaktion aussagen. Hierüber gibt die Reaktionskinetik Auskunft.
4. Die Gesetzmäßigkeiten der chemischen Thermodynamik lassen sich auch auf Phasengleichgewichte anwenden. Das liefert beispielsweise die Grundlagen für die Berechnung der Anzahl der Glockenböden eines Fraktionierturmes für die Erdölverarbeitung.



Vexierbild

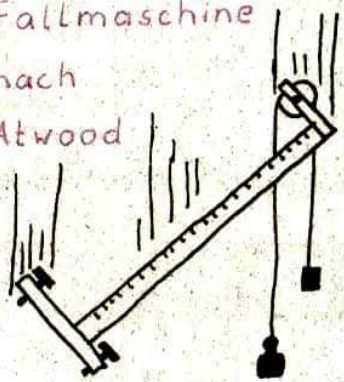




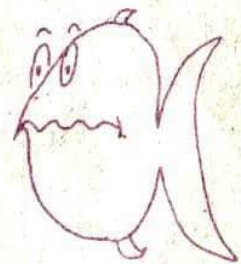
Impuls 68

heiter!

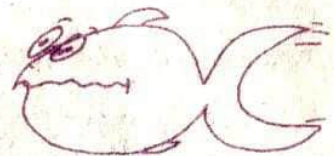
Fallmaschine
nach
Atwood



$v_0 = 0 \text{ ms}^{-1}$



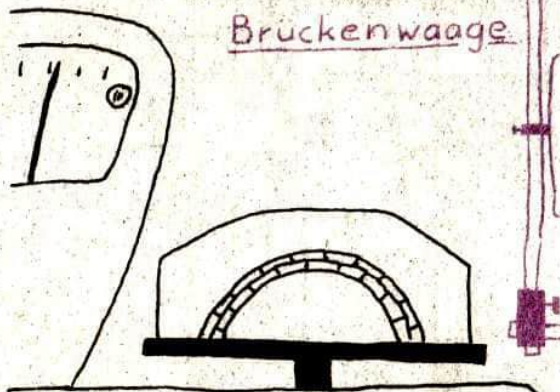
$v_1 = 100 \text{ ms}^{-1}$



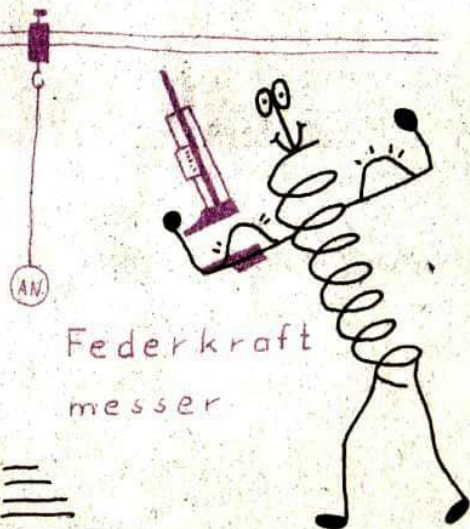
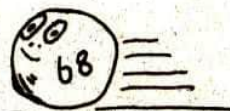
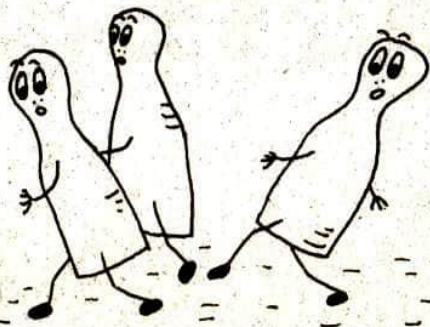
$v_2 = 200 \text{ ms}^{-1}$



Brückenwaage



Durchbruch
der
Schallmauer



Federkraft
messer

68

Impuls

Schülerzeitschrift für

PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

5/84

INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 18. Jg.

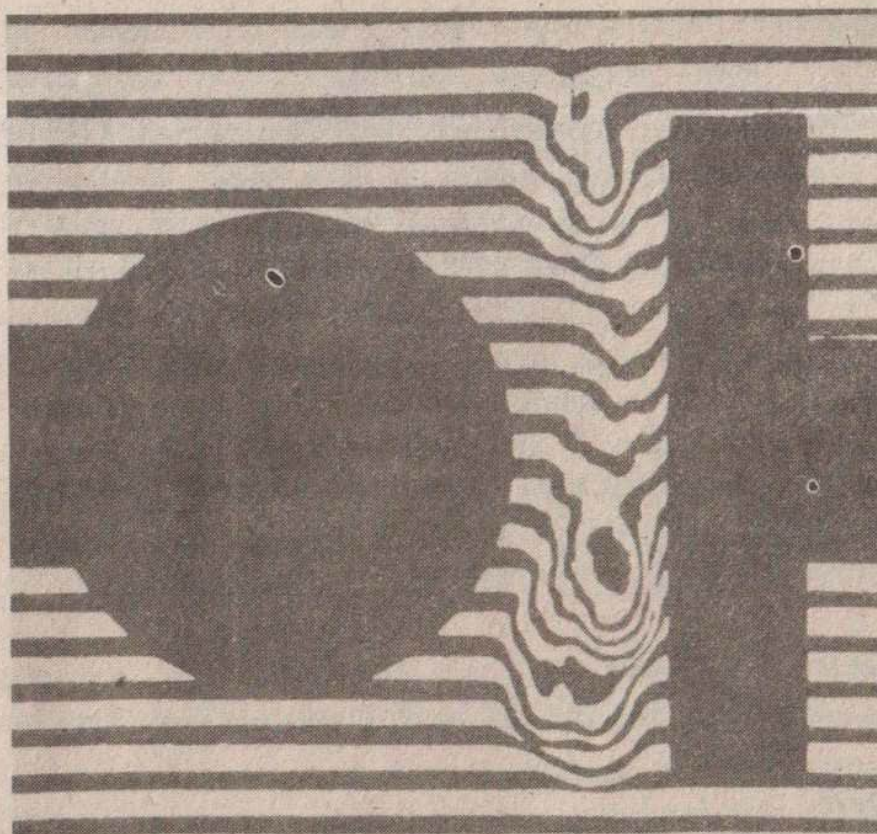
Regiert
das Chaos
die Welt?

★

Büchermarkt

★

Titelbild:
Luftwirbel
zwischen
zwei
Elektroden
unmittelbar
nach einem
Funken-
überschlag
(Kurzzeit-
Interferenz-
aufnahme)
Repro: S. W.



Stern-
populationen

★

Interview

★

Grundlagen
der
Fotografie

★

Material-
bearbeitung
mit Lasern

DER MYSTERIOSE WEG DES PHLOGISTONS

– von Dr. Roland Colditz –



Michael Kaschke	Regiert das Chaos die Welt? – Theorie chaotischer Systeme – Teil 1	PHY	3
Wolfgang König	Büchermarkt		9
Uwe-Karsten Röder	Sternpopulationen	ASTRO	10
Doz. Dr. Erwin Hentschel Dr. Günther Wagner	Aneignung der Fachsprache als Aufgabe für erfolgreiche Studienvorbereitung	INTERVIEW	20
Stefan Winter	Physikalisch-chemische Grundlagen der Schwarzweiß- und Farbfotografie – Teil 2 –	PHY, CHE	26
Dr. Roland Colditz	Der mysteriöse Weg des Phlogistons (1. Teil) Das chemische System auf dem Kopf	CHE	37
Dr. Klaus Vogler	Materialbearbeitung mit Lasern – Teil 1 –	TECH	43

impuls 68 – SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“.

Anschrift der Redaktion: 6900 Jena, Max-Wien-Platz 1, Telefon 82-26286.

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR.

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: –,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb.

Satz und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht Gera, AN (EDV) 13228

REDAKTION:

Chefredakteur: Dipl.-Phys. Achim Dittmar, stellv. Chefredakteur: Dipl.-Phys. Michael Kaschke

Redaktionsmitglieder: Dr. Rosemarie Hild, Dr. Roland Colditz, Dr. Jürgen Sauerstein, Dipl.-Chem. Gabi Welsch, Elke Schönheinz, Silvia Butters, Antje Schlegel, Kerstin Leißling, Stefan Winter, Peter Kroll, Alexander Niehardt

Die Redaktion wurde 1969 und 1980 mit dem Ehrentitel „Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR“ ausgezeichnet.

Gestaltung: Gabi Welsch

Redaktionsschluß: 17. 7. 1984

Wir sind es gewohnt, daß uns die Physik Vorhersagen liefert, die dann auch eintreten, gerade das macht Ihre Stärke aus. Man kennt, sagen wir, die Anfangsbedingungen eines Systems, gewisse äußere Parameter und ein Gleichungssystem für das betrachtete System, dann liefert uns die Physik eine Vorhersage über die zeitliche Entwicklung dieses Systems. Beispiele hierfür sind z.B. ein angestoßenes Federpendel oder Bewegung natürlicher und künstlicher Himmelskörper. Erinnerung sei nur an die präzise Voraussage von Sonnenfinsternissen oder an die Erfolge der Raumfahrt.

Philosophisch betrachtet, liegt all diesen Dingen eine grundlegende Tatsache der Natur zugrunde, die Kausalität.

Wir wollen hier unter Kausalität das Ursache - Wirkungsverhältnis verstehen, also die Tatsache, daß jede Ursache auch eine Wirkung, eine eindeutige Wirkung hat.

Wir wollen im Hinblick auf die physikalische Modellierung den Begriff der Kausalität etwas einschränken und darunter im folgenden Kausalität im zeitlichen Sinne verstehen.

Präpariere ich ein System in einem Anfangszustand S_0 , so kann ich zu jedem Zeitpunkt Aussagen über den Zustand S machen; mehr noch, präpariere ich das System wieder und wieder in den genau gleichen Anfangszustand S_0 so wird es nach einer beliebigen, aber festen Zeit immer wieder in dem genau gleichen Zustand S sein.

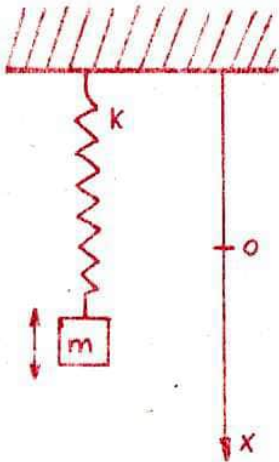
Daran glauben wir, und daß das so ist, belegen die Gleichungen, mit denen wir das physikalische System beschreiben.

An dieser Stelle muß aber eine Einschränkung für die Systeme gemacht werden. Wir wollen keine quantenmechanischen Systeme, d.h., keine physikalischen Systeme aus Mikroteilchen betrachten und auch keine Systeme, von denen wir nur unzureichende Kennt-

nis haben und die wir deshalb mit den Mitteln der Statistik beschreiben müssen.

Info 1

Federschwinger



Gleichung für die zeitliche Entwicklung des Systems: $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$

Anfangsbeding.: $x(t_0) = x_0$; $v(t_0) = v_0$

Lösung:

$$x(t) = x_0 \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t$$

$$v(t) = -x_0 \omega \sin \omega t + v_0 \cos \omega t$$

$$\text{mit } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

wobei

x_0 die Anfangslage des Federschwingers (Ruhelage $x = 0$)

und

v_0 die Anfangsgeschwindigkeit ist.

Für beide Arten von Systemen können wir, allerdings aus verschiedenen Gründen, nur Wahrscheinlichkeitseussagen machen. Am Schluß unseres Artikels werden wir noch einmal auf diese Systeme eingehen.

Wir wollen uns also auf sogenannte determinierte Systeme beschränken, deren Gleichungen zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung (Differentialgleichungen) sogenannte deterministische Gleichungen sind.

Halten wir fest:

Für determinierte Systeme ergeben genau gleiche Anfangsbedingungen die genau gleiche zeitliche Entwicklung (Informationskasten 1).

Das erscheint uns vielleicht nicht weiter verwunderlich, aber wir haben ja noch mehr.

Man ist ja im Experiment nie in der Lage, die Anfangsbedingungen genau gleich zu machen, man kann sie immer nur im Rahmen der Meßgenauigkeit gleich gestalten. Dann wird man aber doch im Rahmen der Meßgenauigkeit auch die gleiche zeitliche Entwicklung feststellen.

Wir wollen das etwas verdeutlichen.

Kein Mensch wird erwarten, daß eine Rakete, die in Richtung Mond fliegt und deren Kurs aufgrund deterministischer Gleichung sehr genau berechnet worden ist, auf der Venus ankommt, nur weil ihr unterwegs ein Meteorit von 1 mg Masse begegnet ist, der in den Rechnungen nicht berücksichtigt worden ist. Oder ein anderes Beispiel:

Keiner wird daran glauben, daß der Federschwinger aus Informationskasten 1 einmal eine Periodendauer von 1s und das andere Mal min aufweist, nur weil sich die Temperatur um 0,1 K erhöht und damit k sich etwas verändert hat.

Anders ausgedrückt, man erwartet, daß solche physikalischen Systeme nicht besonders sensibel auf geringe Änderungen der Anfangsbedingungen reagieren.

Wir haben also noch eine stärkere Art von Kausalität, wir können sagen, ähnliche Ursachen ergeben ähnliche Wirkungen (zeitlich gesehen).

Wir wollen das verdeutlichen und dabei gleichzeitig eine weitere Möglichkeit kennenlernen, ein System zu beschreiben.

Info 2

Wir wählen nun spezielle Anfangsbedingungen:

$$x(t_0) = x_0$$

$$v(t_0) = 0$$

Die Lösungen:

$$x(t) = x_0 \cdot \cos \omega t$$

$$v(t) = -x_0 \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

Offensichtlich ist das Federpendel durch Angabe von $x(t)$ und $v(t)$ vollständig charakterisiert.

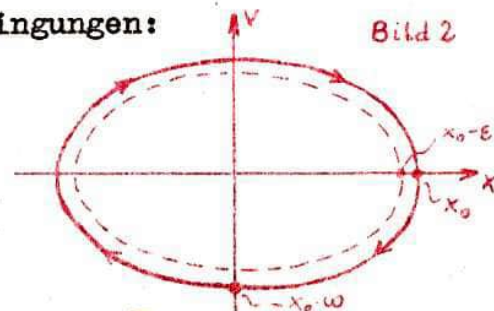
Wir stellen beide Größen in einem Diagramm dar. (Bild 2)

Dieser (hier zweidimensionale) Raum wird Phasenraum Ω genannt, die Bahn, die sich aus der Lösung der Systemgleichung ergibt, wird Phasenraumtrajektorie genannt.

Ist diese geschlossen, wie im obigen Fall, so hat man eine periodische Bewegung.

Eine geringfügige Änderung von x_0 zu $x_0 - \varepsilon$ ergibt eine nur minimal abweichende Phasenbahn (gestrichelte Kurve).

Für die Kennzeichnung des Zustandes des Systems zum Zeitpunkt t genügt die Angabe des Phasenraumpunktes mit den Koordinaten $(x(t), v(t))$.



Für Systeme mit mehr Freiheitsgraden wird nun der Phasenraum Ω im allgemeinen vieldimensional und nicht mehr anschaulich vorstellbar, das System ist aber durch Angabe aller Koordinaten des Phasenraumpunktes eindeutig charakterisiert. Im Bild 1 ist schematisch (zweidimensional) der Phasenraum zum Zeitpunkt t_0 und zur Zeit t dargestellt. Der Phasenraum umfaßt alle möglichen Zustände, die das System einnehmen kann. Ein Phasenraumpunkt gibt jeweils konkret an, in welchem Zustand S sich das System befindet. Die zeitliche Entwicklung wird durch Pfeile ausgedrückt.

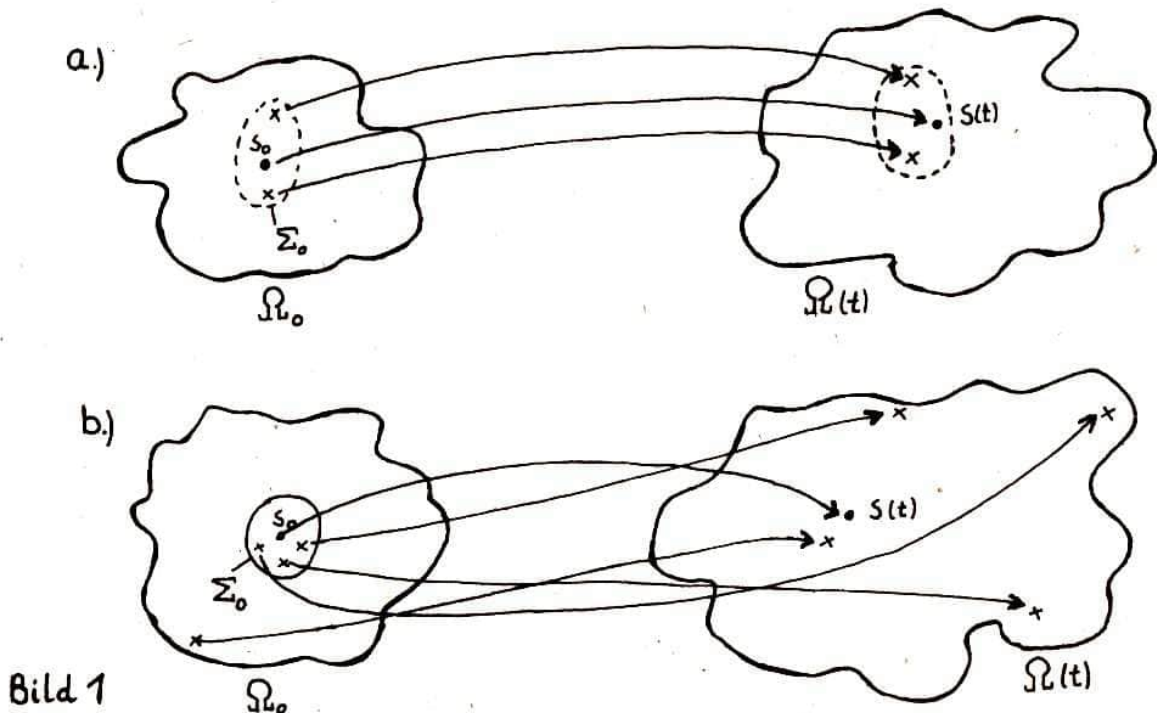


Bild 1

Aus Abbildung 1a wird das starke Kausalitätsprinzip deutlich, ähnliche Präparation des Systems liefert ähnliche zeitliche Entwicklung. Anders dagegen Abbildung 1b. Hier ist die zeitliche Entwicklung offenbar ganz sensibel abhängig von den Anfangsbedingungen. Denkbar sind beide Fälle, der erste ist uns bereits begegnet. Die Frage ist, existieren Systeme in der Natur, die das starke Kausalitätsprinzip nicht erfüllen. Ohne auf spezielle Systeme genauer einzugehen, - das soll im nächsten Heft geschehen, - sei gesagt, daß es solche Systeme gibt.

Diese Systeme werden chaotisch genannt.

Warum chaotisch und weitere Eigenschaften solcher Systeme können wir aus Bild 1b ableiten.

Merkmale chaotischer Systeme

1. Der Zustand des Systems ist ungeheuer sensibel von den Anfangsbedingungen abhängig.
Eine infinitesimal kleine Verschiebung der Anfangsbedingungen führt zu einer völlig anderen zeitlichen Entwicklung des Systems.
2. Das starke Kausalitätsprinzip ist verletzt.
Ähnliche Ursachen haben (zeitlich betrachtet) nicht mehr ähnliche Wirkungen.
3. Die Bewegung im Phasenraum erfolgt unregelmäßig.
Insbesondere gibt es keine geschlossenen Phasenraumtrajektorien, d.h. keine periodischen oder Überlagerung von periodischen Bewegungen.
Die Bewegung ist chaotisch.

Zu Punkt 3 ist vielleicht eine Erklärung notwendig. Chaotisch heißt nicht unvorhersagbar, denn die Gleichungen des Systems sind ja deterministisch.

Die Bewegungen sind also nach wie vor vorhersagbar, wenn es mir gelingt, mein System immer wieder in dem genau gleichen Anfangszustand zu präparieren.

Grundsätzlich ist es aber unmöglich, die Startbedingungen völlig exakt zu bestimmen. Man hat also immer einen kleinen Bereich Σ_0 in Ω_0 als Startbereich, von dem aus die Phasenbahnen zunächst auch ähnlich verlaufen. Nach einer bestimmten Zeit t jedoch sind die Abweichungen so groß geworden, daß die Phasenraumtrajektorien, die von Σ_0 ausgehen, den gesamten Phasenraum $\Omega(t)$ überdecken. Man kann dann nur noch sagen, das System hat irgendeinen Zustand.

Tja, und das kann man dann wohl als Chaos bezeichnen.

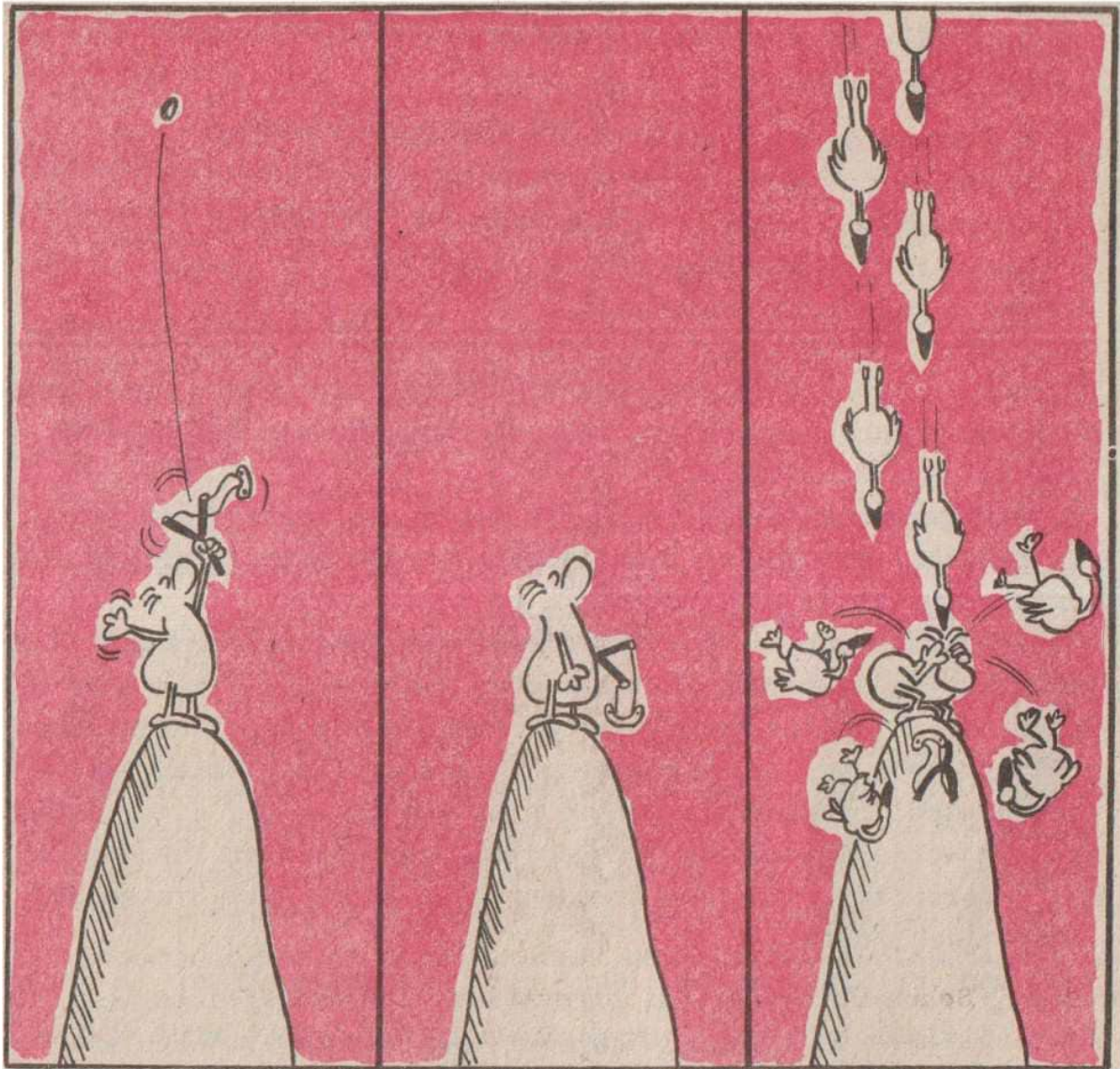
So viel vielleicht als Vorbemerkungen. Vielleicht wird vieles klarer und anschaulicher, wenn wir uns im nächsten Heft konkreten Systemen zuwenden.

Wir bitten den Leser, sich die erläuterten Begriffe genau zu durchdenken, da wir im folgenden viel mit ihnen operieren werden.

Zum Schluß noch ein Zitat von James Clerk Maxwell (1831-1879), der 1873 zu diesem Thema schrieb:

"Es ist eine metaphysische Doktrin, daß gleiche Ursachen gleiche Wirkungen nach sich zögen. Niemand kann sie bestreiten. Ihr Nutzen aber ist gering in einer Welt wie dieser, in der gleiche Ursachen niemals wieder eintreten und nichts zum zweiten Mal geschieht!"

Erlebtes Chaos



BÜCHERMARKT

Sigmund Jähn

„Erlebnis Weltraum“

Militärverlag der DDR

1. Aufl., Bln. 1983, 300 Seiten, zahlreiche Fotos (farbig und schwarzweiß),
Graphiken,

Bestell-Nr. 7465 032, Preis: 19,80 M

Wer Sigmund Jähns Buch "Erlebnis Weltraum" in der "Jungen Welt" schon gelesen oder auch nur auszugsweise zur Kenntnis genommen hatte, konnte die Zeit kaum erwarten, bis der Militärverlag diesen Band dem Buchhandel übergab. Spannend und informativ, aber auch getragen vom Stolz auf die wissenschaftlich-technischen Leistungen unserer Länder, ohne sich selbst als Autor in den Vordergrund zu rücken, das scheinen mir die hervorstechendsten Merkmale dieses Buches zu sein.

Da unser Fliegerkosmonaut sein populärwissenschaftliches Erstlingswerk mit dem Redaktionsschluß vom 30. 12. 1982 fertiggestellt hat, konnten Ergebnisse eingearbeitet werden, die vor 4 1/2 Jahren, unmittelbar nach dem ersten gemeinsamen Raumflug UdSSR - DDR, noch nicht vorlagen. In der Rückschau war es Sigmund Jähn möglich, manches schärfer zu beurteilen, als er das im Jahre 1978 gekonnt hätte. Das macht diese 300 Seiten umfassende gut bebilderte Buch erst recht lesenswert.

"Um geologische Strukturen ging es ... bei unseren Beobachtungen und Fotoaufnahmen. Mit der Multispektralkamera MKF 6M setzen wir fort, was Waleri Bykowski und Wladimir Axjonow bereits im September 1976 mit der MKF 6 vom Raumschiff Sojus 22 aus begonnen hatten:

Multispektralaufnahmen von ausgewählten Gebieten der Erde, Salut 6 war schon mit dem Folgemuster dieser Kamera ausgestattet... Eine Arbeitsgruppe unter Leitung des Zentralinstituts der Erde bei der Akademie der Wissenschaften der DDR koordinierte diese Tätigkeiten".

Empfehlen möchte ich "Erlebnis Weltraum" vor allem den Abgängern der 10. und 12. Klassen, weil ich glaube, daß die mit Sigmund Jähns Augen betrachtete Erde den "eigenen Horizont" erweitern hilft und somit eine zusätzliche Stütze bei der Abschluß- bzw. Reifeprüfung sein könnte.

Im übrigen dürfte das Buch den allergrößten Leserkreis in unserer Republik finden und braucht daher gar nicht weiter angepriesen zu werden.

Wolfgang König

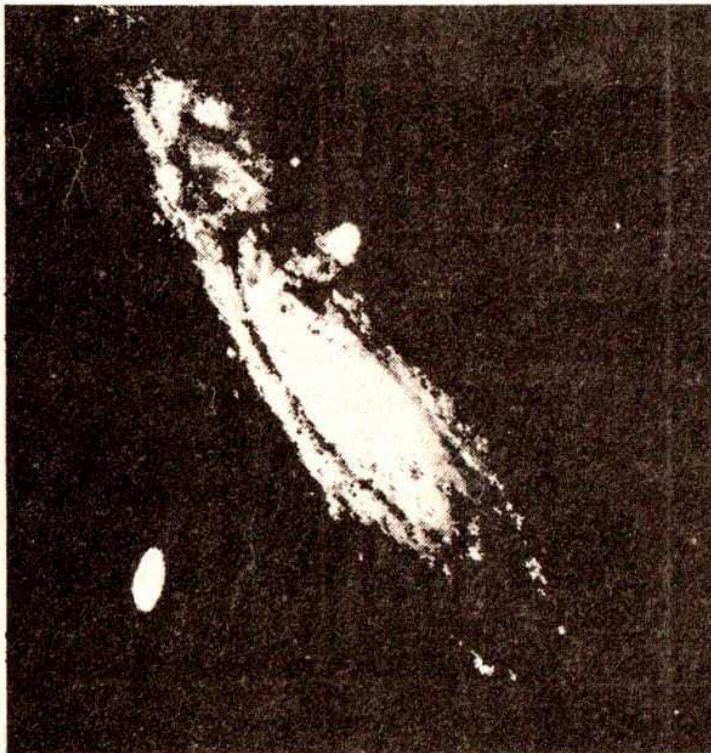
Owe-Karsten Köder
3. Studienjahr
Physik/Astro-Lehrer
Sektion Physik
FSU Jena

Sternpopulationen

ASTRO

Um über die Entwicklungsgeschichten und Strukturen von Galaxien konkrete und annähernd vollständige Aussagen machen zu können, führte Walter Baade im Jahre 1944 das Konzept der Sternpopulation ein. Er unterschied in unserem Milchstraßensystem und im Andromedanebel (M 31) Population I und Population II.

1944 machte Walter Baade von M 31 und seinen Begleitergalaxien Aufnahmen. Mit dem 2,5 m-Teleskop im Mount Wilson-Observatorium (seit 1970 Hale-Observatorium) war es ihm möglich, lange Belichtungszeiten zu erreichen. Bis zu diesem Zeitpunkt waren nur die kugelförmigen Sternhaufen, die offenen Sternhaufen, die Sternassoziationen, die Emissions- und Absorptionsnebel, Einzelsterne und die veränderlichen Sterne in den Spiralarmen von M 31 und anderen Spiralgalaxien klassifiziert.



**Andromedanebel
(M 31)
mit Begleitergalaxien**

W. Baade gelang es aufgrund der extrem langen Belichtungszeiten (≈ 4 h) bei geringer Luftunruhe auch das Kerngebiet von M 31 in Einzelobjekte aufzulösen. Er fertigte von den Sternen des Kerngebietes von M 31 und seinen Begleitern ein Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) an. Durch den Vergleich mit dem HRD der Kugelsternhaufen unserer Galaxis stellte er fest, daß die HRD's der ersteren dem HRD der Kugelsternhaufen unserer Milchstraße entsprechen. Die hellsten Objekte, die enthalten sind, sind rote Überriesen. Bei den äußeren Regionen von M 31 ergab der analoge Vergleich, daß das HRD typisch für offene Sternhaufen ist, hierbei sind die hellsten Sterne blaue Objekte auf der Hauptreihe.

