

Informationsblätter zur Fortbildung
von Lehrern an höheren Schulen

HERAUSGEBER:
ARBEITSGEMEINSCHAFT DER PHYSIKLEHRER
AN DEN ALLGEMEINBILDENDEN HÖHEREN SCHULEN WIENS

Wissenschaftliche Nachrichten

Gewidmet vom
HAUPTVERBAND DER ÖSTERREICHISCHEN SPARKASSEN
VON DER ERSTEN ÖSTERREICHISCHEN SPAR-CASSE
UND DER ZENTRALSPARKASSE DER GEMEINDE WIEN

Nr. 10 - Dezember 1965

Inhalt:

CHEMIE

Hitzebeständige Kunststoffe
Methoden der Polymerchemie
Neue Ergebnisse der DNS-Forschung
Die dreidimensionale Struktur von Proteinen

MATHEMATIK

Mögliche Geometrien

PHYSIK, ASTRONOMIE

Weltraumprobleme und Schule (I)
Die Bausteine der Materie (I)
Antimaterie-Hypothese des Tunguska-Meteors

Kurznachrichten

Zum Alter der Erdkruste
Testung der allgemeinen Relativitätstheorie
Reibschweißen
Elektromagnetische Felder ohne Reflexionsstörungen
Die Dichte der Hochatmosphäre
Neue Teilchen
Antideuteronen erzeugt
Neue Geräte bei CERN
Lasergesteuerte Maschinen

Streuung von Photonen an Photonen
Neue kernphysikalische Anlagen
Vierte Supernova seit 1000 n. Chr.

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Österreichs Wirtschaftsentwicklung von 1913 bis 1964 in Zahlen
Die britische Automobilindustrie
Vom Wesen und Wert unseres Geldes
Die Bedeutung des Gewerbes in der heutigen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung

Vorschau auf den Inhalt der nächsten Folge:

Weltraumprobleme und Schule (II)
n-dimensionale Geometrie
Bausteine der Materie (II)
Nachweis von Wasserdampf- und Eiskristallwolken in der Venusatmosphäre
Elektrischer Raketenantrieb
Biosynthese von Fettsäuren und Cholesterin
Neuartige zyklische Verbindungen
Chemisch-physikalische Untersuchungsmethoden
Neuere Methoden der Polymerchemie (II)

Hitzebeständige Kunststoffe

Durch die stetig wachsenden Ansprüche an die Eigenschaften hochwertiger Polymerer ist die Entwicklung hitzebeständiger Kunststoffe, die sich zur Herstellung von Fäden oder Filmen eignen, seit ungefähr 1959 in den USA angeregt worden. Dabei haben besonders Probleme der Raumfahrt eine große Rolle gespielt, da sich die bis dahin bekannten Kunststoffe als ungeeignet erwiesen.

Zur Erzielung besserer Temperaturbeständigkeit sind schon seit geraumer Zeit einige Gesetzmäßigkeiten erkannt worden. Je besser die Ordnung der Moleküle (Kristallinität), je gleichmäßiger sie gebaut sind (isotaktische Kunststoffe), desto höher liegt der Erweichungspunkt des Polymeren.

Sofort es sich aber um Polymere des Typs der substituierten und unsubstituierten Polyäthylene, um Polyester, Polyamide oder Polyurethane handelt — um nur einige der am häufigsten verwendeten Kunststoffe zu nennen — zeigt sich, daß mechanische Eigenschaften, Oxydationsbeständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber äußeren Einflüssen mit steigender Temperatur sehr zu wünschen übrig lassen und eine Verwendung dieser Stoffe bei Temperaturen über 200°C kaum mehr möglich ist.

Bereits wesentlich günstiger zeigten sich Silicone oder perfluoriertes Polyäthyl (Teflon), die aber doch Dauerbelastungen auf 500°C keineswegs standhalten.

Daß allerdings organische Polymere über diesen Temperaturbereich hinaus bis 900°C beständig und auch noch in ihren mechanischen Eigenschaften den gestellten Anforderungen gerecht werden können, mag vielleicht verwunderlich erscheinen, da ja doch als allgemeines Kriterium organischer Verbindungen ihre Hitzeunbeständigkeit gilt. Um das Problem der Hitzebeständigkeit zu diskutieren, sei an die Eigenschaften des elementaren Kohlenstoffs erinnert. Das Diamantgitter besitzt zwar sehr große mechanische Festigkeit, jedoch ist diese Modifikation bei etwas höheren Temperaturen leicht oxydierbar. Das Graphitgitter besitzt nur innerhalb der Gitterebene ähnliche Festigkeit, bei höheren Temperaturen ist Graphit gegenüber Oxydation jedoch sehr beständig. Somit könnte man annehmen, daß Substanzen, die als Strukturelemente größere Ausschnitte des Graphitgitters besitzen, eine ähnliche Hitzebeständigkeit zeigen könnten. Für einen Kunststoff kommt aber noch eine weitere Forderung hinzu: die Polymermoleküle müssen flexibel sein, da ja einige Mindestanforderungen an Elastizität und Dehnbarkeit gestellt werden müssen. Zur Herstellung von Fasern und Filmen kommt noch womöglich die zusätzliche Forderung der Löslichkeit.

1. Polyacene

Durch Cyclisierung von 1,2-Polyisopren entsteht lineares Poly-(cycloisopren) (1), aus 1,4-Polyisopren entsteht segmentweise gewinkelt Poly-(cycloisopren) (2). Durch Aromatisierung wäre Polyacen zu erwarten, doch es bilden sich nur Bruchstücke von der Größe des Pentacens oder Phenanthrens. Da sich die Herstellung der Polyacene als undurchführbar erwies, mußten andere Verbindungstypen, die der geforderten Struktur annähernd entsprechen, aufgesucht werden.

2. Polyphenylene

Höhere Phenylene zeigen sehr gute Hitzebeständigkeit, so daß mit Poly-(p-phenylen) eine geeignete Substanz zu erwarten wäre. Leider ist aber dieses Molekül sehr starr und die Polymeren wären nicht dehnbar. Um die Starrheit dieser Moleküle wenigstens teilweise aufzuheben, gibt es

die Möglichkeit durch Einschalten von $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ oder $-\text{NH}-\text{CO}-$ eine größere Beweglichkeit der Moleküle zu erreichen. Gleichzeitig steigt dadurch wohl auch die Löslichkeit, aber die Temperaturbeständigkeit nimmt wieder ab. So erhält man durch Pyrolyse von p-Xylol oder aus Benzol und 1,2-Dibromäthan nach Wurtz Poly-(p-xylylen), aus dem sich Filme gießen lassen und das über 520°C schmilzt (3).

3. Polyhydrazide

A. H. Frazer und F. T. Wallenberger gelang die Herstellung aromatischer Polyhydrazide aus äquimolaren Mengen aromatischer Dicarbonsäurechloride und aromatischer Dihydrazide. Bei diesen Verbindungen, die in Dimethylsulfoxid gut löslich sind und zwischen 320°C und 400°C schmelzen, konnte bei höheren Temperaturen Wasserabspaltung festgestellt werden, wodurch Cyclisierung zu noch hitzebeständigeren Substanzen erfolgt. So wird aus Poly-(terephthalsäure/isophthalsäure-dihydrazid) (4) durch quantitatives Abspalten von 1 Mol Wasser pro Hydrazidgruppe Poly-[2,5-(1,3,4-oxadiazol)] (9) erhalten. Polyhydrazide lassen sich wegen ihrer guten Löslichkeit zu Fasern verspinnen, deren Erweichungstemperatur bei zirka 320° liegt. Da Polyhydrazide mit ein- und zweiwertigen Metallionen in basischem Medium Chelate (5) bilden, welche intensiv gefärbt sind, werden farbige Fasern aus ihnen gewonnen. Diese sehr reißfesten Fasern werden durch Passagen der Polyhydrazid-Faser durch Lösungen der entsprechenden Metallsalze in Dimethylformamid hergestellt.

4. Polyester

Die Schmelzpunkte aromatischer Polyester liegen meist nicht über 380°C. Diese hohen Schmelzpunkte lassen sich auf sehr starke Dipolwechselwirkung, hohe Molekularsymmetrie und damit verbundene dichte Molekülpackung zurückführen. Vollkommen aromatische Polyester, wie zum Beispiel das Poly-(hydrochinonterephthalat) (6) mit einem Schmelzbereich zwischen 400° und 500°C, besitzen auch eine genügende Schmelzviskosität, so daß sie sich eventuell zu Fasern verspinnen lassen (Korshak u. Vinogradova, UdSSR; franz. Patent v. I.C.I.). In diesem Zusammenhang seien noch verschiedene Arten von Terephthalsäureanhydriden (7) erwähnt (Yoda, 1963), deren Schmelzpunkt zwar 400°C nicht übersteigt, die aber gegen Salzsäure, Salpetersäure und sogar Königswasser beständig sind.

5. Polyamide

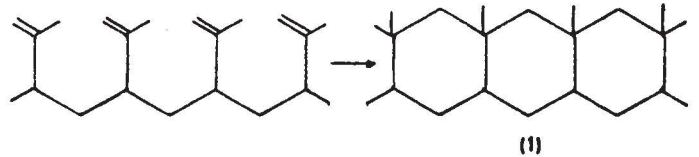
Fasern aus Poly-(äthylenterephthalamid) und Poly-(tetramethylen-terephthalamid) gehören mit $F_p=455^\circ$ beziehungsweise 436°C zu den am höchsten schmelzenden Fasern. Sie sind nur in Schwefelsäure und Trifluoressigsäure löslich. Ihre Eigenschaften werden durch die sehr festen Wasserstoffbrücken zwischen den dicht gepackten Molekülen bestimmt. Diese Fasern sind sehr fest und lassen sich um 10 bis 20 Prozent dehnen. Man erhält sie durch Grenzflächenpolymerisation aus Terephthalsäuredichlorid und einem Diamin bei Raumtemperatur in Wasser und einem organischen Lösungsmittel (8).

6. Strukturanaloge von Polyphenylen und Polyacen

Bereits bei der intramolekularen Cyclisierung der Polyhydrazide wurde ein besonders temperaturbeständiger Stoff erhalten. Die daran durchgeführten Untersuchungen gaben der Entwicklung besonders hitzefester Kunststoffe neue Impulse. Verschiedene Verbindungstypen lassen sich dieser Cyclodehydratisierung unterwerfen, wodurch Substanzen erhalten werden, die als heterocyclische Struktur-

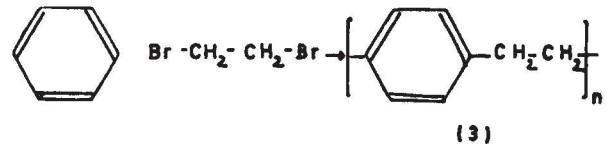
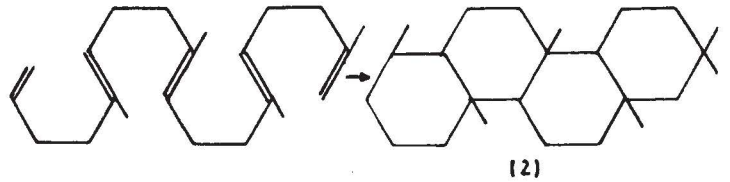
analoge der nicht herstellbaren Polyphenylene und Polyacene betrachtet werden können.

Die Herstellung dieses Verbindungstyps erfolgt in zwei Schritten: zunächst wird das „Vorpolymere“ hergestellt, entweder in Faser- oder Filmform, dann wird das „Nachpolymere“, die eigentliche hitzebeständige Substanz, durch Cyclodehydratisierung erhalten. Dabei zeichnen sich diese Strukturanaloga noch durch Biegsamkeit aus, welche zum Beispiel dem Polyphenylen fehlt.



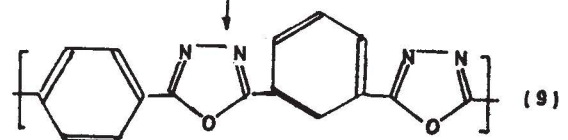
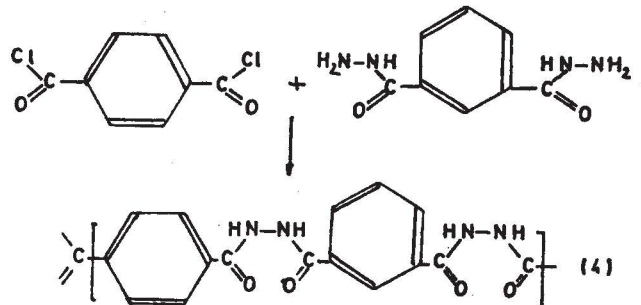
Polyoxydiazole

Durch thermische Cyclodehydratisierung wurden verschiedene aliphatische und aromatische Polyhydrazide in Verbindungen des Typs Poly-(1,3,4-oxadiazol) (9) übergeführt. Thermogravimetrische Untersuchungen zeigten, daß bei Temperaturen bis 225° C zunächst nur Oberflächenwasser abgegeben wird, während das Reaktionswasser erst bei 250—350° C entweicht. Gewichtskonstanz deutet die abgeschlossene Cyclisierung an. Diese Substanzen zeigen hohe Viskosität und Kristallinität. Sofern sie noch unter 350° C schmelzen, konnten Filme aus ihnen gepreßt werden. Sie sind gegen Oxydation sehr beständig und zersetzen sich erst über 450° C. Als Beispiel sei hier das von Wallenberger und Frazer synthetisierte Poly-(m/p-phenylen-2,5-(1,3,4-oxadiazol)) (9) angeführt.



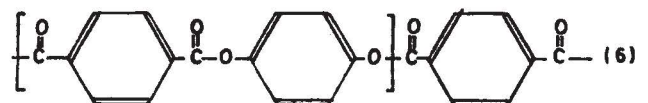
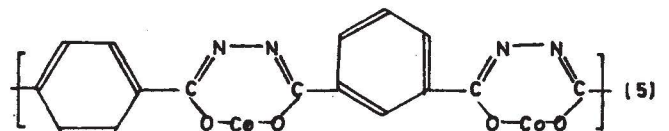
Polypyromellitimide

Besonders hitzebeständig sind Polypyromellitimid-Filme, welche bis 800° C stabil, sehr beständig gegen Oxydation, flamm- und strahlungsfest und überdies außerordentlich zäh sind. Hergestellt werden sie aus Pyromellitsäureanhydrid durch Kondensation mit aromatischen Diaminen unter milden Bedingungen in Dimethylformamid oder Diäthylacetamid. Aus dem Kondensationsprodukt werden Filme gegossen, diese erhitzt, wobei durch Cyclodehydratisierung unlösliches und unschmelzbares Polyimid entsteht (10). Besonders gute mechanische, thermische und elektrische Eigenschaften besitzt ein Polyimid, welches als Diaminokomponente den 4,4'-Diamino-diphenyläther (11) besitzt. Dieser, als H-Film bezeichnete Körper verhält sich bei Raumtemperatur ähnlich wie Mylar-Film (Polyäthylenterephthalat), behält jedoch über einen sehr weiten Temperaturbereich (4° K bis 800° C) weitgehend seine guten Eigenschaften (US-Pat. DuPont de Nemour, Erf. Edwards, Robinson, Gresham, Naylor).



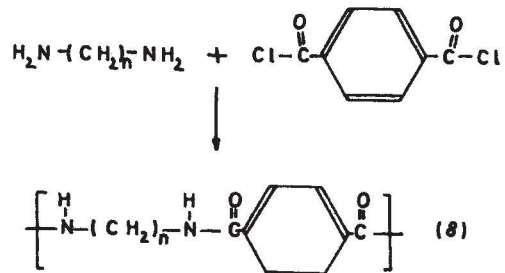
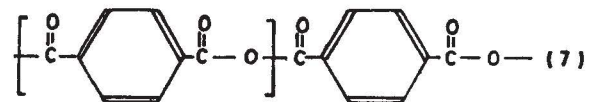
Polybenzimidazole

Ein Polymeres mit ähnlichen Eigenschaften wie Copolymeres aus Tetrafluoräthylen und Hexafluorpropylen, das zur Herstellung von Filmen geeignet ist, wurde von Brincker und Robinson (US-Pat. DuPont) sowie Vogel und Marvel aus aromatischen Tetraminen mit Diphenylestern aromatischer Dicarbonsäuren in einer Schmelzkondensation gewonnen. Die Reaktion verläuft in zwei Stufen: 220—260° C, unter 400° C. Aus Isophthalsäureester und Tetraaminodiphenyl konnte das Poly-[2,2'-(m-phenylen)-5,5'-dibenzimidazol] (12) erhalten werden.

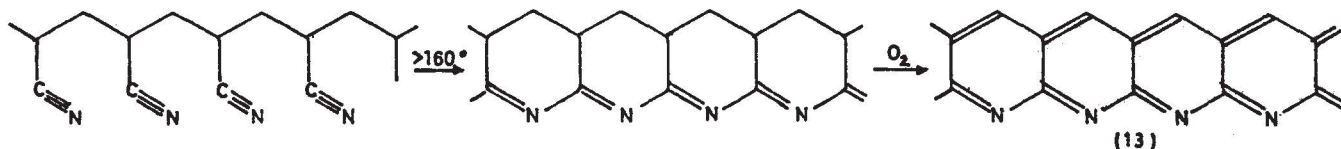
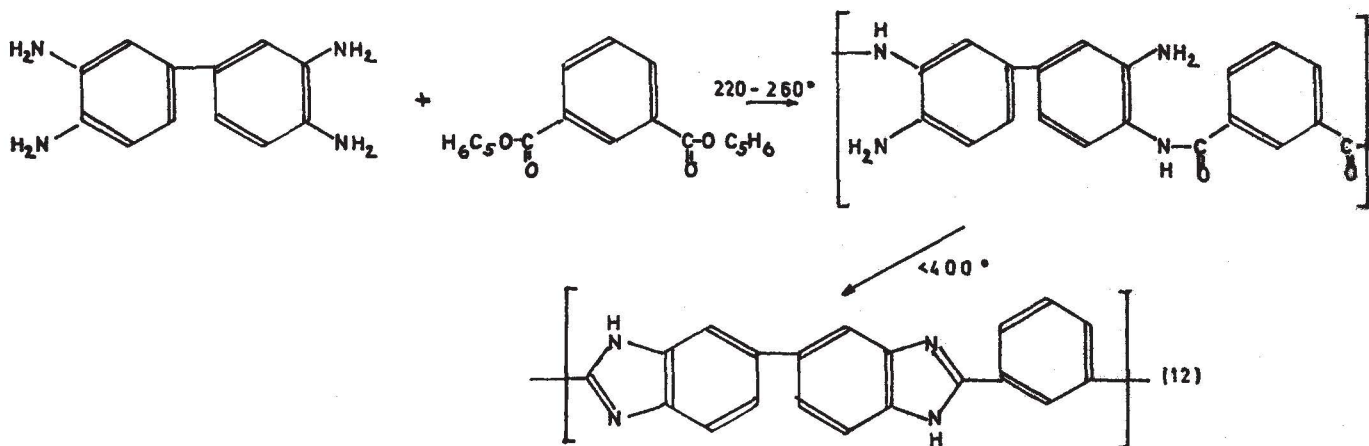
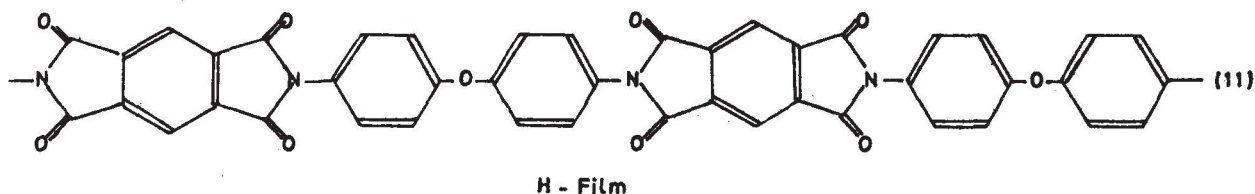
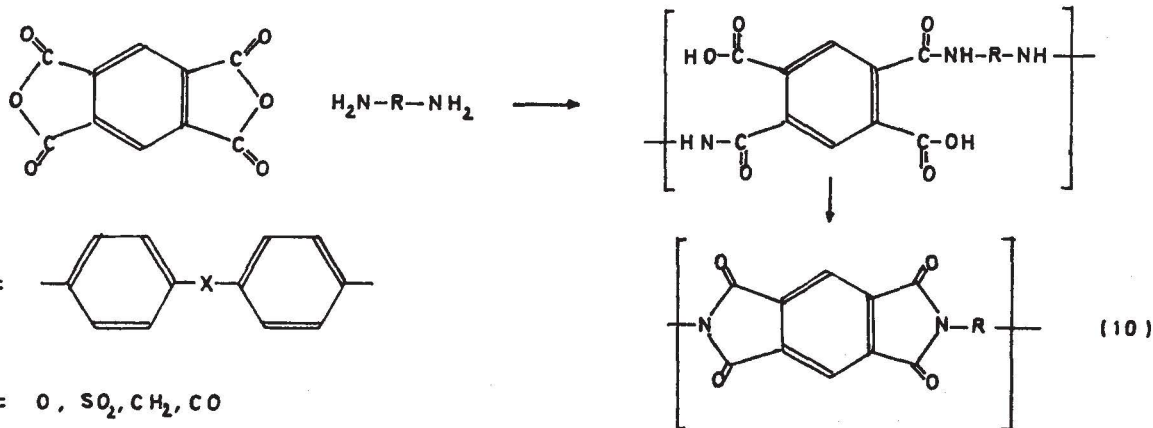


Cyclisiertes Polyacrylnitril

Das heterocyclische Analogon des nicht darstellbaren linearen Polyacens läßt sich durch Cyclodehydratisierung von Orlon-Fasern oder -Gewebe bei Erhitzen auf 160° C unter Zutritt von Luft herstellen (13). Die Reaktion verläuft exotherm unter starker Schrumpfung, wobei die sogenannte AF-Faser erhalten wird. Sie ist feuerfest und widersteht einer 100mal stärkeren Wärmestrahlung als normale Textilien. Bei Erhitzen auf sehr hohe Temperaturen verliert sie allmählich ihre Zugfestigkeit, bei 900° C wird sie innerhalb 3 Stunden restlos abgebaut. Sie eignet sich zur Herstellung feuerfester Gewebe und Kleidung, solange keine allzu hohen Ansprüche auf Abriebfestigkeit gestellt werden.



Literatur: F. T. Wallenberger (DuPont), Ang. Chem. 76/1964/11/484



Methoden der Polymerchemie

In den frühen Entwicklungsperioden der Polymerchemie war es weitgehend dem Zufall überlassen, welche Struktur das Polymere erhielt, während jetzt die Bestrebungen dahin gehen, möglichst zielbewußt die Polymerstruktur zu gestalten. Dazu sind aber genaue Kenntnisse über den Bau makromolekularer Verbindungen notwendig. Um diese Kenntnisse zu erwerben, sind teils analytische Methoden einzusetzen, die strukturspezifische Merkmale erkennen lassen, teils aber auch geeignete Modellsubstanzen, als leicht zu handhabende Analoga, um die sterischen Probleme zu untersuchen. Hier soll zunächst über die Methoden zur Untersuchung der Sequenzverteilung in Copolymeren und in einer weiteren Folge über Verwendung von cyclischen Verbindungen als Modellsubstanzen für sterische Probleme berichtet werden.

1. Sequenzverteilung in Copolymeren

Ein Copolymeres aus den beiden Komponenten A und B wird je nach prozentuellem Gehalt von A und B und der Verteilung von A und B innerhalb des Makromoleküls bestimmt. Man unterscheidet drei Typen:

den regellosen Typ:

....AABBABBBAAABABBABAABBB....

den alternierenden Typ:

....ABABABABABABAB....

und den Block-Typ:

....AAAAABBBBAAAAAAAABBBBBBAAAA....

Gerade die Sequenzverteilung ist für die chemischen und physikalischen Eigenschaften von sehr großer Bedeutung. Die Möglichkeit, darüber Auskunft zu erhalten, besteht darin, daß man zunächst zu ermitteln sucht, wie groß der Anteil an Bindungen A-B ist und wie groß der

Anteil an bestimmten Gruppen, wie zum Beispiel den Triaden A-A-B, A-A-A oder B-B-A, ist. Die nach verschiedenen Verfahren erhaltenen Ergebnisse führen dann zur „Blockzahl R“ (run number). Die Blockzahl eines Copolymeren ist definiert als die durchschnittliche Anzahl von Monomersequenzen oder „Blöcken“, die in einer Copolymerkette von 100 Monomereinheiten auftreten. Als Beispiel: In einer Copolymersequenz von 20 Einheiten seien 12 Blöcke enthalten; diese Kette besitzt die Blockzahl $R=60$ (Abb. 1). Die Blockzahl wird verknüpft mit dem prozentuellen Anteil von A und B pro Mol Substanz (die durchschnittliche Kettenlänge muß bekannt sein) und dann als Funktion irgendwelcher meßbarer und durch die Sequenzverteilung bedingter Eigenschaften des Copolymeren dargestellt.

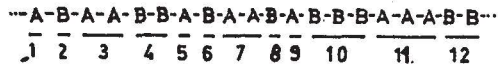


Abb. 1 Copolymerkette mit Blockzahl 60 (Blöcke numeriert) Pfeile: A-A-Bindungen Punkte: Triaden vom Typ A-A-B

Die Kenntnis nicht nur der Zusammensetzung, sondern auch der Sequenzverteilung ist für das Studium des Copolymerisationsmechanismus und damit der Steuerung der Polymerisation wichtig. Leider ist nur die Zusammensetzung leicht feststellbar, während die Bestimmung der Sequenzverteilung besondere Methoden erfordert: 1. Abbaumethoden, die bindungsspezifisch sind und charakteristische Abbauprodukte liefern, und 2. Copolymerveränderungen, die gruppenspezifisch sind und durch ihre quantitative Verfolgung Aussagen über die Anzahl bestimmter Gruppen geben.