Aufgrund seiner Forschungsergebnisse nahm W. Baade folgende Einteilung vor:

1. Die Sterne vom galaktischen Sternhaufentyp bilden die Population I.
2. Die Sterne vom Kugelhaufentyp bilden die Population II.

Tabelle 1: Mitgliedschaft der beiden grundlegenden Sternpopulationen nach Walter Baade

Population I - Objekte	Population II - Objekte
offene Haufen	Kugelhaufen
Sonne	Sterne mit schwachen Spektrallinien
interstellares Gas	Novae
T Tauri-Sterne	RR Lyrae-Veränderliche
Sterne mit starken Spektrallinien	langperiodische Veränderliche
Riesensterne	Hochgeschwindigkeitssterne
klassische Cepheiden	metallarme Sterne
	Population II - Cepheiden

Einen Unterschied zwischen den beiden Populationen sah man anfangs im Alter der betreffenden Sterne. Dieser Unterschied ist natürlich ein richtiger und auch wichtiger Sachverhalt. Man konnte zu dieser Zeit nur noch nicht die weit gefächerten Ursachen der Altersunterschiede erkennen. Man nimmt an, daß die Sterne aus den Gas- und Staubmassen entstehen. Da diese heute noch als interstellare Materie in den Spiralarmen des

Milchstraßensystems existieren, entstehen wahrscheinlich auch heute noch Sterne. Die in den Spiralarmlen befindlichen O- und B-Sterne der extremen Population I können somit noch nicht sehr alt sein. Es kann sein, daß sie erst vor kurzer Zeit entstanden sind.

Wenn sich die interstellare Materie stark verdichtet, besteht die Möglichkeit der Bildung eines Protosternes. Dieser kann die Kernprozesse (Proton-Proton-Reaktion) nur in Gang setzen, wenn eine bestimmte Masse vorhanden ist. Bei einem Protostern mit 0,07 bis 0,09 Sonnenmassen kommt es nicht zur "Zündung" der Kernreaktion, er kühlt langsam aus und wird zu einem Schwarzen Zwerg. Die Mitgliedsterne der extremen Population II sind sehr alt. Und ihre Entstehung muß in vielen Einzelheiten vor sich gegangen sein. So waren während ihrer Entstehung noch keine anderen Sterne vorhanden (somit erfolgte keine Beeinflussung, wie z.B. die Ionisation der interstellaren Materie durch die heißen O- und B-Sterne), und man nimmt an, daß die interstellare Materie zu diesem Zeitpunkt eine wesentlich andere Zusammensetzung hatte wie in der Gegenwart. Der "Urnebel", aus dem die ersten Sterne entstanden, besteht zu 80 % aus Wasserstoff und zu 20 % aus Helium. Das Nichtvorhandensein von schweren Elementen verändert auch die Abstrahlung der freiwerdenden Energie, und die bei Zusammenstößen von Wolken einsetzenden Kühlprozesse sind viel wirksamer, wenn die Wolken schwere Elemente enthalten.

Man erkennt, daß schon die Entstehungsgrundlagen sehr verschieden und kompliziert zu erforschen sind.

In engem Zusammenhang mit ihrem Alter stehen die Bewegungsverhältnisse der Mitglieder unserer Milchstraße. Dies wird im weiteren noch näher erläutert.

Wie schon erwähnt, ist das Vorhandensein von schweren Elementen ein bedeutendes Charakteristikum bei der Einteilung der Sterne in Populationstypen. Die Metallhäufigkeit Z verringert sich somit beim Übergang von der Population I zur Population II.

Die Altersunterschiede zwischen den Vertretern resultieren aus den vielen Bestimmungen, von denen schon einige genannt wurden. So sind die offenen Sternhaufen und Assoziationen, welche die galaktische Ebene definieren, sehr jung. Vertreter dieser Gruppen sind z.B. T-Tauri-Sterne (unregelmäßig Veränderliche,

die von Gas- und Staubhüllen umgeben sind und wahrscheinlich Protosterne im letzten Stadium der Kontraktion darstellen, bei denen die Hülle aufreißt und der eigentliche Stern sichtbar wird; sie bilden Sternassoziationen) und O-Sterne, von denen man aus der Sternentwicklung weiß, daß sie nicht älter als 10^5 bis 10^6 Jahre sind. Die Sonne dagegen ist schon älter als 5 Milliarden Jahre. Die offenen Sternhaufen haben eine geringe Sterndichte ($\rho \approx 1000^{**} / 5 \text{ pc}^3$) und somit sind die gravitativen Kräfte minimal. Diese Sterne sind nur schwach gebunden. Es entweicht alle 100 000 Jahre ein Stern und somit wird das Alter dieser Haufen auf rund 100 Millionen Jahre begrenzt.

W. Baades Untersuchungen der Kugelhaufen NGC 6528 und NGC 6522 festigten seine Überzeugung, daß die Kernregionen in Spiralgalaxien hauptsächlich aus älteren Sternen bestehen, wie die Kugelhaufen, die das Halo der Galaxien bilden.



Das Milchstraßensystem.

Räumliche Verteilung der Populationen, projiziert auf eine Ebene, welche senkrecht zur galaktischen Ebene durch die Sonne gelegt ist.

So stimmte Baades ursprüngliche Unterteilung der örtlichen Lage, bezogen auf die Bewegung der Sterne in der Galaxis. Die Kernregion und die Halos enthalten Population I-Sterne und die Scheibe Population II-Sterne.

Die Einteilung der Sterne in zwei Populationen zur Klärung der komplizierten Prozesse und Sachverhalte in den Galaxien wurde aufgrund der neuen Beobachtungsergebnisse und der daraus folgenden exakteren Begründung vieler Erscheinungen in unserem Milchstrahlensystem erweitert. Heute unterscheidet man deshalb fünf Populationstypen (Tabelle 2).

Die Tabelle 2 gibt einen grundlegenden Einblick in die Morphologie der Spiralgalaxien, hier speziell unserer Galaxis. Die Sterne des Spektraltyps O und die O-Assoziationen befinden sich fast ausschließlich in der galaktischen Ebene. Annähernd dieselbe Konzentration gegen die Symmetrieebene die δ -Cephei-Sterne (Es sind Pulsationsveränderliche und sie bilden eine Untergruppe der W-Virginis-Sterne. Sie expandieren und kontrahieren rhythmisch, wobei die äußeren Schichten Geschwindigkeiten bis zu 40 km/s erreichen. Die von der Leuchtkraft abhängige Periode schwankt zwischen einem und 1000 Tagen), die offenen Sternhaufen, die T-Tauri-Sterne und die Überriesen. Wolken ionisierten Wasserstoffs (H II-Wolken) mit Temperaturen von rund 10 000 K sind ebenfalls stark zur Ebene konzentriert, sie gehören somit zur extremen Population I und stellen die jüngste Komponente der Galaxis dar.

A-Sterne haben im Mittel einen größeren Abstand von der Symmetrieebene des Milchstraßensystems, sie haben größere galaktische Breiten und zu den Polen hin nimmt ihre Anzahl stark ab. Die A-Sterne bilden somit ein größeres Untersystem als die O-Sterne.

Noch ausgedehnter ist die Scheibenpopulation, ihre Mitglieder sind die planetarischen Nebel, die Novae und die RR-Lyree Sterne mit $P \ll 0,4$ d (dies sind Haufenveränderliche; Riesensterne, die durch Pulsation ihren Lichtwechsel erhalten. Ihre mittlere absolute Helligkeit beträgt +0,5 mag und somit ist ihre Entfernung gut bestimmbar), so wie die Sterne vom Spektraltyp F bis M. Die Hauptmasse der Sterne des Kerngebietes der Galaxis gehören zur Scheibenpopulation. Das Untersystem mit der größten räumlichen Ausdehnung bilden die Kugelstern-

Tabelle 2.: Populationen mit ihren Vertretern

Halopulation	Zwischenpopulation II	Scheibepopulation	ältere Population I	extreme Population I
Unterzwerge Kugelstern- haufen RR-Lyrae-Sterne mit $p \approx 0,4$ Tage	Schnellaufer mit $v = 50$ km/s Längsperiodische Ver- änderliche mit $p \ll 250$ Tage	normale Sterne der Scheibe und des Kerns der Galaxis Planetarische Nebel RR-Lyrae-Sterne mit $p \approx 0,4$ Tage Novae	A-Sterne Sterne mit relativ starkem Metallinien- Spektrum	interstelläre Materie offene Stern- haufen Sternassozia- tionen Überriesen ♁-Cephei- Sterne π-Tauri- Sterne
$R_z = 2000$ pc	700 pc	450 pc	160 pc	120 pc
$v_z = 75$ km/s	25 km/s	18 km/s	10 km/s	8 km/s
$Z = 1/500-1$		1/3-3, Mittel I		≈ I
sehr alte Sterne		vorwiegend alte Sterne		Junge Sterne
ALTE BAADESCHE POPULATION II		ALTE BAADESCHE POPULATION I		

z Metallhäufigkeit
 /z/.... mittlere Entfernung von der galaktischen Ebene
 v_z.... mittlere Geschwindigkeit zur galaktischen Ebene (relativ zur Sonne)

Je Lütbochen
die Wirtin -
desto besser das Bier.

Jeure Täubchen lehren
dich, daß dein Geld fliegen kann.

Ein leerer Geldbeutel ist
eine schwere Last.

In der Brauerei geht
es weiter Brot
noch Backwerk.

Feuchte Gesellschaft
wicht dich schnell ein.



Im Schnaps, da schwimmt
du schnell vom Himmel
in die Höl!

"Teufel, die rote Lampe! Ich
bin schon wieder auf Reserve!"

Dem krähen Blick
hilft keine Brille.

Ein leerer Faß kommt
mehr als ein volles.

Bei Schnaps und Ehestreit
ist Teufels Anseh
nicht weit.

haufen und die RR-Lyrae-Sterne mit $P > 0,4 d$. Es trägt den Charakter eines Halos, ist nahezu kugelförmig und seine Ausdehnung wird durch die Scheibenpopulation bestimmt. Sie hat die Konzentration zur galaktischen Ebene hin.

Die Sterne der Population II bewegen sich auf sehr langgestreckten Bahnen (große Exzentrizität) nahe am galaktischen Zentrum vorbei und hoch über die galaktische Ebene hinweg; wogegen sich die Sterne der Population I fast auf Kreisbahnen annähernd in Galaxisebene bewegen (Bottlinger-Diagramm). Die verschiedenen Bewegungsverhältnisse der Populationen lassen Rückschlüsse auf das Alter ihrer Vertreter zu.

Am Anfang der Galaxisentwicklung (sein größter Teil war noch gasförmig) war die Materie in mehr oder weniger gleichartigen Sphären oder in kaum abgeplatteten Ellipsoiden verteilt. Dieses System rotierte. Es entstanden Wolken, die sich im Raum bewegten. Dies bedeutet, daß sie mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zusammenstießen. Dadurch erhitzen sie sich und die überschüssige Energie wurde abgestrahlt. Existierten diese Wolken lange, ging ein hoher Betrag an kinetischer Energie durch Strahlung verloren, der Drehimpuls änderte sich nicht. Daraus folgt, daß sich die Dichte der Wolken verringerte, jedoch der Durchmesser konstant blieb.

Das System des interstellaren Gases wurde ein abgeplatteter Sphäroid, es entstand eine flache Scheibe. In dieser Zeit kam es zur Sternentstehung und die Sterne erhielten den Bewegungsimpuls des Gases. Daß die Sterne zusammenstießen, ist sehr unwahrscheinlich, und somit behielten sie ihre kinetische Energie. Damit erklärt sich, daß die jüngeren Sterne stärker zur Hauptebene der Galaxis geneigt sind, und umgekehrt verhielt es sich mit den älteren Sternen.

Auswertungen der gemachten Beobachtungen von O- und B-Sternen und Cepheiden zeigen eine deutliche Inhomogenität der alten Baadeschen Population I. Diese Spiralarmindikatoren zeigen eine klumpige Anordnung in der galaktischen Ebene, was eine Annahme der Spiralstruktur unseres Milchstraßensystems zuläßt.

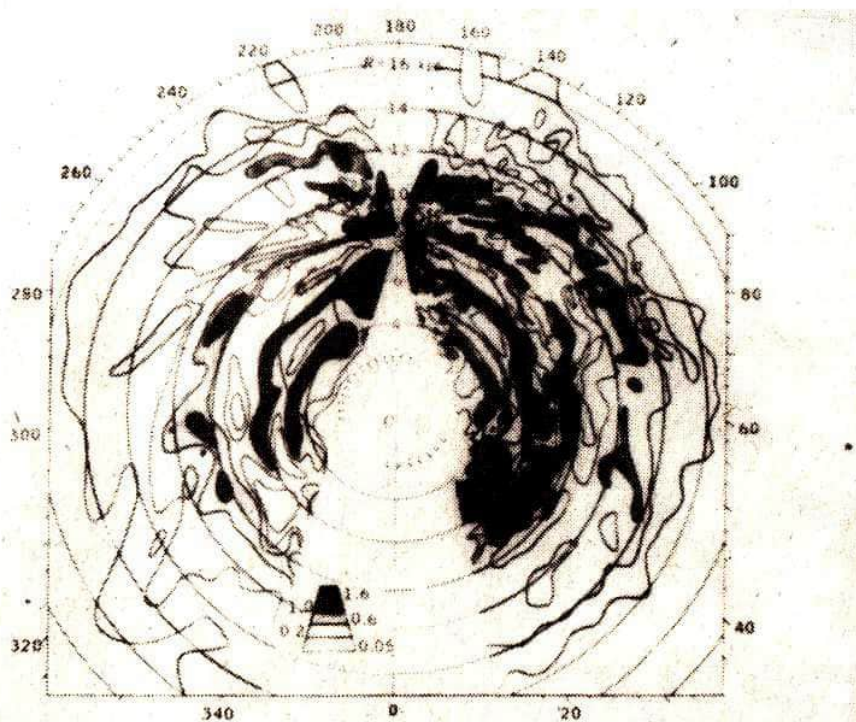
Ein weiterer Beweis für diese Annahme sind die Beobachtungen der interstellaren Materie im Radiobereich. Interstellare Materie ist selbst eine Quelle von schwacher Radiostrahlung und zeigt ein Kontinuum, dem Absorptions- und Emissionslinien überlagert sind.

Die Untersuchung des Milchstraßensystems im Radiobereich (1 mm - 20 m Wellenlänge) hat einen sehr großen Vorteil, was die Reichweite betrifft, denn mit größer werdenden Wellenlängen wird die Extinktion des interstellaren Mediums geringer. Somit können wir Informationen aus weiteren Entfernungen empfangen. Wie bekannt, ist Wasserstoff auch innerhalb der interstellaren Materie (wie auch in den Sternatmosphären) das vorrangige Element. Der neutrale Wasserstoff (H I -Regionen) war anfangs nicht direkt beobachtbar. 1944 ermittelte van de Hulst, daß es beim Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-Niveaus des Wasserstoffgrundzustandes

$F = 1$ (Kernspin parallel zum Elektronenspin)

$F = 0$ (Kernspin antiparallel zum Elektronenspin)

zu einer radiofrequenten Emissionslinie des interstellaren Wasserstoffes bei $\lambda = 21,1$ cm oder $f = 1420,4$ MHz kommt. Diese Entdeckung war mit einer enormen Förderung der galaktischen und extragalaktischen Forschung verbunden. Man spricht heute von der 21 cm-Radioastronomie.



Verteilung des neutralen Wasserstoffs in der galaktischen Ebene

In diesem Bild erkennt man deutlich die Anhäufung in den Spiralarms. Die senkrechte Verteilung ergibt eine flache Scheibe, die mit der Hauptebene des Milchstraßensystems zusammenfällt und dort am intensivsten ist. Das Radioband ist von kompakten Radioquellen durchsetzt, welche Wolken ionisierten Wasserstoffs (H II-Gebiete) mit Temperaturen bis 10 000 K sind. Sie sind längs der Spiralarms zu finden. Was sich aufgrund der Energie, die sie von O- und A-Sternen erhalten, erklären läßt.

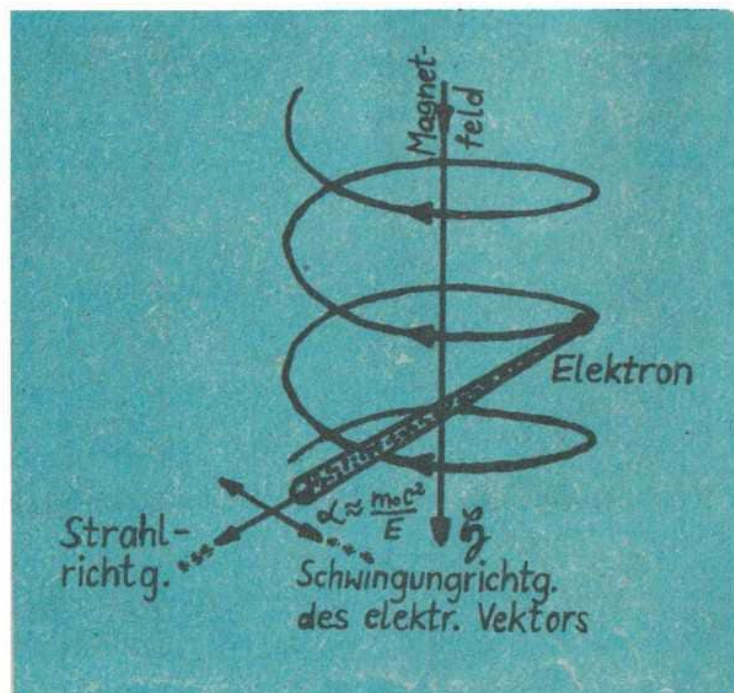
Die Ionisation läuft wie folgt ab:

Ein neutrales H-Atom absorbiert die Strahlung des Sterns im Lyman-Gebiet bei $\lambda < 912 \text{ \AA}$, somit wird es ionisiert. Es entsteht ein Photoelektron, welches von einem Proton später wieder eingefangen wird. Nur sehr selten führt die Rekombination sofort in den Grundzustand. Meistens finden Kaskadenübergänge statt, bei denen kleine Lichtquanten ($h \cdot f$) ausgesandt werden. Für jedes absorbierte Lymanquant wird 1 H α -Quant emittiert. Man kann somit auf die Lymanstrahlung des Sterns schließen, der Energielieferant für die Ionisation ist.

Die von H II-Gebieten ausgesandte Strahlung bezeichnet man als thermische Strahlung. Sie ist nur im Dezimeterwellenbereich gut beobachtbar, denn hier hat die Synchrotronstrahlung nicht ihr Maximum.

Die Synchrotronstrahlung bildet das Radio-Kontinuum. Sie entsteht, wenn sich Elektronen hoher Energie in Spiralbahnen um die Kraftlinien kosmischer Magnetfelder bewegen,

**Synchrotronstrahlung
eines relativistischen
Elektrons im Magnet-
feld**



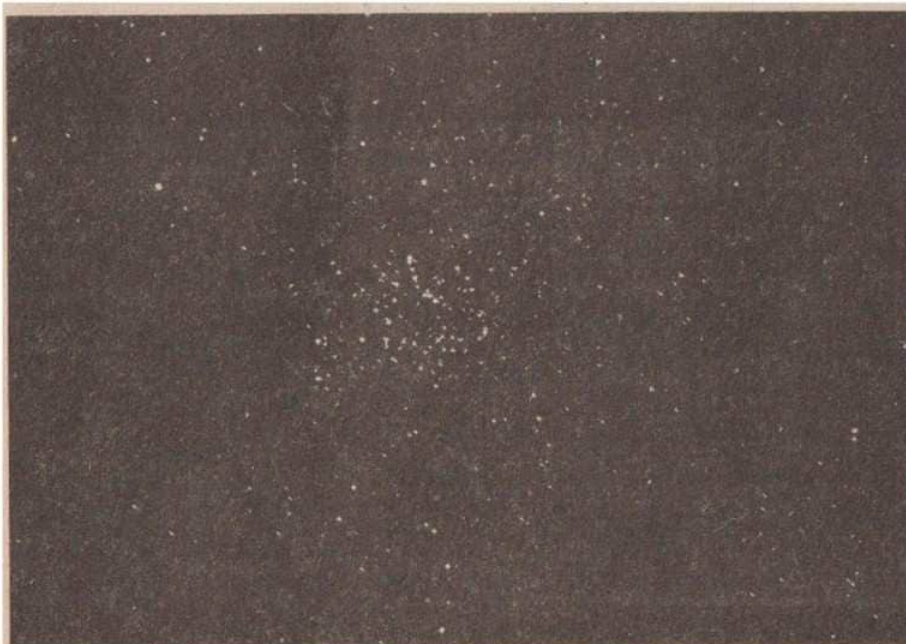
Man unterteilt sie in 2 Komponenten:

1. anisotrope Komponente, die vom optischen, als Milchstraße erscheinenden Gebiet kommt;
2. isotrope Komponente, die aus allen Teilen des Himmels kommt.

Bei letzterer besteht die Gefahr, daß man sie mit der extragalaktischen Radiofrequenzstrahlung verwechselt, und einige Astronomen bezweifeln ihre Existenz. Diese Ausführungen zeigen deutlich, welche große Bedeutung die Radioastronomie für die Erschließung des Aufbaus der Milchstraße besitzt. Die auf diesem Gebiet gemachten Fortschritte beruhen im grundlegenden auf der Leistung des deutschen Astronomen Walter Baade.

Der am 24.3.1893 in Schröttinghausen geborene und am 26.6.1960 in Göttingen gestorbene Astronom arbeitete von 1919 bis 1931 an der Sternwarte in Hamburg-Bergedorf. In den Jahren 1931 bis 1958 war er am Mount Wilson- und Mount Palomar-Observatorium beschäftigt. Er arbeitete vor allem an der Untersuchung der Struktur und des Aufbaus des Milchstraßensystems sowie der extragalaktischen Systeme. Im Rahmen dieser Arbeit führte er den wichtigen Begriff der Sternpopulation ein.

Weiterhin beschäftigte er sich mit den RR-Lyrae- und δ -Cephei-Sternen, der Novae und Supernovae sowie anderen Veränderlichen.



**Amateur-
aufnahme
vom offenen
Sternhaufen
M 35**

Aneignung der Fachsprache als Aufgabe für erfolgreiche Studiumvorbereitung –

Ein Interview mit den Autoren des Lexikons „Zoologisches Wörterbuch“

Das von unserer Redaktion "impuls 68" geführte Interview bezieht sich auf das im VEB Gustav-Fischer-Verlag Jena im 1. Halbjahr 1984 erschienene "Zoologische Wörterbuch". Unsere Gesprächspartner sind die Autoren dieses interessanten und lehrreichen Nachschlagewerkes: Dozent Dr. sc.rer.nat. Erwin Hentschel und Dr. päd. Günther Wagner, die beide an der Friedrich-Schiller-Universität Jena beruflich tätig sind. Das Wörterbuch ist im Buchhandel bestellbar. Wir wollen mit der Wiedergabe des Gespräches Anregungen geben für die sprachkundliche Vorbereitung auf das Studium, die vor allem in der Abiturstufe eine verstärkte Aufmerksamkeit erfordert. Das Interview dürfte vor allem jene Oberschüler interessieren, die sich auf ein Studium mit Biologie bzw. Zoologie als Grundlagenfach vorbereiten. Das betrifft neben den künftigen Biologiestudenten insbesondere Lehrerstudenten, Studenten der Medizin, Stomatologie, Veterinärmedizin und Agrarwissenschaft. Hier die Antworten der Autoren auf die von uns gestellten Fragen:

"impuls 68": Welche Aufgaben kommen dem Wörterbuch in der nunmehr 2. erweiterten Auflage zu ?

Dozent Dr. Hentschel: Anlage und Inhalt uneres Wörterbuches sind so gestaltet, um mit den historisch gewachsenen Grundlagen der zoologischen Fachsprache näher vertraut zu machen. Diesem Anliegen entspricht eine dem eigentlichen Lexikon vorangestellte textliche Abhandlung von fast 60 Seiten. Wie die Gespräche mit zahlreichen Benutzern der 1. Auflage, insbesondere nicht zuletzt mit Studenten ergaben, wurde diese zusammenhängende Darstellung über die geschichtliche Entwicklung der zoologischen Fachsprache und über die philologischen

Grundlagen sowie Regeln der Terminologie (Lehre der Fachwörter) und Nomenklatur (Lehre über die wissenschaftlichen Tiernamen) als sehr nützlich gewertet.

Dr. Wagner: Eine derartige geschlossene Darstellung ist vor allem für diejenigen wichtig, die sich um das Erfassen, Verstehen des Wesens der vornehmlich im Griechischen und Lateinischen wurzelnden Fachwörter und Namen bemühen. In der Fachliteratur ist eine derartige verständliche, übersichtliche Einführung mit Grundsätzen, Regeln und Beispielen, z.B. für die richtige Betonung, Aussprache oder von Wortbildungen, schwer erreichbar oder kaum zugänglich. Der Benutzer erfährt dabei, daß die Regeln der lateinischen Sprache Phonetik und Schriftform der biologischen Fachwörter maßgeblich bestimmen, obwohl mehr Fachwörter aus dem Griechischen stammen. So wird dieser Einführungsteil auch besonders von künftigen Studenten der medizinischen Studienrichtungen für lehrreich und nützlich gehalten.

"impuls 68": Wie haben Sie den Gesamtaufbau Ihres Wörterbuches gestaltet ?

Dozent Dr. Hentschel: Dem Einführungsabschnitt folgt wie in der 1. Auflage der lexikalische Hauptteil in einem jedoch stark erweiterten Umfang, der jetzt über 500 Seiten beträgt. Hier werden über 12 000 Stichwörter etymologisch (sprachkundlich nach Herkunft bzw. Grundbedeutung) und fachwissenschaftlich in möglichst knapper, aber konkreter Form erklärt. Wir waren bei der Erweiterung bestrebt, solche Fachwörter und Tiernamen (z.B. von Gattungen, Familien) in erster Linie aufzunehmen, die zum sogenannten Grundwissen gehören, also im Studium zu den Grundlagen zählen, bedeutungsvoll sind oder häufig Verwendung finden. Dieser Auswahlgesichtspunkt schließt das Vorkommen in Oberschulbüchern und im Biologieunterricht, vor allem der Abiturstufe ein. Natürlich orientieren wir uns auch an Hochschullehrbüchern und an Standardwerken der Biologie bzw. Zoologie grundlegender und disziplinspezifischer Art, z.B. der Taxonomie und Physiologie. Die Erfordernisse im Studium sind fraglos das wesentliche Kriterium, wobei wir

allerdings der Funktion unseres Wörterbuches treu blieben und keineswegs das Vollständigkeitsprinzip anvisierten. Unser Bestreben war, ein ausgewogenes Verhältnis der verschiedenen Gebiete der ja weit gefächerten Zoobiologie einschließlich bedeutender Anwendungsgebiete herzustellen. Damit ist jedoch nicht gemeint, daß unser Wörterbuch ein Ersatz für Speziallexika oder Handwörterbuch sein kann und soll. Unser Nachschlagebuch ist mit den bewußt kurz gefaßten Informationen vielmehr als eine Brücke zur Spezial-Literatur anzusehen. Wir sehen also die Grenzen dieser Gestaltungsweise - und zwar zugunsten des handlichen, im Preis erschwinglichen Wörterbuchs, wie es in der vorliegenden Anlage und Diktion offensichtlich von einem breiten Interessentenkreis benötigt wird.

Dr. Wagner: Der Benutzer findet im alphabetisch geordneten lexikalischen Hauptteil faktisch Stichworterklärungen über:

1. zoologische Fachwörter (Termini), wobei wir neben anatomischen, physiologischen, genetischen, ökologischen, tiergeografischen Bezeichnungen (und Termini aus weiteren Zoologie-Disziplinen) auch solche allgemeinbiologischer Art aufnahmen;
2. wissenschaftliche Tiernamen verschiedener Rangstufen, bei denen wir vor allem auf Gattungsnamen mit Artnamen-Beispielen Wert legten und gleichzeitig wichtige Namen höherer Taxa (Tiersippen) berücksichtigten;
3. bedeutende Zoologen und deren Verdienste in Form von etwa 400 Kurzbiografien, zu denen in historischer Vergangenheit zufolge der erst späteren Spezialisierung und dem Eigenständig-Werden der Zoologie nicht wenige Mediziner gehören.

Das Wörterbuch enthält noch drei weitere Teile: Einmal das ausgebaut und modernisierte Verzeichnis von Autorennamen, also von Zoologen oder Taxonomen, den "Erstbenennern" oder "Täufern" von Tiersippen. In der Regel werden bei dem Personennamen die Arbeitsrichtung (Fachgebiet) und die Lebenszeit des Autors angegeben. Dieses Verzeichnis mit den kurzen biografischen Daten umfaßt rund 2 000 Autoren in internationaler Sicht. Zum anderen folgt ein Überblick über das System des Tierreichs, dessen Gliederung oder Einteilung nach neuerem Stande vorgenommen

wurde und bei dessen Gruppen wir charakteristische Beispiele (Gattungen) aufnehmen. Das regt zum Nachschlagen im lexikalischen Hauptteil an, um spezielle Informationen zu erhalten. Umgekehrt gestattet das System, im lexikalischen Hauptteil bei Gattungsnamen angeführte Familien- oder andere Namen von (höheren) Taxa in ihrer Stellung im System einzuordnen und sich so mit dem Aufbau des Systems näher bzw. immer wieder von konkreten Beispielen ausgehend vertraut zu machen.

Was den abschließenden Teil anbelangt, so handelt es sich um das Literaturverzeichnis, das über den üblichen Quellennachweis hinaus vor allem auch Standardwerke, Lehrbücher aktueller Art und somit auf im Studium mehr oder weniger bedeutsame, zu beachtende oder direkt benötigte Bücher orientiert.

"impuls 68": Mit welchen Gedanken und Beweggründen blicken Sie auf diese neue Auflage Ihres Wörterbuches ?

Dr. Wagner: Es bedarf zielstrebigem Bemühungen, um mit dem Wissens- und Kenntniserwerb in Verbindung mit konkreten Vorstellungen, dem visuellen Kennenlernen der Objekte und Prozesse sich auch solide anwendungsbereite Kenntnisse in der Fachsprache anzueignen, um sich richtig artikulieren zu können und um umgekehrt sprachliche Darstellungen mündlicher oder schriftlicher Art verstehen zu können. Nicht in allen Unterrichtsstunden, auch nicht oder vielleicht noch weniger an der Universität oder Hochschule, ist die Zeit vorhanden, Termini und Namen zu erklären. Deswegen sollte man sich aus eigenem Antrieb schon vor dem Studium mit den Grundlagen der Fachsprache vertraut machen. Das erleichtert den Start im Studium und hilft, Barrieren im Verstehen und Begreifen, also Schwierigkeiten beim Übergang zu den mehr Selbständigkeit erfordernden Bedingungen an der Hochschule abzubauen, mehr Erkenntnisgewinn in den Lehrveranstaltungen und im Selbststudium zu erreichen. Wer mit den Fachausdrücken konkrete Vorstellungen, Wesensmerkmale und Einordnungsaspekte in das System der Wissenschaft sich zu eigen macht und damit gekonnt, plazierte, treffsicher zu operieren versteht, befindet sich ohne Zweifel auf dem Erfolgsweg. Dazu gehört ein ständiges Bemühen, eine kontinuierliche Selbstkontrolle, um eigene Schwächen z.B. auch bei gehörten oder gele-

senen Termini fest- und abzustellen. Diesem Anliegen dient unser Wörterbuch, das wir als Ratgeber und Begleiter vor und während dem Studium ansehen.