Abbaumethoden

Die ersten Untersuchungen über die Sequenzverteilung wurden bereits 1939 (Hill, Lewis, Simonsen) an einem 50:50-Butadien-Methylmethacrylat-Copolymerem (B-M-Copolymerem) durchgeführt. Durch Ozonolyse wurde dieses Polymer abgebaut und die Menge der als Hauptprodukte erhaltenen Bernsteinsäure, Succinaldehyd und Dicarbonsäuren mit mehreren Methylmethacrylat-Resten bestimmt. Die gefundenen Mengen von Bernsteinsäure beziehungsweise Succinaldehyd konnten als Maß für die Bindungen B-B, hinwieder die als Methylester isolierten Dicarbonsäuren als Maß für die Bindungen B-M-B aufgefaßt werden (Abb. 2). Bereits damals wurde festgestellt, daß so ein Copolymeres keineswegs einen regellosen Bau besitzt, sondern die große Tendenz der Vinyl-Copolymeren zur Blockbildung wurde erkannt.

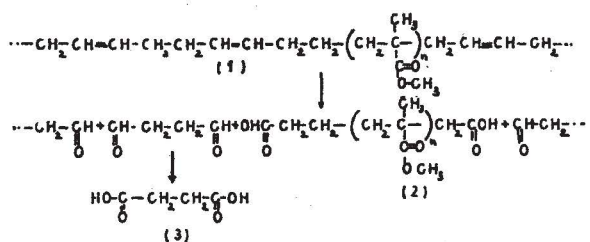


Abb. 2 Abbaureaktionen

Für selektive Abbaumethoden haben sich folgende Verfahren bewährt:

- Oxydation mit HJO_4 : Geeignet für Vinylacetat-Vinylcarbonat-Copolymere, die zuerst hydrolysiert und anschließend oxydiert werden. Aus den Blöcken des Vinylcarbonats entsteht Ameisensäure. Aus dem Verhältnis HCOOH zu verbrauchter HJO_4 wird die Blockzahl berechnet.
- Enzymatischer Abbau: Copolymere aus L-Glutaminsäure-L-Tyrosin werden durch Chymotrypsin selektiv hydrolysiert, so daß freies Tyrosin und Glutaminsäurepeptide mit Tyrosinendgruppen erhalten wer-

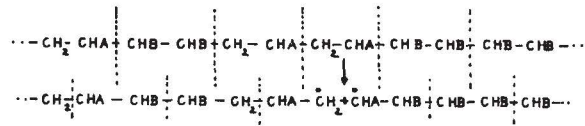


Abb. 3 Pyrolyse. Polymerkette aus $\text{CH}_2=\text{CHA}$ und $\text{CHB}=\text{CHB}$ zerfällt in Monomere mit Fremdatomen

den. Der Bruchteil des freien Tyrosins liefert die Blockzahl. Auch bei solchen Copolymeren herrscht die Tendenz zur Blockbildung.

- Thermischer Abbau von Copolymeren liefert i. A. große Mengen an Monomeren. (Depolymerisation oder „Reißverschluß-Öffnung“-Mechanismus). Je nach der Art des Copolymeren können die regenerierten Monomeren unverändert oder mit „fremden“ Atomen, das heißt solchen, die ursprünglich an einer benachbarten Monomereinheit gebunden waren, behaftet sein. Die Feststellung des Gehalts an solchen „Fremdatomen“ erlaubt Rückschlüsse auf die Sequenzverteilung (Abb. 3).

Copolymerveränderungen

Veränderungen an Copolymeren, die zur Sequenzbestimmung geeignet sind, stellen entweder Cyclisierungsreaktionen dar, die womöglich für bestimmte Gruppierungen charakteristisch sind, oder Veränderungen der Reaktionsfähigkeit, die durch Nachbargruppeneffekte bedingt sind.

- Intrasequenz-Cyclisierung: Diese Reaktionen sind nur zwischen ganz bestimmten Molekülteilen möglich und daher sequenzspezifisch. Die quantitative Verfolgung der Cyclisierung des Copolymeren im Vergleich zur Cyclisierung des entsprechenden Homopolymeren liefert die Blockzahl.

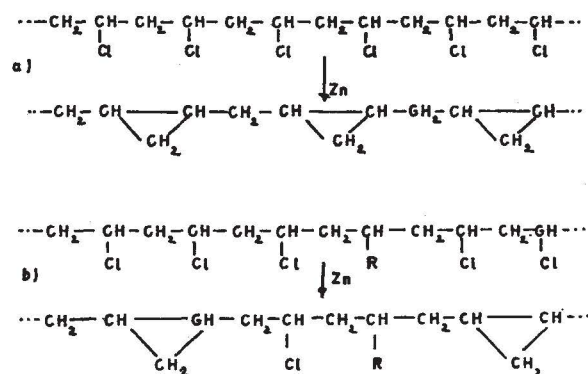


Abb. 4 Intrasequencyclisierung. a) Homopolymeres b) Copolymeres

Beispiel: Cyclopropanringe entstehen, wenn durch die Einwirkung von Zink auf Polyvinylchlorid Chlor abgespalten wird. Wird die gleiche Reaktion an einem Copolymeren aus Polyvinylchlorid und Polyvinylacetat durchgeführt, so kann Cyclisierung nur innerhalb der Polyvinyl-Blöcke erfolgen (Abb. 4).

- Intersequenz-Cyclisierung: Diese Reaktionen spielen sich nur zwischen den Gliedern A-B einer Polymerkette ab, und ihre quantitative Bestimmung liefert sofort die Blockzahl.

Beispiel: Ein Vinylacetat-Maleinsäureanhydrid-Copolymeres kann nach Hydrolyse zur Lactonbildung gebracht werden, wobei der Lactonring jeweils zwischen V und M gebildet wird. Ganz ähnlich verhält es sich mit Vinylacetat-Acrylester-Copolymeren (Abb. 5a und 5b).

- Nachbargruppeneffekte: Benachbarte Gruppen können bestimmte Substituenten in ihrer Reaktionsfähigkeit sehr stark verändern. Es handelt sich dabei oft um autokatalytische Effekte, die besonders bei

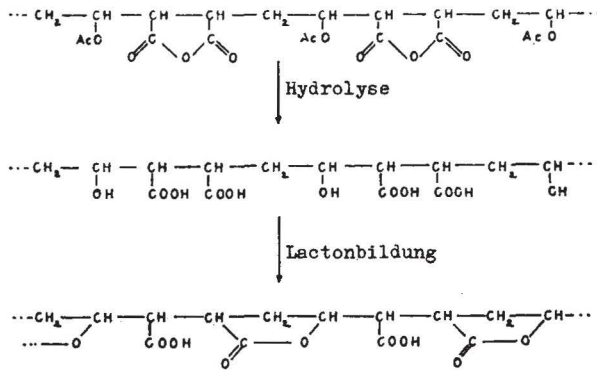


Abb. 5 Intersequenzcyclisierung

Reaktionen vom Typ der Hydrolyse oder Pyrolyse beobachtet wurden. Allerdings spielt neben den reinen Nachbargruppeneffekten auch der räumliche Bau der Kette eine große Rolle. Häufig können dadurch auch Rückschlüsse auf die Taktizität des Polymeren gemacht werden.

Beispiel: Untersuchungen an Acrylsäure-Äthylacrylat-Copolymeren zeigten, daß die Hydrolyse der Äthylacrylat-Komponente bevorzugt in einer Triade vom Bau Säure-Ester-Säure stattfindet, während die Hydrolysegeschwindigkeit unabhängig von der Estermenge ist, die in Säure-Ester-Ester-Triaden gebunden ist. Trotzdem sind nur etwa 60 Prozent der Estergruppen überhaupt spaltbar, was auf sterische Ursachen (Taktizität) zurückgeführt wird.

Über die Verwendung cyclischer Verbindungen als sterische Modellsbstanz für Polymere wird in einer Fortsetzung berichtet.

Literatur: H. J. Harwood, Ang. Chem. 77/1965/9/405

Neue Ergebnisse der DNS-Forschung

Durch Untersuchungen an zellfreien Systemen konnte von H. Gobind Khorana und seinen Mitarbeitern (Univ. Wisconsin) eindeutig festgestellt werden, daß

1. ein Codon tatsächlich aus drei Basen besteht,
2. die einzelnen Codons sich nicht überlappen,
3. zwischen den einzelnen Codons keine Interpunktion besteht.

Es wird jedoch nicht ausgeschlossen, daß ein DNS-Strang irgendeine Art „Periode“ oder „Stopzeichen“ besitzt, wenn die Chiffrierung für eine Polypeptidkette abgeschlossen ist. Dies erscheint sogar notwendig, da ein DNS-Molekül die Information für mehrere verschiedene Polypeptide enthält. (Scientific American, 1965/Juni/56).

Codons für folgende Aminosäuren wurden identifiziert:

Isoleucin: ApUpU und ApUpC
 Tyrosin: UpApU und UpApC
 Asparagin: ApApU und ApApC
 Lysin: ApApG und ApApA

Literatur: Nachr. Chem. Techn. 13/1965/16/325

Die dreidimensionale Struktur von Proteinen

Von A. J. Hodge (Calif. Inst. of Techn.) konnte die dreidimensionale Struktur des Kollagens aufgeklärt werden. Dadurch findet die außerordentliche Festigkeit von Kollagenfasern eine Begründung. Kollagenmoleküle stellen Kabel aus drei Strängen dar, die zu einer Rechtschraube miteinander verdrillt sind. Die drei Einzelstränge sind Polypeptidketten, die, jede für sich, zu einer linksgängigen Helix gewunden sind; ihre Lage wird durch Wasserstoffbrücken fixiert.

Je zwei Polypeptidketten des Kollagenmoleküls sind gleich und bestehen aus fünf Untereinheiten, die dritte Kette besteht aus sieben, aber entsprechend kürzeren Untereinheiten. Diese kürzeren Untereinheiten bestehen aus ungefähr 150 Aminosäuremolekülen, die längeren aus 210. Die Aminosäuresequenz wurde nicht bestimmt, es erscheint jedoch in beiden Kettentypen die Aminosäure Glykokoll an jeder dritten Stelle. Diese Periodizität ist die Ursache für das gute Zusammenpassen der Stränge des Moleküls.

Im Bindegewebe sind die einzelnen Kollagenmoleküle in ziegelartigem Muster aneinandergelagert, ebenso in Knochen, doch sind hier kleine Zwischenräume mit Calciumphosphat ausgefüllt.

Literatur: Scientific American, 1965/Juni/61.

Die Struktur eines Enzyms konnte ebenfalls vollständig aufgeklärt werden. Zahlreiche tierische und auch pflanzliche Sekrete und Gewebe enthalten ein Enzym, das Lysozym, welches bestimmte Bakterien rasch auflösen vermag. Lysozyme wurden beim Menschen in der Milz, den Nieren, im Speichel, in Tränen usw. gefunden. Die wichtigste Quelle für die Gewinnung eines Lysozyms ist Hühnereiweiß, daher ist die Struktur dieses Lysozyms besonders gut bekannt. Hühnereiweiß-Lysozym enthält 129 Aminosäurereste, sein Molekulargewicht beträgt 14.388. Es ist das erste Protein mit allen normalen Aminosäuren, dessen Struktur aufgeklärt wurde.

Primärstruktur: Jollès und Jollès (Univ. Paris) konnten 1961 feststellen, daß dieses Protein aus einer einzigen Polypeptidkette besteht, deren Faltung durch vier S-S-Brücken der acht Cystein-Reste gehalten wird. Die Aminosäuresequenz konnte ebenfalls bestimmt werden.

Sekundärstruktur: C. C. F. Blake (Royal Inst. London) bestimmte durch Röntgenbeugung die dreidimensionale Struktur dieses Lysozyms. Dazu wurden Derivate mit schweren Metallatomen verwendet (Hg, Pd). Mehr als 9000 Reflexe wurden ausgemessen, um die Elektronendichte einer Serie charakteristischer Schnittebenen des Moleküls zu berechnen. Die Elektronendichtekurven wurden auf insgesamt 60 Plastikfolien gezeichnet, entsprechend parallelen Schnitten durch das Molekül im Abstand von $\frac{2}{3}$ Å. Beim Übereinanderstapeln dieser Folien zeigt sich das dreidimensionale Bild des Lysozyms als gefaltete Kette. Die Maße des Moleküls betragen etwa $45 \times 30 \times 30$ Å.

Die biologische Wirksamkeit des Lysozyms beruht auf seiner Fähigkeit, die Mucopolysaccharide der Bakterienzellwände hydrolytisch zu spalten. Schon lange war bekannt, daß die Aktivität des Enzyms durch bestimmte Saccharide gehemmt wird. Am dreidimensionalen Bild konnte nun eine Vertiefung in der Oberfläche gefunden werden, in welche die hemmenden Moleküle genau hineinpassen. Dieser Befund bekräftigt die „Schlüssel-Schloß“-Hypothese über die Wirksamkeit der Enzyme.

Literatur: Ang. Chem. 76/1964/1/20; Scientific American 1965/Juli/46

MATHEMATIK

Dr. Walter Kranzer

Mögliche Geometrien

Das Interesse des Laien an den Naturwissenschaften wendet sich heute, sofern es vorhanden ist, in erster Linie der Atom- und Teilchenphysik, der Kosmologie, der Genetik sowie den zahlreichen Möglichkeiten der technischen Verwertung der Naturgesetze zu. Offenbar üben die quantitativen Sensationen, die auch für jemanden, dem die Kenntnis der verborgeneren Zusammenhänge fehlt, in verständlicher Weise formuliert werden können, eine mächtige Anziehungskraft aus. Schwieriger ist es, die qualitativen Überraschungen, mit denen die moderne Forschung aufwartet, einem breiteren Kreis zugänglich zu machen, weil hierfür die Bereitschaft und das Vermögen mitzudenken bestehen müssen.

Das Wort „Überraschungen“ ist eigentlich ein unzulässiger Diminutiv, wenn damit die markanten Wendepunkte der menschlichen Naturbetrachtung gemeint sind, an denen uns eine unermüdlich weiterschürfende Wissenschaft vorbeigeführt hat. Es waren geistige Beben, welche die Welt erschütterten und dem Lauf der Dinge eine neue Richtung einprägten. In diesem Zusammenhang darf die bedeutungsvolle Rolle der Mathematik nicht vergessen werden.

Sie bietet nur qualitative „Sensationen“, obwohl die Quantität ein bedeutsames Objekt ihrer Anstrengungen ist. Deswegen möge dieser Aufsatz jener Entwicklung gewidmet sein, welche von Bolyai, Lobatschewskij und Gauß ausging und zur Überwindung des euklidischen Sonderfalles führte.

Nach der kopernikanischen Wende war wohl die Entdeckung der nichteuklidischen Geometrien der zweite Donnerschlag, der unser Denken aus der nativen Selbstsicherheit erweckte, von welcher der Schein für das Sein gehalten wird.

Es erscheint zweckmäßig, den weiteren Ausführungen das Axiomensystem der euklidischen Geometrie voranzustellen. Wir wählen nahezu die gleiche sprachliche Fassung, für die sich D. Hilbert in seinem berühmten Werk „Die Grundlagen der Geometrie“ entschieden hat. Die geringfügigen Abweichungen sind lediglich sachlich bedeutungslose Textverkürzungen.

Bekanntlich handelt es sich um 20 Axiome, die in fünf Gruppen zerfallen, nämlich um die Axiome

der Verknüpfung,
der Anordnung,
der Kongruenz,
der Stetigkeit
und das Parallelenaxiom.

Gegenstand der Grundaussagen sind Punkte, Gerade und Ebenen, deren Natur nicht näher erklärt wird, sehr zum Unterschied von Euklid, der sich noch bemühte, die geometrischen Grundgebilde zu definieren (was natürlich mißlingt). Da ein abstraktes Axiomensystem verschiedene Modelle besitzt, deren jedes eine konkrete Interpretation der darin verwendeten und verknüpften sprachlichen (oder sonstigen) Symbole ist, wäre es besser, die Wörter Punkt, Gerade, Ebene durch die Bezeichnungen „Grundgebilde nullter, erster und zweiter Stufe“ zu ersetzen. Manchem Mißverständnis würde dadurch ausgewichen. Die Grundgebilde können ja sehr unterschiedlicher Art sein. So sind als Grundgebilde nullter Stufe in der Euklidischen Geometrie die gewöhnlichen Punkte, im Kleinschen Modell der hyperbolischen Geometrie jedoch nur die Innenpunkte eines Kreises anzusehen. Ja, man faßt bei sphärischen Geometrien die beiden Endpunkte eines Kugeldurchmessers als einen einzigen „Punkt“, soll heißen als ein einziges Grundgebilde nullter Ordnung auf.

Dennoch werden wir weitgehend von den konventionellen Sprachsymbolen Punkt, Gerade, Ebene Gebrauch machen, einfach deshalb, um eine allzu schleppende Ausdrucksweise nach Möglichkeit zu vermeiden. Wir

können ja durch das fallweise Vorsetzen der Buchstaben E. beziehungsweise NE. jederzeit klarstellen, ob ein Begriff im euklidischen oder nichteuklidischen Sinn zu verstehen ist.

Die 20 Axiome der euklidischen Geometrie lauten im einzelnen:

I. Die Axiome der Verknüpfung

- I₁) Zu zwei Punkten gibt es stets eine Gerade, auf der sie liegen.
- I₂) Zu zwei Punkten gibt es nicht mehr als eine Gerade, auf der sie liegen.
- I₃) Auf einer Geraden liegen wenigstens zwei Punkte. Es gibt wenigstens drei Punkte, die nicht auf einer Geraden liegen.
- I₄) Zu irgend drei Punkten, die nicht auf einer Geraden liegen, gibt es stets eine Ebene, in der sie liegen. Auf jeder Ebene liegt stets ein Punkt.
- I₅) Zu irgend drei Punkten, die nicht auf einer Geraden liegen, gibt es nicht mehr als eine Ebene, in der jeder Punkt liegt.
- I₆) Wenn zwei Punkte einer Geraden a in einer Ebene α liegen, so liegt jeder Punkt von a in α .
- I₇) Haben zwei Ebenen einen Punkt A gemeinsam, so haben sie wenigstens noch einen weiteren Punkt gemeinsam.
- I₈) Es gibt wenigstens vier nicht in einer Ebene liegende Punkte.

II. Die Axiome der Anordnung

- II₁) Liegt ein Punkt B zwischen den Punkten A und C , so sind A, B, C drei verschiedene Punkte einer Geraden und B liegt auch zwischen C und A .
- II₂) Zu zwei Punkten A und C gibt es stets wenigstens einen Punkt B der Geraden AC , so daß C zwischen A und B liegt.
- II₃) Unter irgend drei Punkten einer Geraden gibt es nicht mehr als einen, der zwischen den zwei anderen liegt.
- II₄) A, B, C seien drei nicht in einer Geraden liegende Punkte und a eine Gerade in der Ebene ABC , die keinen der drei Punkte trifft. Geht a durch einen Punkt der Strecke AB , so geht sie sicher auch durch einen Punkt der Strecke AC oder durch einen Punkt der Strecke BC .

III. Die Kongruenzaxiome

- III₁) Sind A, B zwei Punkte einer Geraden a , ferner A' ein Punkt auf a oder einer anderen Geraden a' , so kann man auf einer gegebenen Seite der Geraden a oder a' von A' einen Punkt B' finden, so daß die Strecke AB der Strecke $A'B'$ kongruent ist. In Zeichen: $AB \cong A'B'$.
- III₂) Sind zwei Strecken zu einer dritten kongruent, dann sind sie untereinander kongruent.
- III₃) Es seien AB und BC zwei Strecken ohne gemeinsame Punkte auf der Geraden a . $A'B'$ und $B'C'$ seien zwei Strecken von a oder einer anderen Geraden a' , ebenfalls ohne gemeinsame Punkte. Wenn $AB \cong A'B'$ und $BC \cong B'C'$, dann auch $AC \cong A'C'$.
- III₄) Es sei ein Winkel $\sphericalangle(h, k)$ in einer Ebene α und eine Gerade a' in einer Ebene α' sowie eine bestimmte Seite von a' und α' gegeben. Es bedeute h' eine Halbgerade von a' , die von O' ausgeht. Dann gibt es in α' genau eine Halbgerade k' , so daß der Winkel $\sphericalangle(h, k)$ kongruent oder gleich dem Winkel $\sphericalangle(h', k')$ ist und zugleich alle inneren Punkte des Winkels $\sphericalangle(h', k')$ auf der gegebenen Seite von a' liegen: $\sphericalangle(h, k) \cong \sphericalangle(h', k')$. Jeder Winkel ist sich selbst kongruent: $\sphericalangle(h, k) \cong \sphericalangle(h, k)$.
- III₅) Gelten für zwei Dreiecke ABC und $A'B'C'$ die Kongruenzen $AB \cong A'B'$, $AC \cong A'C'$, $\sphericalangle(BAC) \cong \sphericalangle(B'A'C')$, so gilt auch stets $\sphericalangle(ABC) \cong \sphericalangle(A'B'C')$.

IV. Das Parallelenaxiom

IV) Es sei a eine beliebige Gerade und A ein Punkt außerhalb a . Dann gibt es in der durch A und a bestimmten Ebene höchstens eine Gerade, die durch A läuft und a nicht schneidet (Euklidisches Axiom).

V. Die Axiome der Stetigkeit

- V₁) Sind AB und CD zwei beliebige Strecken einer Geraden a , so gibt es stets eine natürliche Zahl n , derart, daß das n -malige Hintereinander-Abtragen der Strecke CD von A aus auf die durch B gehende Halbgerade über den Punkt B hinausführt (Archimedisches Axiom).
- V₂) Das System der Punkte einer Geraden mit seinen Anordnungs- und Kongruenzbeziehungen ist keiner solchen Erweiterung fähig, bei welcher die zwischen den vorigen Elementen bestehenden Beziehungen sowie auch die aus den Axiomen I–III folgenden Grundeigenschaften der linearen Anordnungen und Kongruenz, und V_1 erhalten bleiben (Axiom der linearen Vollständigkeit).

Die Frage, ob ein vorgelegtes Axiomensystem wirklich aus unabhängigen Aussagen besteht, ist in der Weise entscheidbar, daß man systematisch ein Axiom nach dem anderen für sich allein abändert und von Fall zu Fall nach einem Modell sucht, in dem das modifizierte System realisiert ist. Gelingt dies, so ist der axiomatische Charakter der Grundaussagen bewiesen.

Die Untersuchung der Parallelenaussage zog sich über zwei Jahrtausende hin, ehe auf Grund des permanenten Mißlingens ungezählter Beweisversuche der Verdacht Boden gewann, es könnte sich dabei nicht um einen Lehrsatz, sondern um ein Axiom handeln. Bolyai, Lobatschewskij und Gauß waren die ersten, die in dieser Richtung weitreichendere Schlüsse zogen als ihre Vorgänger, obwohl noch keinem ein NE. Modell zur Verfügung stand. Der geistige Mut, welcher zu einem derart radikalen Bruch mit der herkömmlichen Einstellung zu diesem Problem befähigte, ist keineswegs geringer einzuschätzen als die Entschlußkraft, welche das geozentrische System durch das heliozentrische ersetzte. In beiden Fällen war der trügerische Schein ein übermächtiger Verbündeter der falschen Auffassungen. Daß er dennoch unterlag, gehört zu den gewaltigsten Leistungen des menschlichen Geistes, deren Wellenschlag sich bis tief hinein in die Philosophie fortplanzte. Leistungen also, die in ihrer Bedeutung von jedem Gebildeten erfaßt werden müßten und weit höher stehen als der mißtönende Waffenlärm, dem ein so großer Bildungswert für den Unterricht der alten Sprachen und der Geschichte nachgerühmt wird...

Die endgültige Bereinigung der Frage erfolgte 1870 durch Felix Klein, der unter Verwendung der Cayleyschen Maßbestimmung das erste Modell einer NE. Geometrie fand. Die große Schwierigkeit bestand darin, keines der anderen 19 Axiome zu verletzen. Nun war der Bann gebrochen. Binnen weniger Jahrzehnte wurde die axiomatische Durchforschung der Geometrie zu einem allgemeinen Anliegen der Mathematik und zeitigte außerordentlich aufschlußreiche Ergebnisse, von denen nun im einzelnen berichtet werden soll.

A. Im engeren Sinne nichteuklidische Geometrien

I. Die hyperbolische Geometrie

Die Bezeichnung einer Geometrie richtet sich im allgemeinen nach dem signifikantesten Unterscheidungsmerkmal gegenüber der euklidischen Geometrie, welcher die soeben angeführten 20 Axiome zugrunde liegen. Nichteuklidisch ist jede andere Geometrie, aber im engeren Sinne NE. nennt man eine solche, in der die Parallelenaussage eine abweichende Form besitzt.

Das Parallelenaxiom kann auf zwei Arten abgeändert werden:

1. Durch einen Punkt P , der nicht auf der Geraden a liegt, gehen mehr als eine Parallele zu a ;
2. durch einen Punkt P , der nicht auf der Geraden a liegt, geht keine Parallele zu a .

Als parallel gelten zwei Grundgebilde erster Stufe, wenn sie kein gemeinsames Grundgebilde nullter Stufe besitzen.

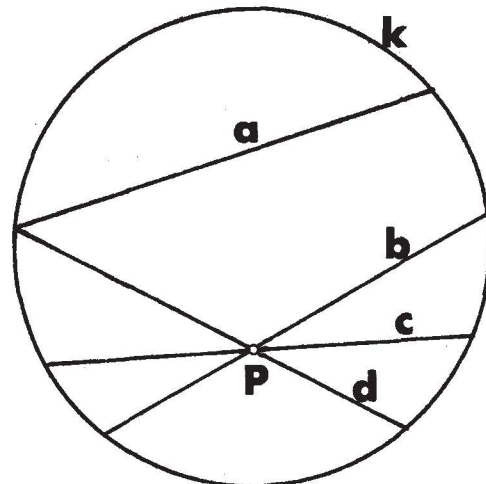


Abb.1

Es zeigte sich, daß nur die Abänderung 1 mit den übrigen 19 Axiomen verträglich ist, während die Modifikation 2 auch gewisse weitere Axiome außer Kraft setzt. Aus Gründen, die etwas später dargelegt werden, spricht man im ersten Falle von einer hyperbolischen, im zweiten von einer elliptischen Geometrie. Die E. Geometrie liegt als Grenzfall zwischen den beiden und erhält deswegen das Attribut parabolisch.

Um die Berechtigung dieser Bezeichnungsweise einzusehen, muß zunächst das Kleinsche Modell der hyperbolischen Geometrie erläutert und danach seine Verallgemeinerung diskutiert werden.

a) Das Kleinsche Modell

Grundgebilde nullter Stufe sind die im Inneren eines Kreises k gelegenen Punkte der Kreisebene, nicht aber die Rand- und Außenpunkte (Abb. 1).

Grundgebilde erster Stufe sind die Sehnen von k .

Das Grundgebilde zweiter Stufe ist die von k berandete ebene Fläche.

Wie man sieht, lassen sich durch P unendlich viele Sehnen ziehen, welche a nicht schneiden, das heißt zu a NE. parallel sind, etwa die Sehnen b , c , d usw.

Abb. 1 wird natürlich erst dann zu einem Modell der hyperbolischen Geometrie, wenn auch die Begriffe Abstand, Winkel, Kongruenz so definiert sind, daß sie in der eingangs gegebenen Zusammenstellung sämtliche Axiome mit Ausnahme von IV erfüllen.

NE. Abstand zweier Punkte A , B (Abb. 2). Man legt durch A , B eine Sehne mit den Endpunkten U , V . Als

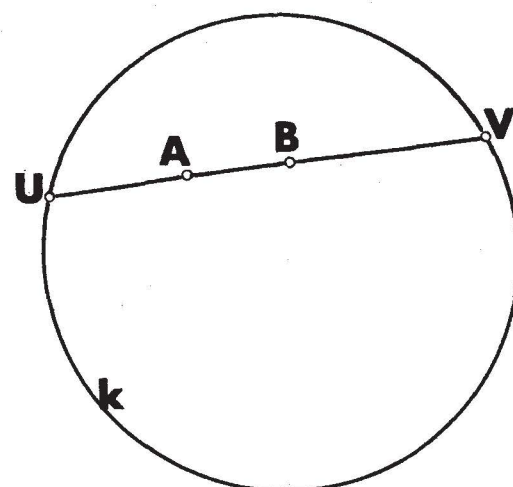


Abb.2

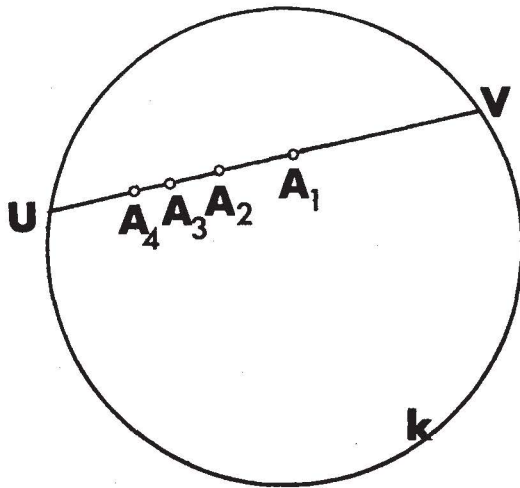


Abb.3

NE. Abstand \underline{AB} wird der halbe Logarithmus des Doppelverhältnisses der vier Punkte A, B, U, V eingeführt. Wir wollen NE. Abstände, Winkel usw. im Augenblick durch Unterstrichen symbolisieren.

$$\begin{aligned} \underline{AB} &= \frac{1}{2} \cdot \ln D_V(UVAB) = \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{UA}{VA} \cdot \frac{VB}{UB} \right) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot (\ln UA - \ln VA - \ln UB + \ln VB). \end{aligned} \quad (1)$$

Zwei Strecken gelten als NE. kongruent, wenn die NE. Abstände ihrer Endpunkte (das sind ihre NE. Längen) bis auf das Vorzeichen übereinstimmen. Positive Strecken haben die von V nach U weisende Orientierung (Abb. 2).

Ist C ein dritter Punkt auf UV, dann folgt aus den logarithmischen Rechenregeln,

$$\underline{AB} + \underline{BC} = \underline{AC},$$

denn

$$\frac{1}{2} \ln \frac{UA}{VA} \cdot \frac{VB}{UB} + \frac{1}{2} \ln \frac{UB}{VB} \cdot \frac{VC}{UC} = \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{UA}{VA} \cdot \frac{VC}{UC}.$$

Auf Grund dieser wichtigen Beziehung hat die NE. Gerade UV die NE. Länge ∞ . U, V spielen die Rolle von Fernpunkten, die unerreichbar bleiben, weil die NE. Schrittweite in E. Sicht um so mehr schrumpft, je näher man an den Randkreis herankommt.

Davon überzeugt man sich durch Berechnung der NE. Länge eines geradlinigen Streckenzuges $A_1A_2A_3 \dots A_n \dots$.

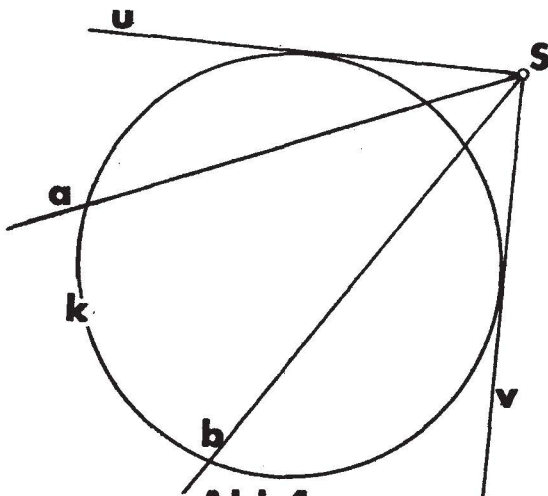


Abb.4

dessen Teilstreckenendpunkte zusammen mit U, V alle dasselbe Doppelverhältnis besitzen. Die Folge $\{A_n\}$ häuft sich gegen den Randkreis und liefert eine unbeschränkte Anzahl gleichgroßer Summanden (Abb. 3).

NE. Winkelmessung. Die NE. Winkelmessung ergibt sich unmittelbar mit Hilfe des Dualitätsprinzips aus der Längenmessung. Eine Strecke ist die geradlinige Verbindung zweier Punkte, ein Winkel ist definiert durch zwei Halbgerade a, b, die vom gemeinsamen Schnittpunkt S ausgehen (Abb. 4). Vom Scheitel S werden die beiden Tangenten u, v an den Randkreis k gezogen. In der Abbildung liegt S außerhalb k, damit u, v reell ausfallen und eine zeichnerische Wiedergabe erlauben.

Natürlich besitzen auch die Innenpunkte von k Tangenten, wenn komplexe Konstruktionselemente zugelassen werden. Das stört nicht im geringsten den Gang der Überlegungen, weil dieses (bloß rechnerische) Zwischenstadium ohne Einfluß auf den reellen Charakter der Maßzahl des Winkels bleibt.

u, v, a, b haben als Elemente eines Strahlenbüschels in diesem ein Sinusdoppelverhältnis $D_V(u, v, a, b)$, das sich in bekannter Weise als Quotient der Sinusteilverhältnisse ergibt:

$$D_V(u, v, a, b) = \frac{\sin(u, a)}{\sin(v, a)} : \frac{\sin(u, b)}{\sin(v, b)}.$$

Als Meßwert eines Winkels gilt der mit einer geeigneten Konstanten k multiplizierte Logarithmus des Doppelverhältnisses der vier Strahlen

$$k \cdot \ln D_V(u, v, a, b).$$

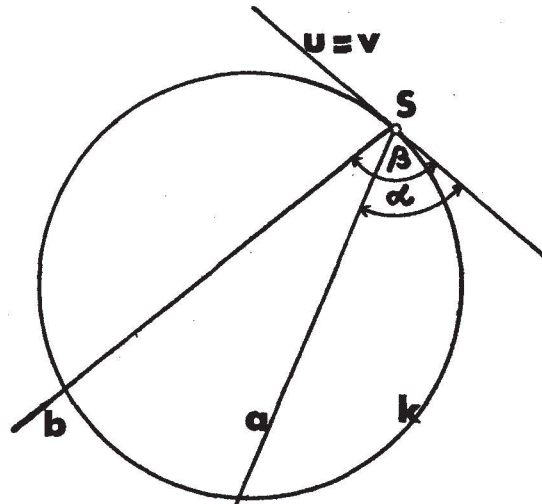


Abb.5

k wird so gewählt, daß der E. und der NE. Wert eines Winkels übereinstimmen, wenn dessen Scheitel im Mittelpunkt 0 des Randkreises liegt.

Winkel, deren Scheitel S auf dem Randkreis k liegen, haben den NE. Wert Null, denn u und v fallen zusammen und das Doppelverhältnis wird 1 (Abb. 5),

$$D_V = \frac{\sin \alpha}{\sin(\pi - \alpha)} : \frac{\sin \beta}{\sin(\pi - \beta)} = 1,$$

sein Logarithmus Null. Da Gerade, die einander erst auf dem Randkreis treffen, NE. parallel sind, steht das letzte Ergebnis auch in Einklang mit den Erwartungen, die an das Modell geknüpft werden.

Die Kongruenz zweier Winkel läßt sich aber auch noch anders formulieren. Die Kollineationen der Ebene des Randkreises, welche ihn in sich überführen, heißen automorphe Kollineationen des Randkreises in sich. Zwei Winkel α, β sind genau dann NE. kongruent, wenn sie durch einen solchen Automorphismus ineinander überführt werden können.

Das Dreieck in der hyperbolischen Geometrie. Im Anschluß an das zuletzt Gesagte kann eingesehen werden, daß die NE. Winkelsumme des Dreiecks in der hyperbolischen Geometrie sicher kleiner als π ist. Denn ein Dreieck, dessen Ecken auf k liegen, besitzt drei Nullwinkel und damit die Winkelsumme Null. Vergleicht man ferner zwei NE. gleiche Winkel, von denen der eine den Scheitel in O hat, so zeigt sich, daß der E. Wert des letzteren stets der größere ist. Daraus folgt die Behauptung.

Eine weitere Folge der NE. Winkelmessung ist das Fehlen der Ähnlichkeitslehre. Stimmen nämlich zwei Dreiecke paarweise in ihren Winkeln überein, dann sind sie in der hyperbolischen Geometrie sogar kongruent, das heißt, es gibt keine ähnlichen Figuren. Statt dessen existiert ein fünfter Kongruenzsatz, der die Winkelgleichheit betrifft.

Mit der Winkelmessung ist auch die Flächenmessung eng verbunden: Der NE. Inhalt eines Dreiecks ist gleich seinem sphärischen Defekt $\delta = \pi - (\alpha + \beta + \gamma)$. (Als Randkreis wird der Einheitskreis genommen.) Der sphärische Defekt ist die Differenz von π und der Winkelsumme des Dreiecks. Der größtmögliche Flächeninhalt eines Dreiecks ist π . Er tritt nur bei Dreiecken mit der Winkelsumme Null auf, also bei Dreiecken, deren drei Ecken dem Randkreis angehören. Interessanterweise sind die Seiten eines solchen Dreiecks unendlich lang, obwohl der Flächeninhalt endlich ist.

Man darf nun nicht glauben, daß alle Figuren endlichen Flächeninhalt besitzen. Wird dem Randkreis ein $(n+2)$ -Eck eingeschrieben, so kann es von einer seiner Ecken aus durch $n-1$ Diagonalen in n Dreiecke zerlegt werden, deren jedes den Inhalt π hat. Daher ist der Inhalt dieses $(n+2)$ -Ecks $n \cdot \pi$ und wächst mit n über alle Grenzen.

Die hyperbolische Geometrie zeichnet sich noch durch einen bemerkenswerten Umstand aus, dessen Erwähnung nicht unterbleiben darf.

Während in der E. Geometrie das Streckenmaß nicht axiomatisch normierbar ist, ist dies für das Winkelmaß durchaus der Fall. Die Größe des rechten Winkels kann ohne Hinweis auf ein in der Natur vorkommendes Prototyp mit Hilfe der Grundaussagen des Systems festgestellt und ohne Bezugnahme auf die gegenständliche Wirklichkeit mitgeteilt werden. Für die Längenmessung besteht diese Möglichkeit nicht. Die Längeneinheit muß durch ein reales Objekt definiert sein und wird durch den Vergleich mit demselben aufgewiesen.

In der hyperbolischen Geometrie läßt sich auch die Längeneinheit rein axiomatisch erklären. Zwischen den Katheten a eines gleichschenkeligen rechtwinkligen Dreiecks der hyperbolischen Geometrie und einem seiner zwei (gleich großen) spitzen Winkel α — die aber NE.

kleiner als $\frac{\pi}{4}$ sind — besteht nämlich die Beziehung

$$\text{ch } a = \cot \alpha.$$

Damit ist die Längenmessung axiomatisch an die Winkelmessung gekoppelt und wie diese in der inneren Struktur des Systems verankert.

b) Das Poincarésche Modell

Grundgebilde nullter Stufe sind die Punkte von H , das ist eine der beiden Halbebenen, in welche die Zeichenebene g durch die Gerade g zerlegt wird (Abb. 6).

Grundgebilde erster Stufe sind die in H liegenden zu g orthogonalen E. Halbkreise. Ihre Mittelpunkte liegen auf g . Zu ihnen zählen auch die zu g senkrechten E. Halbgeraden von H .

Das Grundgebilde zweiter Stufe ist die Halbebene H .

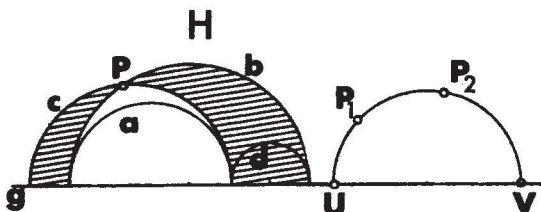


Abb. 6

Aus der Figur ist unmittelbar ersichtlich, daß durch P unendlich viele zu a parallele NE. Gerade gehen. Das sind sämtliche innerhalb des schraffierten Gebietes verlaufenden Orthogonalhalbkreise.

Um den Abstand zweier Punkte $P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2)$ zu erklären, wird jedem Punkt $P(x, y)$ von H die komplexe Zahl $z = x + iy$ zugeordnet. P_1, P_2 sind also die Bildpunkte von $z_1 = x_1 + iy_1, z_2 = x_2 + iy_2$. Der Orthogonalkreis durch P_1, P_2 schneidet g in U, V . (Die Zahlen z_u, z_v , deren Bilder U, V sind, sind daher reell.) Die NE. Distanz $P_1 P_2 = l$ ist der Logarithmus des Doppelverhältnisses der vier komplexen Zahlen z_u, z_v, z_1, z_2 , also

$$l = \ln \left(\frac{z_1 - z_u}{z_1 - z_v} : \frac{z_2 - z_u}{z_2 - z_v} \right).$$

Bekanntlich besitzen vier komplexe Zahlen, deren Bilder ein Sehnenviereck bilden, positiv reelles Doppelverhältnis. Dies trifft für z_1, z_2, z_u, z_v zu, also ist l reell. Wieder stellen die Rechenregeln für Logarithmen die Gültigkeit der Kongruenzaxiomesicher. Zwei NE. Strecken sind NE. kongruent, wenn die Logarithmen ihrer Doppelverhältnisse bis aufs Vorzeichen übereinstimmen.

Die Winkelmessung unterscheidet sich nicht von der euklidischen. Trotzdem ist die Winkelsumme im Dreieck kleiner als π , weil es sich — E. gesehen — um Kreisbogendreiecke handelt. Drei Orthogonalkreise, von denen jeder die zwei anderen in Punkten von g berührt, wie dies bei a, b, d in Abb. 6 der Fall ist, haben beispielsweise die Winkelsumme Null.

Als parallel gelten zwei Orthogonalhalbkreise, die einander berühren, als überparallel solche, die in H disjunkt liegen. Dieselbe Unterscheidung trifft man im Kleinschen Modell, wo Sehnen, die einander in einem Punkt des Randkreises treffen, als parallel, punktfremde Sehnen jedoch als überparallel gelten.

Die Gültigkeit der einzelnen von IV verschiedenen Axiome läßt sich nunmehr ohne Schwierigkeit nachweisen.

Unwillkürlich erhebt sich die Frage, wie wohl Poincaré auf die geschilderte Konstruktion verfallen sein mag. Der Verfasser dieses Aufsatzes weiß zwar nicht, ob sich die nachstehend aufgezeigte Möglichkeit mit den Poincaréschen Ideenassoziationen tatsächlich deckt. Da aber Poincaré auch in der Mechanik hervorragend Bescheid wußte (angesichts der Universalität seines Geistes eine ungemein bescheidene Formulierung!), könnte er durch folgendes Variationsproblem inspiriert worden sein.

Die Gerade g sei eine Küste, welche die See H vom Festland scheidet. Das Meer enthalte jedoch kein Wasser, sondern eine Flüssigkeit, deren Viskosität mit der Entfernung vom Ufer abnimmt, und zwar so, daß die Geschwindigkeit eines Schwimmers dieselbe Maßzahl hat wie sein Abstand vom Ufer, in das wir die X-Achse eines Koordinatensystems verlegen:

$$v = y.$$

(Das Beispiel ist natürlich physikalisch unrealisierbar, weil mit y auch v über alle Grenzen wachsen müßte.) Längs welcher Bahnen gelangt der Schwimmer am schnellsten von P_1 nach P_2 , und wie groß ist die benötigte Minimalzeit?

Wegen

$$v = y = \frac{ds}{dt} \text{ und } ds = dx \cdot \sqrt{1 + y'^2}$$

ist die Laufzeit

$$t = \int_{P_1}^{P_2} \frac{ds}{v} = \int_{P_1}^{P_2} \frac{\sqrt{1 + y'^2}}{y} \cdot dx.$$

Die Forderung $t \rightarrow \text{Min}$ führt auf ein Problem der Variationsrechnung, dessen Lösung keinerlei Schwierigkeiten bereitet. Als Extremalen des Problems ergeben sich die Orthogonalkreise von g , und der Logarithmus des oben eingeführten Doppelverhältnisses ist die gesuchte Minimalzeit, in welcher der Schwimmer von P_1 aus P_2 erreicht. Angesichts dieser Minimaleigenschaften liegt die Bezeichnung der im obigen Sinne kürzesten Verbindungslinien zweier Punkte von H als NE. „Gerade“ auf der Hand und bereitet so den nächsten Schritt, nämlich den Aufbau einer NE. Geometrie mit Hilfe dieser Konstruktionselemente den Weg. Freilich, es ist die typi-

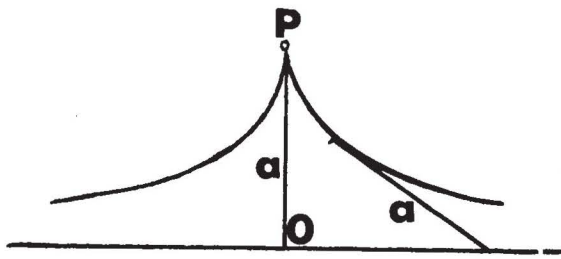


Abb.7

sche Eigenart des Genies, derartige Evidenzen zu erfassen, an denen die anderen, auch wenn sie den kritischen Stoff ein Leben lang manipulieren, blind vorbeigehen. Das faktische Relationsgefüge ist ein unabsehbares Vexierbild, das nur der begnadete Blick der Großen lokal aufheilt.

c) Die Pseudosphäre als NE. Modell

In Abb. 7 ist P der Ort eines Massenpunktes, der an einem gewichtlosen Faden OP befestigt ist. OP steht senkrecht zur X-Achse. Ergreift man das Fadenende O und verschiebt es entlang der X-Achse nach rechts oder links, so beschreibt der nachgezogene Massenpunkt die in der Figur dargestellte Schleppkurve oder Traktrix. Ihre Parameterdarstellung lautet

$$x = a \cdot \left(\ln \operatorname{tg} \frac{t}{2} + \cos t \right)$$

$$y = a \cdot \sin t.$$

Die Traktrix erhält man übrigens auch als orthogonale Trajektorie einer Schar kongruenter Kreise, deren Mittelpunkte auf einer Geraden liegen. Diese Gerade ist die Asymptote der Traktrix.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß die Traktrix jene Evolvente einer Kettenlinie ist, deren Spitze im Scheitel der Kettenlinie liegt.

Rotiert die Traktrix um ihre Asymptote, so entsteht eine Drehfläche, die den Namen Pseudosphäre erhielt, weil sie wie die Kugel konstantes Gaußsches Krümmungsmaß besitzt. Allerdings fällt es negativ aus, im Gegensatz zur Kugel, bei der es positiv ist. (Eine Kugel vom Radius $r=a$ hat das Gaußsche Krümmungsmaß $K = \frac{1}{R_1 R_2} = \frac{1}{a^2}$, weil sämtliche ebenen Normalschnitte die Kugelfläche längs größter Kreise treffen, deren Krümmung $\frac{1}{a}$ ist.) Damit das Krümmungsmaß einer Kugel negativ wird, muß ihr Radius imaginär sein:

$$r = i \cdot a, K = \frac{1}{i^2 a^2} = -\frac{1}{a^2}.$$

Auf der Pseudosphäre gilt eine hyperbolische Geometrie, wenn als Grundgebilde nullter und erster Stufe die Punkte und geodätischen Linien der Fläche angesehen werden. Winkel- und Abstandsmessungen unterscheiden sich nicht von den in der E. Geometrie üblichen Verfahren. Selbstredend wird der Abstand zwischen zwei Punkten längs der geodätischen Verbindungslinie gemessen. Interessanterweise hat sich schon Gauß eingehend mit der Geometrie auf den Kugeln mit imaginärem Radius befaßt.

II. Elliptische Geometrien

Welcher Art ist eigentlich die sphärische Geometrie, das heißt die Geometrie auf der reellen Kugelfläche, wenn Grundgebilde, Distanzen und Winkel ebenso wie auf der Pseudosphäre definiert sind, wenn also die Großkreise als NE. Geraden fungieren?

Man erkennt auf den ersten Blick mehrere bedeutsame Abweichungen von den E. Axiomen:

1. Zwei „Gerade“ besitzen unter allen Umständen zwei Schnittpunkte, man denke etwa an zwei Meridiane.
2. Es existieren daher keine parallelen Geraden.

3. Durch zwei Punkte ist zwar im allgemeinen eine Gerade eindeutig bestimmt, sind die Punkte jedoch Endpunkte eines Kugeldurchmessers, dann laufen unendlich viele verschiedene Gerade hindurch.
4. Von drei verschiedenen Punkten einer Geraden liegt jeder zwischen den beiden anderen, weil der Kreis eine geschlossenen Linie ist.

Wie oben bemerkt, impliziert der zweite Abänderungsmodus des Parallelenaxioms die Aufhebung weiterer Axiome. Man könnte zwar die Situation dadurch mildern, daß man als Grundgebilde nullter Stufe die Punktepaare definiert, welche die einzelnen Kugeldurchmesser beenden. Aber selbst dann ist der Zwischenbegriff nicht zu retten.

Um zu den tieferen Einblicken in die Zusammenhänge zu gelangen, welche eingangs angekündigt wurden, ist es notwendig, auf die Cayleysche Maßbestimmung zurückzugreifen.

Gegeben sei an Stelle des Randkreises beim Kleinschen Modell eine beliebige Kurve zweiten Grades oder, wie wir kürzer sagen wollen, eine C_2 mit der impliziten Gleichung

$$f(x, x) = \sum_{i, k=0}^2 a_{ik} x_i x_k = 0. \quad (1)$$

(x_0, x_1, x_2 sind homogene Koordinaten, denen wegen bequemerer Notation hier der Vorzug zu geben ist. Die Substitution $x_0=1$ führt jederzeit wieder zur gewohnten Schreibweise zurück.)

Behält man die Abstands- und Winkeldefinitionen des Kleinschen Modells sinngemäß bei, so enthalten diese die angekündigten Verallgemeinerungen. Für den NE-Abstand der Punkte $P(x_0, x_1, x_2), Q(y_0, y_1, y_2)$, also dem mit einer geeigneten Konstanten multiplizierten Logarithmus des $D_V(U, V, P, Q)$ (U, V sind die Punkte, in denen die Verbindungslinie von P mit Q die C_2 trifft), kann nun ein analytischer Ausdruck angegeben werden

$$\underline{PQ} = k \cdot \ln \frac{f(x, y) + \sqrt{f^2(x, y) - f(x, x) \cdot f(y, y)}}{f(x, y) - \sqrt{f^2(x, y) - f(x, x) \cdot f(y, y)}}. \quad (2)$$

$f(x, y) = \sum_{i, k=0}^2 a_{ik} x_i y_k$ ist die Polarform von $f(x, x)$. Die Wahl von k erfolgt so, daß \underline{PQ} positiv reell ausfällt.

Die Art der auf diese Weise konstruierten Geometrie hängt von der C_2 ab. Ist der C_2 -Kegelschnitt reell und nicht zerfallend, dann erhält man eine hyperbolische Geometrie, wie sie in I. geschildert wurde, wo die Rand- C_2 ein Kreis war. Ist die C_2 aber ein nicht zerfallender nullteiler Kegelschnitt (das ist eine C_2 ohne reelle Punkte wie $x_1^2 + x_2^2 = -x_0^2$ oder, inhomogen geschrieben, $x_1^2 + x_2^2 = -1$), dann erhält man eine elliptische Geometrie.