Dozent Dr. Hentschel: Wir denken, daß die erweiterte und verbesserte 2. Auflage diesem Anliegen noch mehr entspricht. Natürlich ist die bisherige positive Resonanz für uns als Autoren in erster Linie Verpflichtung, das Wörterbuch weiterhin zu modernisieren. Das liegt auch deswegen nahe, da schon die 1. Auflage - damals mit dem Titel "Tiernamen und zoologische Fachwörter" - neben dem Inlandvertrieb auch in der BRD und in Berlin/West als Lizenz- oder Exportauflage eine große Nachfrage hatte.

~ Umgang mit Tieren ~
FISCHE



A
Falsch

Falsche Trageweise beim täglichen Spaziergang verärgert auch gutmütige Fische (A).

Eine praktische Hallevorrichtung macht den Weg an die frische Luft für beide Teile angenehm (B).



B
Richtig

"impuls 68": Ohne die Thematik des "Zoologischen Wörterbuches" verlassen zu wollen, drängt sich uns noch eine zusätzliche Frage auf. Wie steht es auf dem Nachbargebiet der Botanik hinsichtlich des Wörterbuchangebotes?

Dr. Wagner: Die Antwort hierauf fällt mir nicht schwer und kann ebenfalls unter aktuellem Aspekt gegeben werden. Die 8., stark erweiterte Auflage (Neumann-Verlag Radebeul, Leipzig) des Botanischen Wörterbuches mit dem Titel "Pflanzennamen und botanische Fachwörter" befand sich im Angebot der Leipziger Frühjahrsmesse 1984. Dieses Wörterbuch ist in langjähriger Kooperation (1. Auflage 1961) von Prof. Dr. Rudolf Schubert (Halle) und mir entwickelt worden. Aufbau und Funktion sind ~~dem~~ des Zoologischen Wörterbuches ähnlich. Es hat insgesamt in analoger Weise Grundlagen- und Querschnittscharakter und dient der Studienvorbereitung z.B. in den Fachrichtungen Gartenbau, Pflanzenproduktion, Mikrobiologie und Pharmazie.

"impuls"-Redaktion: Wir danken Ihnen, sicherlich ganz im Namen unserer Leser an den EOS bzw. an allen auf das Hochschulstudium vorbereitenden Bildungseinrichtungen, z.B. auch an den Volkshoch- und Fachschulen. Aus unseren eigenen Studienerfahrungen können wir bestätigen und empfehlen, daß die Aneignung der wissenschaftlichen Fachwörter frühzeitig beginnen sollte. Es geht dabei gleichzeitig um das eigenständige, individuelle Erwerben der Fähigkeit, mit Wissensspeichern wie Lehr-, Fach- und Wörterbüchern sicher und rasch umgehen zu können. Das gilt in diesem Falle für alle biologisch, medizinisch, agrarwissenschaftlich Interessierten und in der Verallgemeinerung bzw. im Transfer für alle künftigen Studierenden naturwissenschaftlicher Studienrichtungen, die wir hiermit aus unserer Sicht angesprochen haben - und zwar im Sinne echter "Impuls"-Gebung !

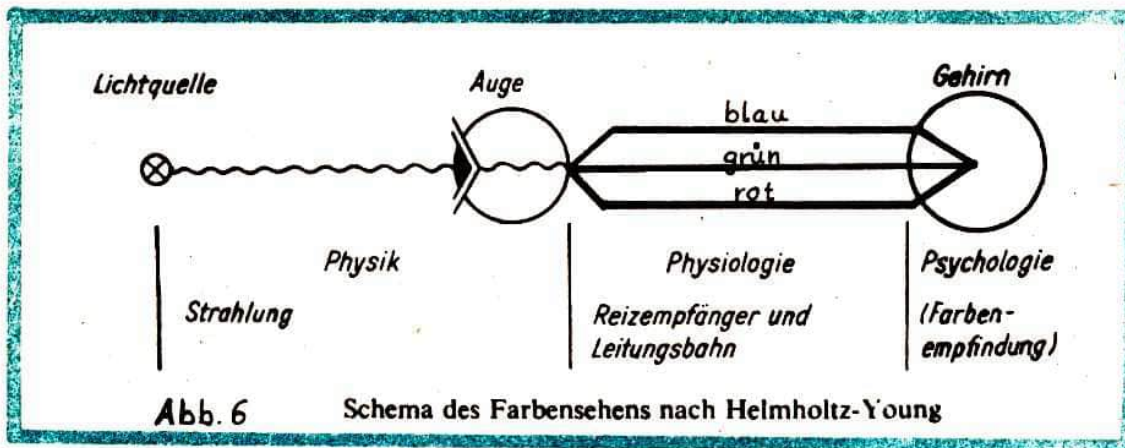


4. Farbfotografie

Seit jeher war es der Traum des Menschen, sich und seine Umwelt in ihren natürlichen Farben abzubilden. Selbst Niépce - neben Daguerre ein Pionier der Fotografie - genügte es nicht, ein schwarz-weißes Bild eines Objektes erzeugen zu können. Er sann darüber nach, wie die Farbe in Fotos zu speichern wäre. Viele Erfinder ersannen mehr oder weniger trickreiche Verfahren, um zum farbigen Bild zu gelangen. Bis zu unseren modernen Mehrschichtfarbfilmen war aber noch ein weiter Weg. Um in natürlichen Farben fotografieren zu können, mußte man sich erst einmal über die Vorgänge beim menschlichen Farbensehen klar werden.

4.1. Wie der Mensch farbig sieht

Aus dem Biologieunterricht ist der Aufbau des Auges bekannt. Zum Farbensehen spielt weniger der optische Teil des Auges als vielmehr der Aufbau der Netzhaut eine Rolle. Sie besteht aus mehreren Nervenfasern- und Zellschichten, deren obere Schichten ohne physiologische Wirkung vom Licht passiert werden. Erst in der Stäbchen- und Zapfenschicht ruft Licht bestimmte Reize hervor. Die Stäbchen sind für das Dämmerungsehen zuständig und farbungempfindlich. Die Zapfen dagegen treten beim Tagessehen in Aktion. Dabei reagiert der Zapfenapparat so, als ob drei spektral unterschiedlich empfindliche Empfänger arbeiten würden, von denen einer auf blaues, ein zweiter auf grünes und ein dritter auf rotes Licht anspricht. Im Gehirn werden die drei Reize so verarbeitet, daß eine Farbempfindung entsteht, die von der Stärke der drei Einzelreize für Blau, Grün und Rot abhängig ist. Das Farbensehen ist also eine Einheit aus physikalischen, physiologischen und psychologischen Prozessen (siehe Abb. 6).



Farbe ist also keine spezielle Eigenschaft des Lichtes, sondern immer an die Wahrnehmung und Verarbeitung im menschlichen Sehapparat gebunden.

4.2. Farbmischung

Aus dem Aufbau des Sehapparates können wir eine wichtige Schlußfolgerung ziehen: Es ist für die Farbfotografie gar nicht nötig, jede der "sieben Farben des Regenbogens" einzeln zu speichern, sondern es genügen bereits drei Grundfarben, um das gesamte Spektrum des sichtbaren Lichtes darzustellen, zu "ermischen". Das Auge schafft es ja auch, mit nur drei spektral unterschiedlich empfindlichen Empfängern alle Farben des Regenbogens zu erkennen. Daraus folgt für einen Farbfilm, daß er sich nur die Intensitäten der drei Grundfarben, Blau, Grün und Rot eines Objektes "merken" muß. Aus dem Intensitätsverhältnis von Blau, Grün und Rot ermischt sich dann beim Betrachten wieder die Farbe des fotografischen Objektes. Bei diesem Ermischen der Objektfarbe aus drei Grundfarben gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Methoden, die die additive und die subtraktive Farbmischung genannt werden (siehe auch "impuls 68", Artikel: Farbmeterik, Heft 4/84, Jg. 18)

4.2.1. Additive Farbmischung

Die Grundfarben der additiven Farbmischung sind Blau, Grün und Rot. Man kann sie durch Farbfilter realisieren, die nur für je ein Drittel des sichtbaren Bereiches durchlässig sind. Additive Farbmischung entsteht, wenn zwei oder alle drei Farblichter optisch zu einem Farblicht vereinigt werden. Das kann zum Beispiel durch Übereinanderprojizieren mit drei Projektoren erfolgen (Abb. 7). Die drei Teilspektren "addieren" sich

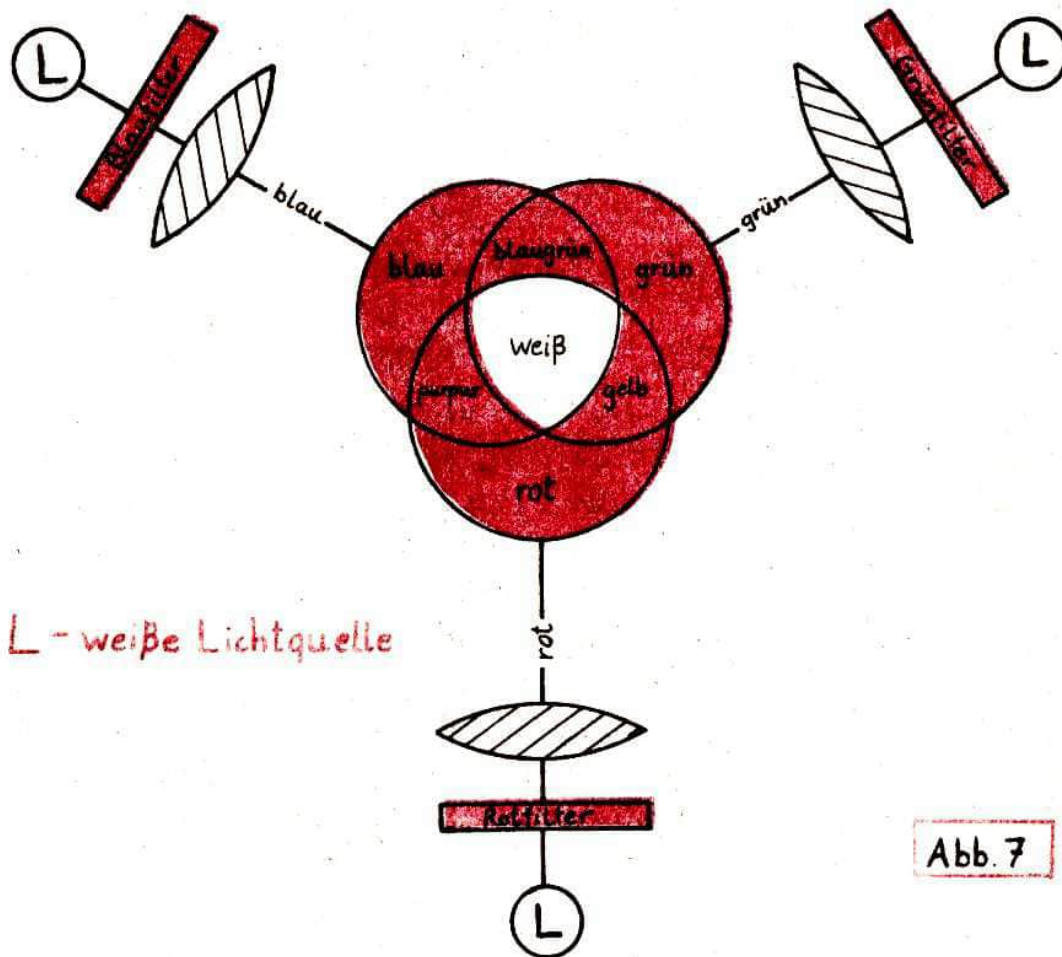


Abb. 7

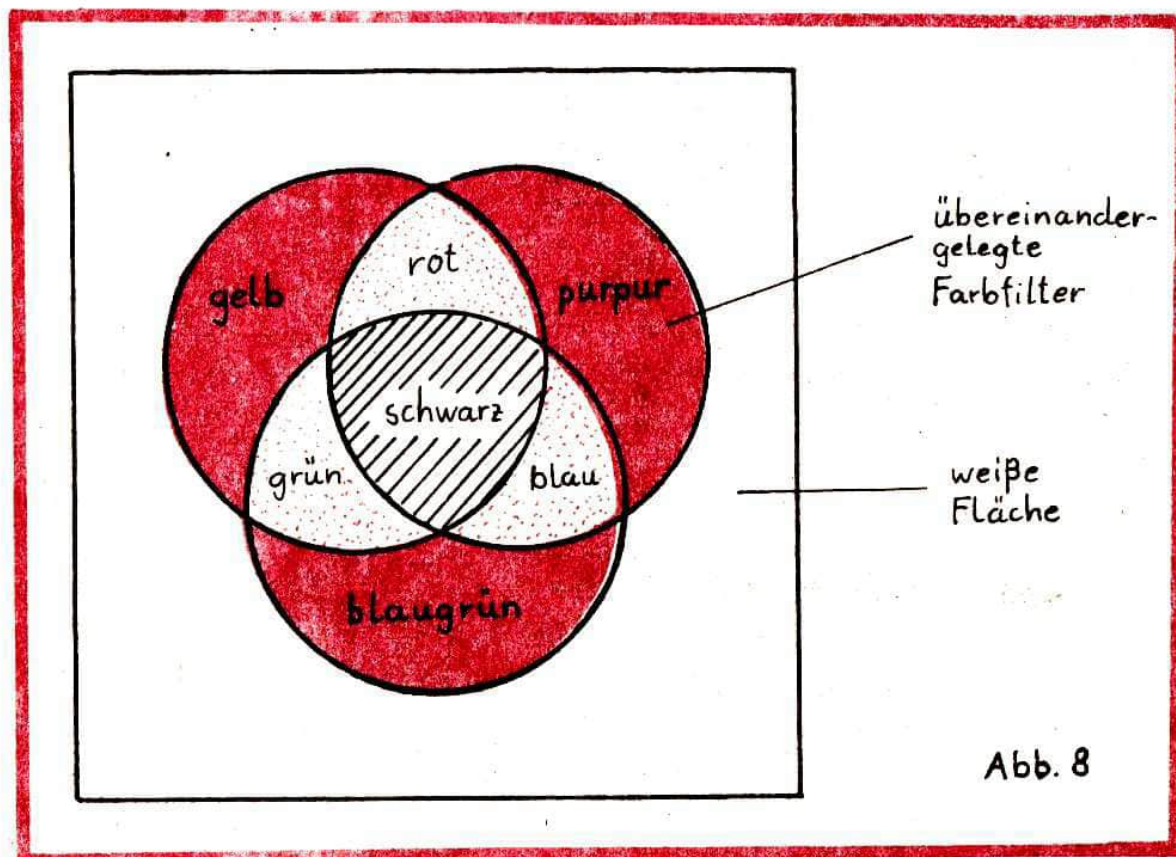
Additive Mischung farbiger Lichter

1. Farblight +	2. Farblight +	3. Farblight =	Ergebnis
Blau	0	0	Blau
0	Grün	0	Grün
0	0	Rot	Rot
Blau	Grün	0	Blaugrün
Blau	0	Rot	Purpur
0	Grün	Rot	Gelb
Blau	Grün	Rot	Weiß

beim Übereinanderprojizieren. Beim Zusammentreffen aller 3 Farben entsteht Weiß. Dabei muß gleiche Intensität der drei Grundfarben vorausgesetzt werden. Über die entstehenden Mischfarben bei jeweils gleicher Intensität aller drei Farblichter gibt die Tabelle von Abb. 7 Auskunft. Alle anderen möglichen Farben erhält man bei Variation der Intensitätsverhältnisse Blau, Grün und Rot.

4.2.2. Substraktive Farbmischung

Die Grundfarben der substraktiven Farbmischung sind Gelb, Purpur und Blaugrün. Sie werden durch Filter realisiert, die jeweils zwei Drittel des sichtbaren Lichtes hindurchlassen und das dritte Drittel absorbieren. Substraktive Farbmischung liegt vor, wenn zwei oder mehrere solcher Filter von weißem Licht nacheinander durchstrahlt werden. Jeder der Filter "subtrahiert" dabei den Teil des Spektrums aus dem Lichtstrahl, den er aufgrund seiner Farbe absorbiert. Alle drei Farbfilter mit äquivalenten Dichten in den Strahlengang gebracht, ergeben keine farbliche Veränderung des Lichtes, nur eine Abschwächung. Es wird nämlich dann über das gesamte Spektrum gleichstark Licht absorbiert. Sind die Filter entsprechend dicht, wird fast kein Licht mehr hindurchgelassen und es entsteht Schwarz beim Übereinanderlegen aller drei Filter (Abb. 8). Auch hier lassen sich alle Farben des Regenbogens durch Kombination unterschiedlich starker Filter von Gelb, Purpur und Blaugrün ermischen. Die Tabelle zeigt die resultierenden Farben bei Kombination jeweils gleichstarker Filter.



Subtraktive Filterung weißen Lichtes			
1. Farbfilter +	2. Farbfilter +	3. Farbfilter =	Ergebnis
Gelb	0	0	Gelb
0	Purpur	0	Purpur
0	0	Blaugrün	Blaugrün
Gelb	Purpur	0	Rot
Gelb	0	Blaugrün	Grün
0	Purpur	Blaugrün	Blau
Gelb	Purpur	Blaugrün	Schwarz
0	0	0	Weiß

4.3. Der Farbfilm

Aus den zwei verschiedenen Verfahren der Farbmischung resultieren zwei grundsätzliche Möglichkeiten, einen Farbfilm aufzubauen. Zu den additiv arbeitenden Verfahren gehören die Korn- und Linienrasterfilme, Linsenrasterfilme und das Farbauszugsverfahren. Für die bildmäßige Fotografie hat sich der auf dem subtraktiven Verfahren beruhende Mehrschichtenfarbfilm durchgesetzt. Um seine Funktionsweise und seine Verarbeitung soll es im folgenden gehen. Die grundsätzlichen Erläuterungen werden am Beispiel des Farbnegativfilmes (z.B. NC 19 mask) gegeben.

4.3.1. Schichtaufbau und Funktion

Abbildung 9 zeigt die Schichtenfolge eines Farbnegativfilmes vor und nach der Verarbeitung. Wie bereits erläutert, müssen drei Teilbilder in den Farben Gelb, Purpur und Blaugrün entstehen, deren subtraktive Mischung das farb- und helligkeitsmäßige Negativ des Objektes ergibt. (Durch Wiederholung dieses Prozesses entsteht beim Kopieren auf Farbfotopapier das Objekt dann wieder in seinen natürlichen Farben).



Abb.9

Das auf den Film fallende farbige Licht durchdringt zunächst ohne Veränderung eine Schutzschicht. Es fällt dann auf eine blauempfindliche Schicht. In der Praxis ist diese Schicht unsensibilisiert und reagiert wegen der Eigenart der Silberhalogenide deshalb nur auf den kurzwelligeren Anteil des Lichtes. Dieser Anteil hat nun seine Funktion erfüllt und wird in der Gelbfilterschicht absorbiert (blaues Licht, nicht etwa gelbes), damit nicht die darunterliegenden Schichten ebenfalls belichtet werden (neben der durch die entsprechende Sensibilisierung erzeugten Empfindlichkeit auch für Blau empfindlich!). Das farbige Licht minus Blauanteil erreicht nun die grünempfindliche Schicht, in der nur der grüne Anteil des Lichtes das Silberhalogenid belichtet und durch eine Zwischenschicht die rot-empfindliche Schicht. Die **Lichthofschutzschicht** absorbiert alles "übriggebliebene" Licht. So sind in den drei Schichten die Bildinformationen für Gelb, Purpur und Blaugrün enthalten. Sie müssen dann bei der Verarbeitung als drei Bilder aus den jeweiligen Farbstoffen Gelb, Purpur und Blaugrün erscheinen, die exakt deckungsgleich übereinanderliegen.

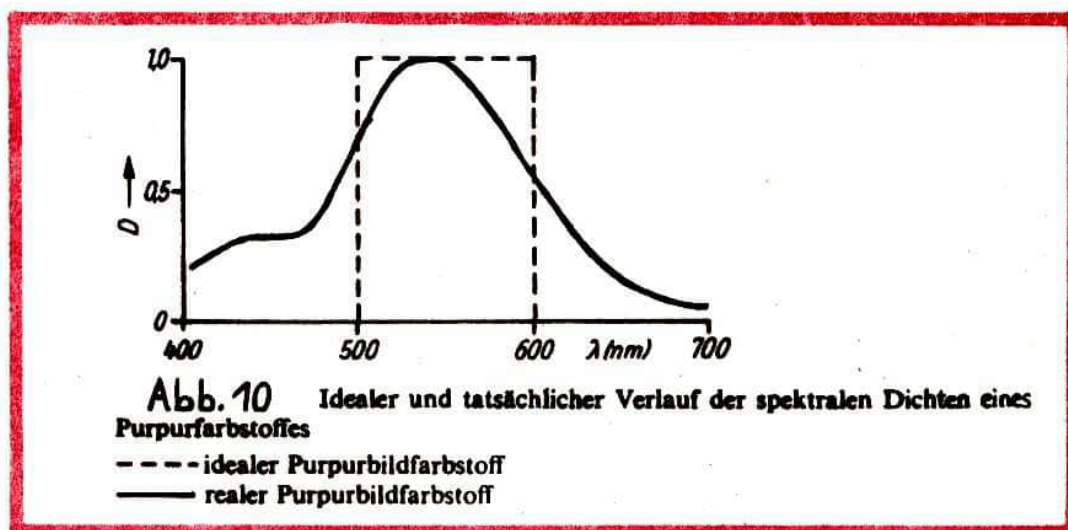
Jede der drei lichtempfindlichen Schichten enthält neben dem Silberhalogenid und entsprechender Sensibilisatoren noch sogenannte Farbkuppler. Das sind farblose Stoffe, die erst bei der Verarbeitung mit der Entwicklersubstanz "kuppeln" und den Bildfarbstoff bilden. Das geschieht nur an den Stellen, wo sich belichtetes Silberhalogenid befindet. Die blauempfindliche Schicht enthält den Gelbkuppler, der ein Bild aus gelbem Farbstoff erzeugt, die grünempfindliche Schicht enthält Purpurkuppler und die rotempfindliche den Blaugrünkuppler.

4.3.2. Der maskierte Farbfilm – kein Faschingsscherz

Betrachtet man einen Farbnegativfilm, so fällt auf, daß er neben dem farbigen negativen Bild noch überall eine gelblich-orange Färbung zeigt. Dieses Verfahren, das nur bei Negativfilmen angewendet wird, bezeichnet man als integrale Maske. Welchen Zweck erfüllt sie?

Wie bereits erläutert, liegt der "Trick" des farbigen Fotografierens darin, daß drei Schichten im Film existieren, die jeweils nur für ein Drittel des sichtbaren Lichtspektrums zuständig sind. Nun lassen sich aber leider keine Bildfarbstoff-

fe synthetisieren, die eine solche ideale Absorptionskurve besitzen. Alle Farbstoffe besitzen sogenannte Nebenfarbdichten auch in solchen Spektralbereichen, für die sie gar nicht "zuständig" sind. Das Verfahren der Maskierung soll nun am Beispiel des Purpurbildfarbstoffes erläutert werden. Abb. 10 zeigt idealen und tatsächlichen Verlauf der Absorptionskurve des Purpurfarbstoffes. Er zeigt eine bis zu 40 % betragende

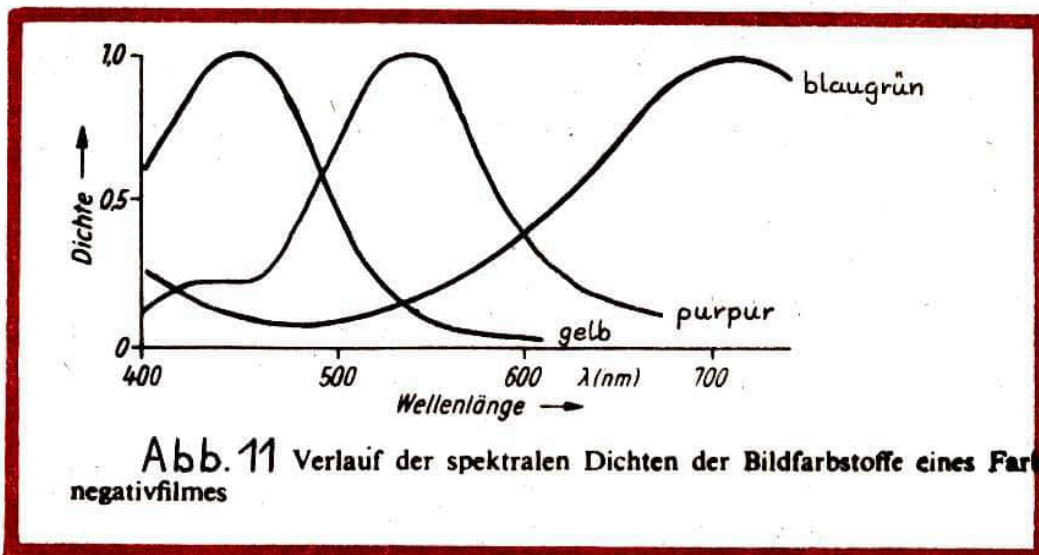


Nebenabsorption im blauen Spektralgebiet (400...500 nm). Für diesen Bereich zeichnet aber die blauempfindliche Schicht verantwortlich! (In ihr entsteht bei der Entwicklung ein Gelbbild). Reagiert aber auch die Purpurfarbstoff bildende Schicht auf dieses Licht, entsteht in ihr noch ein negatives Gelbteilbild aus purpurnem Bildfarbstoff! Beim Kopieren absorbiert der Purpurfarbstoff nicht nur grünes Licht sondern zusätzlich noch blaues. Blaues Licht bildet aber den Gelbfarbstoff im Positiv. Zu wenig blaues Licht führt deshalb zu einem ungesättigten, "verweißlichten" Gelb im Positiv. Blau wird dagegen zu dunkel wiedergegeben. Man erreicht also keine natürliche Farbwiedergabe. Ziel muß es daher sein, die Nebenfarbdichte des Purpurfarbstoffes zu kompensieren. Dies geschieht durch Maskierung. Das Prinzip besteht darin, daß das negative Gelbteilbild durch ein positives Gelbteilbild genau gleicher Dichte deckungsgleich überlagert wird. (Ein Positiv und ein Negativ gleicher Dichte übereinandergelegt ergibt nämlich ein gleichmäßiges Grau!). Damit ist das Gelbteilbild verschwunden. Praktisch realisiert man das so, daß in die den Purpurfarbstoff bildende Schicht neben dem Purpurkuppler noch ein Maskenkuppler ein-

gebracht wird, der gelben Farbstoff bildet. Bei der Entwicklung wird an den belichteten Stellen der Maskenkuppler zu Purpurfarbstoff umgekuppelt, an den unbelichteten Stellen entsteht gelber Farbstoff. Es bildet sich neben dem negativen Purpurteilbild ein positives Gelbbild, das durch die Nebenabsorption des Purpurfarbstoffes entstandene negative Gelbteilbild genau kompensiert.

Auch der Blaugrünfarbstoff zeigt Nebenabsorption im blauen und grünen Spektraldrittel (Abb. 11). Hier muß in analoger Weise eine orangerote Maske gebildet werden. Nur für das Gelbteilbild ist keine Maske notwendig, da dessen Nebenfarbdichte nicht ins Gewicht fällt.

An den unbelichteten Stellen (an der Perforation zum Beispiel) entstehen nur Maskenfarbstoffe. So kommt der Farbnegativfilm zu seiner gelblich-orangen Grundfärbung.



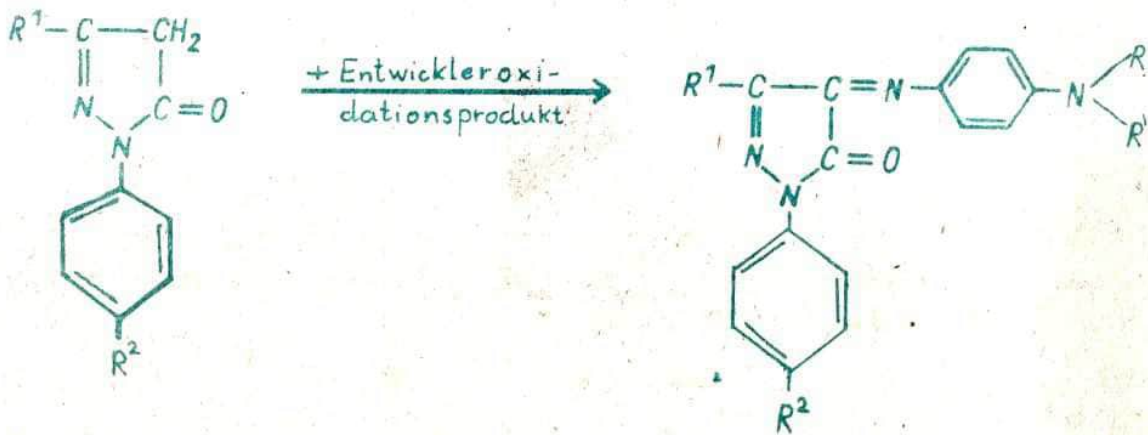
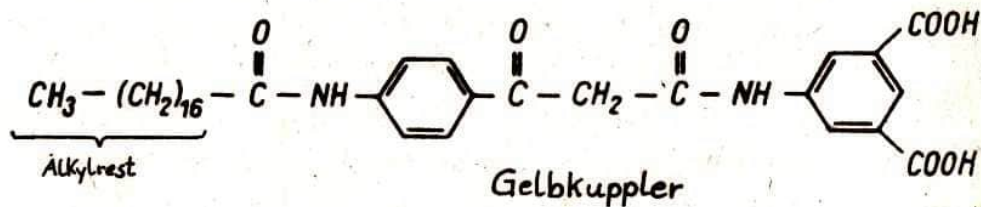
4.4. Vorgänge bei der Verarbeitung

Die wichtigsten Verarbeitungsschritte bei Farbnegativmaterial sind: Farbentwicklung (chromogene Entwicklung), Stoppbad, Bleichen, Fixieren.

a) Farbentwicklung

Dies ist der heikelste Schritt im gesamten Verarbeitungsprozeß. Es muß dabei einmal aus dem belichteten Silberhalogenid metallisches Silber entstehen (wie beim Schwarz-Weiß-Prozeß) und es muß sich gleichzeitig an den Stellen, wo metallisches Silber entsteht, Bildfarbstoff bilden. Diese Prozesse sollen in allen Schichten proportional ablaufen. Außerdem muß durch komplizierte chemische Reaktionen das positive Maskenbild entstehen.