Bei der einfachsten Wahl des Randkegelschnittes, die wegen des projektiven Gesichtspunktes keine Einschränkung der Allgemeinheit bedeutet, läßt sich der hyperbolische und der elliptische Fall durch einen einzigen Ausdruck für die C_2 darstellen:

$$a \cdot (x_1^2 + x_2^2) = x_0^2 \begin{cases} a < 0 \dots \text{elliptische Geometrie} \\ a > 0 \dots \text{hyperbolische Geometrie.} \end{cases}$$

In die letzte Formel ist sogar die E. Geometrie eingeschlossen, und zwar als der Grenzfall mit $a=0$. Allerdings bedarf dann, die Abstandsbestimmung noch einer Modifikation: Der konstante Faktor k in Glg (2) muß durch $\frac{c}{\sqrt{a}}$

ersetzt werden, ehe der Grenzübergang $a \rightarrow 0$ erfolgt. Würde dies unterbleiben, so versagte (2). Die Stellung der E. Geometrie zwischen der hyperbolischen und der elliptischen rechtfertigt den Gebrauch des Synonyms „parabolisch“ an Stelle von euklidisch bei der Kennzeichnung der Geometrie.

In der elliptischen Geometrie ist die Winkelsumme im Dreieck größer als π , die Geraden sind geschlossen und besitzen eine endliche Länge. Die elliptische Ebene hat endlichen Inhalt und ist ein einseitiges geometrisches Gebilde. Das heißt, die beiden Umlaufsinne, die man einer Drehung um einen Punkt beilegen kann, sind nur

lokal unterscheidbar. Durch stetige Verschiebung des rotierenden Systems entlang bestimmter geschlossener Wege in der elliptischen Ebene läßt sich erreichen, daß es, zum Ausgangspunkt zurückgekehrt, entgegengesetzt rotiert als vor der Verschiebung. Auch in der elliptischen Geometrie existiert keine Ähnlichkeitslehre. Die elliptische Geometrie ist jedoch sehr wohl von der sphärischen Geometrie auf der Oberfläche einer reellen Kugel zu unterscheiden.

Genau genommen, sind sphärische und elliptische Geometrie NE. Im weiteren Sinne, weil außer dem Parallelenaxiom noch andere Axiome aufgehoben sind. Der enge Zusammenhang mit Kurven und Flächen zweiten Grades läßt jedoch diesen Umstand in den Hintergrund treten.

B. Im weiteren Sinne nichteuklidische Geometrien

I. Die nichtarchimedische Geometrie

Die bisherigen Ausführungen betrafen NE. Geometrien, bei denen die Modifikationen des Parallelenaxioms im Brennpunkt des Interesses standen. Nun wollen wir darangehen, auch an anderen Axiomen zu rütteln, und zusehen, welche Wandlungen in den geltenden geometrischen Sätzen sich dabei vollziehen.

Als erste werde die Axiomengruppe V untersucht.

Die Unabhängigkeit des Vollständigkeitsaxioms V_1 ist leicht einzusehen. Man kann nämlich ohne Schwierigkeit ein Modell finden, in dem I–IV, V_1 , nicht aber V_2 gilt.

Bezieht man die Punkte $P(x, y)$ und die Geraden $ax + by + c = 0$ auf ein Kartesisches Koordinatensystem und entnimmt x, y, a, b, c dem Bereich der reellen Zahlen, so erfüllt dieses System alle Axiome I–V. (Wir wollen in Hinkunft die Gesamtheit der 20 euklidischen Axiome mit E_{20} abkürzen.)

Ganz anders, wenn die nachstehend definierte Teilmenge Q den reellen Zahlen zu Grunde gelegt wird. Die analytische Geometrie über dem Bereich Q erfüllt E_{20} mit Ausnahme des letzten Axioms V_2 , des Vollständigkeitsaxioms. Vor der Begründung dieser Behauptung die Definition von Q :

Q ist jene reelle Zahlenmenge, deren Elemente aus der Zahl 1 durch die Operationen

- Addieren,
- Subtrahieren,
- Multiplizieren,
- Dividieren (außer durch 0),
- Bildung von $\sqrt{r^2 + s^2}$

hervorgehen. (r und s sind Zahlen, welche bereits auf diese Weise berechnet sind.)

Die Gültigkeit von I– V_1 liegt auf der Hand. V_2 ist jedoch nicht mehr erfüllt. Wie aus der Theorie der algebraischen Zahlkörper bekannt ist, enthält Q nicht alle reellen Zahlen. Es fehlen beispielsweise sämtliche transzendenten Zahlen, die kubischen Irrationalitäten usw., wenn die erlaubten 5 Operationen nur in endlich vielen Schritten ausgeführt werden dürfen.

Die analytische Geometrie über Q ist daher nicht abgeschlossen. Wegen der simultanen Gültigkeit von I– V_1 muß daher V_2 — wie behauptet — von den übrigen Axiomen unabhängig sein.

Interessanter ist die Aufhebung von V_1 . Das geschieht in der Weise, daß die oben erwähnten Größen x, y, a, b, c nicht dem reellen Zahlbereich entnommen werden, vielmehr einem nichtarchimedischen Zahlensystem angehören, wie es in Nr. 5 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“, S. 4 ff. beschrieben wurde.

Nichtarchimedische Zahlen gestatten zwar eine Anordnung der Größe nach (sehr im Gegensatz etwa zu den komplexen Zahlen), enthalten auch eine mit den reellen Zahlen isomorphe Teilmenge, erlauben jedoch nicht immer die Lösung der Ungleichung

$$\alpha < n \cdot \beta,$$

in der n eine natürliche Zahl, $\alpha > \beta$ beliebige Elemente des Systems sind. Mit anderen Worten, es ist unter Umständen unmöglich, die kleinere von zwei Zahlen durch Multiplikation mit einer beliebig großen natürlichen Zahl auf einen Wert anwachsen zu lassen, der die ursprünglich größere Zahl übertrifft. Ins Geometrische übersetzt, bedeutet das folgendes:

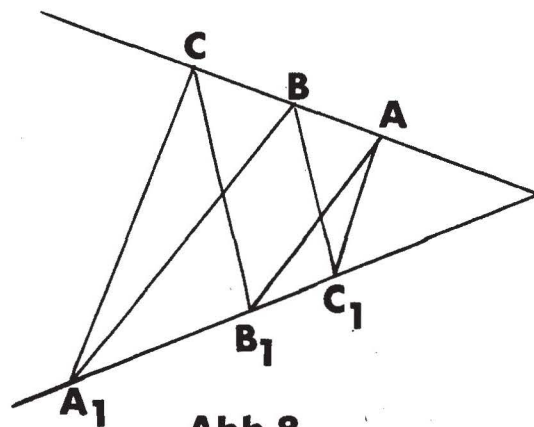


Abb. 8

Trägt man von einem Punkt A einer Geraden nach derselben Seite hin zwei verschiedene Strecken mit den (nichtarchimedischen) Längen $\alpha > \beta$ auf, so ist es unter Umständen unmöglich, durch sukzessives Hintereinander-Auffragen von β die größere Strecke α schließlich doch zu überdecken.

Die analytische Geometrie mit nichtarchimedischen Koordinaten bildet somit ein Modell, in dem von E_{20} allein V_1 aufgehoben ist, woraus die Unabhängigkeit dieses Axioms hervorgeht.

Ehe wir darangehen, darzulegen, wie auf recht elementare Weise die Existenz und anschauliche Deutung eines nichtarchimedischen Systems möglich ist, muß ein sehr wichtiger Zusammenhang zwischen V_1 und dem Pascalschen Satz (in seiner einfachsten Fassung) aufgezeigt werden. Der Satz lautet (Abb. 8):

Wenn von den 6 Strecken der Abb. 8 sowohl CB_1 parallel zu C_1B als auch CA_1 parallel zu C_1A ist, dann sind auch stets die Strecken BA_1 und B_1A parallel.

Die axiomatische Bedeutung des Pascalschen Satzes besteht unter anderem in der Möglichkeit, mit seiner Hilfe die Gesetze für die Multiplikation von Strecken herzuleiten und darauf die Lehre von den Proportionen zu gründen.

Was den Beweis des Pascalschen Satzes selbst betrifft, so zeigt sich die Unentbehrlichkeit von V_1 . Jede nichtarchimedische Geometrie ist somit auch stets eine nichtpascalische! Interessanterweise kann beim Beweis des Pascalschen Satzes auf die Kongruenzaxiome verzichtet werden.

Nun die angekündigte Konstruktion eines Ausschnittes aus einem nichtarchimedischen Zahlensystem, der sich überdies auf die Addition beschränken möge. (Die vollständige Konstruktion wurde bereits in Nr. 5 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“ durchgeführt. Jetzt soll der Akzent auf der Veranschaulichung liegen.)

Wir betrachten die Funktionen $y = (\log x)^n$, $y = x^n$ mit beliebigen positiven reellen Zahlen n als Exponenten. Strebt x gegen $+\infty$, so tun dies auch die Werte y der betrachteten Funktionen. Das Wachstum von y ist um so stürmischer, je größer n ist. Das äußert sich in dem Umstand, daß für genügend große x eine Kurve $y = (\log x)^n$ höher verläuft als $y = (\log x)^m$, wenn $n > m$. Dasselbe gilt für $y = x^n$ und $y = x^m$ (Abb. 9a und 9b). (Der einfacheren Darstellung halber wurde als Basis der Logarithmen 2 gewählt, ohne sie dem Logarithmenzeichen beizufügen.) Zwischen x^n und $(\log x)^m$ besteht jedoch ein wesentlicher Unterschied. Mag der positive Exponent n in x^n noch so klein, der positive Exponent m in $(\log x)^m$ noch so groß ausfallen, von einem bestimmten x an, das gegebenenfalls äußerst groß ausfallen kann, wird trotzdem x^n dauernd $(\log x)^m$ übertreffen. Man sagt: Jede positive Potenz von x wird stärker unendlich als jede positive Potenz von $\log x$. Abb. 9c zeigt $y = x^{1/2}$ und $y = (\log x)^2$. Zuerst läßt die Bildkurve des Logarithmus die der Potenzfunktion weit unter sich. Allmählich flacht jedoch die erstere ab und wird bei $x = 2^{16} = 65\,536$ von $x^{1/2}$ eingeholt und bleibt weiterhin in der tieferen Lage.

Es ist daher sinnvoll, den Exponenten n als Ordnung des Unendlichwerdens anzusehen, wobei allerdings der Hinweis, ob sich die Ordnung auf Potenzen von x oder $\log x$ bezieht, nicht fehlen darf. Das geschieht am klarsten

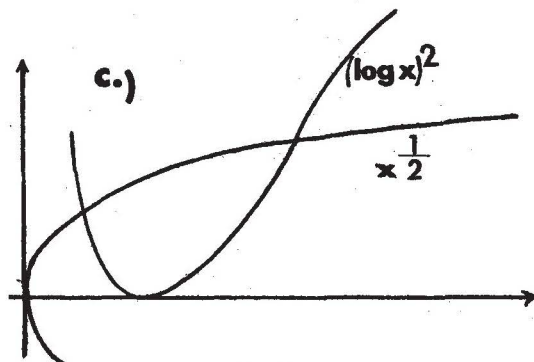
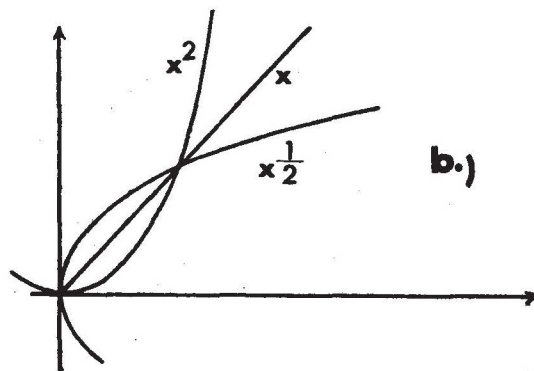
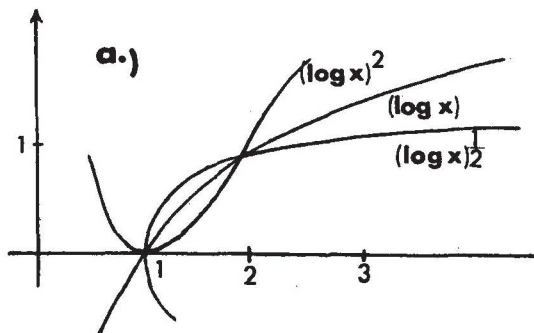


Abb.9

mit Hilfe eines geordneten Zahlenpaares (n, m) . Und zwar bedeutet (n, m) die Ordnung des Unendlichwerdens der Funktion

$$y = x^n \cdot (\log x)^m.$$

Danach haben die Funktionen

$$\sqrt[3]{x^2}, x, x^3 \cdot \sqrt{x}, x^{10}, \sqrt{\log x}, (\log x)^2, (\log x)^x, x \cdot \log x$$

der Reihe nach die Ordnungen

$$\left(\frac{2}{3}, 0\right), (1, 0), \left(\frac{7}{2}, 0\right), (10, 0), \left(0, \frac{1}{2}\right), (0, 2), (0, x), (1, 1).$$

Diese Zahlenpaare sind interpretierbar als Symbole eines nichtarchimedischen Zahlensystems. Denn:

a) Die Paare gestatten eine Anordnung der Größe nach. Und zwar soll sinngemäß gelten $\alpha=(n, m)$ größer als $\beta=(r, s)$, wenn die Funktion $x^n \cdot (\log x)^m$ stärker unendlich wird als $x^r \cdot (\log x)^s$. Dies tritt stets dann ein, wenn $n > r$ oder $n=r, m > s$.

b) Das Rechnen mit den Zahlenpaaren ergibt sich in den einfachsten Fällen aus den Potenzregeln. Die Ordnungen werden addiert, subtrahiert, multipliziert, dividiert, wenn man die Funktionen multipliziert, dividiert, potenziert, radiziert. Die nachstehenden einfachsten Beispiele illustrieren den Vorgang.

$$y_1 = x^2 \dots (2, 0); y_2 = x \cdot \log x \dots (1, 1); y = y_1 \cdot y_2 = x^3 \cdot \log x \dots (2, 0) + (1, 1) = (3, 1).$$

$$y_1 = \sqrt{x} \cdot (\log x)^2 \dots \left(\frac{1}{2}, 2\right); y = y_1^4 = x^2 \cdot (\log x)^8 \dots$$

$$4 \cdot \left(\frac{1}{2}, 2\right) = (4, 0) \cdot \left(\frac{1}{2}, 2\right) = (2, 8).$$

Um den nichtarchimedischen Charakter der Ordnungssymbole zu erkennen, betrachten wir die Ordnungen

$$\alpha=(0, 1), \beta=(1, 0) \text{ der Funktionen } \log x \text{ bzw. } x.$$

$n \cdot \alpha = n \cdot (0, 1)$ ist die Ordnung von $(\log x)^n$. Da, wie oben gesagt, die Funktion x stärker unendlich wird als $(\log x)^n$ mit beliebig großem n , ist immer $(0, n) < (1, 0)$. Es ist daher unmöglich, eine positive ganze Zahl n anzugeben, für welche die Ungleichung

$$n \cdot \alpha > \beta$$

erfüllt ist. Das System der Ordnungen von $x^n \cdot (\log x)^m$ ist nichtarchimedisch. (Man beachte, daß lediglich eine sehr oberflächliche Skizze des wesentlich komplexeren Sachverhaltes gegeben wurde, bei der es auf die sinnfällige Veranschaulichung ankam.)

II. Die nichtdesarguessche Geometrie

Unter den 20 Axiomen betreffen nur I_1, \dots, I_8 den Raum, sie heißen räumliche, im Gegensatz zu den ebenen und linearen Axiomen. Diese Unterscheidung wird bedeutungsvoll bei der prinzipiell wichtigen Frage, ob jede ebene Geometrie Teil einer räumlichen sein kann, einer Frage, die einen Sonderfall des Einbettungsproblems in Mannigfaltigkeiten höherer Dimension darstellt.

Der mit den Tücken der Anschauungshalluzinationen wenig Vertraute wäre wohl geneigt, ohne Bedenken eine bejahende Antwort zu geben. Und doch ist dem nicht so!

Zu dieser Einsicht verhilft der Satz von Desargues: Liegen zwei Dreiecke in derselben Ebene, und sind je zwei entsprechende Seiten parallel, so gehen die Verbindungslinien entsprechender Eckpunkte durch denselben Punkt oder sie sind parallel. (Abb. 10.)

Mit dem Desarguesschen Satz gilt auch immer seine Umkehrung.

Der Satz ist eine Aussage der ebenen Geometrie, zu dessen Beweis allerdings auch die räumlichen Axiome herangezogen werden müssen. Es war nur zu natürlich, daß man diesen Schönheitsfehler zu beseitigen und mit den ebenen beziehungsweise linearen Axiomen auszukommen versuchte. Das Fehlschlagen der einschlägigen Bemühungen veranlaßte eine sehr gründliche Analyse des Beweisganges, da man ja bereits genügend viele Fälle aus der Geschichte der Mathematik kannte, in denen sich die von den Forschern gestellten Ziele als prinzipiell unerreichbar erwiesen hatten.

Tatsächlich stellte sich die Unentbehrlichkeit der räumlichen Axiome für den Beweisgang heraus. Denn man vermochte ein Modell einer ebenen Geometrie zu finden, in dem neben anderen Axiomen wohl I_1, \dots, I_8 galten, der

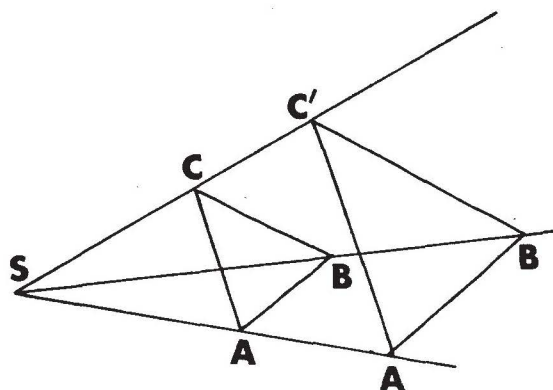


Abb.10

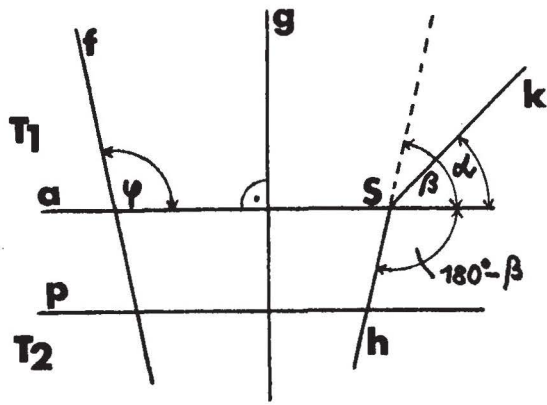


Abb.11

Desarguessche Satz jedoch falsch war. Das bedeutet, daß eine ebene Geometrie, in der der Desarguessche Satz ungültig ist, unmöglich Teil einer räumlichen Geometrie sein kann, weil die räumlichen Axiome $I_4 - I_6$ automatisch die Richtigkeit des Satzes erzwingen. Staunend erkennt man, daß die Erweiterung der zweidimensionalen zur dreidimensionalen Geometrie keine Selbstverständlichkeit ist!

Neben der Aufweisung eines nichtdesarguesschen Modells gab es noch eine weitere Möglichkeit, die Notwendigkeit der Benützung von $I_4 - I_6$ einzusehen. Mit Hilfe der formalen Logik gelingt in bestimmten Fällen die Entscheidung, ob ein System von Grundaussagen zur Herleitung einer bestimmten Aussage ausreicht. Diese Entscheidung konnte für das gegenständliche Theorem im Rahmen des Logikkalküls herbeigeführt werden und stellte einen überzeugenden Beweis für die Leistungsfähigkeit formallogischer Methoden dar.

Das Modell der nichtdesarguesschen Geometrie sieht so aus (Abb. 11):

Grundgebilde nullter Stufe sind die Punkte einer Ebene. Die Ebene wird von einer geradlinigen Achse a in zwei Teile, T_1, T_2 , zerlegt.

Grundgebilde erster Stufe sind:

1. Die Achse a und alle zu ihr parallelen oder senkrechten Geraden, zum Beispiel p, g in der Figur.
2. Jene Geraden, welche aus a durch eine Drehung im Gegenzeigersinn um einen stumpfen Winkel entstehen, zum Beispiel f .
3. Jeder aus zwei Halbgeraden zusammengesetzte Linienzug, der folgenden Bedingungen genügt: a) Seine

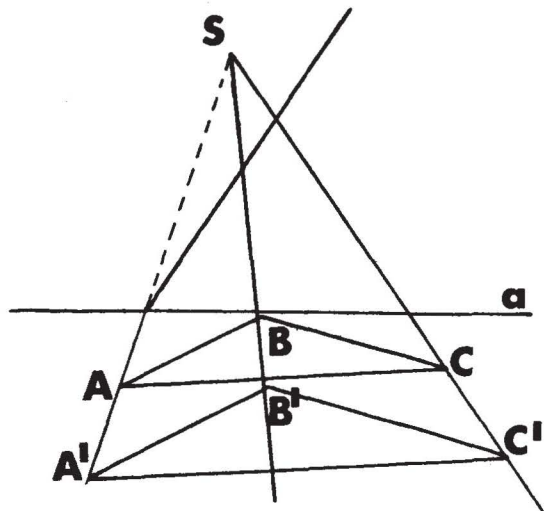


Abb.12

Knickstelle liegt auf der Achse a ; b) die Halbgerade h in T_1 entsteht durch Drehung des rechts von S gelegenen Teiles von a um den stumpfen Winkel $(180^\circ - \beta)$ im Uhrzeigersinn; c) die Halbgerade k in T_2 entsteht durch Drehung desselben Teiles von a um einen spitzen Winkel α gegen den Uhrzeigersinn; d) zwischen den Winkeln α und β besteht die Relation $\text{tg } \beta = 2 \cdot \text{tg } \alpha$.

Die Definition der Winkel unterscheidet sich nur dann von der euklidischen, wenn ein oder beide Schenkel von einem Punkt von a aus nach oben verlaufen. Sie ist der unter 3. angeführten Kategorie von „Geraden“ angepaßt. Wir wollen uns damit nicht abmühen und verweisen den an genaueren Details interessierten Leser auf das Buch „Grundlagen der Geometrie“ von D. Hilbert, das auch über alle anderen hier nur skizzierten Problemkreise erschöpfende Auskunft bietet.

Abstände werden wie üblich längs der Verbindungslinien gemessen.

Das beschriebene Modell erfüllt, wie sich zeigen läßt, die Axiome $I_1 - I_3, II, III_1, III_2, IV', V$. (IV' ist eine verschärfte Form des Parallelenaxioms, in der die Existenz genau einer Parallelen durch einen Punkt zu einer Geraden gefordert wird). Abb. 12 macht ersichtlich, daß der Desarguessche Satz nicht immer gilt.

Der Satz von Desargues lautet:

Wenn von zwei in derselben Ebene liegenden Dreiecken entsprechende Seitenpaare parallel sind, dann schneiden einander die Verbindungsgeraden entsprechender Ecken im gleichen Punkt oder sind zueinander parallel. Die Umkehrung dieser Aussage ist ebenfalls richtig.

Die Dreiecke $ABC, A'B'C'$ der Figur haben paarweise parallele Seiten. Trotzdem gehen die Verbindungsgeraden AA', BB', CC' nicht durch einen Punkt, weil AA' infolge der Knickung beim Passieren von a , den Schnittpunkt S von BB' und CC' verfehlt. (BB' und CC' werden auf Grund ihrer Lage zu a definitionsgemäß nicht geknickt.)

Damit ist der Nachweis für die Existenz nichtdesarguesscher Modelle erbracht, welche nicht Teile dreidimensionaler Modelle sein können. Die Schwierigkeit beim Auffinden problemgerechter Modelle liegt weniger darin, diese gewissen Axiomen oder Sätzen widersprechen zu lassen, als vielmehr darin, trotzdem die übrigen Grundaussagen beizubehalten.

III. Die nichtpythagoräische Geometrie

Als letzte Spezies einer NE. Geometrie möge jene angeführt werden, in der der Pythagoräische Lehrsatz seine Gültigkeit verliert. Auf die Konstruktion des dazugehörigen Modells muß aus Raumangel verzichtet werden. Es sei nur kurz bemerkt, daß es auf einem komplexen Zahlensystem aufgebaut ist, dessen Real- und Imaginärteile nicht-archimedische Zahlen sind.

Hilbert untersucht in den „Grundlagen der Geometrie“ die Abhängigkeit des Satzes von der Gleichheit der Basiswinkel im gleichschenkeligen Dreieck in bezug auf die Stetigkeitsaxiome V . Zu diesem Zweck werden einige der Axiome $I - IV$ verändert (aber nicht so, daß sie durch ihre Negation ersetzt sind, sondern eher im Sinne einer Lockerung oder Verschärfung der Aussagen), V_1 behält seine Fassung bei, V_2 wird durch das Axiom der Nachbarschaft V_3 ersetzt:

V_3 . Zu jeder Strecke AB gibt es ein Dreieck, in dessen Innerem keine zu AB kongruente Strecke liegt.

Aus den so formulierten Axiomen $\bar{I} - \bar{V}$, die wir von den alten durch Überstreichen unterscheiden, ist der Basiswinkelsatz beweisbar. Aber Hilbert ging weiter. Er konstruierte zwei Modelle, welche $\bar{I} - \bar{V}$ erfüllen, jedoch hinsichtlich V differenziert sind. Im ersten Modell gilt V_3 , nicht aber V_1 . Im zweiten ist es umgekehrt: V_1 gilt, V_3 nicht. Die Ergebnisse der Untersuchung sind überaus aufschlußreich.

Erstes Modell

1. Der Basiswinkelsatz ist nicht beweisbar, denn im Modell existieren gleichschenkelige Dreiecke mit verschiedenen Basiswinkeln.
2. Die Summe zweier Dreiecksseiten muß keineswegs die dritte Seite übertreffen. Die Dreiecksungleichung ist also nicht immer erfüllt.
3. Aus der paarweisen Kongruenz entsprechender Seiten zweier Dreiecke folgt nicht die Kongruenz der beiden Dreiecke.

4. Nicht immer besitzen flächengleiche Dreiecke mit übereinstimmender Grundlinie auch gleiche Höhen.
5. Haben zwei rechtwinkelige Dreiecke gleiche Katheten, so können ihre Hypotenusen trotzdem verschieden lang ausfallen. Das heißt, der Pythagoräische Satz gilt nicht.