Läuft eine der Reaktionen zu schnell oder zu langsam ab, führt das zu einem "Kippen" der Farbabstimmung des Filmes und zu meist nicht vollständig korrigierbaren Farbstichen. Bei der Farbentwicklung entsteht unter Mithilfe des Entwickleroxida-tionsproduktes, welches bei der Reduktion der Silberionen ge-bildet wird, aus den farblosen Farbkupplern der entsprechende Bildfarbstoff. Dieser muß diffusionsfest in der entsprechenden Schicht verbleiben. Dazu bekommen bereits die Farbkuppler einen langen "Schwanz" angehängt (langkettiger Alkylrest) mit dem sie sich im Netz der Gelatine "verhaken". Um eine Vorstellung von dem chemischen Aussehen solcher Farbkuppler und Farbstoffe zu bekommen, sei als Beispiel Abb. 12 angeführt.



(R¹, R², R, R' sind verschiedene Alkylreste)



Blaugrünkuppler

Abb. 12

b) Stoppbad

Dieses dient nur dem Zweck, die Entwicklung kontrolliert zu beenden und ein Nachentwickeln im Wässerungsbad zu vermeiden.

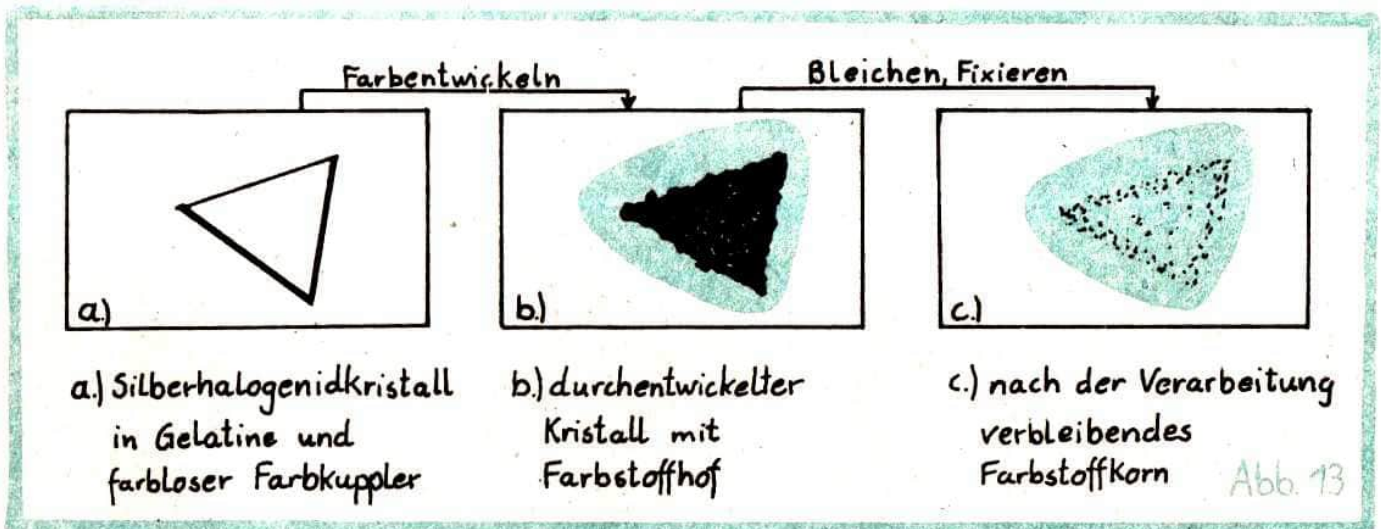
c) Bleichbad

Nach der Farbentwicklung liegen also im Film drei Silberbilder und drei Farbstoffbilder vor. Für das Kopieren ist aber nur das Farbstoffbild interessant. Das Silberbild wird im Bleichbad entfernt, wiederum das Silber durch Oxydationsmittel oxidiert und mit Kaliumbromid wieder rehalogeniert.

Das entstehende AgBr ist durch Fixierbad aus den Schichten herauslösbar.

d) Fixierbad

Es löst wie im Schwarz-Weiß-Prozeß noch vorhandene Silberhalogenidspuren aus den Schichten und macht sie damit lichtbeständig. Das Bild im Farbfilm besteht im Gegensatz zu Schwarz-Weiß-Filmen nicht mehr aus Silber, sondern nur aus Farbstoffen. Das Silber kann vollständig zurückgewonnen werden (!). (Abb. 13)



4.5. Das Farbumkehrverfahren

Will man sofort Diapositive erhalten und nicht erst über ein Zwischennegativ gehen, so benutzt man heute Farbumkehrfilme. Diese haben vom Prinzip her den gleichen Aufbau wie Farbnegativ-Filme. In der Verarbeitung gibt es jedoch Unterschiede: Begonnen wird mit einer Erstentwicklung bei der nur das Silberbild in allen Schichten entsteht. Es wird noch ~~kein~~ Farbstoff gebildet. Nach dem Stoppbad erfolgt eine diffuse Zweitbelichtung.

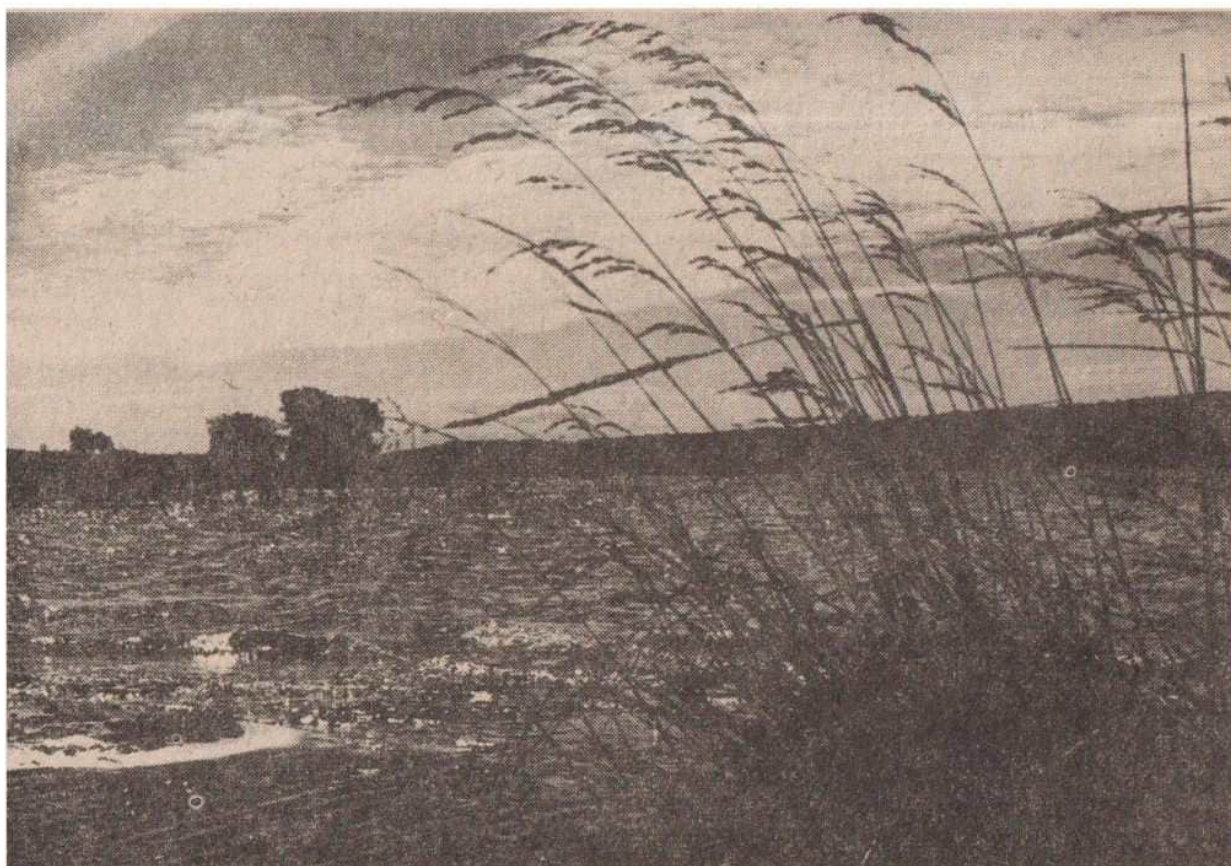
Dabei wird das noch nicht entwickelte Silberhalogenid belichtet und entwickelbar gemacht.

Bei der anschließenden Farbentwicklung wird dieses Silberhalogenid zu Silber reduziert und dort gleichzeitig Farbstoff gebildet. Im Bleichbad werden die beiden entstandenen Silberbilder oxidiert und für das Fixierbad löslich gemacht. Es bleibt nur ein positives Farbstoffbild übrig - das gewünschte Diapositiv.

Abschließend kann man feststellen, daß speziell die Farbfotografie ein ausgeklügeltes Verfahren ist, das in der Herstellung fotografischer Materialien viel Mühe und Sorgfalt erfordert.

Bei Einhaltung einiger weniger - dafür aber grundlegender - Vorschriften ist es heute auch dem Amateur möglich, qualitativ gute Farbbilder selbst zu entwickeln.

Dabei ist die technische Seite der Farbfotografie - um die es in diesem Artikel ausschließlich ging - "nur" Mittel zum Zweck. Zu einem guten Foto gehört natürlich hauptsächlich gestalterisches Können und ein hohes Maß Ästhetik. Um dies zu schulen, gibt es viele gute Fotofachbücher und auch Musestunden - zum praktischen Training.



Am Großen Jasmunder Bodden/Rügen

Foto: S. W.

Dr. Roland Colditz
Sektion Chemie
FSU Jena

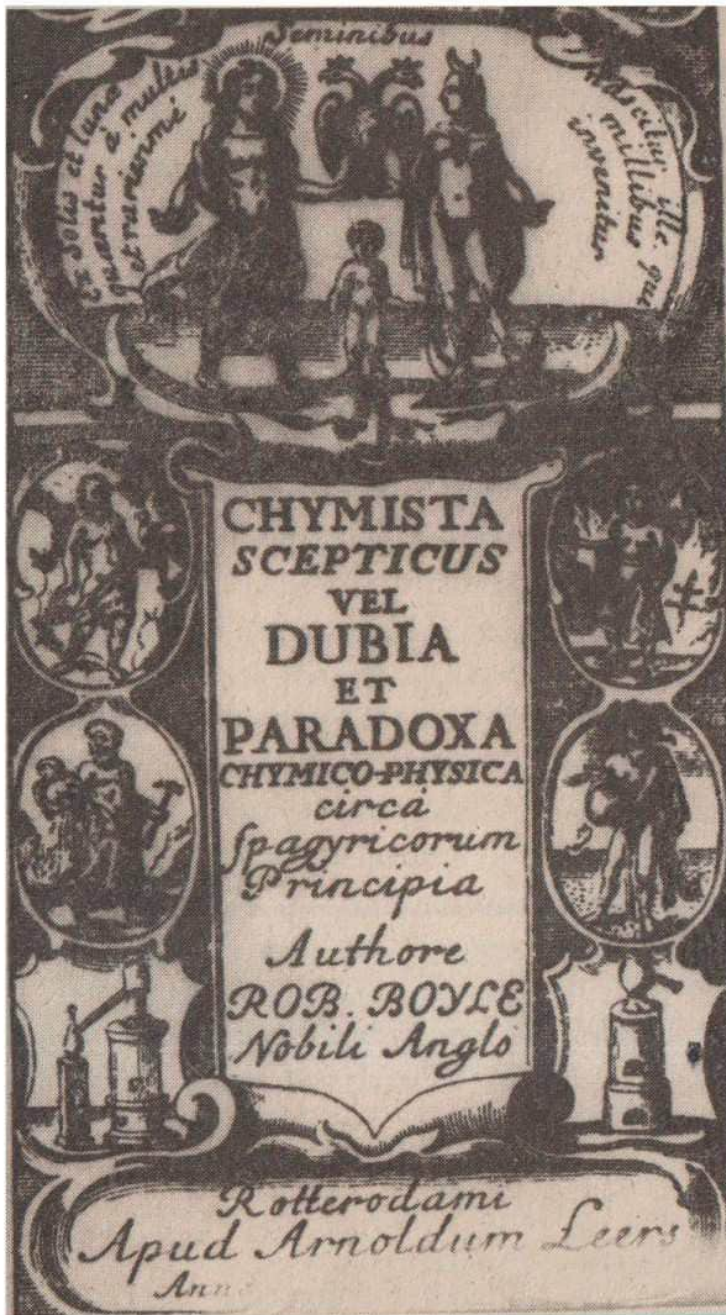
Der mysteriöse Weg des Phlogistons
I. Teil
Das chemische System auf dem Kopf

CHEMIE

Das Phlogiston ist das Wesen, von dem alle vermischten körperlichen Dinge mehr oder weniger merklichen Anteil haben.

G. E. Stahl

Die Chemie des 17. Jh. war einerseits durch einen enormen Einfluß von chemischen Kenntnissen in den chemischen Gewerben, andererseits durch eine Stagnation in theoretischer Hinsicht gekennzeichnet. Es existierte noch immer kein allgemein anerkanntes System von Gesetzmäßigkeiten, das als Ausgangspunkt für weitere Forschungen dienen konnte. Nicht einmal bei einem so wichtigen Gegenstand wie dem Elementbegriff herrschte Übereinstimmung. Während ein Teil der Chemiker noch immer an der Vier-Element-Lehre des Aristoteles (Feuer, Wasser, Luft, Erde) festhielt, wandte sich der andere Teil der Drei-Prinzipien-Theorie des Paracelsus (Schwefel, Quecksilber, Salz) zu. Erst mit der Wiederbelebung und Fortentwicklung der atomistischen Denkweise durch den englischen Chemiker Robert Boyle (1627-1691) konnte sich in der zweiten Hälfte des 17. Jh. die theoretische Chemie weiterentwickeln. In seiner aufsehen erregenden Schrift "The Sceptical Chymist" (Der skeptische Chemiker) gelangte er zu der Erkenntnis, daß die Meinung, alle Verbindungen seien aus den vier aristotelischen Elementen bzw. drei paracelsischen Prinzipien aufgebaut und könnten wieder in sie zerlegt werden, falsch und unbegründet sei. Boyle bestritt schließlich auch die Ansicht der Aristoteliker über die große Bedeutung des Feuers als "allgemeinen Analysator". Er dachte sich die Welt aus unendlich vielen Atomen einer einheitlichen, allen Stoffen gemeinsamen Materie aufgebaut, die durch ihre



**Titelblatt zu
„Der skeptische
Chemiker“
von R. Boyle**

dauernde Bewegung die Ursache für die Vielfalt in den Erscheinungen der Stoffe darstellte. Obwohl Boyles Gedanken vieles Richtige enthielten, konnten die Chemiker der damaligen Zeit mit seiner Korpuskulartheorie in dieser noch relativ unausgereiften und mechanistischen Form wenig anfangen. Demzufolge blieben die meisten von ihnen mit den alten

Elementvorstellungen verbunden oder entwickelten eigene Anschauungen zu dieser Frage.

So wurde vor allem bei den Untersuchungen über das Feuer und die Verbrennung, einer Kernfrage der Chemie, besonders die paracelsische Theorie wiederbelebt. Daran anknüpfend, entwickelte der deutsche Chemiker Johann Joachim Becher (1635-1682) sogar eine neue Theorie über die Elemente. Er vermutete nämlich, daß alle Körper aus drei Erdarten, der fetten, mineralischen und mercurialischen (metallischen) Erde, zusammengesetzt seien; die erste sei für die Brennbarkeit der Stoffe verantwortlich und würde beim Verbrennen bzw. Verkalken aus diesen entweichen. Zugleich betrachtete er seine terra pinguis (fette Erde) als einen hypothetischen Stoff, mit dem man operieren konnte, ohne ihn nachweisen zu müssen. Ohne Zweifel war das ein Grund, weshalb seine Theorie nicht zur Deutung konkreter Reaktionen angewandt wurde.

Erst die von Georg Ernst Stahl (1659-1734) in den Jahren 1697-1718 in mehreren Schriften vorgestellte Phlogistontheorie brachte einen Wandel bei der Aufklärung des Verbrennungsvorganges. Stahl stammte aus Ansbach und studierte in Jena, wo er vor allem von G.W. Wedel, einem fortschrittlichen Naturwissenschaftler der damaligen Zeit, nachhaltig beeinflusst wurde und schon früh selbst unterrichtete. Im Jahre 1693 wurde er als Professor der Medizin an die neugegründete Universität Halle berufen. Er ging 1716 als Leibarzt des Königs Friedrich Wilhelm I. nach Berlin und blieb dort bis zu seinem Tode.

Bei seiner Theorie ging es Stahl vor allem darum, die Vielzahl der Beobachtungen und Kenntnisse chemischer Vorgänge zu ordnen sowie die Unterschiede zwischen den Gemischen der Ausgangssubstanz und den entstehenden Verbindungen in ein geschlossenes System zu bringen. Grundlage dieses Systems war die Deutung des Verbrennungsprozesses.

Besonders durch Beobachtungen im Hüttenwesen, aber auch bei Zinngießern und später durch Laborexperimente fand Stahl heraus, daß bei der Verhüttung (Reduktion) die dabei verwendete Holzkohle nicht nur die Rolle des Heizmaterials spielt, sondern daß sie direkt, materiell einen Beitrag zur Metallbildung liefert. Er schloß daraus auf einen bestimmten, in der Kohle enthaltenen Stoff, den er "Phlogiston" (von griech. phlox = Flamme)



Stahl

nannte; sein Dazutreten zum Metallkalk (Metalloxid) bewirke das Entstehen des Metalls. Nach Stahls Theorie besteht demnach die Reduktion (ein Prozeß, den wir heute als Sauerstoffabgabe bzw. Elektronenaufnahme verstehen) in einer chemischen Vereinigung der Metallkalke mit Phlogiston. Umgekehrt betrachtete er die Verbrennung als einen Vorgang, bei dem Phlogiston entweicht. Auf diese Weise war der wechselseitige Zusammenhang der in der Chemie besonders wichtigen und häufigen Redox-Reaktionen entdeckt, auch wenn dabei die wahren Vorgänge sozusagen "verkehrt herum" aufgefaßt wurden.

Da die Phlogistontheorie sowohl in praktischer (Stahl konnte den Hüttenleuten erste wissenschaftlich begründete Ratschläge geben) als auch in theoretischer Hinsicht Fortschritte erbrachte, konnte sie sich durchsetzen und wurde für rund 75 Jahre zur

vorherrschenden chemischen Theorie in Europa. Ihre Rolle wird häufig mit der des ptolemäischen Weltsystems für die Astronomie verglichen, da sie sich gegenüber bisherigen Theorien als ein hervorragendes geistiges Instrument bei der Erklärung und Systematisierung qualitativer Umsetzungen erwies.

Allerdings warfen Stahls Veröffentlichungen über die Phlogistontheorie eine Reihe von Fragen auf, die für ihr Schicksal später verhängnisvoll werden sollten. Zwei wesentliche Schwächen werden im folgenden aufgezeigt.

Die erste betraf die Luft, Wozu war zur Verbrennung die Gegenwart von Luft nötig, wenn die Ursache der Verbrennung doch letztlich nur auf dem Gehalt des brennbaren Stoffes an Phlogiston beruhte? Anlaß zu dieser Frage waren die Arbeiten Boyles gewesen, der chemische Prozesse im luftleeren Raum untersucht hatte und mitteilte, daß dort keinerlei Verbrennungen vor sich gingen bzw. bereits begonnene sofort wieder verlöschen. Unzweifelhaft spielte also die Luft eine wichtige Rolle beim Verbrennungsprozeß. Hier klaffte eine Lücke in Stahls Theorie, und er mußte eine Erklärung dafür finden, warum die an sich phlogistonreichen Stoffe im Vakuum nicht brannten. Er ging davon aus, daß das aus den brennenden Stoffen entweichende Phlogiston ja irgendwo bleiben müsse, daß also immer ein zweiter Stoff nötig sei, um es aufzunehmen. "Das Phlogiston", so schrieb er, "muß immer ein Medium finden, mit dem es sich vereinigen kann. Wenn es dafür keinen Stoff findet, dann ist auch die Verbrennung nicht möglich. Daher ist der Versuch, einen Stoff im Vakuum zu verbrennen, zum Scheitern verurteilt, denn in einem Vakuum ist ja kein anderer Stoff vorhanden, in dem das austretende Phlogiston sich verteilen kann."

Damit war die eine Schwierigkeit aus dem Weg geräumt, doch noch ein zweites Problem galt es für Stahl zu lösen.

Dieses Problem war die Gewichtsveränderung der Metalle beim Verbrennen. Schon Boyle hatte festgestellt, daß das Gewicht eines Metalls nach dem Verkalken (Verbrennen) größer ist als vorher. Auch Stahl war diese Tatsache bekannt. Mit seiner Phlogistontheorie schien dieses Faktum nun im Widerspruch zu stehen, forderte die Theorie doch, daß Phlogiston entwich. Das Verbrennungsprodukt hätte danach leichter sein müssen, wurde aber als schwerer befunden.

Auch diesen Widerspruch hat Stahl beseitigt, wenn er ihm auch nicht allzuviel Aufmerksamkeit zuwandte. Da zu seiner Zeit der Unterschied zwischen dem Gewicht der Stoffe und ihrem spezifischen Gewicht noch nicht klar herausgearbeitet war, unterlief Stahl bei der Überwindung des Widerspruches ein grober Fehler, Aus dem Umstand, daß das Phlogiston fähig war, eine so starke Wirbelbewegung anzunehmen, daß es dabei eine Flamme hervorrief, schloß Stahl, daß das Phlogiston ein ganz feiner, leichter Stoff sei. Aus dieser Folgerung zog er den nächsten Schluß, daß das Hinzutreten des Phlogistons den Metallkalk (Metalloxid) auflockere, ausdehne und dadurch leichter mache, und umgekehrt der Weggang des Phlogistons beim Verbrennen die Kalkteile dichter aneinander treten ließe, wodurch das Gewicht des Kalkes sich vergrößere. Später versuchte er dieses Problem mit der Annahme eines "negativen Gewichtes" des Phlogistons abzutun.

Insgesamt gesehen, konnten die Fehler der Stahl'schen Phlogistontheorie vor allem wegen der höchst einseitigen Orientierung der Chemiker der damaligen Zeit auf die Erklärung von nur qualitativen Erscheinungen nicht deutlich genug sichtbar gemacht werden. Erst durch die stärkere Beachtung von quantitativen Beziehungen zwischen den Stoffen begann ein Prozeß, der die Widersprüche und Unzulänglichkeiten der Phlogistontheorie zu beseitigen vermag. Wie dieses gelang und welche Naturforscher daran beteiligt waren, davon soll im nächsten Teil berichtet werden.

Blick in die Zukunft



Ein Raumforscher flog durch die
Sterne,
dem Sternbild Orion nicht ferne.
Sein technischer Maat
saß am Bildapparat
und verfolgte das Endspiel in
Herne.

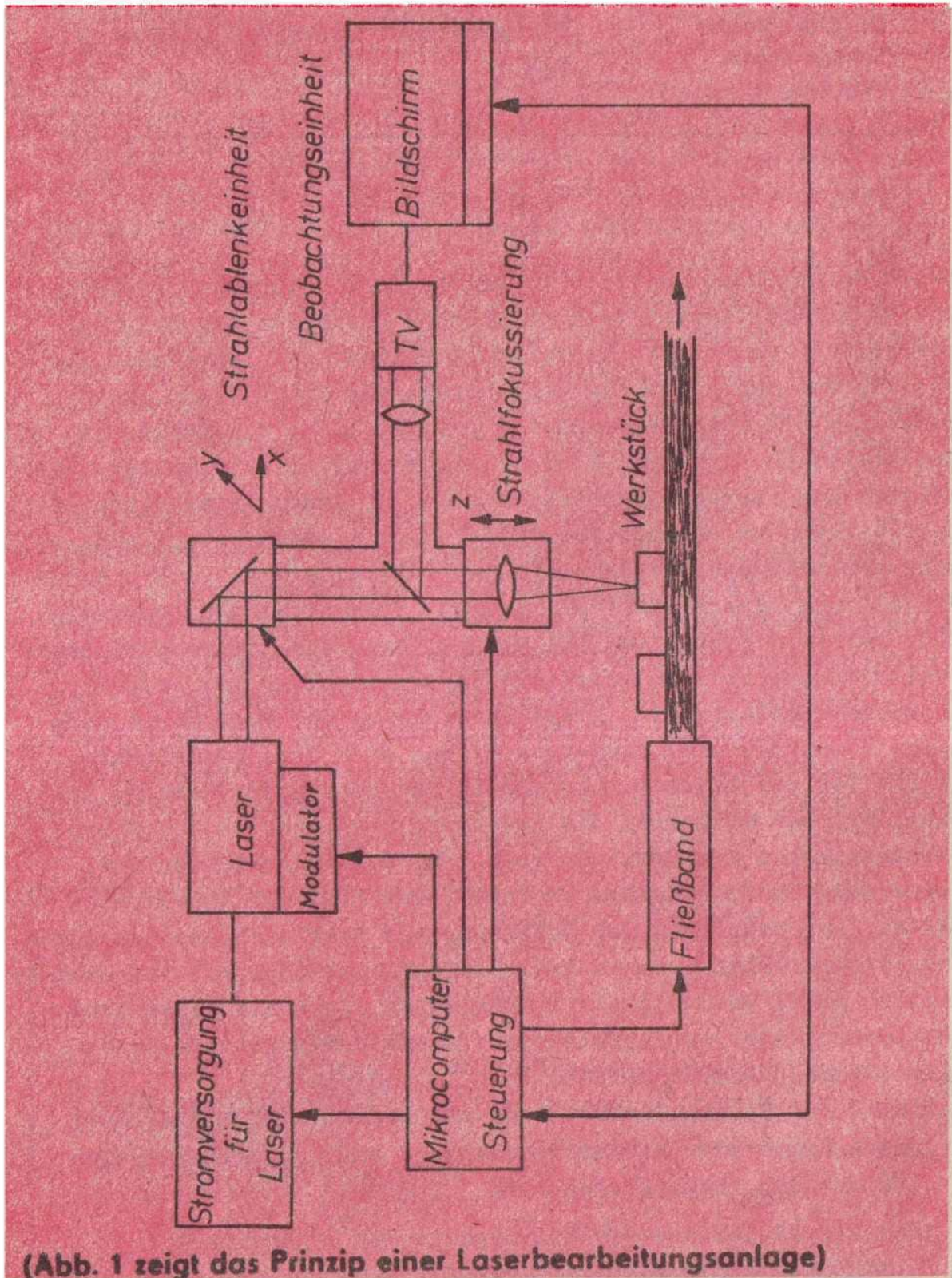
Limerick von E. Köstner

Laser werden heute bereits in großer Verbreitung routinemäßig in den vielfältigsten technologischen Prozessen der Materialbearbeitung verwendet. Hinreichend bekannt ist inzwischen ihr Einsatz zum Schneiden der verschiedensten Materialien, zum Schweißen und Oberflächenhärten von Metallen, zum Markieren und Gravieren sowie zum Bohren auch härtester Materialien. Die Palette der Bearbeitungstechnologien, in denen Laser vorteilhaft eingesetzt werden, ist jedoch derart umfangreich, daß eine vollständige Aufzählung schwerfallen dürfte. Da die Nutzbarkeit des Lasers für viele dieser Technologien offenkundig ist, setzte die Untersuchung seiner Verwendung in verschiedenen Bearbeitungsprozessen quasi mit der Herstellung der ersten Hochleistungslaser ein. Diese Entwicklung ist auch heute noch nicht abgeschlossen. Ständig eröffnen sich neue Einsatzmöglichkeiten der Laser in bestimmten Bearbeitungsprozessen. Fest etabliert hat sich auch die Anwendung der Laser in der Mikroelektronik bei der Maskenherstellung, dem Kennzeichnen und Schneiden von Si-Scheiben (Wafers), dem Abgleich von Bauelementen, der Steuerung der Dotierung und Rekristallisation durch lokale Bestrahlung, sowie beim Kontaktieren (Bonden) von Bauelementen. Dabei werden viele Technologien durch die Verwendung von Lasern nicht nur effizienter, sondern ermöglichen erst eine entsprechende Qualität.

Vorteile der Materialbearbeitung mit Lasern sind vor allem:

- genaue Lokalisierung der Bearbeitung bei geringster Beeinflussung von Nachbarbereichen
- hohe Präzision und Geschwindigkeit der Bearbeitung
- berührungsloses Bearbeitungsverfahren, dadurch kaum Verunreinigung des bearbeiteten Teiles

- leichte Steuerbarkeit des Bearbeitungsprozesses (Automatisierungsmöglichkeit)



(Abb. 1 zeigt das Prinzip einer Laserbearbeitungsanlage)

In diesem Artikel sollen nun einige physikalische Grundaspekte der Lasermaterialbearbeitung, die bei allen Verfahren von Bedeutung sind, besprochen werden.

1. Prinzipielle Eignung des Lasers

1.1. Fokussierbarkeit der Strahlung

Lasers sind leistungsstarke kohärente Lichtquellen (Prinzip vgl. "Impuls 68", 14. Jg.). Die extrem gerichtete Aussendung ihrer Strahlung erlaubt es, diese sehr hohen Leistungen lokal auf sehr kleine Bereiche zu konzentrieren. Mit den dabei erreichbaren Intensitäten (bzw. Energiedichten) ist man in der Lage, jedes Material momentan stark aufzuheizen oder zu verdampfen. Während eine normale Lichtquelle mehr oder minder in den gesamten Raumwinkel 4π rad strahlt und sich ihre Strahlung nur schlecht bündeln und fokussieren lässt, ist das Auseinanderlaufen (Divergenz θ) der Strahlung bei den meisten Lasern sehr gering $\theta \approx 1 \times 10^{-3}$ rad und sie lässt sich bis auf Dimensionen der Wellenlänge fokussieren (Abb. 2).

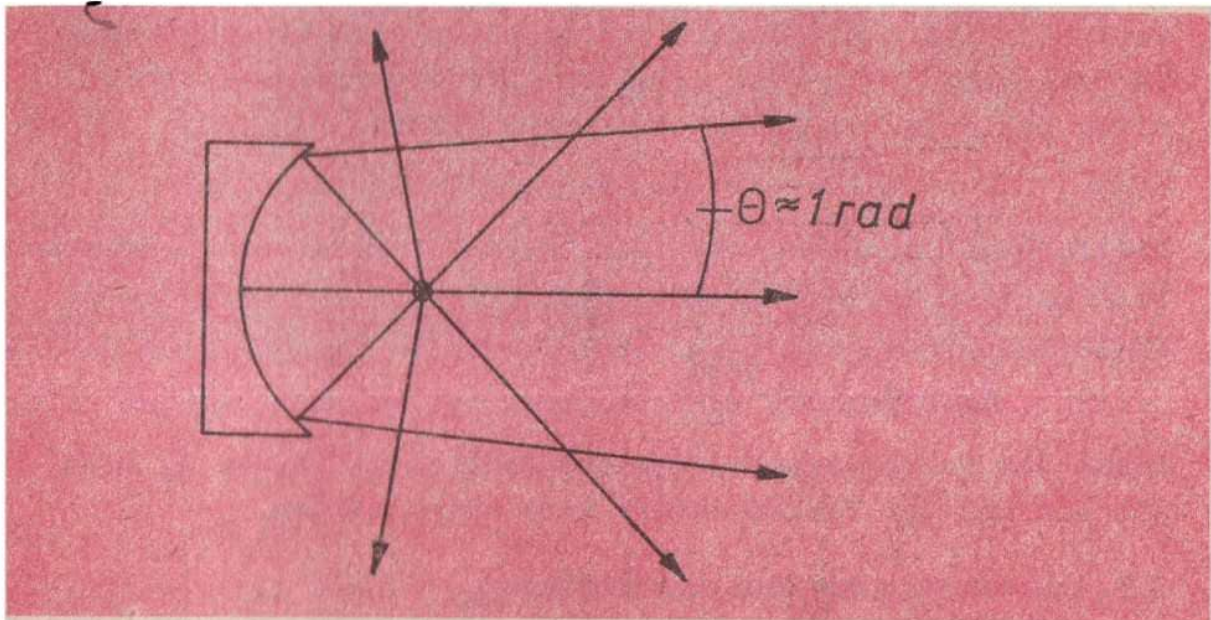
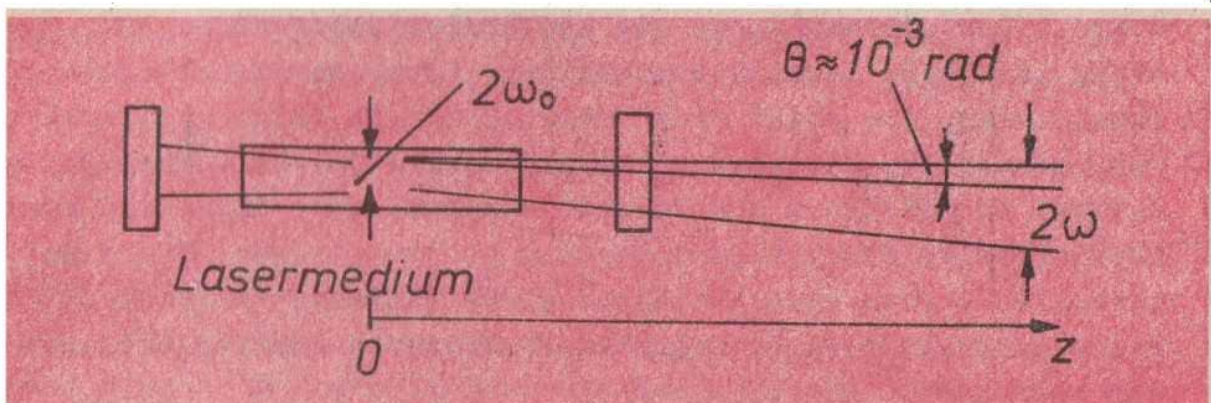


Abb. 2. a) normale Lichtquelle mit Reflektor



b) Laserresonator

Im Idealfall erreicht man beim Laser den physikalischen Grenzwert der Divergenz, der sich durch die Beugung der Strahlung mit der Wellenlänge ergibt.

$$(1) \quad \theta_0 = \frac{\lambda}{\pi \omega_0}$$

Hierbei ist $2\omega_0$ der kleinste Strahlbündeldurchmesser innerhalb des Laserresonators. Von dort aus nimmt der Strahldurchmesser mit der Entfernung z stetig zu

$$(2) \quad 2\omega(z) = 2\omega_0 \left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi \omega_0^2} \right)^2 \right]^{1/2} \approx 2\omega_0 + z\theta$$

Die Laserstrahlung läßt sich nun mittels einer Linse der Brennweite f auf einen Fleck mit dem Radius

$$(3) \quad r_f \approx f \times \theta$$

fokussieren.

Gewöhnlich wird mit Hochleistungslasern eine beugungsbegrenzte Divergenz nicht ganz erreicht. Die Divergenz ist meist einen Zahlenfaktor größer als der Idealfall

$$(4) \quad \theta \approx \sqrt{2m+1} \theta_0 \quad m = \text{ganze Zahl}$$

Vielfach ist noch wichtig (z.B. beim Laserbohren), über welche Distanz sich der Fokusradius nur geringfügig ändert. Im Bereich von

$$(5) \quad z_f \approx \pm 0,46 \frac{\pi r_f^2}{\lambda}$$

nimmt der Fokusdurchmesser nicht mehr als 10 % zu, z_f kann als ein Maß der Tiefenschärfe verstanden werden.

1.2. Leistungsparameter der Strahlung

Je nach technologischem Prozeß kommen kontinuierlich strahlende (cw) oder Impulslaser zur Anwendung. cw-Laser werden überall dort verwendet, wo ein kontinuierlicher Wärmefluß nötig ist (z.B. Lasertrennschneiden, Laserzonenschmelzen). Impulslaser, die meist eine kontinuierliche Folge von Impulsen aussenden (Abb. 3), werden vor allem benutzt, um höhere Intensitäten zu erreichen und Wärmeleitungsverluste durch die kurze impulsförmige Strahlungseinwirkung zu reduzieren. Viele Materialien lassen sich nur durch diese Maßnahme in gewünschter Weise bearbeiten (z.B. Bohren und Gravieren hochreflektierender oder harter Metalle).

Kontinuierliche Laser sind durch die ausgestrahlte cw-Leistung P_L gekennzeichnet (siehe Tabelle). Durch Fokussierung werden Strahlungsintensitäten von

$$(6) \quad I_L = \frac{P_L}{\pi r_f^2}$$

erreicht.

Wird das Werkstück beim Bearbeitungsprozeß verschoben, so wirkt auf das Material eine Strahlungsenergie, die umgekehrt proportional der Verfahrensgeschwindigkeit v ist $E \sim P_L \cdot v^{-1}$.

Daraus erklärt sich, daß z.B. beim Schweißen und Trennschneiden mit zunehmender Materialdicke die Verfahrensgeschwindigkeit verringert werden muß.

Beim Impulslaser ist der einzelne Impuls durch seine Energie E_L und Dauer τ_L gekennzeichnet.

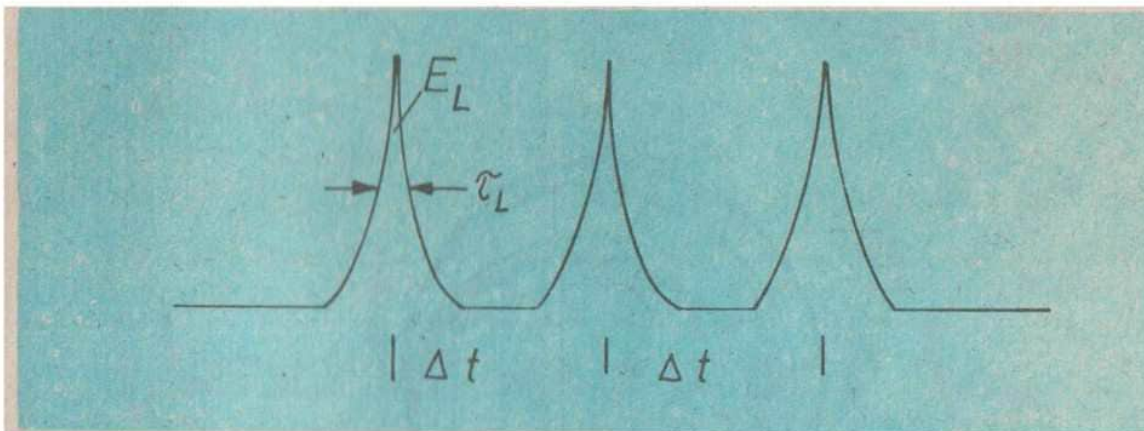


Abb. 3. Zeitbild eines quasikontinuierlichen Impulslasers

Der Laser emittiert dabei eine Impulsleistung von

$$(7) \quad \hat{P}_L = E_L / \tau_L$$

und im Mittel bei einer Impulsfolgefrequenz von $f_f = \frac{1}{\Delta t}$ eine mittlere Leistung von

$$(8) \quad \bar{P}_L \approx \hat{P}_L \cdot \tau_L \cdot f_f$$

Eine solche kontinuierliche Folge von Laserimpulsen kann z.B. durch eine aktive Güteschaltung eines cw-Lasers (vgl. "impuls 68", Heft 2/44) erzeugt werden.

Die erzielbare Überhöhung der Leistung (oder Intensität) ist dabei

$$(9) \quad \hat{P}_L \approx P_L \frac{\tau_s}{\tau_L} \approx 10^3 P_L$$

da die gesamte verfügbare Inversion in sehr kurzer Zeit abgebaut wird. (τ_s - stationäre Zeit des Inversionsabbaus).

Fortsetzung folgt.

68

Impuls

Schülerzeitschrift für

PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

6/84 INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 18. Jg.

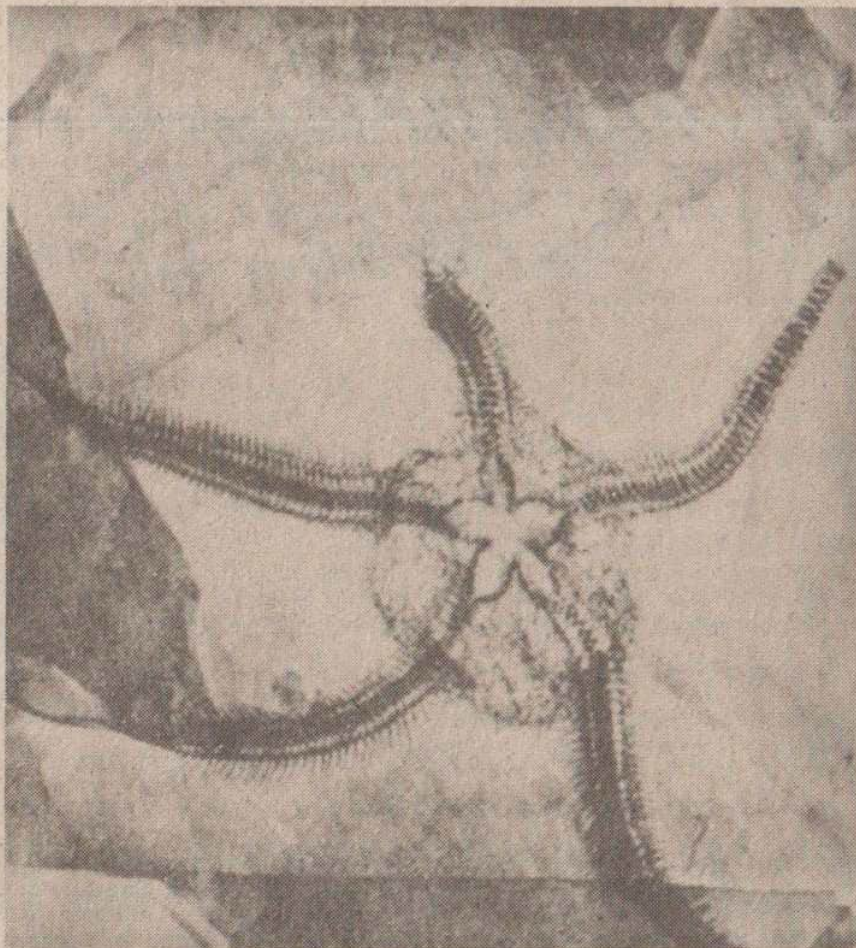
Mikrobielle
Hoch-
leistungs-
stämme

★

Material-
bearbeitung
mit Lasern

★

Der
mysteriöse
Weg des
Phlogistons



Büchermarkt

★

Jahres-
inhaltsver-
zeichnis

★

Titelbild:
Röntgen-
aufnahme
eines ver-
steinerten
Seesterns aus
dem Devon
Repro: S. W.

Martina Winter
Apothekerin

Heilpflanzen und ihre Kräfte
– Teil 1 –



Martina Winter	Heilpflanzen und ihre Kräfte (Teil 1)	BIO	3
	Weltrekorde		15
Dr. Klaus Vogler	Materialbearbeitung mit Lasern – Teil 2 –	PHY	16
	Inhaltsverzeichnis 18. Jg.		22
Dr. Roland Colditz	Der mysteriöse Weg des Phlogistons (Teil 2)	CHE	24
	Der Wahrheit messend und wägend auf der Spur		
Alexander Niehardt	Jahreshaupttagung der Physikalischen Gesellschaft der DDR		32
	In eigener Sache		34
Igor Mierau	Mikrobielle Hochleistungsstämme (Teil 2)	BIO	37
Wolfgang König	Büchermarkt		47

impuls 68 – SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena
 Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“.
 Anschrift der Redaktion: 6900 Jena, Max-Wien-Platz 1, Telefon 82-26286.
 Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR.
 Erscheinungsweise: zweimonatlich
 Heftpreis: –,60 M
 Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb.
 Satz und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht Gera, AN (EDV) 13228

REDAKTION:

Chefredakteur: Dipl.-Phys. Achim Dittmar, stellv. Chefredakteur: Dipl.-Phys. Michael Koschke.
 Redaktionsmitglieder: Dr. Rosemarie Hild, Dr. Roland Colditz, Dr. Jürgen Sauerstein, Dipl.-Chem. Gabi Welsch, Elke Schönheinz, Silvia Butters, Antje Schlegel, Kerstin Leißling, Stefan Winter, Peter Kroll, Alexander Niehardt
 Die Redaktion wurde 1969 und 1980 mit dem Ehrentitel „Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR“ ausgezeichnet.

Gestaltung: Dittmar, Stecklum
 Redaktionsschluß: 11. 10. 1984

Die Entwicklung der Heilpflanzenkunde

Seit jeher wurden Pflanzen von den Menschen genutzt. Die uns überlieferten dürftigen archäologischen Überreste pflanzlicher Stoffe beweisen, daß der Mensch von damals die Pflanzen nicht nur als Nahrung und als Bau- und Bekleidungsmaterial zu nutzen wußte, sondern auch als Heilpflanzen.

Medizin ohne Heilpflanzen ist undenkbar. Die zunächst auf reiner Beobachtung beruhende empirisch ausgeübte Heilkunde bestand in der Auflegung von Blättern, die zur Wundheilung oder Schmerzlinderung dienten. Es wurden gewiß schon sehr früh Heilpflanzen gefunden, die sich als anregendes Mittel (Kaffeebohnen) oder als Beruhigungsmittel (Opium) steigender Beliebtheit erfreuten, aber auch Pflanzen, die Durchfallerkrankungen stoppten oder im Gegenteil heilsame Darmentleerungen auslösten.

Später dann, in der Epoche des Homo sapiens rückte die Frage nach den Ursachen der Krankheiten immer mehr in den Vordergrund. Es begann die Epoche des Animismus (primitive Vorstellung von der Beseeltheit der Natur; Glaube an eine vom Stofflichen getrennte Seele), aus der Vorstellung heraus, daß ungerichtete feindliche Kräfte auf den Organismus einzelner Menschen oder ganzer Sippen einwirken könnten. Die Verwendung der empirisch gefundenen Heilpflanzen genügte nun nicht mehr, sondern es mußten besonders prädestinierte Heilkundige, "Medizinmänner", zum Teil durch Zauberdrogen oder magische Praktiken den Einfluß der Krankheitsdämonen zurückdrängen. Die nun in der Heilkunde verwandten Drogen wurden nicht mehr nach ihren effektiven, in Jahrtausenden bewährten Wirkungen beurteilt, sondern auch nach der Möglichkeit, auf magische Weise das

Wirken überirdischer Kräfte zu beeinflussen. Vielen Drogen wurde in diesem Zusammenhang sogar ein Eigenleben zugestanden. Beweise für die sehr frühe Verwendung von Heilpflanzen liegen aus verschiedenen, weit voneinander entfernten Teilen unserer Erde vor. Archäologische Studien in Skanidar, Irak, erbrachten Hinweise darauf, daß die dort lebenden Neandertaler vermutlich über eine rudimentäre Arzneipflanzensammlung verfügten. So wurden in dieser 60 000 Jahre alten Grabstätte Schafgarbe, Eibisch, Kreuzkraut, Traubenhyazinthe, Tausendgüldenkraut und Meerträubchen gefunden.

In peruanischen Gräbern, die etwa 2500 Jahre alt sind, wurden Beutel für Kokablätter und die beim Koke-Kauen ebenfalls verwendeten Limonen entdeckt. Kokablätter fanden sich auch in 1500 Jahre alten Mumien, und chemische Untersuchungen wiesen das Vorhandensein von Alkaloiden nach.

Egal ob in babylonischen, ägyptischen, indischen, chinesischen, griechischen oder römischen geschichtlichen Aufzeichnungen nachgeschlagen wird, immer enthalten diese Quellen zahlreiche Hinweise über Heilpflanzen.

Die möglicherweise ältesten ausführlichen und klaren Aufzeichnungen von Heilpflanzen sind im Gesetzbuch Hammurabis, König von Babylon von 1728 - 1686 v.u.Z. enthalten. Hammurabi ließ auch einige Aufzeichnungen in Stein meißeln, die zum Teil der Nachwelt erhalten geblieben sind. Diese wurden inzwischen entschlüsselt und ergaben zahlreiche Hinweise auf die Verwendung von Heilpflanzen, u.a. Binsenkraut, Lakritze, Minze - alle bekannt in der modernen Medizin.

Auch die Apothekenkunst Mesopotamiens verließ sich auf pflanzliche Arzneien. Sie kannte etwa 250, darunter Mohn, Tollkirsche, Bilsenkraut, Hanf, Thymian, Knoblauch, Zwiebeln, Lakritze und Myrrhe.

Die ersten schriftlichen Aufzeichnungen gehen auf die Ägypter zurück und sind der Nachwelt auf Papyrusrollen erhalten geblieben. Diese Papyri wurden aus dem Mark des am Nil wachsenden Riesengrases hergestellt. Die berühmteste dieser Schriftrollen, der Papyrus Ebers aus dem 16. Jh. v.u.Z. enthält nicht weniger als 877 Rezepte. Unter den vielen darin aufgeführten Arzneien befinden sich z.B. Olivenöl, Stechapfel, Hanf, Opium, Weihrauch, Myrrhe, Aloe, Wacholder, Rizinusöl, Leinsamen, Sennesblätter, Fenchel und Thymian.



Abb. 1

Dieses ägyptische Relief aus dem 14. Jh. v. u. Z. zeigt den König Echnaton, dem seine Gemahlin Nofretete eine Heilpflanze, wahrscheinlich eine Mandragora, reicht.

Bei den alten Griechen sind auf dem Gebiet der Heilbotanik vier Namen von besonderer Bedeutung: Hippokrates, Aristoteles, Theophrastus und Dioskorides.

Hippokrates (460-370 v.u.Z.) - gilt als der eigentliche Vater der Heilkunde. Er sammelte und beschrieb über 250 Arzneipflanzen. Der große griechische Arzt glaubte, der menschliche Körper heile sich weitgehend selbst und benötige zur Wiederherstellung seiner Gesundheit nur wenig Unterstützung durch Arzneien sowie eine angemessene Diät. Hippokrates nimmt insofern eine fast einmalige Stellung ein, als er die Dämonenlehre nicht mit den Heilkräften der Kräuter in Verbindung brachte.

Der große Philosoph Aristoteles (384-322 v.u.Z.) schrieb jeder Pflanze die damals bekannten Eigenschaften zu.

Theophrastus (ca. 372-287 v.u.Z.), Botaniker, beschrieb viele griechische und ausländische Pflanzen und zählte ihre Verwendungszwecke auf. Seine Abhandlungen "Systematik der Botanik" hatte tiefgreifenden Einfluß auf die Entwicklung der Botanik und der Pharmakologie.

Das Buch "De Materia Medica" von Dioskorides (1. Jh.u.Z.), einem in Rom tätigen Militärarzt, übte einen überwältigenden Einfluß auf die Entwicklung der Heilpflanzenkunde aus. Es blieb für viele Jahrhunderte die führende Arzneimittellehre. In seinem Werk beschreibt Dioskorides etwa 1000 Heilmittel, davon ca. 600 pflanzlicher Herkunft.

Auch die klösterliche Medizin und Pharmazie hatte großen Anteil an der Entwicklung der Heilpflanzenkunde. So haben die Zerstörung des römischen Weltreiches und die Völkerwanderungszeit die medizinischen Traditionen nicht unterbrochen. Es waren nunmehr die Klöster, die das antike Wissen um die Phytotherapie bewahrten und weitertrugen.



Abb. 2
Nonnen bei der Pflege eines
Kräutergartens

In diesem Zusammenhang ist vor allem die Äbtissin Hildegard von Bingen (1098-1179) zu erwähnen. Sie schrieb eine Art "Arzneikunde" unter dem Titel "Physica" und eine Art "Krankheitslehre" als „Causae et curae“ bekannt. Die "Physica" beschreibt 230 Kräuter, 63 Bäume, weiterhin viele Steine, Fische, Vögel, Reptilien und andere Tiere. In ihren medizinischen Werken beschreibt Hildegard v. Bingen auch Pflanzen des germanischen Kulturraumes und verwendete zwischen 1151 und 1168 bereits deutsche Namen einzelner Drogen.

Bis ungefähr 1470 dauerte in Europa der Einfluß von Dioskorides und anderer Schriftsteller der Klassik auf die Botanik und Medizin an. Danach begannen Kräutersammler selbst mit dem Studium der Pflanzen und schufen wegweisende Beschreibungen und Illustrationen. Durch die Erfindung der Buchdruckerkunst wurde das Geistesgut praktisch für jedermann zugänglich. Hier seien nun einige Vertreter genannt, die sich im Mittelalter eingehend mit der Erforschung der Heilpflanzen beschäftigten und dies in umfangreichen Werken der Nachwelt hinterließen: Otto Brunfels (1489-1584), Hieronymus Bock (1498-1544),

Paracelsus (1493-1541), Leonhart Fuchs (1501-1566).

Erst ab 1670 löste sich die Botanik von der Medizin, was beiden Wissenschaftszweigen zum Vorteil gereichte. Der Ruf, den sich gewisse Pflanzen über solange Zeit angeeignet hatten, war nicht leicht zu zerstören. Durch Ausprobieren erlangten Pflanzen im Laufe der Jahrhunderte hohes Ansehen als Heilmittel, und die Wirksamkeit einiger, die sich bis in die neuere Zeit halten konnten, ist durch moderne chemische und pharmazeutische Untersuchungen erhärtet worden.



Abb. 3
Apotheke aus dem
12. Jahrhundert

Ausgewählte Heilpflanzen und ihre Anwendung

Im folgenden Abschnitt sollen einige alt bewährte und bekannte Heilpflanzen etwas ausführlicher vorgestellt werden. Dabei betrachten wir das Vorkommen und die Sammelvorschrift der Pflanzen, beleuchten etwas genauer die Inhaltsstoffe und stellen Wirkung und Anwendung in verschiedenen Anwendungsformen vor. Zunächst beschränken wir uns auf einheimische Heilpflanzen, d.h. Pflanzen, die in Mitteleuropa beheimatet sind.

Arnika, Wohlverleih (*Arnica montana*)

Die Arnika gehört zu den schönsten und weltweit beliebtesten Gebirgspflanzen. Wir finden sie auf kalkarmen, sauren Moorböden und ungedüngten Bergwiesen. Die ganze Pflanze riecht angenehm aromatisch. Zur Blütezeit von Juni - August werden ganze Blüten oder nur die Blütenblätter gesammelt. Die Trocknung sollte möglichst schnell im Schatten erfolgen.

Inhaltsstoffe:

In den Blüten sind u.a. etwa 0,1 % ätherisches Öl, Flavonoide, Gerbstoffe und Xanthophylle (gelber Blütenfarbstoff) enthalten.

Wirkung und Anwendung:

Bei der äußerlichen Anwendung der Arnikatinktur, einem alkoholischen Auszug der Arnikablüten, spielen in der Hauptsache das ätherische Blütenöl sowie die Xanthophylle eine Rolle. Diese Stoffe wirken entzündungswidrig, wundheilungsfördernd und auch resorptionsfördernd. Somit wird die verdünnte Arnikatinktur äußerlich in Form von Salben, von feuchten Verbänden und Umschlägen bei der Behandlung von Quetschungen, Muskel- und Sehnenzerrungen, Blutergüssen und Krampfaderentzündungen angewendet.

Als Zusatz zu Mund- und Gurgelwässern ist Arnika ein bewährtes Mittel bei Zahnfleisch-, Mund- und Schleimhautentzündungen.

Hopfen (*Humulus Lupulus*)

Der Hopfen rankt entweder schnellwüchsig an Hecken, Zäunen und Waldrändern empor, oder er wird feldmäßig an Gestängen gezogen. Letzteres trifft vor allem auf die weiblichen Pflanzen zu, denn diese werden als Bitterwürze in der Bierbrauerei verwendet.

Die weiblichen Blüten bilden zapfenartige Scheinähren, die bis zur Reife kleine, eiförmige Fruchtstände aus bräunlichen Schuppen bilden. Die weiblichen Hopfenzapfen werden vor der völligen Reife im Spätsommer (August/September) gesammelt und im Schatten getrocknet. Durch Abklopfen und Absieben der frischen Fruchtstände wird das so genannte Hopfenmehl, ein gelbliches, klebriges Pulver von aromatischem Geschmack gewonnen.

Inhaltsstoffe:

Harz mit Bittersäuren, etherisches Öl und Gerbstoffe

Wirkung und Anwendung

Hopfen gehört zu jenen Drogen, die in großen Mengen angebaut und verbraucht werden. Der Weltjahresverbrauch liegt über 5000 t je Jahr. Das Hauptanwendungsgebiet ist die Bierbrauerei. Die Hopfenbitterstoffe verleihen dem Bier einen würzigen Geschmack und die appetitanregende Wirkung, sie sind außerdem an der beruhigenden und ermüdenden Wirkung des Bieres beteiligt. In der Heilkunde dient der Hopfen in Form eines Aufgusses als mildes Einschlaf- und Beruhigungsmittel und wird weiterhin bei nervösen Herzbeschwerden sowie als Magenmittel verwendet. Wegen seines harntreibenden Einflusses findet Hopfen auch gegen Nierenschwäche und Blasenlähmung Anwendung.



Arnika



Hopfen

Huflattich (*Tussilago farfara*)

Der Huflattich ziert feuchte Wegränder, Bach- und Flußufer vom Tiefland bis in mittlere Gebirgslagen, besonders aber auch lehmige und kalkreiche Böden.

Es werden vorrangig ganz junge Blütenköpfe im Februar/März und die Blätter von Mai-August gesammelt und anschließend getrocknet.

Inhaltsstoffe

In den Blättern sind reichlich Schleimstoffe, Gerbstoffe, Bitterstoffe und mineralische Bestandteile enthalten. Die Blütenköpfe enthalten Xanthophyll, geringe Mengen Schleim, Gerbstoff und Spuren etherischen Öls.

Wirkung und Anwendung

Tussilago ist vom lat. *Tussis* =Husten abgeleitet. Der Huflattich gehört zu den ältesten und gebräuchlichsten Hustenmitteln. Er besitzt eine auswurfördernde, schleimlösende und reizmildernde Wirkung. Huflattich wurde früher nicht nur als Tee getrunken, sondern auch zu Heilzwecken geraucht bzw. der Rauch angezündeter Blätter inhaliert. Dieser Rauch sollte Schweratmigkeit und trockenen Husten beseitigen.

Heute verwendet man Huflattichblüten und -blätter, die Bestandteil vieler Hustenteemischungen sind, auch als Aufguß bei Erkrankungen der Atmungsorgane, bei Husten, Heiserkeit und Bronchitis.

Die frischen (vorher sauber gewaschenen und gequetschten) Blätter kann man auch als Wundauflage verwenden.

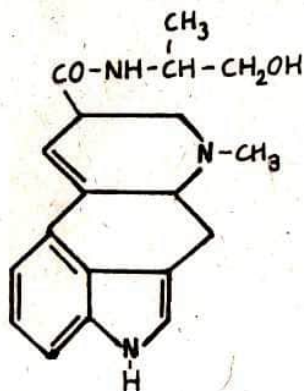
Mutterkornpilz (*Claviceps purpurea*)

Der Mutterkornpilz befällt vorzugsweise Roggenähren. Zur Blütezeit der Wirtspflanze wird er vom Wind angeweht und entwickelt sich dann zu einem Mycel (Pilzgewebe), das eine gelbe, widrig süßliche Flüssigkeit absondert und damit Insekten anlockt. Die vom Pilz befallenen Fruchtknoten verkümmern. Unter ihnen wächst ein kornartiges hartes, schwarzviolettes Dauermycel, das Mutterkorn (*Secale cornutum*). Fällt dieses bei der Erntezeit zu Boden, keimt es im Frühjahr und bildet viele Fruchtkörper, die neue Sporen bilden.

Gesammelt wird das Mutterkorn von Roggenähren zu Beginn der Reifezeit (Ende Juli-August) oder nach der Ernte aus dem gedroschenen Roggen. Heute wird Mutterkorn durch maschinelle Infektion von jungen Roggenfeldern gezogen, weil die ehemalige Gewinnung der Wirkstoffe teurer ist, als der natürliche Extrakt.

Inhaltsstoffe

Lysergsäure-Alkaloide, z.B. Ergotamin, Ergometrin, Ergotoxin sowie 30 % Fett.



Ergometrin

Mutterkornpilz an
Roggenähre



Wirkung und Anwendung

Ergometrin wirkt direkt auf die glatte Muskulatur des schwangeren Uterus und löst wehenartige Kontraktionen aus. Somit wird es in Form von Arzneifertigpräparaten bei Wehenschwäche verwendet.

Ergotamin dagegen löst auf den Uterus eine Dauerkontraktion aus und darf während der Geburt nicht angewendet werden. Wegen seiner ausgeprägten gefäßverengenden Eigenschaft wird es hauptsächlich zur Blutstillung nach Geburt bzw. Abort eingesetzt. Bereits im Mittelalter schätzten die Hebammen bei schweren Geburten das Mutterkorn. Gelangten jedoch versehentlich Fruchtkörper des Pilzes in das Mehl und somit in das Brot, so wurden ganze Städte vergiftet. Viele Menschen erlitten die Vergiftungserscheinungen, andere erlitten Halluzinationen oder permanente Geistesstörungen.



Huflattich



Roter Fingerhut

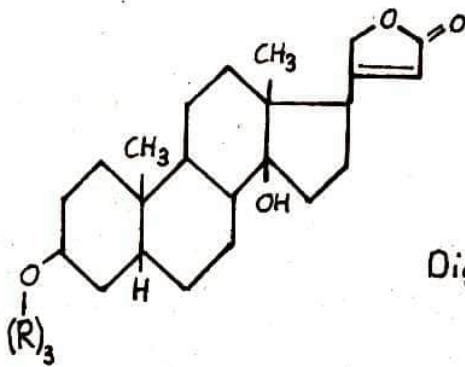
Roter Fingerhut (*Digitalis purpurea*)

Der Fingerhut - der Name nimmt Bezug auf die eigenartige Blütenform - zählt zu den am besten erforschten Heilpflanzen. Die herzwirksamen Digitalisglykoside konnten bis heute durch keine synthetischen Wirkstoffe ersetzt werden.