Das letztgenannte Faktum steht nicht in Widerspruch zu III₅, denn das modifizierte Axiom III₅ des Modells ist eine engere Fassung von III₅. Danach genügt zur Kongruenz zweier Dreiecke nicht die Übereinstimmung in zwei Seiten und dem eingeschlossenen Winkel. Die Dreiecke müssen überdies bei Umfahrung längs entsprechenden Seiten denselben Umlaufsinn ergeben.

Zweites Modell

1. Der Basiswinkelsatz gilt wieder nicht.
2. Auch die Dreiecksungleichung gilt nicht.

3. Die euklidische Lehre von den Flächeninhalten gilt nicht.
4. Die affine Geometrie bleibt in Kraft.
5. Der Pythagoräische Satz ist nicht immer erfüllt. Damit ist gezeigt, daß beim Beweis des Basiswinkelsatzes im gleichschenkeligen Dreieck auf kein Stetigkeitsaxiom verzichtet werden kann.

Literatur:

1. D. Hilbert, Grundlagen der Geometrie. B. G. Teubner, Stuttgart.
2. F. Klein, Elementarmathematik vom höheren Standpunkt aus, Bd. II. Springer.
3. H. Weyl, Raum, Zeit, Materie, Vorl. über allg. Rel.-Theorie. Springer.
4. R. Baldus, nichteuklidische Geometrie. Göschen.

PHYSIK, ASTRONOMIE

Dr. Walter Kranzer

Weltraumprobleme und Schule

Univ. Prof. Dr. J. Hopmann, Universitäts-Sternwarte Wien:

I.

Auf dem zehntägigen 12. Kongreß der „International Astronomical Union“ (IAU) — unserer wissenschaftlichen Dachorganisation — im September 1964 in Hamburg war auch ein ganzer Vormittag den Fragen des Astronomieunterrichts gewidmet. Die Leitung der Diskussion hatte Prof. Minnaert-Utrecht. Vertreten waren etwa 35 Länder, darunter Österreich durch den Verfasser. Einige Monate vorher war ein mehrseitiger Fragebogen zu beantworten, wobei um Auskunft über den Astronomieunterricht von den Hochschulen bis zu den Elementarschulen gebeten wurde (Stundenzahl nach den Lehrplänen, Ausbildung der Lehrer an den Mittelschulen aller Art, Lehrstoff und Gliederung usw.). Auf die gefaßten Resolutionen und Einzelheiten sei hier nicht eingegangen, nur über einige kennzeichnende Dinge berichtet.

1. Ganz allgemein ist ja die Aufgabe der Astronomie die Erforschung der physikalischen Verhältnisse außerhalb des Erdkörpers, also jenseits seiner äußersten Gashölle. Astronomie ist also das Studium des Verhaltens der „freien“ Materie und Energie, ohne den gewaltigen Zwang, dem wir die Natur in unseren Laboratorien unterwerfen. Sie ist gewissermaßen ein Teilgebiet der Physik, mit eigenen Zielen und Methoden und gehört unabdingbar auch zum Physikunterricht in den Schulen aller Art. (Kann ein Biologe sinnvoll unterrichten, lediglich mit dem Schulgarten, ohne Rücksicht auf die Tier- und Pflanzenwelt aller Erdteile und Ozeane?)

2. Bis zur Einführung der neuen Lehrpläne (1964) stand Österreich relativ zu anderen Ländern nicht schlecht da, zum Beispiel mit den Pflichtvorlesungen und Kolloquien über zwei vierstündige Vorlesungen für die Lehramtskandidaten an den Universitäten, der Berücksichtigung der Astronomie in den Lehrplänen für die Gymnasien usw. Ähnlich ist es in Italien, Belgien, Frankreich. Ganz schlecht in der Deutschen Bundesrepublik, während in allen Ostblockstaaten die Astronomie an den Mittelschulen nach Stundenzahl, Lehrmitteln usw. eine ganz hervorragende Rolle spielt. Durch die neuen Lehrpläne und die Verkürzung der astronomischen Universitätspflichtvorlesungen sinkt Österreich fast auf das Niveau der Bundesrepublik herunter.

3. Da heute die Astronomie angewandte Physik ist, muß ihr Unterricht an den Mittelschulen unbedingt durch den Physiklehrer erfolgen. Es wurde bei der Hamburger

Tagung bedauert, daß zum Beispiel in Frankreich und in einigen südamerikanischen Staaten der Mathematik- und nicht der Physiklehrer damit beauftragt wird.

4. Ein Kennzeichen für den Wandel der Astronomie seit 1913 (Hertzsprung-Russell-Diagramm) ist wohl, daß Prof. Minneart die Sphärische Astronomie, das heißt, vor allem die verschiedenen Koordinatensysteme und ihre Transformation, als „Ennyant“, also als langweilig bezeichnete. Man sollte sie auf der Schule so kurz wie möglich behandeln. Wohl aber Keplers und Newtons Gesetze, in der Optik die astrophysikalischen Arbeitsmethoden, also Fernrohrtypen, Photometrie, Spektralanalyse (!!), Strahlungsgesetze (Stephan-Boltzmann, Planck). Die Elektrizitätslehre und Atomphysik geben ständig die Möglichkeit, auf astronomische Probleme hinzuweisen.

II.

Nun zum Thema „Weltraumforschung“, wobei ich vor allem dem Physiklehrer einige Winke für seine Arbeit geben möchte. An sich könnte dieses Wort eine gute Verdeutschung für die moderne Astronomie sein, die sich ja nicht nur mit den Sternen, sondern auch mit Gas- und Staubmassen, mit Magnet- und Strahlungsfeldern usw. beschäftigt. Durch die Entwicklung der Raketentechnik hat das Wort aber einen ganz anderen Sinn bekommen. Die englische und französische Bezeichnung „space research“ ist richtiger und nüchterner als die Rederei vom „All“, das kein einziger der „Kosmonauten“ bisher auch nur von weitem erreicht hat.

Zuerst ein rein pädagogischer Wunsch: Kampf den Schlagwörtern, wie sie täglich durch die Massenmedien (Presse, Fernsehen usw.) in die ahnungslose Menge lanciert werden. Eine geschickte Aufklärung kann sich auch auf das Elternhaus auswirken. Erinnern wir uns des von den USA etwa 1952 bis 1954 ausgegangenen Rummels um die Fliegenden Untertassen, auf die Millionen hereinfielen, sogar Universitätsprofessoren!

Bis heute liegen die Bahnen aller bemannten Satelliten noch innerhalb der Ionosphäre der Erde und haben auch entsprechend ihrer instrumentellen Ausrüstung nicht das geringste astronomisch Neue gebracht. Sie haben stets ganz andere Zwecke. Technisch wären größere Bahnen wohl durchaus möglich, aber bei 600 Kilometer Höhe beginnt der tödliche van-Allen-Strahlungsgürtel, dem man die Besatzung nicht aussetzen will. Übrigens führten Russen und Amerikaner ihre „Astrobatik“ in etwa nur 15 bis 20facher Höhe des Fluges großer Düsenverkehrsmaschinen durch.

Der Physik- oder auch der Geographielehrer mag etwa folgende Rechnung durch die Schüler ausführen lassen: An einem Schulglobus von 35 cm Durchmesser soll gezeigt werden, wie hoch ein Kosmonaut in 260 km Höhe

im Modell ist. Erddurchmesser rund 13000 km. Ergebnis rund 7 mm (!), das soll „Weltall“ sein? — Weiter: Grenze der Erdhülle (Magnetosphäre) 4 Erddurchmesser = 1,4 m im Modell. Mittlere Entfernung des Mondes 384.000 km = ? m im Modell. Der Mond ist eine Kugel von 3500 km Durchmesser = ? cm. Die Sonne ist 109mal größer als die Erde = ? m (Heimatkirche). Entfernung Erde—Sonne beträgt $1,5 \cdot 10^8$ km = ? km im Modell (Heimatkarte). Pluto ist 45mal weiter = ? km (Österreichkarte). Der nächste Fixstern (α Centauri) ist etwa 4 Lichtjahre entfernt, der „Kosmonaut“ 0,001 Lichtsekunden (!). (Begriffe erörtern, Übung im Spiel mit Zehnerpotenzen!). Entfernung von α Centauri im Modell des Schulglobus! (Fast 10^8 km). Vergleich mit den 7 mm des Reisenden im „All“!

Da heute fast täglich von Satelliten usw. die Rede ist, muß im Physikunterricht unbedingt besprochen werden — nach den Keplerschen und den Newtonschen Gesetzen — die Bahnen der Erdsatelliten, untere und obere Startgeschwindigkeiten für mögliche Ellipsenbahnen, die Bahnen von Fernsehsatelliten mit 24-Stunden-Periode u. a. m. Eine Hilfe in der Hand des Lehrers können dabei die im Anhang angeführten Broschüren sein, die zwar nur bis 1960 erschienen und in manchem heute überholt sind, aber doch von echten Kennern (selten!) geschrieben wurden.

III.

Die Spatzen pfeifen es von den Dächern, daß die Raketentechnik in erster Linie militärische und politische Ziele hat. Nach dem 8-Tageflug der Gemini-Kapsel Ende August 1965 hat Präsident Johnson selbst auf die hohe militärische Bedeutung diesen gelungenen Experiments hingewiesen. Mit einer lautstarken Propaganda aber wird dieses Gepläpse übertönt. Propaganda kann gelegentlich mit bewußter Lüge verbunden sein (zum Beispiel viele westliche Berichte nach dem Start des ersten Sputniks). Meist ist es ein Herausstellen, Überbetonen einzelner Tatsachen, Errungenschaften und zugleich Ignorieren, Verschweigen unsympatischer anderer Ergebnisse. Die Nachrichtenorgane (Presse, Rundfunk usw.) werden mit Propagandamaterial über die Raketen überschüttet, haben aber weder die wirklich sachkundigen Mitarbeiter noch die Zeit, etwa bei den Sternwarten anzufragen, um zu prüfen, was von all den Dingen zu halten ist. Es kann auch da für den Physiklehrer eine Aufgabe sein, seine älteren Buben und Mädels zur Kritik beim Zeitungslesen zu erziehen. Bisher brachte fast jeder sensationelle Raketenstart Beispiele dafür.

Einige der Raumfahrzeuge (englisch sehr passend „spacecraft“ wie „aircraft“) dienen rein wirtschaftlichen Zwecken, vor allem die verschiedenen Nachrichtensatelliten (natürlich auch militärischen!). Halb wirtschaftlich, halb wissenschaftlich sind die Wettersatelliten (Tiros, Nimbus). Aufgabe der bemannten Kapseln ist zunächst die Propaganda, Stärkung des nationalen Selbstbewußtseins, Durchführung technischer, militärischer und medizinischer Versuche. Mit ein bis zwei Ausnahmen waren bisher alle diese Raumfahrer patriotisch und sportlich begeisterte mutige Menschen, aber keine Wissenschaftler.

Die überwiegende Mehrzahl aller Satelliten dient der Erforschung der höheren Luftschichten der Erde (Ionosphäre und Magnetosphäre bis zu 50.000 km) und deren vielgestaltigen Änderungen durch die ständig wechselnde Strahlung der Sonne in allen Wellenlängen bis zu den Röntgen- und Gammastrahlen. Das wichtigste war dabei die Entdeckung des mehrfachen und sehr variablen van Allen-Strahlungsgürtels um die Erde, der vorab eine tödliche Gefahrenzone für Raumfahrer darstellt, weshalb ihre Bahnen nur bis 600 Kilometer gebracht werden, obwohl höhere technische schon heute möglich wären. Hierüber möge einmal ein Geophysiker in dieser Zeitschrift berichten, desgleichen ein Vertreter der höheren Geodäsie über die Vermessungssatelliten. Diese echt wissenschaftlichen Aufgaben können allerdings nicht zu „Sensationen“ führen, so daß die breite Masse nicht viel darüber zu hören bekommt.

IV.

Die geophysikalischen Raketen brachten auch viel Neues über die Physik der Sonne, der Planeten und des interplanetaren Raumes. Schon lange vor der Sputnik-Ära

wußte man, daß dieser durchaus kein absolutes Vakuum ist, nach der Lehre bis etwa 1900, sondern, in hoher Verdünnung, erfüllt ist mit Mikrometeoriten, Wolken von Elektronen, Protonen, schweren Teilchen und Ionen, die von der Sonne und deren Magnetfeldern ausgehen. Um 1930 hatte Grotrian in Potsdam gezeigt, daß die Korona, die äußerste Gashülle der Sonne — eine Mischung von kosmischem Staub, hochionisierten Atomen und freien Elektronen —, kontinuierlich übergeht in das Zodiakallicht, einer gleichartigen Wolke, die sich bis über die Erdbahn erstreckt. All dies wurde durch die Raketen nicht nur bestätigt, sondern unser Wissen wurde in zahllosen Einzelheiten erweitert.

Den von der „ruhigen“ Sonne (zum Beispiel in diesem Jahr) ständig ausgehenden Partikelstrom nennt man heute „Sonnenwind“. Dagegen gibt es die „Sonnenstürme“, oft stärker und also für Raumfahrer gefährlicher als der van Allen-Gürtel, wenn bei großer Sonnenaktivität in Verbindung mit Wasserstofferuptionen starke, relativ eng gebündelte Partikelwolken mit Geschwindigkeiten bis zu 5000 km/sec in den interplanetaren Raum geschleudert werden.

Zur Physik der Planeten ist vorab nur über Venus und Mars zu berichten (letzteren siehe unten). Eine technische Glanzleistung war vor zwei Jahren der Flug des Mariner 2, dicht an der Venus vorbei. Das Wichtigste für den Astronomen war die Bestimmung der Venusmasse im Verhältnis zu der der Sonne beziehungsweise der der Erde. Der erhaltene Wert ist zwar eine Bestätigung des bisherigen, das heißt dem Ergebnis von mehr als 100 Jahren Himmelsmechanik. Mariner 2 hat aber 100mal genauer gemessen. Dann interessiert seine Feststellung, daß Venus kein Magnetfeld und also auch keinen van Allen-Gürtel hat, sowie die Bestätigung vorhergegangener radioastronomischer Messungen der Oberflächentemperatur des Planeten, etwa $+400^\circ\text{C}$, die natürlich jegliches Leben ausschließt. Ansonsten sind die Wahrnehmungen von Mariner 2 noch kein entscheidender Beitrag etwa zum Problem der Venusrotation. Sie sind gewissermaßen eine „Momentaufnahme“, ein Schnappschuß. Es hat den Anschein, als ob die von der Planetenphysik-Kommission der IAU organisierten systematischen photographischen Beobachtungen durch 6 bis 8 Sternwarten, verteilt rund um die Erde, es ermöglichen werden, die starken Änderungen ihrer Wolkenformen fast kontinuierlich zu verfolgen und so mehr zu bringen als Mariner 2.

Die Bausteine der Materie (I)

Die theoretischen Naturwissenschaften verfolgen ein großes Ziel: Die Erscheinungen der Umwelt, welche über die Sinnesorgane in unser Bewußtsein eingehen, auf eine Minimalbasis zurückzuführen. Ob und wann das gelingen wird, vermag heute niemand zu sagen. Die drastischen Reduktionsschritte, deren Zeugen wir selbst oder die Generation vor uns wurden, ermutigen jedoch dazu, auf dem begonnenen Wege weiterzuschreiten, obwohl sich das Ziel, sooft man ihm ganz nahe zu sein glaubte, stets dem endgültigen Zugriff entzog und in unerreichbare Ferne zurückwich.

War es im vergangenen Jahrhundert die Mechanik, aus der alle übrigen Phänomene ihre Erklärung finden sollten — eine Auffassung, deren Credo am klarsten der Laplacesche Dämon verkörperte —, so hüllten die Entdeckungen des XX. Jahrhunderts die Inhalte gewisser mechanischer Grundbegriffe, vor allem den der Materie, immer stärker aus. Sie stellten und stellen die Kausalität ernstlich in Frage und konfrontieren uns mit neuen Problemen, die zum Teil schon hart an der Grenze dessen liegen, was bis dahin uneingeschränkter Gegenstand philosophischer Spekulation war.

Freilich muß man sich darüber klar sein, daß selbst nach dem Auffinden der schmalsten Basis, aus der sämtliche Wechselwirkungen und Abläufe des sinnlich Wahrnehmbaren durch formallogisches Schließen, durch Aufweisung von Kausal- oder Wahrscheinlichkeitsketten „erklärbar“ wären, ein unbesiegbarer Rest von Nichtwissen bzw. Nichtverstehen zurückbliebe. Denn die Elemente der Minimalbasis müßten als gegeben hingenommen werden, mit deren Sosein man sich endgültig abzufinden hätte. Jede weiter reduzierende Antwort auf eine der offenen Fragen würde ja den Minimalcharakter der Basis aufheben!

Die Wissenschaft darf sich aber nicht von der notwendigen Begrenztheit unseres Erkenntnisvermögens in ihren Bemühungen aufhalten lassen, sie muß so tun — und sie tut es aus einem inneren Zwang heraus —, als ob ihr Weg bis zum absoluten Ende beschreibbar wäre.

In der Physik wird seit Jahrzehnten am erbittertsten um die Aufklärung der Konstitution der Materie gerungen, weil die Sonde des menschlichen Geistes auf diesem Gebiet tiefer als sonstwo in den Ozean des Unbekannten eintaucht. Voll zitternder Erregung, die sich von Jahr zu Jahr steigert, warten die Physiker darauf, daß ein neuer Horizont erreicht würde, auf dessen Ebene das Verständnis für die verwirrende Fülle der noch sehr lose verknüpften Fakten erblüht.

Es ist daher angebracht, an dieser Stelle über den gegenwärtigen Stand der Dinge zu referieren. Selbstredend wird der Bericht lediglich eine rohe Skizze sein. Einmal, weil der verfügbare Raum im Vergleich zum riesigen Umfang des Themas winzig ist, zweitens, weil sich die Entwicklung derart stürmisch im Fluß befindet, daß in den Monaten zwischen dem Verfassen eines Aufsatzes und der Fertigstellung seines Abdruckes stets mit dem Bekanntwerden neuer wichtiger Umstände gerechnet werden muß.

Entdeckungsgeschichte:

Die historische Entstehung und Gestaltung des Atombegriffes ist hinlänglich bekannt, ein näheres Eingehen erübrigt sich. Nachdem die Untersuchung der radioaktiven Stoffe am Beginn des XX. Jahrhunderts die letzten Zweifel an der Realität der Atome und Moleküle beseitigt hatte, wandte man sich der Aufklärung des feineren Aufbaues der Atome zu. Zu den Bausteinen Elektron und Proton gesellte sich 1932 das von Chadwick entdeckte Neutron. Quanten- und Wellenmechanik brachten Licht in den Bau der Spektren und der atomaren Elektronenhülle. Das Forschungsinteresse verschob sich allmählich zum Atomkern hin. Das Ehepaar Joliot-Curie entdeckte die künstliche Radioaktivität, und Anderson fotografierte — ebenfalls 1932 — die Nebelkammerspur des Positrons, dessen Existenz von P. Dirac auf Grund einer genialen theoretischen Arbeit vorhergesagt wurde.

Mit der Erzeugung und Vernichtung von Elektron-Positron-Paaren tauchten die ersten Zweifel an elementaren Charakter dieser Teilchen auf, der bis dahin als selbstverständlich angenommen worden war. Das Studium des β -Zerfalls führte zu der Einsicht, daß es sich hierbei um den Übergang eines Neutrons in ein Proton unter e-Emission handelt. Da das Elektron ganz sicher vor dem Zerfall nicht im Neutron enthalten ist, zeigte sich zum zweiten Male eine höchst verdächtige Wandlungsfähigkeit der sogenannten Elementarteilchen.

1932 waren also 4 Partikeln bekannt: Proton, Neutron, Elektron, Positron. Darüber hinaus vermuteten E. Fermi und W. Pauli die Existenz des Neutrinos, weil anders die Bilanzen der Erhaltungsgrößen wie Energie, Impuls und Spin beim β -Zerfall nicht in Ordnung zu bringen waren. Erst ein Vierteljahrhundert später bestätigten Cowan und Reines 1956 zweifelsfrei die Realität des Neutrinos. (Siehe Wiss. Nachr. Nr. 2, Mai 1963, S. 1: Der experimentelle Nachweis der Neutrinos.)

Das stabile Nebeneinander von positiven Protonen und Neutronen auf engstem Raum in den Kernen der nicht radioaktiven Elemente, trotz der enormen Coulombschen Abstoßung zwischen den Protonen auf der einen Seite und der elektrischen Passivität der Neutronen auf der anderen, zwang zur Annahme eines Kernfeldes, das sich in ladungsunabhängigen Anziehungskräften zwischen allen Nukleonen (Oberbegriff zu Protonen und Neutronen) äußert. Seine Stärke ist um etwa den Faktor 100 größer anzunehmen als die Coulombkräfte, seine Reichweite überschreitet aber kaum den Kerndurchmesser. Die Kernkräfte pflegt man als starke Wechselwirkungen zu bezeichnen.

Der japanische Nobelpreisträger Yukawa beschäftigte sich in einer aufsehenerregenden Arbeit mit der Theorie des Kernfeldes und mit seiner Quantisierung. Dabei ergab sich, daß die Quanten des Kernfeldes Teilchen sein müßten, deren Masse zwischen der des Elektrons und der des Protons liegt. Er nannte sie Mesonen.

Ebenso, wie sich die Energiedifferenz im Gefolge einer Änderung des Quantenzustandes der Elektronenhülle eines Atoms in der Emission oder Absorption eines Strahlungsquants, d. i. eines Photons $h \cdot \nu$, manifestiert, sollten

Änderungen des energetischen Kernzustandes mit der Produktion oder Vernichtung von Mesonen einhergehen. Ferner führte Yukawa das Zustandekommen der Kernkräfte auf den Austausch von virtuellen Mesonen zwischen den Nukleonen zurück, analog zur Erklärung der Coulombkräfte durch den Austausch virtueller Photonen zwischen den Ladungsträgern in der Quantenfeldtheorie.

Tatsächlich fanden Anderson und Neddermayer bei Untersuchungen der kosmischen Höhenstrahlung drei Jahre vor dem Ausbruch des zweiten Weltkrieges in Fotomulsionen und Nebelkammeraufnahmen Spuren neuartiger Teilchen, deren Masse 207 Elektronenmassen betrug. Da sich dieser Wert mit der Massenprognose Yukawas vertrat, vermeinte man, die Yukawa-Teilchen gefunden zu haben. Sie erhielten die Bezeichnung μ -Mesonen (oder kurz: Myonen) und treten in zwei Ladungszuständen — positiv und negativ — auf. Später stellte sich jedoch heraus, daß das Myon keine Yukawa-Partikel ist, weil es auf Kernkräfte überhaupt nicht anspricht. Mit Ausnahme der größeren Masse und der hohen Zerfallsneigung (Halbwertszeit $\tau = 2,2 \cdot 10^{-6}$ sek) gleichen die Myonen aufs Haar den Elektronen bzw. Positronen. In zahlreichen Versuchen, die von den besten Forscherteams angestellt wurden, konnten keine anderweitigen Abweichungen im Verhalten von Myonen und Elektronen konstatiert werden. Das ist eines der Rätsel, deren Aufklärung noch aussteht. (Dabei darf nicht vergessen werden, daß manche Meßmethoden von unvorstellbarer Präzision sind. So kann man sagen, daß eine allfällige Ladungsungleichheit der Elektronen untereinander sicher geringer ist als 10^{-17} elektrische Elementarladungen!)

Die Dekade 1936—1946 förderte in erster Linie Material über Kernbau, -spaltung und -reaktionen zutage und bereitete damit der Teilchenphysik den Weg, vor allem durch Verfeinerung der Meß- und Nachweismethoden sowie durch die Bereitstellung eines sehr umfangreichen Reaktionsmaterials. 1947 war das denkwürdige Jahr, in welchem nach Kriegsende wieder neue Teilchen entdeckt wurden.

Powell und Occhialini hießen die erfolgreichen Forscher, die im positiven und im negativen π -Meson (oder kurz: Pion) das langgesuchte Yukawa-Teilchen feststellten. Seine Masse beträgt $273 \cdot m_0$ (m_0 =Elektronenmasse) oder — gemäß der Einsteinschen Gleichung $E = M \cdot c^2$ in Energieeinheiten ausgedrückt — $139,6 \text{ MeV}/c^2$. 1950 fand man das neutrale Pion π^0 , dessen Masse etwas kleiner ist, nämlich $135 \text{ MeV}/c^2$.

Inzwischen entdeckten 1949 Powell und seine Mitarbeiter die wesentlich schwereren K-Mesonen (oder kurz: Kaonen) mit der Masse $494 - 498 \text{ MeV}/c^2$, welche in der letzten Zeit so großes Kopfzerbrechen verursachen.

Wer vermeint, mit den Kaonen wäre der Reigen der neuen Partikeln abgeschlossen gewesen, irrt, denn die fünfziger Jahre vermehrten die Anzahl der sogenannten Elementarteilchen lustig weiter. Überdies trat eine völlig fremdartige Teilchenfamilie auf, deren Vertreter zuerst als „strange particles“, dann auf Grund ihrer im Vergleich zum Nukleon höheren Masse, als Hyperonen bezeichnet wurden.

Als erste Hyperonen hat man das Xi- und das Sigma-teilchen entdeckt.

Heute nennt man die Hyperonen zusammen mit dem Nukleon schwere Teilchen oder Baryonen.

Auch die sechziger Jahre zauberten unentwegt neue Teilchen in die Rubriken der buchführenden Physiker, so daß derzeit ihre Anzahl längst die Hundertergrenze überschritten hat. Damit ist natürlich die elementare Natur der Partikeln höchst fragwürdig geworden. Nach unseren bisherigen Erfahrungen ist das Grundlegende in der Natur einfach, wieso also dieser Formenreichtum? Obendrein läßt sich bei Bereitstellung der zum Ausgleich der Massenbilanz erforderlichen Energien jedes dieser Teilchen in jedes andere umwandeln, nicht nur — wie eingangs erwähnt — Strahlung in e^+e^- -Paare oder Neutronen in Protonen beim β -Zerfall.