Die bis zu 2 m hoch werdende krautige Pflanze bevorzugt in der Natur kalkarme Böden in Waldlichtungen und an buschigen Abhängen. Zur Blütezeit (von Juni-September) werden die Blätter möglichst an trockenen, sonnigen Spätnachmittagen gesammelt. Die Trocknung sollte rasch im Schatten oder an der Sonne erfolgen.

Inhaltsstoffe

Herzwirksame Glykoside (Digitoxin, Gitoxin), Saponine und Gerbstoffe.



Digitoxin

R = Digitoxose
(Zuckermolekül)

Die Digitalispflanze wurde bereits 1542 im Kräuterbuch von Leonhart Fuchs in den beiden Varietäten *D. Purpurea* u. *D. lutea* einwandfrei abgebildet und benannt.

Ursprünglich wurde Digitalis als Zusatz für Wundsalben verwendet, bis der englische Arzt William Withering (1741-1799) diese Pflanze als wirkungsvolles Diuretikum (ein die Harnausscheidung förderndes Mittel) entdeckte. Die eigentliche Wirkung auf den Herzmuskel blieb ihm noch unbekannt. Spätere pharmakologische Untersuchungen zeigten einen die Muskelkraft des Herzens stärkenden Effekt.

Wirkung und Anwendung

Die Digitalisglykoside steigern die Förderleistung des Herzens und verbessern gleichzeitig die Sauerstoffversorgung des Herzmuskels. Außerdem besitzen sie eine harntreibende Wirkung. Therapeutisch verwendet wird in erster Linie das bereits 1875 isolierte Digitoxin in Form von Arzneifertigpräparaten (Tabletten, Injektionen) zur Dauerbehandlung von Herzinsuffizienz. Drogenpulver oder Drogenextrakte werden kaum noch eingesetzt.

Salbei (*Salvia officinalis*)

Die Salbei darf ohne Übertreibung als Prototyp einer Heilpflanze bezeichnet werden. Dies sagt schon ihr Name *Salvia-salvare* = heilen. Schon in frühester Zeit wurde sie angebaut. Die blauviolettten Blüten werden von Bienen und Hummeln eifrig besucht, die Pflanze dient somit auch als Bienenfutter. Kurz vor oder zu Beginn der Blüte werden die Blätter bei trockenem, sonnigen Wetter gesammelt und im Schatten getrocknet.

Inhaltsstoffe

Etherisches Öl mit Thujon, Kampfer Borneol, Bitterstoffe und Gerbstoffe.

Wirkung und Anwendung

Salbei besitzt eine entzündungswidrige, desinfizierende Wirkung. Salbeixtrakte werden zum Gurgeln bei Entzündungen der Mund- und Rachenhöhle, Kehlkopfkatarrh und Mandelentzündungen eingesetzt. An dieser Wirkung dürften die antiseptische Eigenschaft des ätherischen Öls sowie die auf Schleimhäute zusammenziehende Wirkung der Gerbstoffe beteiligt sein.

Weiterhin ist Salbei auch ein beliebtes Gewürz für Käse, Fleisch- und Fischgerichte.



Salbei

Im zweiten Teil dieses Beitrags werden wir uns ausländischen Heilpflanzen zuwenden, die auch bei uns Anwendung finden.

WELTREKORDE



- Der größte anorganische Einkristall der Welt ist ein Beryll aus Matakialina (Demokratische Republik Madagaskar). Dieser Einkristall ist 18 m lang, hat einen Durchmesser von 3,5 m und wiegt 380 t.
- Ein Schwefelkristall, der $22,5 \times 16,5 \times 11 \text{ cm}^3$ groß ist und 5 kg wiegt, ist unter den Einkristallen, die nur aus Atomen ein und desselben Elements bestehen, der größte.
- Unter den organischen Einkristallen stellt ein Whewillit-Kristall (Calciumoxalat), der $5,5 \times 5,5 \times 1,5 \text{ cm}^3$ groß ist, das Maximum dar. Er wird an der Bergakademie Freiberg aufbewahrt.

- Nicht nur auf technischem Gebiet gibt es sehr schnell ablaufende Prozesse. Auch die Natur lehrt uns immer wieder, wie schnell sie sein kann. So benötigt zum Beispiel eine Aga-Kröte (*Bufo marinus*) für ihren Beutefang (Öffnen des Maules, Ausfahren der Zunge, Treffen des Insekts, Zurücknehmen der Zunge, Schließen des Maules) nur 145 ms!
- Das kleinste Säugetier der Erde ist nicht mehr die Zwergspitzmaus. Eine im Westen Thailands entdeckte kleine Fledermausart nimmt jetzt ihren Platz ein. Die neuentdeckte Art ist nur 29-33 mm lang und schwanzlos. Der Schädel ist nur 10,3 bis 11,5 mm lang. Sie wiegt ungefähr 2 g.

aus URANIA



(Teil 1 im Heft 5/84 erschienen)

Aus der Vielzahl der existierenden Laser sind nur einige wenige zur Materialbearbeitung geeignet und werden technisch dafür genutzt. Durchgesetzt haben sich insbesondere der cw- und gepulste CO_2 - und Nd:YAG-Laser (vgl. Tabelle). Beide Lasertypen ergänzen sich. Die höheren Leistungen der größeren CO_2 -Laser sind vor allem für größere und ausgedehntere Bearbeitungsprozesse geeignet (z.B. Schneiden dickerer Stahlbleche bis ≈ 5 mm), während die Anwendung des Nd:YAG-Lasers in der Präzisionsbearbeitung und Elektronik überwiegt.

Durch eine kürzere Wellenlänge lassen sich mit dem Nd:YAG-Laser prinzipiell kleinere Strukturen ($2 r_f \approx 5 \mu\text{m}$) gegenüber dem CO_2 -Laser ($2 r_f \approx 30 \mu\text{m}$) erreichen.

Durch die bessere Absorption der Strahlung sind CO_2 -Laser besser zur Bearbeitung von Glas, Keramik, Plaste und Holz geeignet, während der Nd:YAG-Laser dem CO_2 -Laser bei der Bearbeitung von Hartmetallen und Metallen hoher Reflexion überlegen ist.

In Zukunft dürften Excimer-Laser zunehmend eingesetzt werden, da ihre kurzwellige UV-Strahlung von nahezu allen wichtigen Materialien gut absorbiert wird (Abb. 4).

Nachfolgende Tabelle gibt repräsentative Daten von Material-

Lasertyp	λ_L	P_L bzw. \bar{P}_L	f_f	τ_L	$\approx \hat{P}_L$ [W]	η [%]
cw CO_2	$10,6 \mu\text{m}$	$\approx 1 \text{ kW}$	—	—	—	≈ 30
CO_2 -Impuls	"	$\approx 100 \text{ W}$	$\approx 1 \text{ kHz}$	200 ns	$5 \cdot 10^5$	"
TEA- CO_2	"	$\approx 100 \text{ W}$	$\approx 20 \text{ Hz}$	$0,2 \dots 1 \mu\text{s}$	$5 \cdot 10^7$	≈ 20
cw-Nd YAG	$1,06 \mu\text{m}$	$\approx 100 \text{ W}$	—	—	—	≈ 1
Impuls Nd YAG	"	$\approx 20 \text{ W}$	$0,1 \dots 10 \text{ kHz}$	100 ns	$2 \cdot 10^5$	"
KrF Excimer	248 nm	$\approx 40 \text{ W}$	$\approx 500 \text{ Hz}$	10 ns	$5 \cdot 10^7$	≈ 3

bearbeitungslasern an. Bei speziellen Typen können dabei z.B. die Leistungen noch um Größenordnungen größer sein. Technisch sind diese Laser so ausgereift, daß es kaum noch Probleme mit der Zuverlässigkeit und Stabilität gibt. Auch der z.T. geringe Wirkungsgrad der Laser selbst wird von dem hohen Rationalisierungseffekt ihres Einsatzes fast überall überwogen.

2. Wirkung der Laserstrahlung auf Festkörpermateriale

2.1. Allgemeines

Die Wirkung der Laserstrahlung beim Auftreffen auf Festkörper kann je nach Strahlungsintensität und Energie recht unterschiedlich sein. Grundsätzlich wird ein bestimmter Teil der einfallenden Laserstrahlung an der Oberfläche reflektiert, absorbiert, gestreut oder vom Material hindurchgelassen. Der absorbierte Anteil ruft eine mehr oder weniger starke lokale Erwärmung hervor, die die gewünschten physikalisch/chemischen Prozesse bewirkt (Schmelzen, Verdampfen, Strukturänderungen).

Welcher Anteil der einfallenden Strahlungsenergie absorbiert wird, hängt vom Absorptionsvermögen des betreffenden Materials bei der Wellenlänge der Strahlung, aber auch stark von ihrer Intensität ab. Bei kleinen Intensitäten I_L ist der absorbierte Anteil auf Grund der hohen Reflektivität (Metalle) bzw. optischen Transparenz (Dielektrika) häufig äußerst gering (Abb. 4).

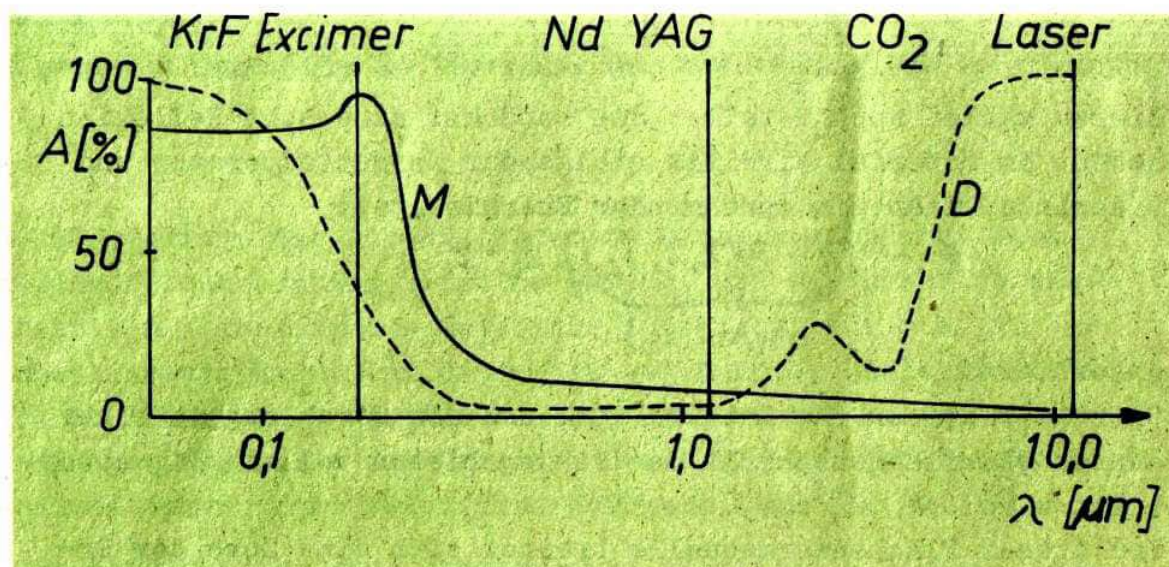


Abb. 4

Spektrale Absorption A für ein typisches Metall M (Cu) und ein Dielektrikum D (Saphir) für kleine Intensitäten

Glücklicherweise ändern die Materialien jedoch bei hohen Strahlungsintensitäten ihr Absorptionsverhalten vollkommen. Bei hinreichend hohen Intensitäten der Laserstrahlung ($\approx 10^8 \text{ W/cm}^2$ bei Metallen) erreicht man bei allen Materialien eine hohe Absorption und damit eine fast vollständige Umwandlung von Strahlungsenergie in thermische (Abb. 5).

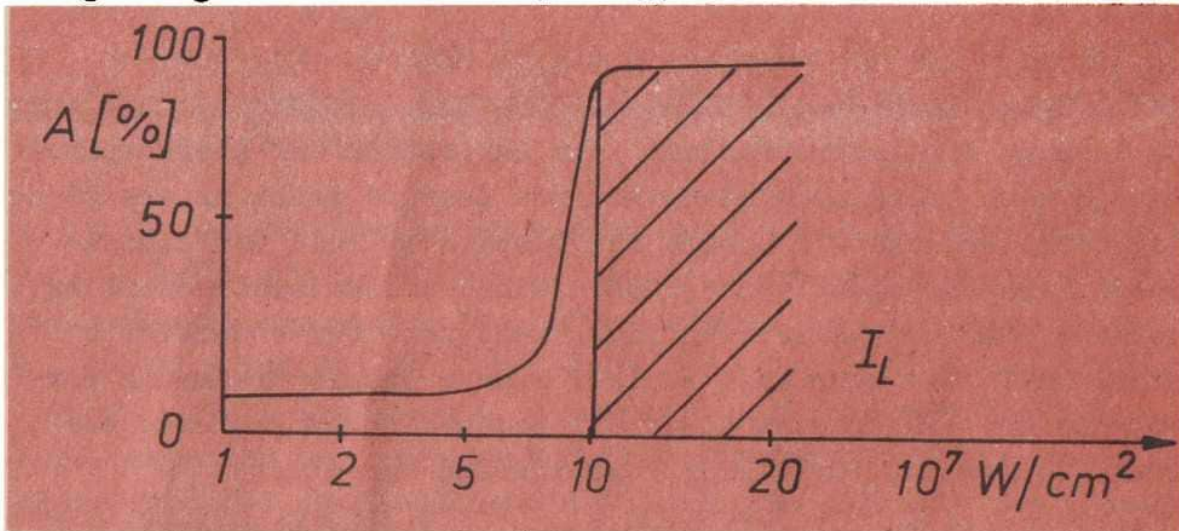


Abb. 5

Absorption A eines Cu-Targets als Funktion der einfallenden Laserintensität I_L

Für viele Zwecke ist es jedoch günstig bei kleinen Intensitäten bereits eine hohe Absorption zu haben (geringerer Energieaufwand).

2.2. Prozesse in stark absorbierenden Materialien

Hierzu zählen auch Metalle, die zunächst eine hohe Reflexion haben. Im Material wird mit steigender Targettemperatur und Laserintensität ein zunehmender Energieanteil

$$\Delta E \sim \underbrace{[1 - R(\lambda, T, I_L)]}_{A(\lambda, T, I_L)} I_L \cdot \tau_L$$

absorbiert.

Charakteristisch für Metalle ist, daß die Strahlung in einer dünnen Oberflächenschicht des Fokusgebietes vollständig absorbiert wird ($\approx 10^{-4} \text{ cm}$).

Von dieser Flächenwärmequelle breitet sich eine Zone der Erwärmung ① in das Material hinein aus (Abb. 6).

Bei genügender Aufheizung schmilzt ② und verdampft das Material im Fokusgebiet. Schmelzflüssiges Material wird häufig seit-

lich aus dem Verdampfungsbereich (z.B. Bohrloch) herausgeschleudert ③. Das verdampfte Material bildet meist vor dem Target eine leuchtende **Plasmawolke**, die die Strahlung selbst merklich absorbiert und den Materialabtrag behindert. Besitzt das Material eine große Wärmeleitfähigkeit $K(T)$, so tritt bei langen Laserimpulsen ein Energieverlust durch Erwärmung seitlicher Bereiche auf. Das mit großer Geschwindigkeit verdampfende Material ($v \leq 10^6 \text{ cm s}^{-1}$) erzeugt u.U. einen erheblichen Rückstoßdruck im Target ($p > 10 \text{ MPa}$ möglich).

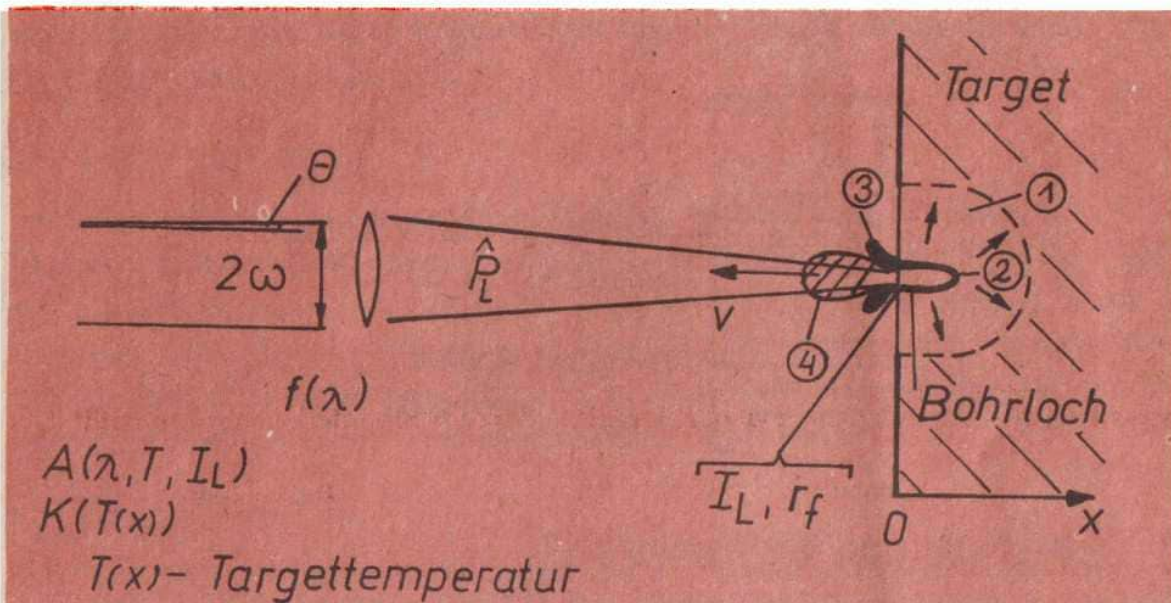


Abb. 6

Schematische Darstellung der Einwirkung der Laserstrahlung auf ein Metalltarget

2.3. Prozesse in transparenten Materialien

In Materialien, die für die Laserstrahlung transparent sind, ist die Restabsorption meist so gering, daß sie nicht zu einem effektiven Aufheizen des Materials ausreicht. Für sie gibt es Schwellintensitäten, bei denen ein sogenannter dielektrischer Durchbruch erfolgt. Ähnlich wie ein Kondensator bei zu hohen Spannungen wird hier das Material durch die mit der hohen Intensität verknüpften Feldstärke durchschlagen ($I \approx 10^{10} \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$).

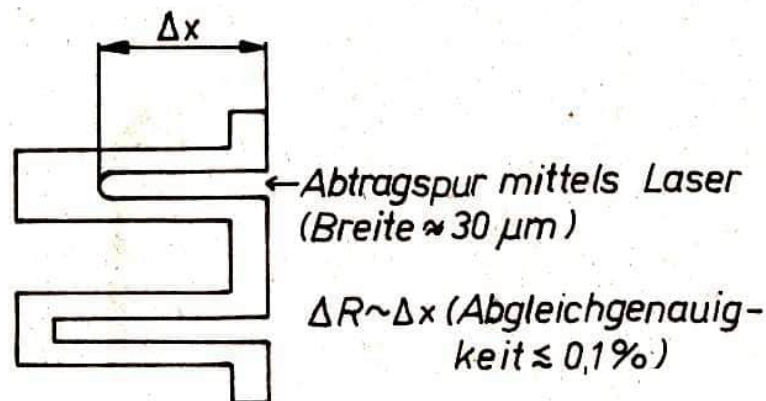
Diese Zerstörungen sind jedoch lokal nicht genau fixiert und oft irregulär. Zur Bearbeitung von Dielektrika eignen sich daher besser Laser, deren Strahlung von diesen ausreichend absorbiert wird.

3. Wichtige Laserbearbeitungsverfahren

Abschließend soll schematisch das Prinzip einiger ausgewählter Bearbeitungsprozesse skizziert werden, ohne auf spezielle technologische Einzelheiten einzugehen.

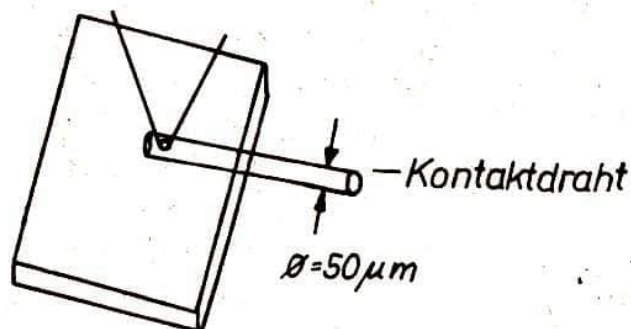
3.1. Abgleich elektronischer Bauelemente

Ein mäanderförmiger Dünnschichtwiderstand läßt sich durch gezielten Materialabtrag sehr genau abstimmen (trimmen).



3.2. Kontaktieren von Bauelementen

Durch einen einzigen Laserimpuls wird der Kontaktdraht an das Bauelement geschweißt, ohne dieses bei geeigneter Dosierung der Strahlungsintensität störend zu erwärmen.



3.3. Schweißen, Umschmelzen, Oberflächenlegieren

Durch Einwirkung der Laserstrahlung werden bestimmte Oberflächenbereiche geschmolzen und ev. ihre Legierungszusammensetzung geändert. Schweißtiefen von 15 mm Stahl sind bei Verfahrensgeschwindigkeiten von 12 mm s^{-1} möglich.

3.4. Laserhärten

Durch Erwärmung der Oberflächen mittels Laserbestrahlung, unterhalb der Schmelztemperatur und rasches Abkühlen können diese speziell gehärtet werden.

3.5. Lasergravur

Der Laserstrahl wird von einem rechnergesteuerten Ablenkensystem so über die Probe geführt, daß dort beliebige Zeichen eingebrannt werden. Es lassen sich härteste, sonst kaum kennzeichnbare Materialien markieren. Z.Zt. können etwa 20 Zeichen/s in Stahl graviert werden.

3.6. Laser annealing

Halbleitermaterialien werden häufig durch Ionenbeschuß dotiert. Diese implantierten Ionen erzeugen jedoch im Kristallgitter zusätzliche Defekte, die wieder ausgeheilt werden müssen. Durch Beschuß mit Laserimpulsen definierter Energie können diese Defekte räumlich sehr gezielt und wesentlich schneller als durch konventionelle Wärmeverfahren beseitigt werden.

3.7. Laserschneiden

Mit dem Laser können bei hohen Schnittgeschwindigkeiten (z.B. 2 mm Stahl mit $v \approx 10 \text{ cm s}^{-1}$) ohne Verschleiß des Schnittwerkzeuges, die unterschiedlichsten Materialien in beliebiger Form zersägt werden.

3.8. Laserbohren

Bekannt ist insbesondere das Laserbohren von Uhrensteinen oder Diamantdrahtziehkörpern. Mit Lasern können Bohrungen mit Durchmessern von $10 \mu\text{m}$ bis $\approx 5 \text{ mm}$ in beliebige Materialien eingebracht werden. Auch spröde Materialien (z.B. Keramik, dünne Si-Scheiben) und schwer zugängliche Stellen können gebohrt werden. Häufig ist eine Bohrung mit einem Laserschuß erzeugt.

Zum Abschluß sei für Interessenten, die sich genauer informieren wollen, eine Quelle angegeben:

M. Nowick: Laser in Elektroniktechnologie und Materialbearbeitung; Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig 1982.

Inhaltsverzeichnis „impuls 68“ 18. Jg. (1984)

Titel		Autor	Heft	Seite
PHYSIK/ASTRO				
Quarks und Leptonen	(2)	Basler	1	3
	(3)	Basler	2	24
Mit Radioteleskopen an die Tiefen des Alls		König	1	18
Mikroelektronik	(9)	Wolff	1	38
- leichtverständlich -	(10)	Wolff	2	33
	(11)	Wolff	3	27
	(12)	Wolff	4	18
Galaxienhaufen - Fundamente des Universums		König	3	18
Farbmetrik	(1)	Schröder	3	34
	(2)	Schröder	4	29
Der Seifenfilm - Ein Analogcomputer?		Köhler	3	42
Regiert das Chaos die Welt?	(1)	Kaschke	5	3
Sternpopulationen		Röder	5	10
CHEMIE				
Gaschromatografie		Kaschke	1	28
Chemische Thermodynamik	(1)	Hüller, Lich	2	3
	(2)	Hüller, Lich	3	9
	(3)	Hüller, Lich	4	42
Der mysteriöse Weg des Phlogistons	(1)	Colditz	5	37
	(2)	Colditz	6	24
BIOLOGIE/MEDIZIN				
Mikrobielle Hochleistungsstämme	(1)	Mierau	1	10
	(2)	Mierau	6	37
Für und Wider der Akupunktur	(1)	Kaschke, Kaschke	2	42
	(2)	Kaschke, Kaschke	3	3
Heilpflanzen und ihre Wirkungen	(1)	Winter	6	3
ÜBERGREIFENDE ARTIKEL, GESCHICHTE				
E. Torricelli		Jupe	1	45
Space Shuttle		Boller	2	15
Physikalisch-chemische Grundlagen der Schwarzweiß- und Farbfotografie	(1)	Winter	4	3
	(2)	Winter	5	26
Der Magische Würfel		Glomb	4	10

Titel	Autor	Heft	Seite
Materialbearbeitung mit Lasern	(1) Vogler	5	43
	(2) Vogler	6	16
DOKUMENTATION			
Naturwissenschaft als Politikum	Steenbeck	2	9
Interview „Aneignung der Fachsprache ...“	Hentschel, Wagner	5	20
Jahreshaupttagung der Physikal. Gesell. d. DDR	Niehardt	6	32
WISSENSWERTES, SONSTIGES			
Büchermarkt	König	1	17
	Kaschke	1	36
	König	2	47
	Kruse	3	16
	Kruse	4	27
	König	5	9
Wissenswertes, MOSAIK		6	47
		4	26
		6	15

Dr. Roland Colditz
Sektion Chemie
FSU Jena

Der mysteriöse Weg des Phlogistons
2. Teil:
Der Wahrheit messend und wägend
auf der Spur

CHEMIE

Im ersten Teil dieses Artikels (siehe "impuls 68", vorhergehendes Heft) wurde G.E.Stahls Phlogistontheorie vorgestellt; eine Theorie mit deren Hilfe es - seit Aristoteles - zum ersten Male möglich geworden war, eine Ordnung, eine Systematisierung in die Fülle der bekannten chemischen Vorgänge zu bringen. Mit fortschreitender Forschung mußten jedoch die Fehler dieser Theorie immer sichtbarer werden. Im Laufe des 18. Jh. versuchten viele Wissenschaftler den wohl am klarsten erkennbaren Widerspruch aufzuklären, den die Phlogistontheorie enthielt: Danach mußte ein Metall bei der Oxydation - durch Abgabe von Phlogiston - leichter werden. Wägungen wiesen aber das Gegenteil aus. Daneben fehlte es natürlich nicht an Versuchen, Phlogiston rein darzustellen oder zu bestimmen. Stahl selbst hatte dies niemals versucht; er hielt jedoch Kien- und Ölruß für besonders phlogistonreich, gewissermaßen für "technisch reines" Phlogiston. Im Gefolge dieser Versuche entwickelte sich die Gaschemie oder pneumatische Chemie.

An der Überwindung des genannten Widerspruches und an der Entwicklung der Gaschemie und damit an der Vorbereitung der späteren wissenschaftlichen Revolution in der Chemie waren Wissenschaftler aus vielen europäischen Ländern beteiligt, vor allem der russische Gelehrte Lomonossow, der in Schweden lebende Deutsche Scheele, die Engländer Priestley und Cavendish und der Franzose Lavoisier.

Michail Wassiljewitsch Lomonossow (1711-1765), Sohn eines Fischers aus dem hohen Norden Rußlands, hatte sich auf eigene Faust nach Moskau durchgeschlagen und mit dem Studium der Naturwissenschaften begonnen. Er schloß seine Ausbildung in Deutschland (Marburg und Freiberg) ab und besaß ab 1745 eine Professur an der Petersburger Akademie.

Hier untersuchte er Erz- und Mineralproben aus Rußland, stellte Farbmosaikgläser und Mineralfarben her. Bei Versuchen über die Verkalkung (Oxydation) von Metallen gelang ihm der Nachweis, daß die Gesamtmasse von Glas, Metall und Luft vor der Verbrennung ebensogroß ist wie die Gesamtmasse von Glas, Restluft und Metallkalk nach der Verkalkung. Von diesen und ähnlichen Beobachtungen gelangte Lomonossow durch Abstraktion zu dem grundlegenden Naturgesetz von der Erhaltung der Masse. Leider blieben diese wichtigen Untersuchungen seinerzeit fast unbeachtet.

Einer der glänzendsten Experimentatoren, die das mystische Phlogiston zu fassen suchten, war der Apotheker Carl Wilhelm Scheele (1742-1786). Seine Geburtsstadt Stralsund, die seit dem Westfälischen Frieden von 1648 zum Königreich Schweden ge-



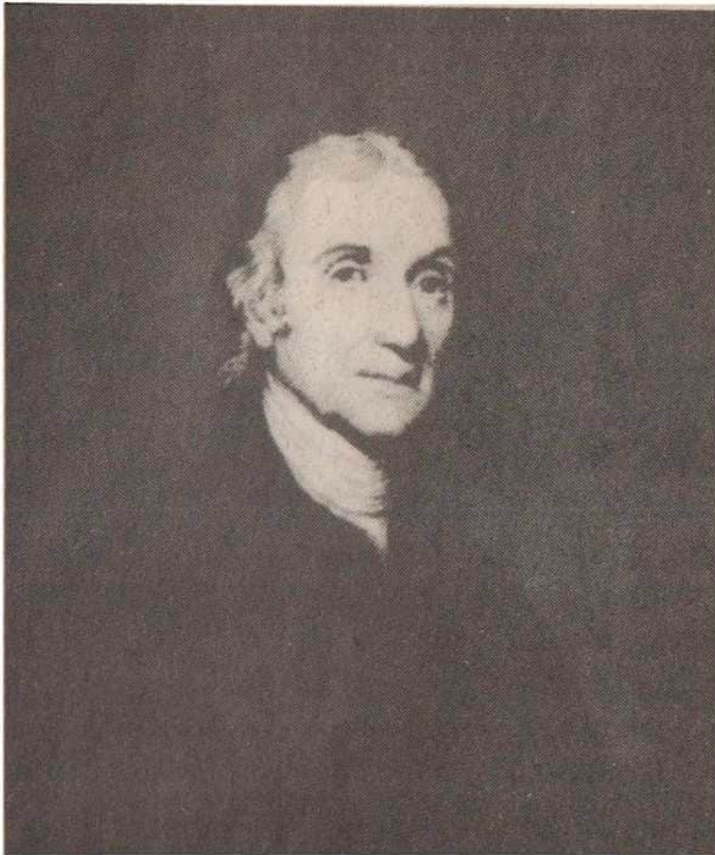
hörte, verließ der junge Scheele bereits mit 14 Jahren und ging als Lehrling in eine Apotheke nach Göteborg. Das Laboratorium wurde zu Scheeles Universität. In den folgenden Jahren waren die Apotheken von Malmö, Stockholm und Uppsala seine Bildungsstätten. Hier konnte er sich mit praktischen Problemen seines Berufes vertraut machen sowie zahlreiche chemische Werke, darunter die Schriften von Stahl studieren, 1775 siedelte Scheele nach Köping über. Hier wurde er Besitzer einer eigenen Apotheke und hatte endlich die ersehnte wirtschaftliche und berufliche Unabhängigkeit erlangt. Für Scheele wurden die Jahre in Köping die Jahre der Vollendung.