Die Energie scheint die geheimnisvolle Wesenheit zu sein, aus der sich das formt und umformt, was wir Materie nennen. Welche Quanten dieser Materie überhaupt möglich sind, unter welchen Bedingungen sie erscheinen und welche gemeinsame Struktur ihnen zugrunde liegt, ist Gegenstand der vordersten Forschung in unseren Tagen. Um die Aufklärung des Massenspektrums der Teilchen sind die namhaftesten Physiker bemüht. Noch sind die Lichter spärlich, in denen sich die Konturen

tieferer Verflochtenheit abzeichnen. Aber, wenn nicht alles trägt, beginnen diese Konturen sichtbar zu werden. Wahrscheinlich sind es Symmetriegesetze, die eine entscheidende Rolle spielen. Sollte uns das Schicksal gönnen, den großen Augenblick zu erleben, in welchem den begnadetsten Forschern die Zusammenhänge klargeworden sein werden, dann werden wir ergriffen vor einer verbesserten Architektur des Wahren stehen. Und das zum zweiten Male in unserem Dasein, denn die Bohrschen Ideen ebenso wie ihre theoretische Vollendung in Quanten- und Wellenmechanik haben dieser Generation schon einmal die Innere Freude über eine solche Wende beschert. Wir meinen die Entwirrung der Spektren und der Bauformen der Atome.

Die Entdeckungslawine brachte uns aber nicht nur die Familie der Hyperonen. Sie führte zum Konzept der Antimaterie und vermittelte die Kenntnis von äußerst kurzlebigen Partikeln, den sogenannten Resonanzen.

Das Positron war das erste Antiteilchen, auf das man stieß. Es tut seine, dem Elektron gegensätzliche Natur deutlich kund, wenn es, sich mit dem letzteren vereinend, zusammen mit ihm als Teilchen aus der Welt verschwindet. An die Stelle des Paares sind dann zwei Photonen getreten, in denen es ein metamorphes Leben weiterführt.

Das Positron ist ein Kind der Theorie. In kühnen Ansätzen und Schlüssen stieß Dirac auf den Begriff der negativen Energieniveaus und prophezeite auf Grund der mit diesen Niveaus eng zusammenhängenden Löchertheorie eine Partikel mit den Eigenschaften des Positrons. Die daraufhin einsetzende Suche war in kurzer Zeit von Erfolg gekrönt, als ein Nebelkammerphoto der Höhenstrahlung ein Positron zeigte. 1934 gelang die erste Paarzeugung im Laboratorium. Warum bemerkte man das Positron nicht schon früher? Weil das Massäquivalent eines Paares 1.02 MeV beträgt und daher dessen Erzeugung nur möglich ist, wenn Teilchen- oder Photonenenergien dieser Mindestgröße zur Verfügung stehen. Das hängt jedoch von der Leistungsfähigkeit der Beschleunigungsmaschinen ab, welche erst zum angeführten Zeitpunkt die erforderliche Höhe erreichte.

Natürlich tauchte sofort der Gedanke auf, ob nicht auch dem Proton und dem Neutron ein Antiproton beziehungsweise Antineutron entspräche. Die mehr als 1800fache Masse der Nukleonen zwang jedoch zum Abwarten, bis Akzeleratoren im GeV-Bereich in Betrieb stehen würden. 1955 war es so weit. Segrè und sein Team konnten voll Stolz verkünden, daß in Berkeley die ersten Antinukleonen nachgewiesen wurden. (Siehe „Wissenschaftliche Nachrichten“, Nr. 5, April 1964, S. 6: Die Entdeckung des Antiprotons.) Seither ist zu jedem bekannten Teilchen das Antiteilchen gefunden worden. Die genaue Definition fordert, daß Teilchen und Antiteilchen in sämtlichen ladungsartigen Quantenzahlen entgegengesetztes Vorzeichen aufweisen müssen. Doch darüber kann nicht vor der Erörterung der zuständigen Quantenzahlen ausführlicher gesprochen werden.

Die Prägung Resonanzen stammt von E. Fermi. 1952 bemerkte er, daß bei Streuversuchen von hochenergetischen Pionen an Protonen der Wirkungsquerschnitt der Reaktion bei gewissen Werten der effektiven Masse des π -p-Systems auffällige Maxima besaß. Er schloß daraus auf die Bildung kurzlebiger Partikeln und gab ihnen wegen der Analogie zu ähnlichen Verhaltensweisen schwingungsfähiger Systeme den Namen „Resonanzen“. (Siehe „Wissenschaftliche Nachrichten“, Nr. 5, April 1964, S. 8: Die Identifizierung von Resonanzen.) Die überaus scharfsinnige Überlegung, welche im zuletzt zitierten Aufsatz beschrieben ist, ermöglicht die Berechnung der Masse, obwohl die Lebensdauer oft nur von der Größenordnung 10^{-23} sek ist, eine Zeitspanne, in der selbst das Licht nur wenige Kerndurchmesser zurücklegt. Schließlich gestattete die Unschärferelation auf Grund der experimentell festgestellten Massenunschärfe die zumindest rohe Bestimmung der mittleren Lebensdauer. Die Quantenzahlen der Resonanzen sind naturgemäß schwierig zu ermitteln.

Nachweismethoden.

Einige Worte müssen auch über die Nachweismethoden der Teilchenphysik gesagt werden. Denn wenn mit so vielen, teilweise recht genauen quantitativen Angaben über die Mikroobjekte manipuliert wird, hat der Leser ein gutes Recht auf einige Erklärungen über die Herkunft der benutzten Zahlenwerte.

In erster Linie interessieren Masse, Impuls, Energie, Ladung, Spin, magnetisches Moment, Lebensdauer einer Partikel. Die Bestimmung dieser Parameter erfolgt vorwiegend mit Hilfe folgender Geräte, von denen die meisten bekannt sind oder bereits bei passender Gelegenheit in den „Wissenschaftlichen Nachrichten“ skizziert wurden.

1. Zählrohr, Spitzenzähler, Proportionalzähler. Im ersten Band des Lehrbuches der Kernphysik von G. Hertz (Verlag W. Dausien, Hanau, 1958) wird von 1000 Typen (!) von Zählgeräten gesprochen. In Verbindung von Koinzidenz-, Antikoinzidenz- und verzögerter Koinzidenzschaltung können Laufzeiten und Bahnrichtungen gemessen sowie das gleichzeitige Auftreten verschiedener Teilchen festgestellt werden. Für besondere Zwecke benützt man Kristallzähler, die besonders gut auf γ -Quanten ansprechen.

2. Szintillationszähler. Sie gehören zu den ältesten Apparaten der Atomphysik und haben seither nichts von ihrer Bedeutung eingebüßt. Im Gegenteil! In Verbindung mit Photovervielfachern gestatten sie Laufzeitmessungen bis zu 10^{-9} sek, sind also hervorragend für die direkte Bestimmung hoher Geschwindigkeiten geeignet.

3. Massenspektrometer stehen seit vier Jahrzehnten zur Verfügung und haben seit den Tagen des Astonischen Massenspektrographen, mit dem die Isotopenmassen erstmalig bestimmt wurden, eine ungeheure Verfeinerung erfahren. Durch sogenannte Geschwindigkeitsfokussierung mit Hilfe von Magnetfeldern gelangen Teilchen gleicher Masse, auch wenn ihre Geschwindigkeiten innerhalb eines gewissen Intervalls streuen, auf eng begrenzte Fotoflächenstücke, welche von ihnen geschwärzt werden.

Verzichtet man auf die Fokussierung, so repräsentiert das Magnetfeld einen Impulsdiskriminator, weil die Bahnablenkung bei bekannter Ladung und Feldstärke nur vom Teilchenimpuls abhängt. Die besten Geräte liefern Massengenauigkeiten von 0,001%.

Neben die Impulsauffächerung des Teilchenstrahls tritt noch die wichtige Trennung der Komponenten mit verschiedenem Ladungsvorzeichen als Folge der entgegengesetzten Ablenkungsrichtungen im Feld.

4. Nebel- und Blasenkammer. Während die Wilsonsche Nebelkammer seit etlichen Jahrzehnten hervorragende Dienste leistet, ist die Blasenkammer jüngerer Datums (1952 von Glaser entwickelt.) Die Blasenkammer benützt überhitzte Flüssigkeiten — vornehmlich flüssigen Wasserstoff — in denen beim Durchgang eines ionisierenden Teilchens eine Gasbläschenspur entsteht. 5 μ sek nach dem Durchgang erreichen die Bläschen die für Photoaufnahmen optimale Größe. Infolge der höheren Dichte von Flüssigkeiten gegenüber Gasen ist der Bremsweg in der Blasenkammer viel kürzer als in der Nebelkammer, so daß sich jene besonders für die Identifizierung hochenergetischer Partikeln eignet.

Die Auswertung der Aufnahme besteht in der Abzählung der gebildeten Spurröpfchen oder -bläschen und in der Messung der Bahnkrümmung im angelegten Magnetfeld. Da die elektrische Ladung zumeist bekannt ist, liefert die Krümmung sofort den Teilchenimpuls. Aus der Tröpfchendichte entlang der Spur erhält man die spezifische Ionisierungsfähigkeit der Partikel. Zur Zählung muß das Mikroskop herangezogen werden. Da man die Ionisierungsarbeit der verschiedenen Stoffe gut kennt (in Luft benötigt die Bildung eines Ionenpaares 32 eV), erhält man durch Abzählen der Tröpfchen beziehungsweise Bläschen — falls die Spur in der Kammer endet — direkt die Energie des Teilchens. Aus Energie und Impuls wird weiter auf Ruhmasse und Geschwindigkeit geschlossen.

In den großen Kernforschungsinstituten werden im Laufe mancher Versuche einige 100 000 Stereophotos der Teilchenspuren angefertigt. Die Auswertung ist bei dieser Menge notwendig weitgehend automatisiert. Einige Institute, zum Beispiel CERN, arbeiten bereits in einigen Sonderanordnungen (und zwar bei Funkenkammern) mit sogenannten on-line-computern. Das sind Rechenautomaten, welche direkt angeschlossen sind und ohne Zwischenschaltung menschlicher Tätigkeit die Datenverarbeitung besorgen.

Das Experimentieren mit immer höheren Energien erfordert entsprechend große Blasenkammern. Seit September 1964 benützt CERN eine Blasenkammer, welche 500 l flüssigen Wasserstoff in einem Volumen von $152 \times 45 \times 50$ cm enthält. Die Magnetfeldstärke beträgt 14 800

Örsted, das Gewicht der Magnete 300 t, die eigentliche Kammer wiegt 50 t.

Betriebstemperatur ist -246°C . Sie liegt um 7° über dem Normalsiedepunkt von H_2 , weil dieser unter einem Druck von 6,3 at steht. Bei Öffnung der Expansionszylinder sinkt der Druck auf 2,8 at und die durchgehenden Teilchen erzeugen Blasenpuren. Nach deren photographischer Aufnahme steigt der Druck wieder an und derselbe Zyklus läuft von vorne neuerdings ab. Ein Zyklus dauert 2 sek.

30 msek, ehe ein Teilchen die Kammer erreicht, das ist in einer genau definierten Phase jeder einzelnen Beschleunigungsperiode des Synchrotrons, wird von diesem ein Signal gegeben. Dadurch beginnen die Expansionszylinder einige msek später zu arbeiten. Die Expansion erfordert 8 msek. Genau in diesem Moment treffen die Teilchen ein. Ein Szintillationszähler, den sie unmittelbar vor der Kamera passieren, signalisiert an die Beleuchtungsröhren der Kammer das Kommando zum Einschalten, und 1,5 msek später empfangen sie den Strompuls. Inzwischen haben die Gasbläschen die günstigste Größe erreicht, und 3 Stereophotos von deren Spur werden aufgenommen. Ein Wunderwerk technischer Präzision tut seine Schuldigkeit.

5. Funkenkammern. Auch über diese wurde schon in Nr. 4 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“ vom Jänner 1964, S. 4, berichtet. Die neueste Variante ist die akustische Funkenkammer, in der aus den Laufzeitdifferenzen der Schallwellen, die von den Funken ausgehen, der Ort des Überschlags bestimmt wird. (Ähnlich, wie Horchtrupps den Standort von Geschützen aus den verschiedenen Zeitpunkten des Eintreffens der Abschußgeräusche ermitteln.) Funkenkammern stehen derzeit bereits in allgemeinem Gebrauch.

6. Fotoemulsionen. Dicke Stapel von Platten mit Photoemulsionen werden der Strahlung ausgesetzt und die darin von den ionisierenden Teilchen gezeichneten Spuren mikroskopisch ausgemessen. Die Dicke der Emulsionsschicht auf einer Platte liegt zwischen 0,5 und 1 mm. Aus Zickzackspuren erhält man den mittleren Streuwinkel, aus der Reichweite und der spezifischen Ionisierung die Energie. Kollisionen markieren sich, wenn sie mit einer Partikelreaktion verbunden sind, als Zerfallssterne. Die Kernspurplatte steht zwar schon seit dem Beginn der Atomforschung — man denke an die Schwärzung von unbelichteten Fotoplatten durch radioaktives Material — in Gebrauch, hat aber erst nach 1939 jene Durchbildung erfahren, welche exakte quantitative Aussagen ermöglicht.

7. Teilchentrennanlagen. Über den Partikelseparator von CERN wurde in Nr. 8 vom Juni 1965 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“, S. 25, eingehend berichtet.

8. Čerenkov-Zähler. Dieses Gerät hat sich zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel der Hochenergiephysik entwickelt. Sein großer Wert beruht auf mehreren Eigenschaften. Die erste ist rasch genannt, der Zähler ist gegen γ -Strahlen unempfindlich, zeigt also nur Teilchen an. Damit ist für viele Versuche eine unangenehme Störungsquelle ausgeschaltet.

Zum Verständnis einer anderen Eigenschaft bedarf es einer kurzen Erklärung des Čerenkov-Effektes.

In einem durchsichtigen Körper vom Brechungsindex $n > 1$ besitzt das Licht die Phasengeschwindigkeit $\frac{c}{n} < c$. Bewegt sich in dieser Substanz ein Teilchen mit einer Geschwindigkeit $v > \frac{c}{n}$, so tritt in einem Drehkegel vom halben Öffnungswinkel δ , dessen Achse die Teilchenbahn ist, Lichtemission auf. Čerenkov erhielt für die Deutung des Phänomens den Nobelpreis.

Der Winkel δ liegt zwischen der Teilchenbahn und jener Richtung, in der die Komponente $v \cdot \cos \delta$ der Partikelgeschwindigkeit gerade gleich der Phasengeschwindigkeit ist. Für größeres δ ist wegen $v \cdot \cos \delta < \frac{c}{n}$ kein Čerenkov-Leuchten mehr möglich. Der halbe Öffnungswinkel δ ist also gegeben durch die Gleichung

$$v \cdot \cos \delta = \frac{c}{n} \quad \text{oder} \quad \cos \delta = \frac{c}{n \cdot v}$$

δ wird gemessen, indem man den Lichteffect über Spiegel einem Photovervielfacher zuleitet. Der Čerenkov-

Zähler liefert uns also unmittelbar die Partikelgeschwindigkeit — vor allem im relativistischen Bereich! — und, was nicht zu unterschätzen ist, auch die Richtung, in der das Teilchen seine Bahn durchläuft.

Hat man zum Beispiel durch einen Impulsdiskriminator die Teilchen eines engen Impulsintervalls (meistens etwa 1% der Impulshöhe) ausgesondert, so eignet sich der Čerenkov-Zähler, der zusätzlich die Geschwindigkeiten angibt (bei Teilchengemischen erhält man eben mehrere Winkel $\delta_1, \delta_2, \dots$), hervorragend zur Massenbestimmung und damit zur Identifizierung. Das ist besonders bei den hochrelativistischen Partikeln der modernen Hochenergiephysik von größtem Wert.

Die gegebene Zusammenstellung von kernphysikalischen Nachweisgeräten ist natürlich unvollständig, dürfte aber reichhaltig genug sein, um die Überzeugung von der Verlässlichkeit der über Mikroobjekte bekannt werdenden Meßwerte zu festigen.

Die Quantenzahlen der Partikeln

Wer einen mikroskopischen Körper physikalisch beschreiben will, benötigt zahlreiche Daten, welche Gestalt, Dichteverteilung, Elastizitätseigenschaften und vieles andere betreffen. Soll auch die chemische Natur erfaßt werden, kompliziert sich die Aufgabe weiter. In der Mikrophysik ist die Vielfalt der Erscheinungsformen — wenigstens nach dem heutigen Stande des Wissens — erheblich kleiner, aber trotzdem bestehen Unterschiede zwischen den Teilchen und äußern sich in numerisch erfaßbaren Eigenschaften.

Gestaltfragen scheiden von vornherein aus, weil der Wellenaspekt, unter dem auch Partikeln zu betrachten sind, jede scharfe Form aufhebt. Wenn dennoch häufig von Durchmesser, Kugeln, Ellipsoiden usw. im Zusammenhang mit atomaren und subatomaren Teilchen gesprochen wird, so sind das in Wahrheit Wahrscheinlichkeitsausagen, ganz wie der Begriff der Halbwertszeit, den wir ohne Scheu oder Mißverständnis seit je benutzen.

Massenzahl M.

Ein unentbehrlicher Parameter ist die Ruhmassenzahl M, welche entweder als Vielfaches der Elektronenmasse $m_0 = 9.10 \cdot 10^{-31} \text{ g}$ gegeben oder als Einsteinsches Massenäquivalent in MeV/c^2 geschrieben wird. Die letztere Notation ist derzeit die häufigere. Tabelle 1 bringt eine kleine Auswahl.

Tabelle 1

Sym- bol	Name	Massen- zahl M in m_0	Massen- zahl in MeV/c^2
e^- e^+	Elektron Positron	} 1	0,511
$\frac{p}{p}$	Proton Antiproton	} 1836	938,2
$\frac{n}{n}$	Neutron Antineutron	} 1839	939,5
μ^\pm	pos. und neg. Myon	207	105,65
π^\pm	pos. und neg. Pion	273	139,6
π^0	neutr. Pion	265	135,0
Σ^+	pos. Sigma	2330	1189,4
Ξ^-	neg. Xi	2590	1321
Ω^-	neg. Omega	3280	1676
Δ	Delta	3760	1920

Wie man sieht, sind Baryonen mit mehr als doppelter Protonenmasse bekannt.

Elektrische Ladungszahl Q.

Die elektrische Ladung eines Teilchens, sofern es überhaupt eine solche trägt, ist ausnahmslos ein ganzzahliges Vielfaches der Elektronenladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$

Coulomb = $4,8 \cdot 10^{-10}$ absolut elastische Einheit. $Q=0, -1, +2$ bedeutet, daß der Ladungsträger beziehungsweise neutral, einfach negativ, zweifach positiv geladen ist. Am schwierigsten ist der Nachweis neutraler Objekte, weil sie keine Ionenspur hinterlassen. Man ist auf indirekte Methoden angewiesen, wie sie erstmalig beim Neutron und wesentlich raffinierter später beim Neutrino Anwendung fanden. Da aber die anderen ungeladenen Partikeln binnen kürzester Zeit zerfallen, erscheinen am Zerfallsort plötzlich neue Spuren, welche die für Rückschlüsse auf das neutrale Teilchen erforderlichen Informationen enthalten.

Seit zwei Jahren versuchen M. Gell-Mann und andere Theoretiker, die Teilchen auf bloß drei Objekte zurückzuführen, denen sie den etwas despektierlichen Namen Quarks gaben. Um das durchzuführen, mußten den Quarks Bruchteile der elektrischen Elementarladung zugeschrieben werden.

Bezeichnet man die drei Komponenten mit p, n, λ (im Zuge dieser Notation müssen Protonen und Neutronen mit lateinischen Großbuchstaben gekennzeichnet werden, also mit P beziehungsweise N , um Mißverständnisse zu vermeiden) und ordnet ihnen in dieser Reihenfolge die

Ladungszahl $Q = \frac{2}{3}, -\frac{1}{3}, -\frac{1}{3}$, ferner die Hyperladung $Y = \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, -\frac{2}{3}$ und die Baryonenzahl (diese wird später

erklärt werden) $A = \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}$ zu, so lassen sich die verschiedenen Partikeln als Aggregate von n, p, λ darstellen. Auch der Spin stimmt, wenn jedes Quark den Spin $\frac{1}{2}$ erhält.

Zu jedem Quark gehört ein Antiquark mit dem entgegengesetzten Vorzeichen von Q, Y, A . Es wird durch Überstreichen charakterisiert. Sogar die Massenverschiedenheiten innerhalb eines Ladungsmultipletts kommen richtig heraus, wenn die Masse von n und p als gleich, von λ als etwa verschieden angenommen werden. An Hand der nachstehenden Tabellen 2 kann man sich von der Richtigkeit des Gesagten für einige Partikeln überzeugen. Baryonen sind wegen ihres halbzahligen Spins Kombinationen von drei, Mesonen (sie haben ganzzahlige Spin) von zwei Quarks.

Tabelle 2

	Q	A	Y
p	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
n	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
λ	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$-\frac{2}{3}$

a) Quarks

	Q	A	Y
\bar{p}	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
\bar{n}	$\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
$\bar{\lambda}$	$\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$

b) Antiquarks

	Q	A	Y
$\pi^+ = p\bar{n}$	1	0	0
$K^+ = p\bar{\lambda}$	1	0	1
$K^0 = n\bar{\lambda}$	0	0	1
$P = ppn$	1	1	1
$\Omega^- = \lambda\lambda\lambda$	-1	1	-2

c) Baryonen, Mesonen

Theoretisch sieht der Quarkansatz bestechend aus, aber leider hat noch keine der sehr ernstesten Bemühungen um den experimentellen Nachweis der Quarks zu Erfolgen geführt. Wenn trotzdem manche Physiker so sehr das Herz an diese Möglichkeit hängen, daß sie trotz der Fehlschläge von ihr nicht abgehen, so darf das nicht falsch aufgefaßt werden. Denn schon oft in der Wissenschaftsgeschichte führte das Festhalten an bestimmten Konzepten

trotz anfänglichen Niederlagen schließlich doch zu großen Fortschritten. Auch der exakte Naturwissenschaftler muß auf die Stimme seiner Intuition hören und darf nicht gleich die Flinte ins Korn werfen!

Die Betrachtung der Tabelle könnte den Eindruck erwecken, daß es sich im Grunde um recht simples Ausprobieren verschiedener Kombinationen mehr oder weniger gut angesetzter hypothetischer Objekte handelt. Vor dieser Auffassung muß nachdrücklichst gewarnt werden! Hinter dem hier so harmlos erscheinenden Formalismus erstreckt sich das unerhört anspruchsvolle Gelände der Quantenfeldtheorie samt ihrem gewaltigen mathematischen Aufwand. Die Wurzeln jedes ernst zu nehmenden Formalismus reichen in dieses Gebiet. Erst nach harten mathematischen Prüfungen wird ein neuer Formalismus zur Diskussion zugelassen. Ob er sich bewähren wird, ist dann noch sehr in Schweben. Ein Blick in die Originalabhandlungen zeigt, daß solche Hypothesen bei Gott kein Kinderspiel sind.

Die Ladungszahlen bringen eine erste Ordnung in das Gewirr der Teilchenarten. Da es fast zu jeder auftretenden Massenzahl Vertreter mit verschiedenen Ladungen gibt, deren sonstiges physikalisches Verhalten nur ganz geringe Unterschiede zeigt, sah man sich schon vor geraumer Zeit veranlaßt, in einer derartigen Partikelgruppe verschiedene Ladungszustände ein- und derselben Wesenheit zu erblicken. Manchmal treten zwischen Mitgliedern einer solchen Familie auch kleine Massenunterschiede auf. Diese lassen sich jedoch theoretisch (ohne Quarkhypothese) als Folgen der Verletzung gewisser Invarianzen erklären (mass splitting). Das Analogon in der Atomhülle ist die Aufspaltung entarteter Energieniveaus, wenn zusätzliche Felder die Entartung aufheben (Stark-, Zeemanneffekt, Hyperfeinstruktur).

Proton p und Neutron n (wir kehren wieder zur üblichen Bezeichnung mit Kleinbuchstaben zurück) sind zwei Ladungszustände des Nukleons N . Das Δ -Teilchen ($1238 \text{ MeV}/c^2$) gehört gar einer viergliedrigen Familie, einem sogenannten Ladungsquartett, an, in dem die Q -Werte $-1, 0, +1, +2$ realisiert sind.

Die Betrachtung der Ladungen in Verbindung mit den Massen führt also zur Zusammenfassung von mehreren Partikeln in ein Ladungsmultiplett.

Das Elektron gehört zu einem Singulett, ebenso das Myon, das Pion zu einem Triplett. Auch das vor kurzem entdeckte Ω^- bildet ein Singulett.

Wir haben nun alle Vorbereitungen getroffen, um die nächsten zwei Quantenzahlen zu besprechen, nämlich

Hyperladung Y und Isospin I.

Wir dürfen uns sehr kurz fassen, weil diesen Begriffen in Nr. 7 vom April 1965 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“ ein umfangreicher Artikel gewidmet war.

Das arithmetische Mittel der in einem Ladungsmultiplett verwirklichten Ladungszahlen heißt mittlere Ladung \bar{Q} des Multipletts. Der doppelte Wert von \bar{Q} ist die Hyperladung $Y = 2 \cdot \bar{Q}$. Die halbe Differenz der größten und kleinsten Ladungszahl innerhalb des Multipletts ist der Isospin I (häufig auch mit T bezeichnet). Der Unterschied zwischen der Ladungszahl Q eines bestimmten Teilchens und der mittleren Ladung seines Multipletts ist die dritte Komponente des Isospins I_3 (oder T_3).

Einige Beispiele führt Tabelle 3 an.

Man beachte, daß das Elektron mit dem Positron kein Dublett bildet, weil das Positron das Antiteilchen des Elektrons ist! Demselben Ladungsmultiplett dürfen aber keine Partikeln angehören, die in einer Antibeziehung zueinander stehen.

Aus dem Isospin I ergibt sich sofort die Anzahl der Komponenten des Multipletts, nämlich $2 \cdot I + 1$. An Hand der Tabelle 3 läßt sich das rasch überprüfen.

Baryonenzahl A und Leptonenzahl L.

Durch die Einführung der Atomnummer (oder Ordnungszahl) Z wurde das Verständnis des Periodensystems erschlossen. Nicht das Atomgewicht, sondern die Zahl der Protonen im Kern ist für das chemische Verhalten der Elemente maßgebend. Da auch Neutronen in den Kern eingebaut sind, die nichts zur Ladung beitragen, ist es zweckmäßig, neben Z noch die Gesamtzahl A der Kernpartikeln zu nennen. Isotope Kerne besitzen gleiches Z, aber verschiedenes A. Sowohl das Proton als auch das Neutron erhalten $A=1$.

Tabelle 3

Teilchen	Q	\bar{Q}	Y	$I = \frac{1}{2} \cdot (Q_{\max} - Q_{\min})$	$I_3 = Q - \bar{Q}$
e ⁻ Elektron, Sing.	-1	-1	-2	0	0
p Proton	+1	+ $\frac{1}{2}$	+1	$\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$
n Neutron } Dubl.	0				- $\frac{1}{2}$
π^+	+1	0	0	1	+1
π^0 } Pion, Tripl.	0				0
π^-	-1				-1
Δ^{++}	+2	+ $\frac{1}{2}$	+1	$\frac{3}{2}$	+ $\frac{3}{2}$
Δ^+	+1				+ $\frac{1}{2}$
Δ^0	0				- $\frac{1}{2}$
Δ^-	-1				- $\frac{3}{2}$

Wir wissen von den Hyperfragmenten, daß (vorläufig) ein oder zwei Nukleonen eines leichten Atomkerns durch Baryonen, zum Beispiel Lambda-Teilchen, substituierbar sind. (Siehe „Wissenschaftliche Nachrichten“, Nr. 5, vom April 1964, S. 11.) Daher wird man auch solchen Baryonen A=1 zuschreiben. Bringt man jedoch Teilchen und Antiteilchen zusammen, etwa p und \bar{p} , so annullieren sie einander durch Zerstrahlung. Will man also die Partikelzählung mit Hilfe des A-Wertes konsequent ausbauen, so muß das Antiproton und allgemein jedes Antibaryon A=-1 erhalten. Elektronen, Myonen, Pionen oder andere Mesonen, auch Neutrinos, treten niemals als Kernbausteine auf, infolgedessen ist ihr A-Wert mit 0 anzusetzen. A ist die Baryonenzahl. Für sie gilt der wichtige Erhaltungssatz, daß sich A, also die Anzahl der schweren Teilchen, bei keiner Reaktion ändert. Zum Beispiel

$$\begin{aligned}
 p + \bar{p} &\rightarrow \gamma + \gamma, & 1 + (-1) &= 0 + 0, \\
 p + p + e^- &\rightarrow d + \nu, & 1 + 1 + 0 &= 2 + 0, \\
 \bar{\Xi}^0 &\rightarrow \bar{\Lambda}^0 + \pi^0, & -1 &= -1 + 0.
 \end{aligned}$$

In der zweiten Gleichung bedeutet d das Deuteron und ν das Neutrino.

Da wir gut über die Vernichtungsprozesse Bescheid wissen und diese sich nur zwischen Teilchen und Antiteilchen abspielen, ist die Klassifikation mit A=+1 und A=-1 ohne Schwierigkeiten möglich. Das Antideuteron $\bar{d} = (\bar{p} \bar{n})$, das bereits gefunden ist, hat A=-2 und, falls es Himmelskörper geben sollte, in denen Antimaterie zusammengeballt ist, dann kommt dort sicher auch Antikohlenstoff (A=-12) oder Anturan (A=-238 für die harmlosere Sorte) vor.

Die Baryonenzahl ist wegen der Vernichtungsvorgänge (analog zur Neutralisation entgegengesetzter elektrischer Ladungen) als ladungsartige Quantenzahl anzusehen, obwohl mit ihr kein Feld verknüpft ist. Auch die Hyperladung Y, die wir schon besprochen haben, ist ladungsartig, und eine Zeitlang legte man sich die Frage vor, ob es Hyperphotonen geben könnte. Dagegen bestehen aber gewichtige Einwände.

Neben die Baryonenzahl tritt eine ganz analog definierte weitere Quantenzahl, die Leptonenzahl L, welche sich von A lediglich durch die Partikelkategorie unterscheidet, auf die sie anzuwenden ist. Vorläufig genüge die Feststellung, daß mit der Bezeichnung Leptonen folgende Partikeln erfaßt werden: Elektron, Positron, beide Myonen und die vier Neutrinos. Elektron e⁻, negatives Myon μ^- , Elektronen- und Myonnenutrino ν_e, ν_μ haben die Leptonenzahl L=+1, ihre Antiteilchen Positron e⁺, positives Myon μ^+ sowie die beiden Antineutrinos $\bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu$ die Leptonenzahl L=-1. Für die übrigen Partikeln ist L=0.

Die Strangeness S.

Zur bequemeren Beschreibung einiger Verhaltensweisen ist es zweckmäßig, als weitere Quantenzahl die Strangeness S einzuführen. S ist keine unabhängige Größe, sondern durch die Relation

$$S = Y - A \text{ oder } Y = A + S$$

definiert. Je nach Bedarf kann statt Y auch S als unabhängiger Parameter angesehen werden. So kennt man Übergänge zwischen Partikeln, in denen sich die Ladungszahl Q um denselben Betrag ΔQ ändert wie die Differenz Y-A. Hier bewährt sich die Einführung von S als selbständige Größe, weil damit das Verhalten in der kurzen und prägnanten Form einer „ $\Delta Q = \Delta S$ Regel“ formalisiert zu werden vermag.

Der Spin J.

Zur Quantisierung der Elektronenzustände in der Atomhülle werden vier Quantenzahlen benötigt. 1. Die Hauptquantenzahl n. Sie legte in der älteren Theorie den Bahnradius fest, daher auch „radiale“ Quantenzahl. 2. Die Nebenquantenzahl l. In der älteren Theorie hing die Exzentrizität der Bahnellipsen von l ab. Daher auch „azimutale“ Quantenzahl. Die dynamische Deutung von l als Quantenzahl des Bahndrehimpulses ist entschieden vorzuziehen. Das Produkt von l mit der Planckschen Konstanten $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ gibt den Bahndrehimpuls $L = l \cdot \hbar$. L läuft von 0 bis n-1. 3. Die magnetische Quantenzahl m quantelt die Orientierung des Bahndrehimpulses (früher die Orientierung der Bahnebene). m liegt zwischen den Grenzen -l und +l, nimmt also die 2l+1 Werte

$$m = -l, -l + 1, \dots, -1, 0, +1, \dots, l - 1, l$$

an. 4. Als letzte quantisierbare Größe wurde der Eigendrehimpuls oder Spin des Elektrons gefunden. Die Spinquantenzahl s ist nur der beiden Werte $\pm \frac{1}{2}$ fähig, weil sich der Eigendrehimpulsvektor nie anders als parallel oder antiparallel zum herrschenden Magnetfeld einstellen kann. Der Eigendrehimpuls des Elektrons besitzt so die Werte $\pm \frac{\hbar}{2}$.

Die Erscheinungen der Hyperfeinstruktur wiesen auf die Existenz eines Kernspins hin, dessen Realität alsbald unbezweifelbar feststand. Daher war es klar, daß jede Partikel einen Eigendrehimpuls (oder Spin) besitzt. Die Spinquantenzahl der Partikeln ist J und kann grundsätzlich ganz- oder halbzahlige Werte annehmen. Um die

— dynamisch unerläßliche — Konstanz der (vektoriellen) Spinsumme reagierender Objekte aufrecht zu erhalten, ist man gezwungen, auch dem Photon eine Spinquantenzahl, nämlich $J=1$, zuzuschreiben.

Die Bedeutung des Eigendrehimpulses erschöpft sich nicht in seiner mechanischen Rolle, sie geht sehr viel weiter. Der Spin ermöglicht sogar eine einschneidende Klasseneinteilung der Teilchen in Fermionen und Bosonen.

Fermionen haben halbzahigen Spin, sie unterliegen dem Paulischen Ausschließungsprinzip — das heißt, jeder quantentheoretisch mögliche Zustand innerhalb eines in quantenmechanischer Wechselwirkung stehenden Systems kann höchstens von einem Teilchen besetzt werden. Fermionen genügen der Fermi-Dirac-Statistik, ihre Eigenfunktionen sind antisymmetrisch. Leptonen und Baryonen sind immer Fermionen.

Bosonen haben ganzzahligen Spin. Das Pauliverbot gilt für sie nicht, ihre Statistik ist daher eine andere, nämlich die Bose-Einstein-Statistik. Das Photon und sämtliche Mesonen sind Bosonen. Die Eigenfunktionen sind symmetrisch.

Die Parität P.

In der Quantentheorie werden die Zustände atomarer Objekte durch Wellenfunktionen $\psi(x, y, z)$ beschrieben, in deren analytische Form auch die jeweils vorliegenden physikalischen Bedingungen eingehen. Einer Partikel läßt sich also nicht schlechthin „ihre“ Wellenfunktion zuordnen! ψ ist gewöhnlich komplex. Die Norm $\psi \cdot \psi^* = |\psi|^2$ von ψ repräsentiert die Wahrscheinlichkeitsdichte für die Anwesenheit des Teilchens am Ort (x, y, z) . ψ findet man als Lösung der dem Zustand entsprechenden fundamentalen Differentialgleichung der Quantenmechanik (Schrödinger-, Pauli-, Dirac-, Klein-Gordon-Gleichung).

Bleibt die Wellenfunktion einer Partikel gegen Raumspiegelungen, das ist gegen Vorzeichenänderung sämtlicher Koordinaten, unempfindlich, so wird dem Teilchen gerade Parität zugeordnet. Die Parität ist ungerade, wenn die Spiegelung einen Vorzeichenwechsel von ψ induziert.

Die Paritätsbilanz einer Reaktion ist nicht einfach zu erstellen, da hierbei auch der Spin J zu berücksichtigen ist. Deswegen hat sich der Brauch eingebürgert, die Parität durch Hochstellung eines an den Spin gefügten Vorzeichens auszudrücken. Das allgemeine Symbol ist gegeben durch J^P , speziell etwa 1^+ oder $\frac{3}{2}^-$. Häufig wird hinter das Teilchenzeichen in Klammern das Massenäquivalent in MeV/c^2 und J^P gesetzt. $K(496, 0^-)$ bedeutet danach ein Kaon mit der Masse von $496 \text{ MeV}/c^2$, dem Spin 0 und ungerader Parität.

Die Erhaltung der Parität wurde zuerst allgemein angenommen. Erst die Arbeiten von Lee und Yang (Nobelpreis 1957) zusammen mit den Experimenten von Frau Wu haben bewiesen, daß bei schwachen Wechselwirkungen die Parität nicht erhalten bleibt.

Was heißt das? Drei linear unabhängige Vektoren $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ spannen ein Parallelepipiped auf, dessen Volumen — gegeben durch die Formel

$$V = \vec{A} \cdot [\vec{B} \times \vec{C}] = \begin{vmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \\ C_1 & C_2 & C_3 \end{vmatrix}$$

— positives oder negatives Vorzeichen hat, je nachdem $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ in dieser Reihenfolge eine Rechts- oder Linksschraube bilden (das Koordinatensystem sei eine Rechtsschraube). Die Raumspiegelung am Ursprung 0 bedeutet den Vorzeichenwechsel sämtlicher Koordinaten A_i, B_i, C_i . Dann ändert aber die dreireihige Determinante der Vektorenformel ihr Vorzeichen. Deswegen wird sie nicht als Skalar, sondern als Pseudoskalar bezeichnet. (V wäre ein Ausdruck ungerader Parität, aber V ist keine Wellenfunktion.) Analog spricht man auch von Pseudovektoren zum Beispiel Vektoren, die durch 3-Finger-Regeln aus gegebenen zwei Vektoren hervorgehen. Die Erhaltung der Parität äußert sich physikalisch in der vollkommenen Gleichberechtigung einer Reaktion und der durch Raumspiegelung aus ihr hervorgehenden Reaktion. Gelingt es, durch Anwendung von Magnetfeldern bei tiefen Temperaturen die instabilen Kerne des e^- -Strahlers

Co^{60} und des e^+ -Strahlers Co^{60} einheitlich so auszurichten, daß die Kernspins parallel sind (also zu polarisieren), dann müßte die Emission von Elektronen beziehungsweise Positronen nach vorne und hinten (relativ zur Normalebene des Co-Kernspinsvektors) in gleicher Stärke erfolgen. Denn die Impulsrichtung der wegfliegenden Elektronen darf nicht vom Schraubungssinn abhängen, der durch den Kernspin bestimmt ist. (Da der Spinvektor immer an einen Umlaufsinn in der zu ihm senkrechten Ebene gekoppelt ist, definiert er mit dem letzteren einen Schraubungssinn!) Die Durchführung des Co-Experiments ergab deutliche Asymmetrien in der Winkelabhängigkeit der Elektronen- beziehungsweise Positronenemission. Andere Experimente bestätigten die Paritätsverletzung bei schwachen Wechselwirkungen. Die Natur unterscheidet zwischen links und rechts!

Abschließend sind noch drei Quantenzahlen zu vermerken, von denen zwei ein ähnliches Verhalten zeigen wie die Parität und deshalb die Bezeichnung G-Parität beziehungsweise C-Parität tragen. Die dritte wurde kürzlich von Bronzan und Low, eingeführt. Diese, die Low-Quantenzahl, ist scheinbar keinem strengen Erhaltungsgesetz unterworfen.

G und C sind nur für gewisse Teilchenkategorien definiert: G für Mesonen der Hyperladung $Y=0$ (also beispielsweise für Pionen), C für elektrisch neutrale Partikeln mit $A=S=L=0$.

Während P das Vorzeichenverhalten der Wellenfunktion bei Spiegelungen am Ursprung des Konfigurationsraumes ausdrückt, charakterisiert G das Vorzeichenverhalten von ψ bei Spiegelungen am Ursprung des Isospinraumes. Die Erhaltung von G ist multiplikativer Art: das Produkt der G-Werte der Reaktionspartner vor und nach der Reaktion ist dasselbe. Die G-Parität eines n -Pionensystems ist $G=(-1)^n$. Die theoretischen Schwierigkeiten des K_s^0 -Zerfalls in zwei Pionen hat hier ihre Wurzel. Die negative G-Parität des Kaons geht beim Zerfall in eine gerade Zahl von Pionen in eine positive über.

Die C-Parität hängt mit G vermöge der Relation

$$G = (-1)^I \cdot C \quad (I = \text{Isospin})$$

zusammen.

Antimaterie-Hypothese des Tunguska Meteors

Als am 30. Juni 1908, um $0^h 17^m 11^s$ Weltzeit das Becken des Tunguskafusses im sibirischen Gouvernement Jenisseisk, etwa 800 km nördlich des Baikalsees (genauer Ort $60^\circ 55' \text{ N}, 101^\circ 57' \text{ O}$), unter dem Sturz eines außerirdischen Körpers erzitterte, ahnte niemand, daß das Rätsel dieses Ereignisses fast 50 Jahre später noch immer seiner Lösung harren würde. Obwohl die Seismographen überall die Erschütterung registrierten und die begleitenden Lichteffekte trotz Tageslicht und klarem Wetter 750 km weit auffielen — in der unmittelbaren Umgebung überstrahlten sie nach Augenzeugenberichten die Sonne —, fand die erste Expedition, die erst 1927 in das unwegsame Gebiet vorstieß, keinen Krater. Wohl aber waren noch immer, trotz den inzwischen vergangenen 19 Jahren, Verwüstungen deutlich erkennbar, welche auf ungeheure Wärme- und Druckentwicklung hinwiesen.

Das Expeditionsteam ließ sich natürlich von Augenzeugen berichten. Ein solcher, S. B. Semenov, dessen Haus 60 km vom Katastrophenzentrum entfernt stand, schilderte, wie er, auf einer Hausstufe sitzend, eine Explosion hörte. Ein blendender Feuerball war kurze Zeit zu sehen, das Hemd verbrannte fast am Körper, und eine starke Druckwelle fegte ihn fort, wobei er das Bewußtsein verlor. Als er wieder zu sich kam, war das Getöse noch nicht verstummt, die Fenster gingen in Trümmer, und ein Nebengebäude zeigte schwere Schäden.

Seltnem Nachbarn, P. P. Kosopolov, wurden die Ohren verbrannt, worauf er ins Haus flüchtete. Statt ihm Schutz zu bieten, begannen jedoch Teile des Hauses zusammenzubrechen, offenbar als Folgen einer nachfolgenden Stoßwelle.

Was mochte wohl die Ursache der außergewöhnlichen Erscheinung gewesen sein? Von den Hypothesen, die sich mit ihr befassen, dürfte die in der nachstehenden Auf-

zählung als letzte angeführte gar nicht so unwahrscheinlich, wenn auch ziemlich ungewöhnlich sein. Dies nicht nur, weil der Vorschlag von einem so klaren Denker wie W. F. Libby — er erhielt bekanntlich für die Entwicklung der C^{14} -Datierungsmethode den Nobelpreis — in Zusammenarbeit mit anderen Gelehrten vorgebracht wird, sondern auch deshalb, weil die oben geschilderten Vorgänge frappierende Ähnlichkeiten mit den allgemein bekannt gewordenen Wirkungen von Kernexplosionen aufweisen.

1. Die Meteorhypothese. Über sie sind nicht viele Worte zu verlieren, denn das Fehlen jedweden Kraters stellt sich von Haus aus auf schwache Beine. Auch wenn das Gelände sumpfig ist, müßte ein Meteor, welcher derartige Verheerungen anrichtet, eine Masse besitzen, deren Einsturz in die Erdkruste unverwischbare Spuren zurückläßt. Außerdem wäre Strahlungserhitzung, auf die das Versengen des Hemdes offenbar zurückgeht, unverständlich.

2. Die Kometenhypothese. A. S. Astapovitch und F. J. W. Whipple haben sie unabhängig voneinander vorgebracht. Auf Grund der mittleren Meteoritengeschwindigkeit von 60 km/sek und der seismischen Begleitumstände, schätzt man die freigeordnete Energie auf 10^{22} erg. Da ein Komet Wasser, Methan, Ammoniak usw. enthält, könnten diese Stoffe beim raschen Eintritt in die Lufthülle explodiert sein, ohne Spuren in der Art von Einschlagkratern zu hinterlassen.

Die Auswertungen der Aufzeichnungen der Potsdamer Erdbebenstation weisen auf eine Explosionshöhe von 5—6 km über dem Erdboden hin.

Die Kometeninterpretation wird weiter von dem intensiven Nachtleuchten gestützt, das zwei Wochen lang nach der Katastrophe in Rußland und Westeuropa (nicht in Südeuropa) zu beobachten war, weil die in die Atmosphäre eintretende Kometenmaterie alle Voraussetzungen für Luminiszenzeffekte schafft. (Um keine übertriebenen Vorstellungen zu suggerieren, sei bemerkt, daß die Helligkeit des Nachthimmels zwar 50 bis 100mal stärker wurde als sie normalerweise zu sein pflegt, aber trotzdem noch immer 10 000mal schwächer war als die des Taghimmels.)

Auch die Kometenversion hat einen schwachen Punkt: Wie hätte die Annäherung eines Kometen allen Astronomen der Welt entgehen können?

3. Die Kernreaktionshypothese. Die Untersuchung der Baumleichen ließ die Einwirkung zweier Druckwellen erkennen. Eine war vermutlich die Kopfwelle, die ein sehr rasch bewegter Körper auslöst, die zweite hingegen mußte von einer Explosion verursacht worden sein. Nun sind noch in 17 km Abstand vom Zentrum lebende Bäume verbrannt. Dazu ist eine Wärmestrahlung von 60 bis 100 cal/cm² erforderlich, woraus ebenfalls auf eine Energietönung von 10^{22} — 10^{24} erg zu schließen ist. Das alles ließe sich gut als Begleiterscheinungen einer Kernexplosion deuten, nur bleibt unverständlich, wieso Kernreaktionen in einigen Kilometern Höhe überhaupt zustande kommen können. Auch diese Hypothese hinkt.

4. Die chemische Reaktionshypothese. Die Voraussetzungen für eine chemische an Stelle einer nuklearen Reaktion sind wesentlich leichter herbeizuführen. Ihre Wirkungen sind (mit Ausnahme der Strahlungsschäden, die aber 1927 kaum mehr erkennbar gewesen wären, selbst wenn man sie damals schon gekannt und gesucht hätte) hinsichtlich Druck und Erwärmung mit denen von Kernexplosionen vergleichbar. Die quantitative Ausbeute ist allerdings geringer. Große Wärmetönung ist nur zu erwarten, wenn freie chemische Radikale reagieren. Solche können in Kometen vorkommen, doch wissen wir darüber noch sehr wenig. Der gegen 2. erhobene Einwand wird dadurch nicht entkräftet.

5. Die Antimateriehypothese. Die heutigen Kenntnisse über die Physik der Teilchen setzen uns in den Stand, den unzulänglichen Hypothesen 1.—4. eine moderne anzufügen, welche die Schwierigkeiten der anderen vermeidet. Die Gleichberechtigung von Teilchen und Antiteilchen legt die Vermutung nahe, daß in gewissen kosmischen Regionen die letzteren das konstituierende Element der Himmelskörper bilden. Dann aber müßten sich von Zeit zu Zeit Trümmer aus Antimaterie in unsere Zonen verirren und beim Kontakt mit „normaler“ Materie Zerstrahlungsprozesse mit ungewöhnlicher Energieentwicklung auslösen.

Ein Stück Antimaterie von der Dichte des Silbers und dem bescheidenen Durchmesser von 1 m würde 10^{27} erg freisetzen. Wahrscheinlich bleibt die Ausbeute für die Explosion weit unter 100%, weil der Körper erst dann vollständig mit Luft reagieren kann, wenn er infolge genügend langer Einwirkung der Reibungswärme in die gasförmige Phase übergegangen ist. Vorher verliert er natürlich viel Substanz in „milder“ Form, erst im kurzen Intervall des Verdampfens wird der Vorgang explosiv. Es wäre also denkbar, daß von den 10^{27} erg nur 10^{22} im letzten Augenblick freiwerden.

Die eben vorgebrachte Hypothese vermeidet, wie schon bemerkt, die Schwierigkeiten der Deutungen 1.—4. Das allein ist natürlich noch zu wenig, um sich für 5. zu entscheiden. Zum Glück gibt es typische Nebenwirkungen, die meßbar nachprüfbar sind.

Bei der Zerstrahlung bildet sich sicher C^{14} . Seine Menge hängt von der Zahl der Neutronen ab, welche pro zerstrahltes Nukleonpaar entstehen. Da eine Paarvernichtung 0,003 erg freisetzt, sind für 10^{24} erg cca. $2,7 \cdot 10^{26}$ Vernichtungsakte nötig. Entsteht bei jedem Akt schließlich wieder ein Neutron, und setzt es sich mit dem Luftstickstoff gemäß $N^{14} (n, p) C^{14}$ um, oxidiert ferner C^{14} infolge der hohen Temperatur sofort zu $C^{14}O_2$, so müßte die Radioaktivität der Luft um cca. 7% steigen. Die Daten aus zahlreichen Atomexplosionen zu Versuchszwecken ermöglichen die numerische Überprüfung der obigen Schätzung, da die Veränderung der Luftaktivität sehr sorgfältig verfolgt wird.

Kann man heute, fast ein halbes Jahrhundert später, über die damalige Luftaktivität Aussagen machen?

Ja, man kann es! Denn in den Jahresringen alter Bäume spiegelt sich der C^{14} -Gehalt der Luft Jahr für Jahr ihres Lebens wider. Die Jahresringe von 1908/1909 müßten also etwas mehr C^{14} enthalten als die übrigen.

Die Untersuchungen erfolgten im Labor für Jahresringforschung in Arizona. Man entnahm jedem fünften Ring 20 g Holz aus den Jahren 1873, 1878, 1883, 1888, 1893, 1894, 1898, 1903, 1908, 1909, 1910, 1913, 1918, 1923, 1928, 1933. Als Ergebnis verriet sich ein deutliches Ansteigen von C^{14} in den Proben von 1909. Interessanterweise waren die Ringe von 1873 und 1923 in der gleichen Richtung verändert. Damit ist die Deutung von Libby und seinen Mitarbeitern auch experimentell etwas gestützt.

Des Interesses halber sei noch kurz erwähnt, daß die systematische Untersuchung der Jahresringe ganz alter Bäume starke Erhöhungen des C^{14} -Gehaltes in den Jahren

1925 v. Chr. (um +2,34%)
1297 v. Chr. (um +2,23%)
1687 n. Chr. (um +2,65%)

zeigten.

Literatur:

Nature, 29. 5. 65, Seite 861. C. Cowan, C. R. Atluri, W. F. Libby: Possible Anti-Matter Content of the Tunguska Meteor of 1908.

Kurznachrichten

1) Zum Alter der Erdkruste. Das Isotopenverhältnis in festen Körpern läßt gelegentlich verlässliche Rückschlüsse auf den Zeitraum zu, der seit der Entstehung der untersuchten Substanz durch Erstarren, Kristallisieren, Fällung usw. vergangen ist. Die Datierung der von Lebewesen stammenden C-haltigen Stoffe mit Hilfe des Isotops C^{14} , die Libby entwickelt hat, ist allgemein bekannt. Die Isotopenverhältnisse in Meteoriten erlauben Rückschlüsse auf deren Vergangenheit, weil die Einwirkung kosmischer Strahlen meßbare und überblickbare Veränderungen des Isotopenverhältnisses verursacht. Der Gradient des Verhältnisses, in seiner Abhängigkeit vom Abstand der entnommenen Probe von der Oberfläche, liefert wertvolle Informationen.