Die Grundlagen seines großen wissenschaftlichen Rufes erwarb er sich in den fünf Jahren seines Uppsalaer Aufenthaltes. Um Phlogiston zu isolieren, hatte Scheele Phosphor und Schwefel in mit Wasser abgesperrten Luftvolumina verbrannt. Nach dem Lösen der Verbrennungsprodukte stellte er bestürzt fest, daß die Volumina durch den vermeintlichen Phlogistonzutritt nicht größer, sondern im Gegenteil geringer geworden waren. Das übriggebliebene Gas (im wesentlichen Stickstoff) bezeichnete Scheele als "verdorbene Luft". Um seine Beobachtungen mit der herrschenden Phlogistontheorie in Einklang zu bringen, stellte Scheele zunächst eine Zusatzhypothese auf, wonach Phlogiston ein Stoff sei, der den Luftraum zusammendrücken kann.

In den Jahren 1772/73 entdeckte Scheele beim Erhitzen von Quecksilberoxid ein Gas, das wir heute Sauerstoff nennen ($\text{HgO} \rightarrow \text{Hg} + 1/2 \text{O}_2$). Er selbst bezeichnete es als "Feuerluft". Die Ergebnisse seiner umfangreichen Untersuchungen auf dem Gebiet der Gase faßte er in einer Arbeit mit dem Titel "Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer" zusammen. Die Drucklegung dieses wichtigen Werkes zog sich jedoch über fast zwei Jahre hin, so daß erst im Sommer 1777 das Buch erschien, zu einer Zeit als J. Priestley mit den Ergebnissen seiner Untersuchungen über die Gase schon längst an die Öffentlichkeit getreten war.

Joseph Priestley (1733-1804) hatte ursprünglich Theologie studiert und war Prediger geworden. Während einer mehrjährigen Unterbrechung dieses Berufes hatte er an der Universität in Warrington eine Anstellung als Sprachlehrer angenommen.

Hier studierte er auch Chemie. Wie zahlreiche andere fortschrittliche Persönlichkeiten Englands begrüßte Priestley die französische Revolution von 1789. Das trug ihm den Haß gewisser Teile der englischen Bourgeoisie ein, die selbst vor persönlichem Terror nicht zurückschreckte. 1794 wanderte Priestley nach Nordamerika aus und blieb dort bis zu seinem Tode. In seinen chemischen Arbeiten beschäftigte er sich hauptsächlich mit Gasen. Experimentell stellte er fest, daß grüne Pflanzen im Sonnenlicht zum Atmen unbrauchbar gewordene (d.h. vor allem Kohlendioxid und Stickstoff enthaltende) Luft zu "normaler" Luft regenerieren; die Assimilation der Pflanzen war entdeckt.



Priestley

1774 fand Priestley, unabhängig von Scheele, ebenfalls den Sauerstoff bei der thermischen Zerlegung von Quecksilberoxid. Als Überzeugter Phlogistiker nannte er ihn "dephlogistisierte Luft". Mit einem experimentellen Kunstgriff, der Wahl von Quecksilber statt Wasser als Sperrflüssigkeit in der pneumatischen Wanne, gelang es Priestley, auch Gasen auf die Spur zu kommen, die sich in Wasser lösen bzw. mit ihm reagieren, u.a. Ammoniak, Chlorwasserstoff, Stickstoffmonoxid, Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid.

Auch der mit vielseitigen wissenschaftlichen Fähigkeiten ausgestattete englische Privatgelehrte Henry Cavendish (1731-1810) hatte wesentlichen Anteil an der Entwicklung der Gaschemie. Bei Untersuchungen über die Wirkung von Säuren auf die verschiedenen Metalle entdeckte er die "brennbare Luft", die später den Namen Wasserstoff erhielt. Er erkannte in ihr ein von gewöhnlicher Luft deutlich verschiedenes Gas. Da der Wasserstoff leicht brennbar ist, nach phlogistischer Ansicht also viel Phlogiston enthält und der bei der Verbrennung entstehende Wasserdampf schwer wahrgenommen werden kann, glaubte Cavendish anfangs, in der "brennbaren Luft" das reinste Phlogiston vor sich zu haben. Erst später entdeckte er das Verbrennungsprodukt von Wasserstoff, das Wasser.



Diese wichtige Reaktion diente später dem Franzosen Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) als letztes Kettenglied bei der Aufstellung seiner "antiphlogistischen" Chemie. Dieser war es auch, der die wissenschaftliche Revolution in der Chemie einleitete. Lavoisier ließ die Beobachtung keine Ruhe, daß beim Verbrennen von Phosphor und Schwefel ebenso wie beim Verkalken der Metalle eine Erhöhung des Gewichtes eintrat. Daraus wagte er die Schlußfolgerung, daß bei allen Verbrennungen Gewichtserhöhungen eintreten, ein kühner Schluß, der zunächst auch nur als Hypothese gedacht war. Angeregt durch Priestleys Veröffentlichungen über die Erzeugung einer neuen Luftart (dephlogistisierte Luft = Sauerstoff) wiederholte Lavoisier im Frühjahr 1775 die Zerlegung von Quecksilberkalk (HgO) mittels der Strahlung einer Brennlinsen. Aber er wollte nicht nur den Sauerstoff gewinnen, sondern er wollte sehen, ob dieser jene Luftart war, die das Verkalken bzw. Verbrennen bewirkt.



Herr und Frau Lavoisier

(Nach einem Gemälde von *David*)

Er isolierte also nicht nur den Sauerstoff vom Quecksilberkalk, sondern er vereinigte Quecksilber und Sauerstoff wieder zu Quecksilberkalk. Gleichzeitig untersuchte er, wie sich die Gewichte der beteiligten Substanzen verhielten. So gelang ihm der Beweis, daß die an der Reduktion und Oxydation beteiligten Stoffe ohne Gewichtsveränderungen geblieben waren. Damit hatte Lavoisier den Verbrennungsprozeß qualitativ und quantitativ dargestellt; er konnte ihn ohne Phlogiston erklären.

Aber was geschah beim Verbrennen von Wasserstoff?

Alle Versuche von Lavoisier diesen Vorgang experimentell aufzuklären, schlugen fehl. Erst als ihm die Versuchsanordnung, die Cavendish benutzte, übermittelt worden war, gelang auch ihm 1783, durch Verbrennen von Wasserstoff und Sauerstoff mittels eines elektrischen Funkens in einer abgesperrten Glasglocke, die Erzeugung von Wasser. Gleichzeitig gelang ihm der Nachweis, daß Wasser, welches für Jahrtausende als Element gegolten hatte, in zwei gasförmige Bestandteile zerlegt werden kann. Lavoisier leitete Wasserdampf durch ein stark erhitztes Kupferrohr, in dem sich Eisenfeilspäne befanden. Der Sauerstoff wurde an die Eisenfeilspäne gebunden, der Wasserstoff am Ende des Rohres aufgefangen. Auch hier ergab die Gewichtsprüfung den lückenlosen Beweis der neuen Theorie.

Während Scheele, Priestley und Cavendish ihre mit Sauerstoff bzw. Wasserstoff gemachten Versuche auf der Grundlage der Phlogistontheorie deuteten, bewies Lavoisier - auf der neuen Gaschemie und dem bereits von den Phlogistikern erkannten wechselseitigen Zusammenhang von Oxydation und Reduktion aufbauend - durch exakte Wägung, daß "Verkalkung" (Oxydation) in der Vereinigung mit Sauerstoff und Reduktion in der Freigabe von Sauerstoff besteht.

Im Jahre 1777 hatte Lavoisier die Oxydationstheorie in einer grundlegenden Arbeit bekanntgemacht und damit die Chemie "vom Kopf" wieder "auf die Füße" gestellt (siehe I. Teil dieses Artikels).

Madame Lavoisier, die selbst aktiv an den Experimenten zum "antiphlogistischen" System der Chemie beteiligt gewesen war, tat ein übriges: In einer dramatischen Geste, einer öffentlichen Verbrennung der Bücher von G. E. Stahl und anderen Anhängern des mysteriösen Phlogistons, verkündete sie das Ende der alten und den Beginn der neuen Chemie.

Lavoisiers Entdeckungen und Theorien erwiesen sich als eine Art Copernikanische Wendung für die Chemie, da die Folgerungen, die sich aus den Befunden ergaben, ähnlich revolutionierend waren, wie die 250 Jahre zuvor von Copernikus für die Astronomie gezogenen Schlußfolgerungen. Nach der relativ langen Entwicklung der Chemie konnte Lavoisier erstmals experimentell beweisen, welche Stoffe wirklich nicht zusammengesetzt, also chemische "Elemente" sind und welche Stoffe chemische Verbindungen darstellen. Nicht mehr Feuer, Wasser, Erde, Luft und Salz, sondern Metalle wie Eisen, Blei, Zinn, Nichtmetalle wie Schwefel und Phosphor und Gase wie Wasserstoff und Sauerstoff sind solche Elemente.

Auch die Wissenschaft hat ihre Zeit
der Unmündigkeit,
wenn sie eben anfängt und noch
fast kindisch ist;
dann ihre Jugend,
wenn sie üppig und übermütig ist,
darauf ihre Mannesjahre,
wenn sie gesetzt und gebändigt ist;
und endlich ihr Greisenalter,
wenn sie trocken und erschöpft ist.

Bacon „Über die Wandelbarkeit der Dinge“

Alexander Niehardt
2. Stdj.
Sektion Physik
FSU Jena

Jahreshaupttagung der
Physikalischen Gesellschaft
der DDR

Vom 13. - 15. Februar fand in Karl-Marx-Stadt die Jahreshaupttagung der Physikalischen Gesellschaft der DDR statt. Schwerpunkte bildeten in diesem Jahr die Komplexthemen

- Beziehungen zwischen Physik und Mathematik
- Ultrakurze Lichtimpulse und ihre Anwendung sowie
- Objekterkennung und Bildverarbeitung.

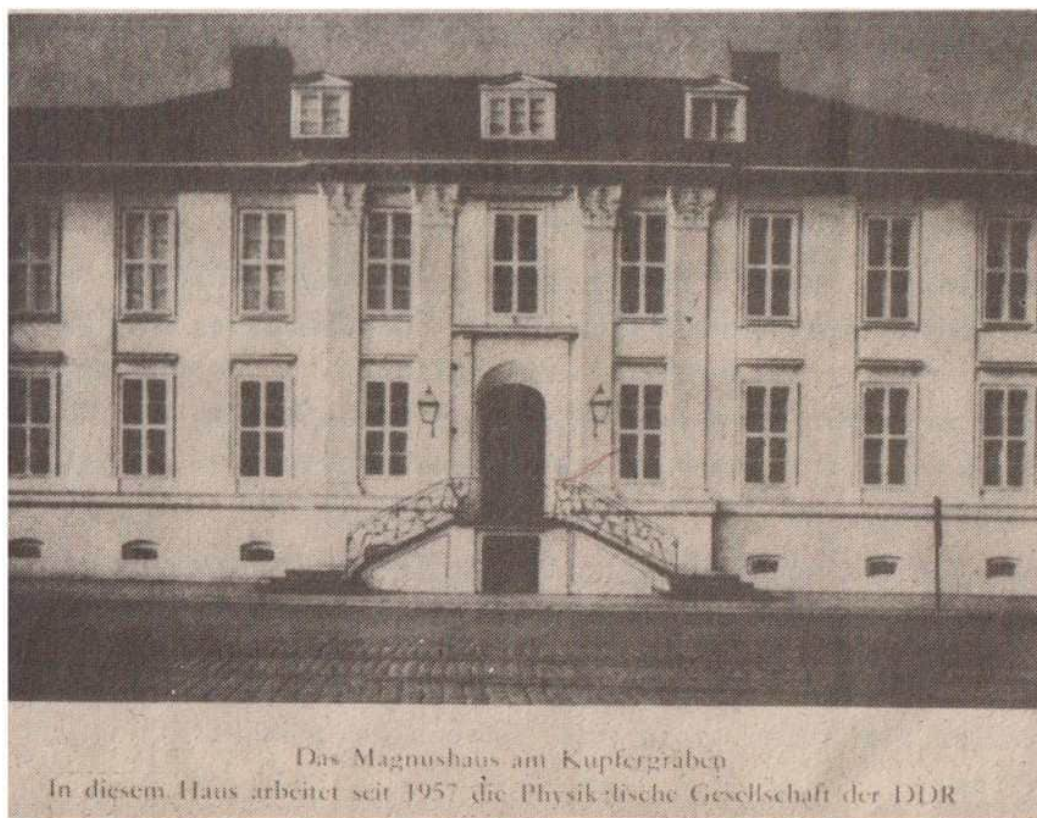
Der Jahreshaupttagung ging eine durch den Fachverband Schulphysik der Physikalischen Gesellschaft der DDR vorbereitete Schultagung voraus. In seiner Rede zur Eröffnung der Schultagung betonte Prof. Dr. H. Lechner, Berlin, die Stellung der Physik als Grundlagenfach in der sozialistisch polytechnischen Oberschule aufgrund ihres Beitrages zur Herausbildung einer materialistischen Weltanschauung und ihrer in der DDR großen ökonomischen Relevanz. Es komme deshalb darauf an, den Schülern die Nützlichkeit und Anwendbarkeit der Physik verständlich zu machen, nicht nur verbal, sondern nacherlebbar und nachvollziehbar. Weiterhin sei es wichtig, der wachsenden Bedeutung der Mikroelektronik auch in der Schule und in den Arbeitsgemeinschaften gerecht zu werden. Dabei müsse der Blickwinkel unserer Schüler über die Anwendungen der Mikroelektronik in der Unterhaltungselektronik hinaus auf industriell relevante Bereiche, wie die Robotertechnik, die Datenverarbeitung usw. erweitert werden.

Während der Schultagung wurden die Mitglieder und Gäste der Physikalischen Gesellschaft der DDR mit neuen Wissenschaftsdisziplinen der modernen Mechanik, sowie mit Entwicklungstendenzen und neueren Entwicklungen der Robotertechnik und der Laserspektroskopie vertraut gemacht.

Die Jahreshaupttagung der Physikalischen Gesellschaft der DDR wurde durch ihren Vorsitzenden, Prof. Dr. R. Rompe, Berlin, eröffnet. In seinen Worten zur Eröffnung beleuchtete Prof. Dr. R. Rompe das weite Feld der dialektischen Beziehungen zwischen den neuesten Tendenzen in der Wissenschafts- und Wirtschaftsentwicklung und den ökonomischen Bedingungen in der DDR und der Weltlage in ökonomischer, politischer und militärischer Hinsicht andererseits. Er wies auf die Verantwortung jedes Wissenschaftlers für die sozialistische Gesellschaft hin und zeigte die großen Leistungsreserven auf, welche in der Diskrepanz zwischen erbrachten Leistungen und dem objektiv realem Leistungsvermögen jedes Physikers liegen. Er betonte mehrfach, daß der Arbeitstag eines Wissenschaftlers, der seine Sache ernst nehmen will, nicht auf $8 \frac{3}{4}$ Stunden begrenzt sein kann. Im Dienste der Wissenschaft zu stehen, heißt, es zu jeder Stunde zu stehen.

Im Anschluß an die Eröffnung erfolgte die feierliche Übergabe des "Gustav-Hertz-Preises 1984" sowie des "Schülerpreises der Physikalischen Gesellschaft der DDR", der ebenfalls alljährlich verliehen wird.

Dem Schülerpreis der Physikalischen Gesellschaft wird ein weiterer Beitrag in diesem Heft gewidmet sein.





In eigener Sache

Im Jahre 1982 verlieh die Physikalische Gesellschaft der DDR anlässlich der Eröffnung ihrer Jahreshaupttagung erstmalig den

"Schülerpreis der Physikalischen Gesellschaft der DDR".

Mit diesem Preis sollen talentierte Schüler angeregt werden, sich intensiv und tiefgreifend mit physikalisch (-technischen) Fragestellungen auseinanderzusetzen sowie Realisierungsmöglichkeiten ihrer Anwendung zu zeigen. Damit leistet die Physikalische Gesellschaft der DDR einen würdigen Beitrag für "die allseitige Förderung der physikalischen Bildung, insbesondere durch Einflußnahme auf die Popularisierung von bedeutenden Ergebnissen und aktuellen Problemen der Physik und durch die Unterstützung der Physikausbildung, wobei auch die Geschichte der Physik und ihre Traditionen gebührend berücksichtigt werden sollten." /1/

Diese hohe Zielstellung bildet einen organischen Bestandteil des richtungsweisenden Programms, welches anlässlich des 25-jährigen Bestehens der Gesellschaft im Jahre 1977 durch ihren Vorstand formuliert wurde.

Als Schülerzeitschrift für Physik, Chemie und Biologie ist es uns ein Bedürfnis, diesen Gedanken zu unterstützen und zu propagieren, da wir sicherlich mehr Möglichkeiten haben, an Euch als Schüler heranzutreten. Deshalb veröffentlichen wir für Euch im folgenden Ziel und Inhalt des Wettbewerbes um den Schülerpreis.

Bedingungen und Anforderungen zur Teilnahme am Wettbewerb um den Schülerpreis der Physikalischen Gesellschaft der DDR:

1. Teilnahmeberechtigt am Wettbewerb um den Schülerpreis sind Schüler der Abiturstufe und Klassen Berufsausbildung mit Abitur.

2. Die Arbeiten sind mit Schreibmaschine anzufertigen (30 Zeilen mit 60 Anschlägen je Seite). Sie sollen einen Umfang von 10 Seiten nicht überschreiten. Jede Arbeit ist in doppelter Ausführung einzureichen.
3. Jede Arbeit enthält einen theoretischen Teil und die Beschreibung der praktischen Untersuchungen. Der theoretische Teil weist ein tiefes Verständnis der zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten aus. Aus ihm wird ersichtlich, daß der (die) Bearbeiter das Experimentieren bzw. das Konstruieren beherrscht (en).
4. Die Arbeiten sind übersichtlich gegliedert. Experimentieranordnungen oder Geräteanordnungen können vom Autor vorgeführt werden. Fotografien über diese Geräte sind beizufügen.
5. Skizzen und Diagramme sind entsprechend den Normen des Technischen Zeichnens auszuführen. Systemübersichten, Berechnungen, Fotografien sind zweckmäßig in die Arbeit einzufügen.
6. Jede Arbeit ist mit einer eidesstattlichen Erklärung darüber zu versehen, daß sie vom Autor (Autorenkollektiv) selbständig angefertigt wurde.
7. Die Fachlehrer, wissenschaftlichen Einrichtungen des Hochschulwesens, der Industrie oder der Akademie der Wissenschaften können Wettbewerbsteilnehmer unterstützen, z.B. durch Bereitstellung von Experimentiergeräten, Meßeinrichtungen, von Literatur.
Der Arbeit ist beizufügen, durch wen sie betreut wurde.
8. Die Arbeiten sind jedes Jahr bis zum 25. Oktober (Poststempel) in doppelter Ausführung an folgende Adresse zu senden:

Fachverband Schulphysik der
Physikalischen Gesellschaft der DDR
Doz. Dr. K. Jupe
FSU J e n a - Sektion Physik
WB Methodik
DDR-6900 J e n a
Max-Wien-Platz 1

Jetzt möchten wir Euch noch einige Hinweise, die Ihr in Eurer Arbeit berücksichtigen solltet, geben.

Die Ausschreibung des Wettbewerbs erfolgt immer unter zwei ausgewählten Themenkomplexen, was aber nicht heißt, daß Arbeiten mit hohem Niveau zu anderen Themen nicht anerkannt werden. Die gesellschaftliche Nützlichkeit der Arbeit sollte nachgewiesen werden und kann sich z.B. zeigen in

- einer Weiterentwicklung von Geräten für den Physikunterricht (Meßmittel, Meßapparaturen)
- einem tieferen Verständnis der Nutzung physikalischer Erkenntnisse für die gesellschaftlichen Aufgaben
- der Realisierung eines Teilvorhabens innerhalb des Planes Wissenschaft und Technik
- der unmittelbaren Verbesserung der Produktion.

Als Arbeiten können Ergebnisse der wissenschaftlich-praktischen Arbeit, des fakultativen Physikunterrichts, der Arbeitsgemeinschaften, der außerschulischen Freizeitbeschäftigung und von Hausarbeiten im Fach Physik eingereicht werden.

Die Physiksektionen der Universitäten und Hochschulen, die Institute der AdW sowie Großbetriebe mit ihren Mitgliedern der Physikalischen Gesellschaft sind bei Anforderungen zur Unterstützung bereit. Das betrifft auch die Nutzung von Geräteausrüstungen, soweit das möglich ist.

Wendet Euch auch an Eure Fachlehrer, die sicher für Eure Probleme und Wünsche ein offenes Ohr haben werden.

In unserer nächsten Ausgabe stellen wir Euch einige Preisträger vor und werden über ihre Arbeit berichten.

Wenn Ihr mehr über den Schülerpreis der Physikalischen Gesellschaft der DDR wissen wollt, dann schreibt uns. Unsere Anschrift findet Ihr, wie immer, auf der ersten Umschlaginnenseite.

Literatur: /1/ 1952-1977 25 Jahre Physikalische Gesellschaft der DDR, S. 32.

Igor Mierau
4. Stdj.
Sektion Biologie
FSU Jena

Mikrobielle Hochleistungsstämme
– Die Entwicklung von der
empirischen Selektion
zur Gentechnik –
Teil 2

(Teil 1 dieser Artikelfolge wurde bereits im Heft 1/84 (18. Jg.) veröffentlicht.)

Noch 1973 konstatiert ein englischer Züchtungsgenetiker:
"Es ist sehr bemerkenswert, daß wir nach 30 Jahren erfolgreicher Mutation von industriellen Mikroorganismen noch vollständig unwissend sind in Bezug auf die Grundlage enzymatischer oder regulativer Veränderungen, die durch das genetische Ereignis zustandekommen."

Dieses fehlende Wissen führte zu den am Ende des ersten Teils (Heft 1/84) beschriebenen Schwierigkeiten in der Selektion und zu der Forderung, neue Wege zu beschreiten. Es war notwendig geworden, Genaueres über das sekundärstoffproduzierende System in der Zelle zu wissen, um es mit den neuen Methoden zielgerichteter ansprechen zu können. Das würde die Wahrscheinlichkeit "positiver Veränderungen im Organismus" wieder erhöhen.

Viele dieser Methoden werden unter dem Begriff "Selektionsstrategie" zusammengefaßt, weil sie einerseits spezifischer sind als die allgemeine, künstliche Auslese, andererseits das Wissen noch nicht ausreicht für einen zielgerichteten, geplanten Eingriff in das Erbmateriel. Aber in zunehmendem Maße gelingen auch solche zielgerichteten Eingriffe in vorher bekannte Stoffwechselsysteme.

Im Kapitel 1.2. verglichen wir unser Wissen über den Mikroorganismus (MO) in Bezug auf den Sekundärstoffwechsel mit einer black box. Diese vertrat hier den gesamten Organismus, einschließlich seiner Wechselwirkungen mit der Umwelt. In dieser sehr komplexen Form ist ihr Inhalt nicht erkennbar. Deswegen muß sie, wie in der Wissenschaft üblich, in kleinere Einheiten aufgeteilt werden, die nun besser einer Untersuchung zugänglich sind.

Große Fortschritte, vor allem auf den Gebieten der Biochemie und der Molekulargenetik, haben geholfen, Licht in solche Teil-black boxes zu bringen (z.B. Aufklärung von Stoffwechselwegen in mühsamer Kleinarbeit, 1952 Durchsetzung der Erkenntnis, daß die DNA Träger der Erbinformation ist; 1953 DNA-Modell von Watson und Crick, 1961 Modell der Regulation der Genexpression von Jacob und Monod). Die Erfolge gelten zunächst nur dem Modellmikroorganismus *Escherichia coli*. Als eine zumindest teilweise "erhellte black box" erwies sich der Primärstoffwechsel und seine Regulation. Dieser spielt wegen der Vorstufen- und Induktorbereitstellung (Substanzen, die die Expression von Genen hervorrufen; in diesem Fall der Sekundärstoffwechselgene) eine wesentliche Rolle. Die Sekundärstoffproduktion und ihre Auslösung durch Umweltfaktoren dagegen bleibt weiterhin im Dunkeln. Die weitere Stammoptimierung erfolgt also in Unkenntnis von Teilbereichen des produktbildenden Systems. In Abhängigkeit vom Wissen über den zu bearbeitenden Teilbereich stehen nunmehr drei allgemeine Methoden zur Produktivitätserhöhung der Stämme zur Verfügung:

1. Man geht von einem beobachteten Zusammenhang zwischen einer Lebensbedingung des Organismus und seiner Produktivität aus. So z.B. vermindern hohe Phosphatkonzentrationen im Medium die Bildung von vielen Sekundärstoffen (Phosphat-Effekt). Über die molekularen Ursachen ist nichts bekannt. Dann kann man in der Selektion die Bedingungen so gestalten, daß nur solche Organismen ausgewählt werden, bei denen dieser Zusammenhang möglichst günstig ausgeprägt ist. In unserem Beispiel: Geringer Produktivitätsverlust bei hoher Phosphatkonzentration).
2. Es ist anzunehmen, daß die beim Primärstoffwechsel gefundenen Regelmechanismen allgemeiner Natur sind, also auch für den Sekundärstoffwechsel gelten. Unter Anwendung dieses Modells kann man versuchen, hier ähnliche Effekte wie im Primärstoffwechsel zu erzielen (z.B. Aufhebung einer Endprodukthemmung, s.u.).
3. Nutzung aller bis ins Detail bekannten Zusammenhänge über Genetik und Biochemie der Produktbildung für die direkte Mutation der betreffenden Gene; zunächst vor allem im Primärstoffwechsel.

Für alle drei Möglichkeiten benötigt man Methoden (Strategien), um die gewünschten Mutanten aus einer Menge ungerichtet mutierter MO herauszufinden (s.u.).

Einiges zu den wichtigsten Methoden und Modellen. 1945 stellten Beadle und Tatum die Ein-Gen-ein-Enzymhypothese (d.h., ein Gen trägt die Information für die Synthese eines Enzyms) auf. Dieses war das Ergebnis jahrelanger Arbeiten mit biochemischen Mutanten eines Pilzes (z.B. Defekt des Pilzes für die Synthese von bestimmten Aminosäuren, d.h., das Gen eines der Enzyme der Aminosäuresynthesekette ist so geschädigt, daß dieses Enzym funktionsunfähig ist; Abb. 1.).

Die Mutanten erhielten sie durch Mutagenese und wohlüberlegte Methoden zur Identifizierung des Defektes. Abb. 2 zeigt eine bei Bakterien angewandte Methode. Solche Mutanten spielen in der heutigen Hochleistungsstammzüchtung eine bedeutende Rolle.

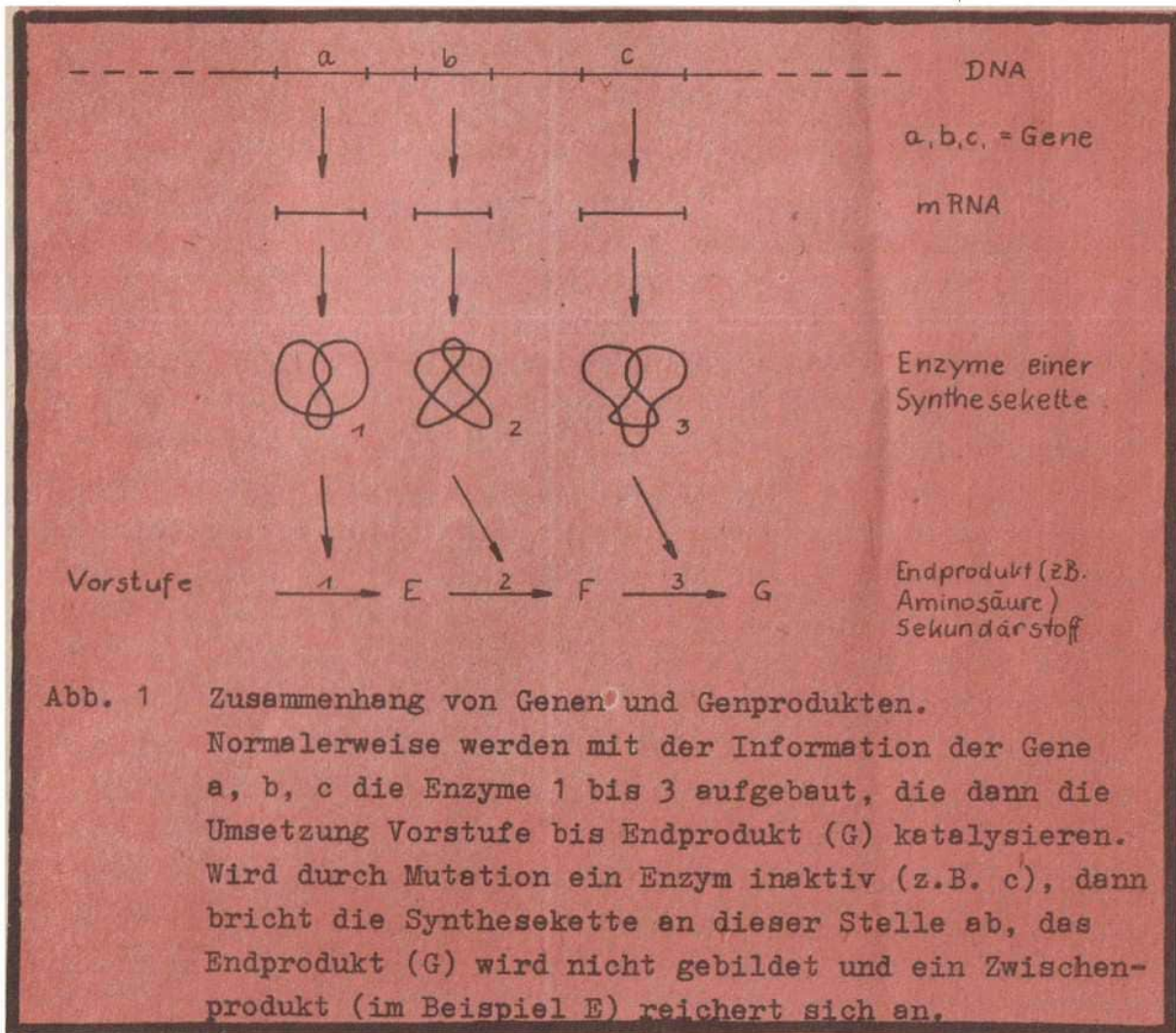


Abb. 1 Zusammenhang von Genen und Genprodukten. Normalerweise werden mit der Information der Gene a, b, c die Enzyme 1 bis 3 aufgebaut, die dann die Umsetzung Vorstufe bis Endprodukt (G) katalysieren. Wird durch Mutation ein Enzym inaktiv (z.B. c), dann bricht die Synthesekette an dieser Stelle ab, das Endprodukt (G) wird nicht gebildet und ein Zwischenprodukt (im Beispiel E) reichert sich an.

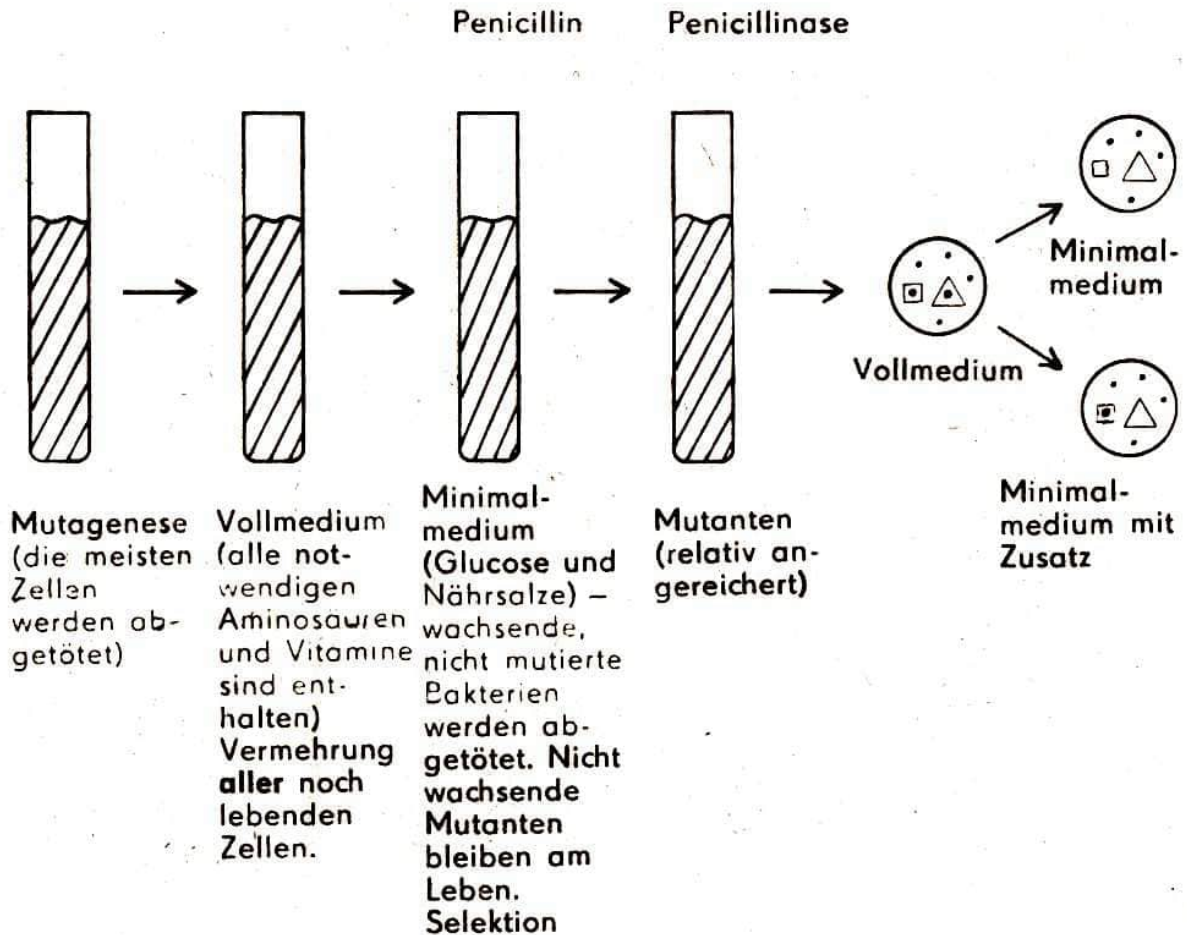


Abb. 2 Penicillinmethode zur Isolierung von biochemischen Mutanten.

Im Minimalmedium (MM) wachsen nur Bakterien, die aus Glucose und Nährsalzen alle notwendigen Zellbestandteile aufbauen können. Biochemische Mutanten können das nicht, d.h. sie wachsen auch nicht. Da Penicillin nur wachsende Bakterien tötet, bleiben die Mutanten am Leben, d.h. sie werden relativ angereichert. Nach Zerstörung des Penicillins mit Penicillinase wird die Suspension auf Nähragarplatten mit Vollmedium ausgespatelt. Hier können die Mutanten wachsen und Kolonien bilden. Um die gewünschten Mutanten herauszufinden, werden alle Kolonien mustergetreu auf zwei weitere Platten übertragen: eine mit MM und die andere mit MM + Zusatz, für den die Mutante defekt sein soll (z.B. eine Aminosäure). Bei dem Vergleich der Platten stellt man folgendes fest: Einige Bakterienkolonien wachsen sowohl auf Vollmedium als auch auf beiden Minimalmedien. Sie stammen von überlebenden nicht mutierten Bakterien ab. Die gewünschten Mutanten sind die Kolonien, die auf Vollmedium und auf MM + Zusatz, aber nicht auf reinem MM wachsen (□). Kolonien, die nur auf Vollmedium und auf einer der MM-Platten wachsen, sind Mutanten mit anderen biochemischen Defekten (△).

1961 veröffentlichten, wie schon erwähnt, Jakob und Monod ein Modell der Regulation der Genexpression (das ist die Umsetzung der Information des Gens in das entsprechende Eiweiß). Dieses Modell bildete und bildet die Grundlage für die Auslese von Organismen mit spezifischen Regulationsdefekten, die Voraussetzung für die Produktion bestimmter Stoffe sind. Ein in unserem Zusammenhang wichtiger Regulationsmechanismus ist die negative feed back-Kontrolle, zu deutsch: negative Rückkopplung (Abb.3).

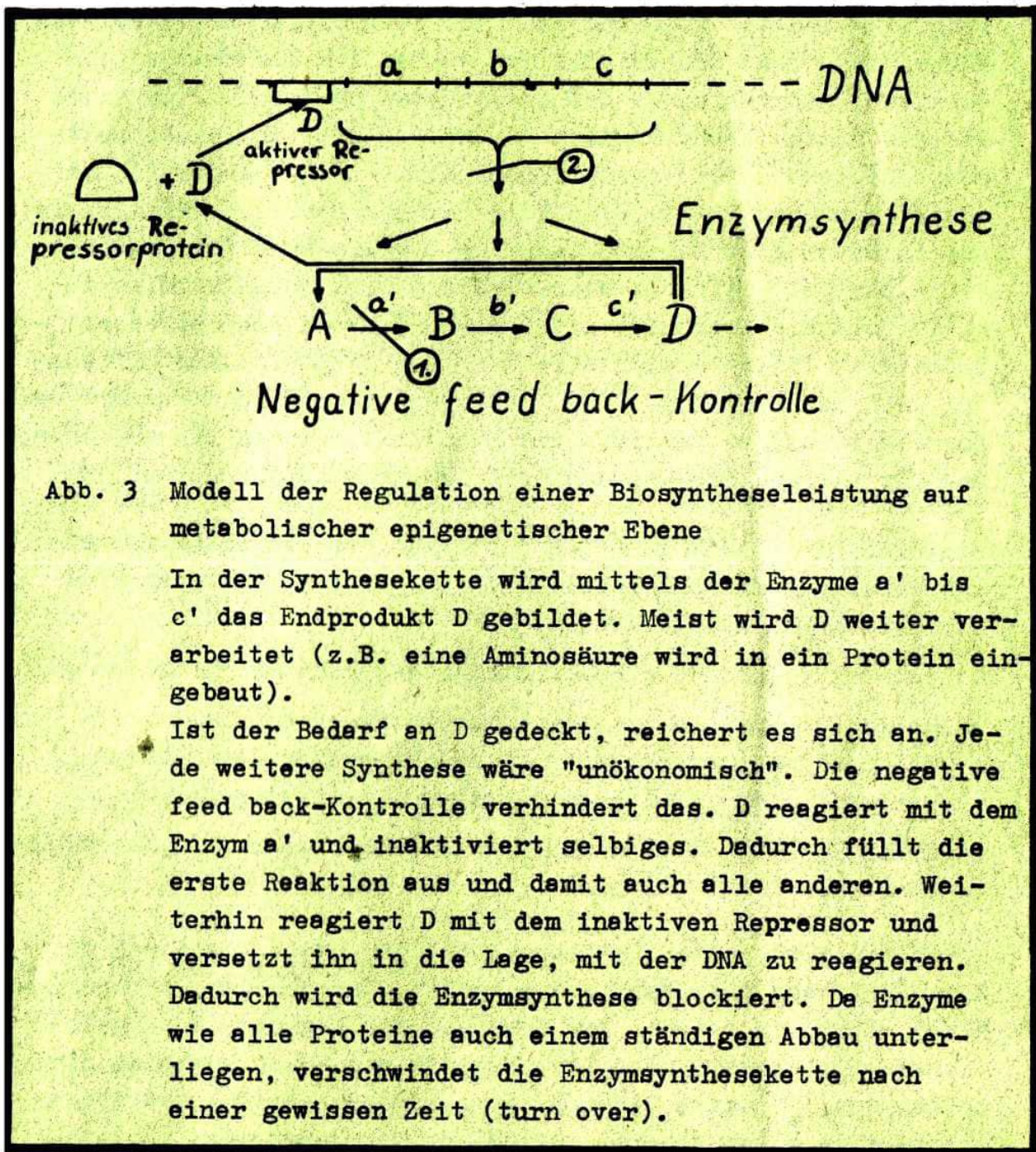


Abb. 3 Modell der Regulation einer Biosyntheseleistung auf metabolischer epigenetischer Ebene

In der Synthesekette wird mittels der Enzyme a' bis c' das Endprodukt D gebildet. Meist wird D weiter verarbeitet (z.B. eine Aminosäure wird in ein Protein eingebaut).

Ist der Bedarf an D gedeckt, reichert es sich an. Jede weitere Synthese wäre "unökonomisch". Die negative feed back-Kontrolle verhindert das. D reagiert mit dem Enzym a' und inaktiviert selbiges. Dadurch fällt die erste Reaktion aus und damit auch alle anderen. Weiterhin reagiert D mit dem inaktiven Repressor und versetzt ihn in die Lage, mit der DNA zu reagieren. Dadurch wird die Enzymsynthese blockiert. Da Enzyme wie alle Proteine auch einem ständigen Abbau unterliegen, verschwindet die Enzymsynthesekette nach einer gewissen Zeit (turn over).

Das Endprodukt einer Synthesekette (z.B. eine Aminosäure oder ein Sekundärstoff) hemmt, wenn es im Überschuß vorhanden ist, seine eigene Synthese: Erstens durch die Einwirkung auf das erste Enzym dieser Stoffwechselkette, welches dadurch inaktiviert wird, und/ oder zweitens durch Reaktion mit der DNA und Drosselung der Produktion dieser Enzyme überhaupt. Diese Wechselwirkung mit der DNA wird durch ein Repressorprotein vermittelt. Das Endprodukt verbindet sich erst mit dem Repressorprotein und versetzt es dadurch in die Lage, mit der DNA zu reagieren und die Ablesung des Gens zu blockieren. Mutationen können in diesen Mechanismus eingreifen und die Hemmung ausschalten, wodurch es zu der gewünschten Überproduktion eines Stoffes kommen kann. Ähnlich verhält es sich mit einem weiteren schon erwähnten Regulationsmechanismus der Induktion oder Anschaltung bestimmter Gene (der Sekundärstoffwechsel z.B. ist nur in bestimmten Lebensphasen der Organismen aktiv, muß also "angeschaltet" werden). Hier sind die Gene normalerweise inaktiv, ständig durch den mit der DNA verbundenen Repressor blockiert. Treten aber Stoffe auf, die den Sekundärstoffwechsel aktivieren (Induktoren), dann verbinden sich diese mit dem Repressor, und er verliert die Fähigkeit, an die DNA zu binden. Das Gen bzw. die Gene werden frei zu ihrer Ablesung (Abb. 3).

Jetzt zur konkreten Situation des technisch genutzten MO. Man kann drei wesentliche Bereiche der Regulation der Sekundärstoffsynthese feststellen:

1. Kontrolle durch die Bestandteile des Mediums (Nährlösung)
2. Kontrolle durch den Intermediärstoffwechsel (Gesamtheit der Stoffwechselwege, die zu den Monomeren der Zellbausteine führen - Aminosäuresynthese, Zuckersynthese u.a.)
3. Kontrolle der Biosynthesewege im Bereich des Sekundärstoffwechsels

Natürlich wird in der Selbstrealität die Kontrolle durch die Gesamtheit der drei Bereiche ausgeübt. Und von den Bedingungen hängt es ab, in welchem der Bereiche der begrenzende Regulationsschritt lokalisiert ist. Erzielt man durch Mutation die Optimierung in einem Bereich, dann kann die Produktivitätsbegrenzung in einem anderen auftreten. Es müssen also weitere Mutationsschritte folgen. Dies bedeutet, daß auch mit den

effektiveren Methoden kein sofortiger drastischer Produktivitätsanstieg möglich ist; er setzt sich aus der Summation von Einzelschritten zusammen. Nur sind diese Einzelschritte schneller zu bewältigen, als die Etappen der stufenweisen Auslese.

Zwei Beispiele sollen dies verdeutlichen:

1. In vielen Kulturen wurde festgestellt, daß eine hohe Konzentration von Phosphationen (im Nährmedium Bestandteil des Puffers und der Stärke; in der Zelle Bestandteil des ATP und der Nukleinsäuren) die Synthese von Sekundärmetaboliten hemmt, das Wachstum aber stimuliert. Die molekularen Ursachen dieses Effektes waren nicht bekannt. Da es nicht möglich war, gezielt vorzugehen, wurde ein allgemeiner Ansatz gemacht und solche Mutanten gesucht, die trotz hoher Phosphatkonzentration im Medium ihre Produktivität nicht verlieren bzw. mehr produzieren. Bei dem Bakterium, an dem die Untersuchungen gemacht wurden, fand man solche höherproduktiven phosphatresistenten Mutanten und nun hofft man, diese Ergebnisse auch auf andere Produzenten übertragen zu können.

Die Zusammensetzung des Mediums ist aber sehr kompliziert, und viele andere Stoffe üben ebenfalls eine Wirkung auf die Expression der Sekundärmetabolismogene aus (Kohlenstoffquelle, Stickstoffquelle, Konzentration an gelöstem Sauerstoff, Wasserstoffionenkonzentration, Spurenelemente usw.). Hierfür ergeben sich zum Teil ähnliche Ansatzpunkte einer Optimierung.

2. Dieses Beispiel soll einen zielgerichteten Eingriff demonstrieren. Es handelt sich um die Schaffung eines Hochleistungsproduzenten der Aminosäure Lysin (Primärmetabolit). Die Stoffwechselkette, die zu diesem Enzym führt, war bekannt (Abb. 4 a).

Zwei Aufgaben waren zu lösen:

1. die Aufhebung der Endprodukthemmung
2. die Ausschaltung der Verwendung der Lysin-Vorstufen für die Synthese anderer Aminosäuren, deren Stoffwechselwege mit dem des Lysins zusammenhängen.

Die Situation war günstig, denn die Endprodukthemmung funktioniert in diesem Falle nur, wenn alle drei Aminosäuren gleichzeitig in hoher Konzentration vorhanden sind. Bei einem Ausfall der Synthese von Threonin und Methionin wäre das Problem sofort gelöst: Alle Vorstufen würden zu Lysin verarbeitet und eine Endprodukthemmung wäre nicht möglich, weil die anderen beiden Aminosäuren fehlten. So wurde auch vorgegangen. Die entscheidende Stelle war die Umwandlung des Asparaginsäuresemialdehyd in Homoserin, vermittelt durch das Enzym Homoserindehydrogenase (Abb. 4 b). Dieses mußte also ausfallen. Mit Hilfe der in Abb. 2 beschriebenen Methode fand man Bakterien mit einem Defekt in diesem Enzym. Der Effekt war überraschend. Durch die Blockierung dieses einen Enzyms erreichte man eine 200-fache Produktivitätssteigerung von 0,1 g/l auf 20 g/l. Zweierlei können wir daraus für die Sekundärstoffsynthese ersehen: will man viel Endprodukt einer Substanz haben, dann benötigt man viel von deren Vorstufen, und diese Vorstufen dürfen möglichst nur dem Endprodukt zufließen und nicht noch anderen unerwünschten Stoffwechselwegen. Beides wurde oben gezeigt.

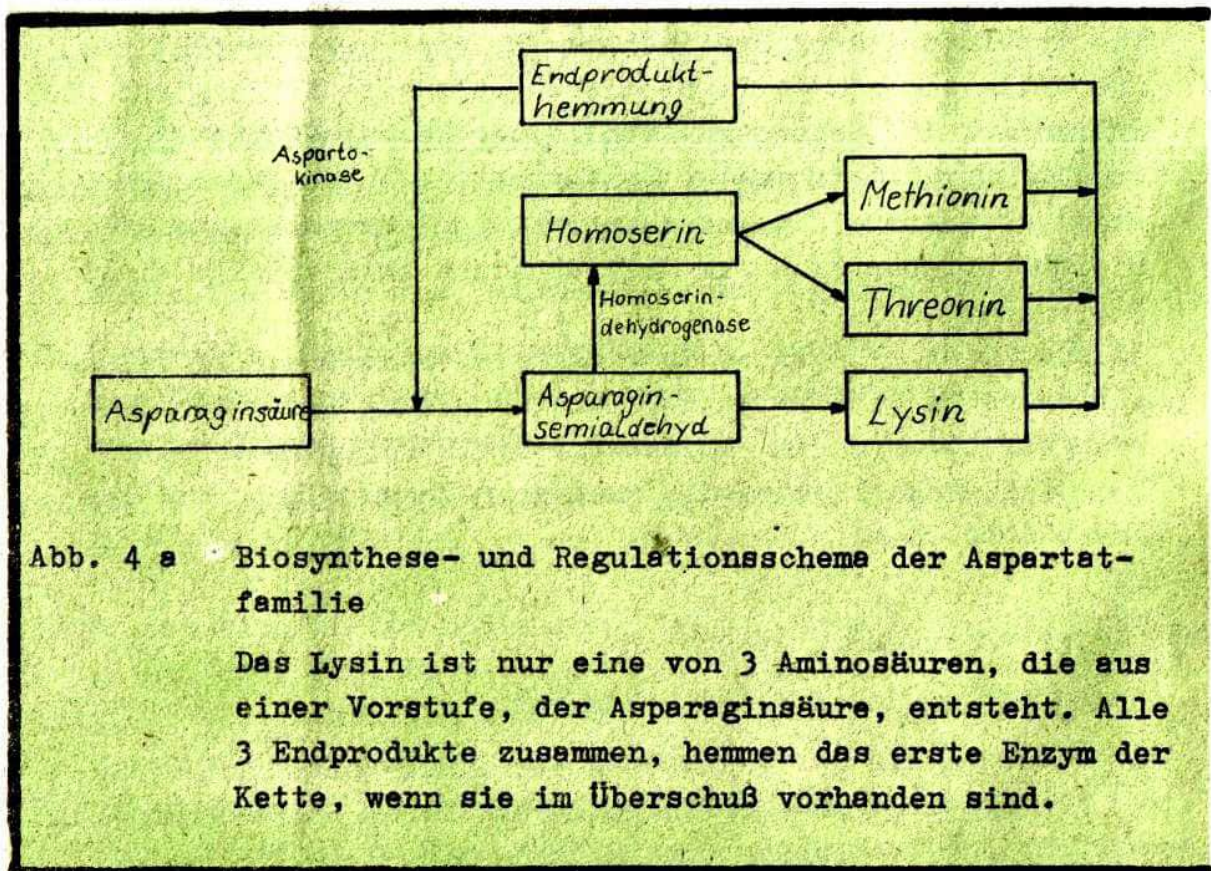


Abb. 4 a Biosynthese- und Regulationsschema der Aspartatfamilie

Das Lysin ist nur eine von 3 Aminosäuren, die aus einer Vorstufe, der Asparaginsäure, entsteht. Alle 3 Endprodukte zusammen, hemmen das erste Enzym der Kette, wenn sie im Überschuß vorhanden sind.

Auf zwei Probleme soll noch aufmerksam gemacht werden.
 Erstens: In komplexer Form werden die hier dargestellten Erkenntnisse bei der sogenannten Synchronmutagenese von Bakterien genutzt. Sie wird angewandt, um die Lage der Gene auf dem Bakterienchromosom zu ermitteln und ist gleichzeitig Grundlage für die gezielte Beeinflussung der Gene. Durch diese Methode kann zielgerichtet die Mutationsrate bestimmter Gene erhöht werden (durch Mutagene allein gelang es nur, die Mutationsrate aller Gene zu erhöhen) (Abb. 5).

In zunehmendem Maße lösen solche Methoden die künstliche Auslese ab, bzw. arbeiten eng mit ihr zusammen.

Die Wechselwirkungen zwischen den Genen und Genprodukten sind sehr komplexer Art. Meist sind sie nur teilweise bekannt und die Eingriffe werden in Unkenntnis der anderen Beziehungen vorgenommen. Das führt häufig zu Misserfolgen. Zweitens gilt das gefundene Wissen zunächst nur für die Modellorganismen. Bei jeder neu eingesetzten MO-Art müssen die inneren Verhältnisse erneut geprüft und die Modelle entsprechend korrigiert werden.

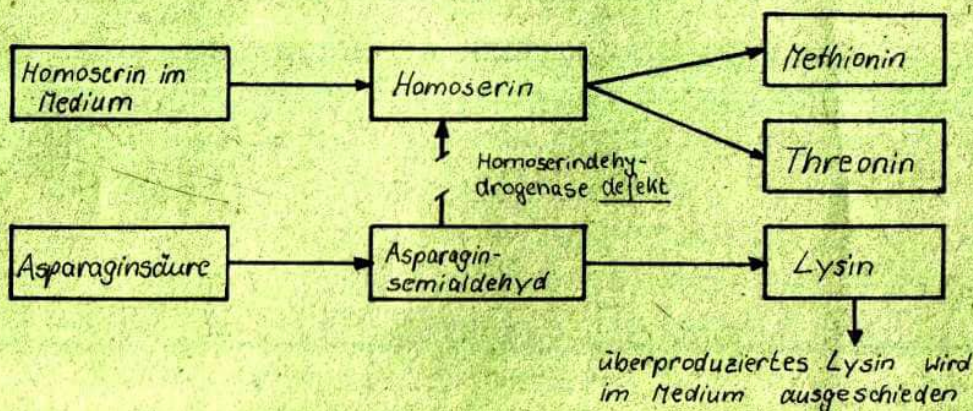
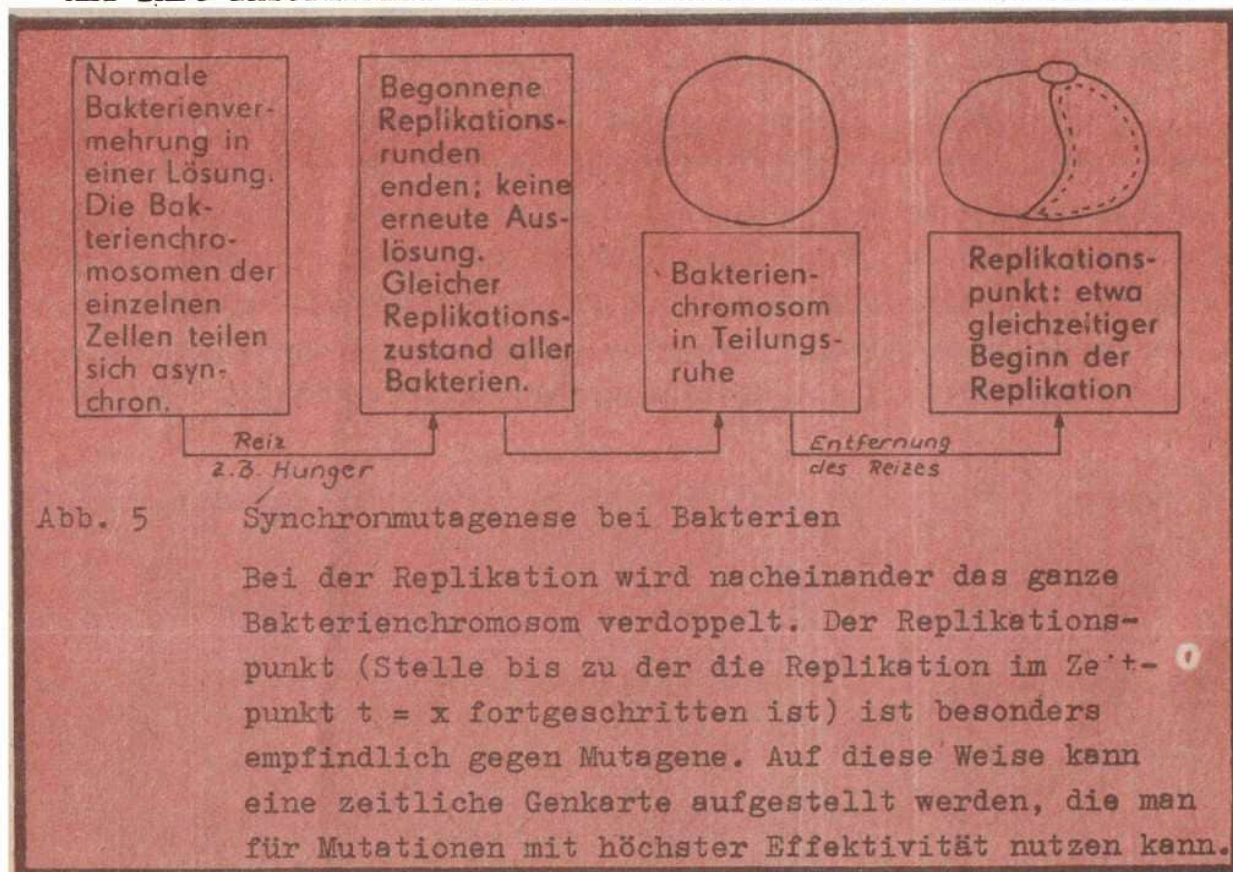


Abb. 4 b Biochemisches Modell der Lysinüberproduktion

Nach der Mutation: Alle Vorstufen wurden in Lysin umgewandelt. Endprodukthemmung fällt weg aus Mangel an den anderen beiden Aminosäuren Methionin und Threonin. Der Organismus wird am Leben gehalten durch Zufütterung geringer Mengen Homoserin. Das läßt eine Anreicherung der beiden Methionin- und Threonin-Aminosäuren aber nicht zu.

In den letzten Jahren deutet sich nun eine ganz neue Möglichkeit an, um mikrobielle Hochleistungsstämme zu gewinnen - die Gentechnik. Ihre Grundlagen wurden in den 70er Jahren durch die Biochemie und Molekulargenetik erarbeitet. Ihrer Thematik sind derzeit wichtige Forschungsprojekte in der Welt gewidmet. Die Gentechnik arbeitet nicht mehr mit Mutationen, sondern mit der gezielten Übertragung ganzer Gene von einem Organismus auf einen anderen, z.B. von höheren Organismen auf Bakterien. Diese Gene werden dann in den Bakterien vermehrt und ihre Information wird realisiert. Davon im nächsten Teil.



Literatur

Biologielehrbücher 10. Klasse (Abschnitt Genetik),
12. Klasse (Abschnitte Stoffwechsel-
physiologie und Genetik)

"Kleine Enzyklopädie Leben" URANIA-Verlag Leipzig 1981
(Abschnitte Molekulare Grundlagen des
Lebens und der Zelle)

H. Weide, H. Aurich "Allgemeine Mikrobiologie", Gustav-Fischer-
Verlag Jena 1978.

BÜCHERMARKT

Friedrich Herneck „Die heilige Neugier“

Erinnerungen, Bildnisse, Aufsätze zur Geschichte der Naturwissenschaften

Buchverlag Der Morgen, 1. Auflage Berlin 1983, 263 Seiten, 16 Fotos, Bestell-Nr. 595 493 4,

Preis: 9,50 M

Dies ist die Sammlung wissenschaftshistorischer Aufsätze eines bekannten Berliner Professors, die zum Teil früher schon in Zeitschriften und anderen Publikationen veröffentlicht worden waren, zum Teil aber auch unbekannte Artikel über Physiker, Chemiker, Biologen, Ärzte des 19. und 20. Jahrhunderts.

Die hier gewählte Kurzform (50 Aufsätze insgesamt) der einzelnen "Geschichten über die Geschichte der Naturwissenschaften" ist so recht geeignet, Oberschüler und Studenten auf das Studium der exakten Wissenschaften neugierig zu machen.

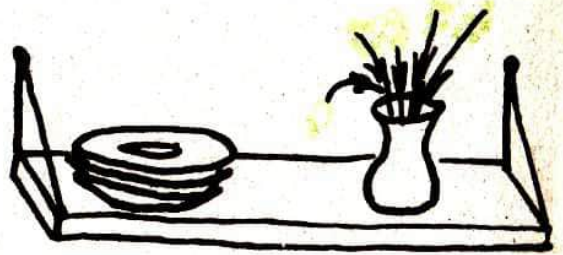
"Möchte der Band ein lehrreiches Lesebuch sein, das auf seine Art dazu beiträgt, daß die Geschichte der Naturwissenschaft die Marktplätze erreicht ...", wünscht sich der Autor, Prof. Dr. Herneck im Vorwort seines Buches. Da die Aufsätze, hier chronologisch geordnet, für ein breites Publikum geschrieben wurden, sind sie leicht lesbar und gut verständlich, allerdings erhöht die Kenntnis grundlegender Naturgesetze und der dazu nötigen Forschungsmethoden und Gegenstände den Genuß beim Lesen. Man erfährt Genaueres über Weltanschauung und Arbeitsweise berühmter Forscherpersönlichkeiten wie Helmholtz, Röntgen, Einstein, Planck, von Laue, Born, Bohr, Hahn, Meitner, Ostwald, Haeckel u.v.a.

Einstein kommt in den "Erinnerungen, Bildnissen und Aufsätzen" (s. Untertitel) besonders häufig vor. Das verwundert nicht, wenn man weiß, daß Herneck ein international bekannter Einsteinforscher ist, dessen Bücher in mehrere Sprachen übersetzt wurden.

Das Anliegen seines letzten Buches wird vielleicht noch deutlicher, wenn ich aus diesem ein Schrödinger-Zitat verwende: "Das erste Erfordernis für den Naturforscher ist, daß er neugierig sei. Er muß fähig sein, sich zu wundern, und vermessen aufs Herausfinden."

Wolfgang König

Was machen wir,
backen wir
oder fressen wir den Teig
so ?



A

Aus: „Deutsches Sprichwörterlexikon“.
Ein Hausschatz für das deutsche Volk
von Karl Friedrich Wilhelm Wander (1803–1879)