Nun wurde in ähnlicher Weise der Peridotit des brasilianischen St. Peter- und Paul-Felsens, der in der Nähe des Äquators aus dem Atlantik ragt, untersucht. Das Mineral enthält vorwiegend Si, Mg, O und stammt aus großer Tiefe, aus der es die Bewegungen der Erdrinde angehoben haben. Auf Grund der Mengen und Mengenverhältnisse der Elemente Sr^{88} , Sr^{87} , Rb (Rb ist schwach radioaktiv, Sr^{87} ist sein stabiles Zerfallsprodukt) ergab sich ein Alter von 4,5 Milliarden Jahren, das ist um eine Mil-

liarde mehr, als das vor dieser Feststellung bekannte Höchstalter fester Bestandteile der Erdkruste. (Lit.: Bild d. Wiss., Juni 65, S. 498: Älteste Felsen.)

2. Testung der allgemeinen Relativitätstheorie. Die Ablenkung des Lichtes von Sternen, das während einer totalen Sonnenverfinsterung in der nächsten Nähe am Tagesgestirn vorbeigeht, ist sehr schwierig mit der erforderlichen Genauigkeit zu bestimmen, denn die Versetzung der Sternbilder auf der Fotoplatte beträgt nur winzige Bruchteile eines Millimeters. Vorläufig ist der beobachtete Ablenkungswinkel gegenüber dem theoretischen Sollwert etwas zu groß. Die Vermessung von 11 Sternen während der Totalitätsphase am 2. 10. 1959 ergab die mittlere Ablenkung $(2,17 \pm 0,34)''$ statt $1,75''$ gemäß der allg. Rel. Theorie.

S. Refsdal (Norwegen) schlägt vor, zur weiteren Klärung des Sachverhaltes Bedeckungen eines Fixsterns durch einen anderen aufzuspüren und die Bedeckungsphase photometrisch festzuhalten. Die relativistische Strahlenablenkung müßte das Licht des entfernteren Sternes (soweit es der dünnen Zylindermantelschicht angehört, die den vorderen Stern streifend einhüllt) nach dem Vorbeigang ganz schwach gegen die Zylinderachse (= Strahlrichtung) hin konvergent machen. Das heißt, während der Bedeckung müßte die Helligkeit des näheren Sternes größer sein als normal. Dieser würde wie eine Sammellinse wirken. (Lit.: Bild d. Wiss., Juni 65, S.)

3. Reibschweißen. Durch Reibung entsteht Wärme. Sie steigt mit der Normalkraft, welche die Berührungsfleichen aufeinander ausüben. Bei genügend hohem Druck kann die Erwärmung den Schmelzpunkt erreichen. Die rasche Abkühlung, die nach Beendigung von unter Druck gegeneinander bewegten ebenen Metallflächen eintritt, führt zur Erstarrung der flüssigen Grenzschicht. Auf diese Weise können auch heterogene Metalle verschweißt werden.

Die Bewegung besteht in einer Verdrehung des einen Werkstücks gegen das festgehaltene andere. Die Drehachse steht natürlich auf der Berührungsebene senkrecht.

Vorteile: Geringer Materialverlust, Grenzflächen dürfen rau sein, gesägte Flächen bedürfen vor dem Reibschweißen keiner zusätzlichen Bearbeitung.

Anwendungen: Befestigung von Gewindestutzen an Rohren. Das hat sich bei Bohrgeräten der Erdölindustrie in über 100 000 Fällen seit 1960 ohne Ausschub bewährt. Aufbringung von Auslaßventilen von Dieselmotoren. Verbindung des Stahlflansches mit der Getriebewelle. Alle thermoplastischen Stoffe eignen sich für das Verfahren, das allerdings an das Können des Schweißers hohe Anforderungen stellt. (Lit.: Umschau i. W. u. T., 1. 5. 65, S. 269, Reibschweißen verbindet auch unterschiedliche Metalle.)

4. Elektromagnetische Felder ohne Reflexionsstörungen. Die Umgebung jeder Sendeanlage enthält Begrenzungsflächen, an denen die elektromagnetischen Wellen reflektiert werden. Das reflektierte Feld überlagert sich dem Primärfeld und erschwert alle Experimente, die nur dieses betreffen. Daher bemüht man sich, die vollständige Absorption der Primärwellen durch zweckmäßige Gestaltung der Grenzflächen des Versuchsvolumens herbeizuführen. So entsteht ein „elektrisch toter“ Raum, d. h. ein Raum ohne elektromagnetisches Echo.

Sämtliche Begrenzungsflächen des Versuchsraumes und allfälliger in ihm enthaltener Gegenstände werden mit vierseitigen Pyramiden bedeckt, deren Höhe auf der Grenzfläche senkrecht steht und die Basiskante erheblich übertrifft. Das Pyramidenmaterial ist entweder ein Dielektrikum mit starker Dämpfung oder ein Isolator mit einer dünnen, leitenden Auskleidung. Die langsame Verdickung der Pyramide gegen die Basis zu ($H \gg a$), bewirkt, daß die der Grenzfläche zueilende Welle immer stärker gedämpft wird. Die Dimensionierung der Pyramiden hängt von der Frequenz ab. Nur kurze Wellenlängen eignen sich. Derartige Versuchsräume leiden nicht unter den Unbilden des Wetters wie Freifeldanlagen, außerdem sind die letzteren kaum völlig eichfrei. (Lit.: Umschau i. W. u. T., 1. 6. 65, S. 347. H. S., Reflexionsfreier Raum für Mikrowellen.)

5. Die Dichte der Hochatmosphäre. Kugelförmige Satelliten eignen sich ausgezeichnet zur Bestimmung der

Luftdichte, weil sie infolge des Luftwiderstandes allmählich langsamer werden. Die Zunahme der Umlaufzeit wird mit Hilfe der hochentwickelten Ortungstechnik genau bestimmt und daraus auf die Dichte des Gases in der Bahnregion geschlossen. K. Fea stellte fest, daß sich die Umlaufzeit des Ballonsatelliten 1963-30D des Lincoln Laboratorium in der Zeit vom 21. 6. 64 bis 31. 8. 64 um $0,01737$ sek vergrößerte. Dieser Satellit zeigte deshalb einen relativ großen Effekt, weil er im Verhältnis zur Größe ziemlich leicht ist: Durchmesser = $2,4$ m, Masse = $1,25$ kg, Bahnhöhe = 3500 km. Aus der Verzögerung berechnet sich die Dichte der Atmosphäre in der angegebene Höhe mit $2,5 \cdot 10^{-20}$ g/cm³. Der Wert ist $20\ 000$ mal größer als im interstellaren Raum, wo er sich auf nur $1,2 \cdot 10^{-24}$ g/cm³ beläuft. (Lit.: Sky and Tel., Mai 65, S. 281. Atmosphere Density at extreme Heights.)

6. Neue Teilchen. Im Februar 1964 erschien im Scientific American ein umfangreicher Artikel der führenden Physiker Gell-Mann, Chew und Rosenfeld, der 82 Partikeln mit starker Wechselwirkung (= Hadronen) aufzählte. In den darauffolgenden fünf Monaten fand man neun weitere Teilchen, darunter 3 Baryonen und 6 Mesonen!

1 Baryonenzustand Ω^- , Ruhmasse $m_0 = 1,675$ GeV/c². Seine Existenz wurde im Februarartikel als sehr wahrscheinlich hingestellt.

1 Mesonenzustand, Ruhmasse $m_0 = 2,7$ GeV/c². Erzeugt mit dem 6 GeV-Elektronensynchrotron in Cambridge, Mass. Vielleicht ist diese Partikel der leichteste Vertreter einer 27gliedrigen Superfamilie?

1 Baryonenzustand vom Typus Ξ , Ruhmasse

$$m_0 = 1,81 \text{ GeV/c}^2.$$

3 Mesonenzustände vom Typus π , Ruhmassen:

$$m_0 = \begin{Bmatrix} 1,09 \\ 1,22 \\ 1,31 \end{Bmatrix} \text{ GeV/c}^2.$$

2 Mesonenzustände vom Typus η , Ruhmassen:

$$m_0 = \begin{Bmatrix} 0,959 \\ 1,41 \end{Bmatrix} \text{ GeV/c}^2.$$

1 Mesonenzustand vom Typus κ , Ruhmasse:

$$m_0 = 1,215 \text{ GeV/c}^2.$$

Bezüglich der Nomenklatur wird auf den zweiten Teil des Aufsatzes „Die Bausteine der Materie“ in der nächsten Folge der Wiss. Nachr. verwiesen. (Lit.: Scient. Am., Juli 64, S. 44. Nine More Particles.)

7. Antideuteronen erzeugt. Nachdem bereits CERN die Entdeckung von Antideuteronen gemeldet hat, produzierten nun auch D. E. Dorfan, W. Lee et al. mit dem AGS (= Alternating Gradient Synchrotron) von Brookhaven diese Teilchen. Ein Strahl von 30 GeV-Protonen wurde auf ein Be-Target gelenkt. Die Kollision erzeugt vorwiegend negative Pionen. Es zeigte sich jedoch, daß den Pionen im mittleren Verhältnis $3 \cdot 10^{-8}$ Partikeln beigemischt waren, deren Masse um höchstens 3% von der Deuteronenmasse abweicht. Der Strahl wurde vor den Nachweisgeräten über eine 120 m lange Strecke geführt. Die erforderliche Flugzeit von mindestens 10^{-7} sek hätte instabile Partikeln nicht bis zu den Detektoren gelangen lassen.

Sehr wertvoll waren die Ratschläge der CERN-Gruppe, die man in Brookhaven befolgte.

Die gleichzeitige Suche nach Antitritonen \bar{t} brachte keine brauchbaren Resultate. Wenn solche überhaupt beigemischt waren, so höchstens im Verhältnis 10^{-10} zu den Pionen. (Lit.: Phys. Rev. Lett., 14. 6. 65, S. 1003. D. E. Dorfan, W. Lee et al., Observation of Antideuterons.)

8. Neue Geräte bei CERN. Die Schallempfänger der akustischen Funkenkammer sind instande, aus den Laufzeitunterschieden der Schallwellen vom Ort des Funkenüberschlages zum Empfänger die Überschlagesstelle mit einer Genauigkeit von $0,5$ mm auszumachen.

Eine zusätzliche Verbesserung der Funkenkammer besteht im Ersatz der undurchsichtigen parallelen Metallplatten, zwischen denen die Funken bei Durchgang eines Teilchens überspringen, durch weitgehend transparente Stahldrahnetze. (Durchsichtige Funkenkammer.)

Die Drahtstärke beträgt 0,05 mm, der Drahtabstand 0,5 mm. Die Netze bieten den großen Vorteil, mit einer einzigen Kamera, unabhängig von deren Aufstellung, alle Funkenspuren erfassen zu können, weil selbst die zahlreichen Stahlnetze von 1,9 m x 1,9 m, die in fünf nebeneinanderstehenden Funkenkammern untergebracht sind (Volumen des Behälters ist 5 m³), noch 80% des Lichtes durchlassen. Bei undurchsichtigen Platten müssen viele Kameras seitlich montiert werden, damit jeder Plattenzwischenraum photographisch erfaßt wird.

Auch die Justierung der Magnete des Synchrotrons hat beachtliche Fortschritte aufzuweisen. Das Ausrichten derselben ist eine sehr langwierige Arbeit, da die Ungenauigkeit 0,1 mm nicht überschreiten darf. Der neue Apparat, genannt Distinvar, wurde im Laufe der letzten Jahre entwickelt. Man benutzte Drähte der Fe-Ni-Legierung Invar, deren thermischer Ausdehnungskoeffizient nahezu Null ist. Die Drähte haben geeichte Längen, angepaßt den zu messenden Distanzen. Ein Drahtende ist in der „Balance“ befestigt. Diese definiert seine genaue Lage und spannt den Draht. Das andere Ende ist mit einer Mikrometerschraube verbunden, die den zu vermessenden Punkt erreicht. Mit dem Gerät können 3 Mann in 2 Tagen die Positionen von 100 Magneten auf 0,1 mm genau überprüfen.

Am 18. 3. 65, 12.30 Uhr, begann die neue 2-Meter-Blasen-kammer (Füllung flüssiger Werkstoff) bei CERN ihre Tätigkeit aufzunehmen. Der erste Lauf dauerte ungefähr 100 Stunden, brachte 113 000 Spurenphotos und verlief zur vollsten Zufriedenheit.

Auch die größte Blasen-kammer der Welt mit Schwerflüssigkeitsfüllung steht bei CERN. Ihr Fassungsvermögen beträgt 1180 Liter. Der Probebetrieb zur Gewinnung der Geräthcharakteristiken setzte ebenfalls im März 1965 ein.

Die CERN-Physiker, welche den Bau von Speicherringen betreiben, erhielten große moralische Unterstützung durch ein geglücktes amerikanisches Experiment. Wie die Stanford Universität meldet, ist es am 1. 2. 65 nach langwierigen, von enttäuschenden Rückschlägen begleiteten Anstrengungen gelungen, die beiden Elektronenstrahlen von je 300 MeV, die in zwei Speicherringen in entgegengesetzter Richtung kreisten, zur Kollision zu bringen. Wollte man dieselben Wirkungen mit dem Aufprall bewegter auf ruhende Elektronen bewirken, so müßten die bewegten die gigantische Energie von 360 GeV besitzen! (Siehe den Aufsatz über Speicherringe in Nr. 8 d. Wiss. Nachr., S. 13.) In jedem Ring floß ein Elektronenstrom von 0,03 A. Die Speicherdauer war 35 Stunden! Diese Daten eröffnen spektakuläre Perspektiven! (Lit.: CERN-Courier, April, Mai, Juni 65.)

Über den neuen Teilchenseparator von CERN berichten P. Brancham et al. in Physics Letters vom 1. 4. 65; The CERN Radio-Frequency Particle Separator-First Run. Am 25. 1. 65 zirkulierten 5 · 10¹¹ Protonen im CERN-Synchrotron. Sie erzeugten beim Aufprall auf das Target positive und negative Kaonen, welche den Separator durchliefen und ihn getrennt nach dem Landungsvorzeichen verließen. Die anderen gebildeten Partikeln wurden, wie die beigefügte Tabelle zeigt, weitgehend abgesondert.

	pos. Strahl	neg. Strahl
Kaonen	85 ± 4 %	64,7 ± 3 %
Protonen	8,6 ± 1 %	2,3 ± 0,5 %
Pionen	2,1 ± 0,3 %	10 ± 1 %
Myonen	4,3 ± 1 %	23 ± 2 %
Summe	100 %	100 %

Es traten keine Instabilitäten auf. Der Separator arbeitete ebenso gut wie die alten elektrostatischen, welche aber bei Energien von dieser Größe versagen.

8. Lasergesteuerte Maschinen. Automatische Fertigungen erfordern, namentlich bei Werkzeugmaschinen, höchste Genauigkeit. Auf der Suche nach verbesserten Methoden fand nun der Laser Eingang in die industrielle Serienproduktion. Das Ergebnis ist verblüffend. 2,5 m lange Werkstücke können auf 0,8 µm genau gearbeitet

werden, Relativbewegungen von nur 1 mm/sek sind auch auf größere Distanzen hin bestimmbar. Das ist vor allem in der Satellitentechnik von unschätzbarem Wert.

Der Steuerungsmechanismus besteht im wesentlichen aus einem Laserstrahl, den ein ortsfester Sender, nahe dem Ende der Führung des beweglichen Schlittens der Maschine, ausstrahlt. Ein Spiegel auf dem Schlitten reflektiert das Licht. Primär- und reflektierter Strahl kommen in einem Photoelement zur Interferenz, das für Schlittenverschiebungen von nur 0,5 µm empfindlich ist. Das Interferenzmuster wird in eine Meßwertanzeige umgeformt und diese löst die weiteren elektronischen Steuerungsschritte aus. Daran ist sogar ein Rechenautomat beteiligt.

Der Laserstrahl ist erforderlich, um möglichst monochromatisches Licht, d. h. eine weitgehend konstante Wellenlänge, zur Verfügung zu haben.

Diese Meldung ergänzt gut die in 8. gegebene Beschreibung des Längenmeßgerätes „Distinvar“ bei CERN. (Lit.: Bild d. Wiss., Mai 1965, S. 405. Die aktuelle Wissenschaft.)

10. Streuung von Photonen an Photonen. Die Quantenelektrodynamik führt die Coulombkräfte auf virtuellen Photonaustausch zwischen den elementaren Ladungsträgern zurück. Umgekehrt müßte es daher auch Streuungerscheinungen zwischen Photonen geben, wenn sich im Vakuum Photonen in virtuelle Elektron-Positron-Paare verwandeln, die dann wieder in zwei γ-Quanten zerfallen. Den Wirkungsquerschnitt der Photonenstreuung liefert die Formel

$$\sigma = \frac{16}{\pi} \cdot \frac{139}{90^2} \cdot \alpha^4 \cdot \frac{1}{m^2} \cdot \frac{\omega_1^3 \omega_2^3}{m^6} \cdot \frac{\omega_3}{\omega_1}, \omega_1 \gg \omega_2$$

Darin bedeutet:

- $\alpha = 137$ = Feinstrukturkonstante
- m = Elektronenruhmasse
- $\omega_{1, 2}$ = Energien der Photonen in den beiden sich kreuzenden Photonenströmen
- $\omega_3 = 2 \cdot \omega_1 \cdot \omega_2 / [(\omega_1 + \omega_2) - (\omega_1 - \omega_2) \cdot \cos \theta]$
- θ = Streuwinkel, ($h = c = 1$).

Entnimmt man Photonen mit $\omega_1 = 6$ GeV einem Synchrotron und streut sie am kontinuierlich emittierten Licht eines Rubinlasers, so fällt δ für kleine Streuwinkel sehr klein aus, nämlich $\delta = 2,1 \cdot 10^{-36}$ cm². Das gäbe pro Tag lediglich 2 bis 3 Ereignisse.

Bessere Möglichkeiten böte die Durchdringung des γ-Stroms aus dem Beschleuniger mit den Photonen aus Kernreaktoren. Wenn diese auch erheblich kleinere Flußdichte besitzen als die Quanten des Lasers, so wirkt sich die bedeutend höhere Energie nach der Formel stärker aus. Für $\omega_1 = 6$ GeV, $\omega_2 = 2$ GeV, $\theta = 0^\circ$ wäre $\delta = 10^{-17}$ cm². Das ergäbe etwa ein Streueignis je Sekunde. Die letzte Variante des Versuchs wurde von E. Bagge, Kiel, vorgeschlagen. (Lit.: 1. Physics Lett., 6, Nr. 2, 1963, S. 175. 2. Die Naturwiss., 1. April 1965, S. 154. E. Bagge, P. Wille, Über die Möglichkeit, Streuung von Licht an Licht mit einem Beschleuniger und einem Kernreaktor nachzuweisen.)

11. Neue kernphysikalische Anlagen. a) Hinsichtlich der Atomkraftwerke nimmt Großbritannien unbestritten die führende Stellung in der Welt ein. Nicht nur, weil das erste Atomkraftwerk dort errichtet wurde, sondern auch wegen der nicht unbeträchtlich steigenden Anzahl solcher Anlagen auf seinem Territorium. Mit der Inbetriebnahme zweier weiterer Atomkraftwerke von je 500 MW Leistung — sie ist für Ende 1965 vorgesehen —, wird das Vereinigte Königreich über die größten Werke dieser Art verfügen.

Die dann vorhandenen 19 britischen Reaktoren werden 60% der Weltkapazität darstellen. Der Strompreis bei den zwei neuesten Anlagen wird auf 0,45 pence/kWh geschätzt, gegenüber 0,5 pence/kWh in konventionellen Kraftwerken.

b) In der Cornell-Universität (USA) sind alle Vorbereitungen für den Bau eines 10-GeV-Elektronensynchrotrons abgeschlossen. Aus einem Linearbeschleuniger gelangen 250 MeV Elektronen in den Ringkanal des Synchrotrons. Der Kanalradius wird etwa 120 m betragen. 96 verhältnismäßig kleine Magnete erzeugen ein Feld von 5000 Örsted. Die Magnete üben alternierend eine fokussierende bzw. defokussierende Wirkung auf die Elektronen aus. Pro Puls erwartet man 10¹¹ Elektronen, in jeder

Sekunde werden 60 Beschleunigungszyklen ablaufen. Die Kosten sind mit 11,3 Millionen Dollar veranschlagt. Die letzte Meldung stammt aus dem Juniheft 1965 von *Physics Today*, S. 72.

12. Vierte Supernova seit 1000 n. Chr. In diesem Jahrtausend sind drei Supernovaausbrüche bekannt geworden, die infolge ihrer auffälligen Lichtwirkungen eindeutig innerhalb unseres Milchstraßensystems stattfanden. Die erste Supernova flammte 1054 im Sternbild des Stiers auf, ihr Relikt ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der Krabbennebel. Die zweite erschien 1572 in der Cassiopeia, die dritte 1604 im Ophiuchus. Sie werden nach ihren berühmten Zeitgenossen als Tychos beziehungsweise Keplers Stern bezeichnet.

Die geringe Zahl der in Frage stehenden Ereignisse (rein statistisch müßte die Milchstraße im Durchschnitt alle 200 Jahre eine Supernova hervorbringen) veranlaßte B. R. Goldstein (Yale-Universität, USA), nach eventuellen weiteren Supernovae zu forschen. Wenn nicht alle Anzeichen trügen, war die Suche erfolgreich. Gold-

stein überprüfte sorgfältig die Berichte über auffallende Himmelserscheinungen, die man in Europa, im Nahen und im Fernen Osten aufgezeichnet hatte. Dabei stieß er auf Schilderungen des Astronomen Ali ibn Ridwan aus Kairo (gest. 1061), in denen dieser als Augenzeuge einen Stern beschreibt, der so hell wie der Viertelmond gewesen sein soll. Da der Stern nach Ridwan „gezwickert“ hat und seinen Ort relativ zu den anderen Fixsternen nicht veränderte, muß die Kometenhypothese, mit der man sich bis jetzt ohne viele Gedanken zufrieden gab, wohl fallengelassen werden. Das Ereignis fiel in die Monate Mai bis August 1006. Der ägyptische Bericht wird noch von anderer Seite unterstützt. Der Schweizer Mönch Hepidanus (St. Gallen) erwähnt das Auftauchen eines überaus hellen Sterns in denselben drei Monaten, und zwar im äußersten Süden des Himmels, japanische und chinesische Quellen enthalten ähnliche Hinweise. Goldstein vermutet im planetarischen Nebel NGC 5882 im südlichen Sternbild Lupus das Überbleibsel dieser Supernova. (Lit.: *Sky and Tel.*, Mai 65, S. 57: Fourth Supernova? *Ferner April 65*, S. 218: American Astronomers report.)

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Prof. W. Sitte

Österreichs Wirtschaftsentwicklung von 1913 bis 1964 in Zahlen

Das Österreichische Institut für Wirtschaftsforschung gab 1965 ein Sonderheft¹ heraus, in dem es versuchte, Österreichs Volkseinkommen und seine einzelnen Teilgrößen unter Verwendung aller verfügbaren Indikatoren real und nominell bis zum Jahre 1913 zurückzurechnen. Trotz der Mängel, welche die über ein halbes Jahrhundert reichenden statistischen Reihen aufweisen und trotz verschiedener grundsätzlicher Erwägungen (Art und Qualität der Güter, die Struktur von Produktion und Konsum haben sich im Laufe der Zeit zum Teil grundlegend geändert) spiegelt sich im Zahlenwerk eindrucksvoll das wechselvolle Schicksal der österreichischen Wirtschaft. Bei vorsichtiger Interpretation bietet das Zahlengebäude zur historischen Darstellung der österreichischen Wirtschaftsentwicklung eine anschauliche quantitative Ergänzung. Wir bringen in der Folge einen Auszug davon, wobei wir teilweise auch die entsprechenden Ergebnisse von 1964, die in dem Sonderheft nicht aufscheinen, hinzufügen.

Das Brutto-Nationalprodukt²

Der Zerfall der Monarchie nach dem Ersten Weltkrieg leitete für Österreich eine Phase wirtschaftlicher Stagnation ein. Es mangelte an Rohstoffen und Energie. Die Industrieproduktion war 1920 nicht einmal halb so hoch wie 1913 (bezogen auf die Staatsfläche der Republik). Die Landwirtschaft erzeugte um ein Drittel weniger und konnte den heimischen Nahrungsmittelbedarf kaum zur Hälfte decken. Das reale Brutto-Nationalprodukt sank von 1913 bis 1920 um 34 Prozent. Die Bemühungen, in den folgenden Jahren

¹ Österreichs Volkseinkommen 1913 bis 1963; Monatsberichte des Österreichischen Institutes für Wirtschaftsforschung 14. Sonderheft, Wien 1965.

² Zur Begriffserklärung vergleiche: L. BOSSE, Das Volkseinkommen, *Die Wirtschaft geht jeden an*, Heft 15, 1958; W. SITTE: Die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, *Erz. u. Unterr.* 1964, Heft 5.

Tabelle 1
Entwicklung des Brutto-Nationalproduktes
von 1913 bis 1964

Jahr	Absolute Werte		Indizes real 1913 = 100
	nominell Mill. S.	real ¹ Mill. S.	
1913	10.116	10.802	100
1920	—	7.175	66,4
1924	9.257	9.565	88,5
1929	12.087	11.358	105,1
1933	9.020	8.803	81,5
1937	9.822	9.822	90,9
1937	9.822	63.910	90,9
1946	—	41.004	58,4
1948	32.537	57.660	82,0
1950	52.313	77.062	109,6
1954	93.244	93.244	132,6
1958	136.673	120.046	170,7
1960	161.289	133.672	190,2
1963	200.054	148.326	211,0
1964	219.800	157.200	223,6

¹ Bis 1937 zu Preisen von 1937; ab 1937 zu Preisen von 1954.

eine leistungsfähige Wirtschaft aufzubauen (Völkerbundanleihe, Sparmaßnahmen, Intensivierung der Landwirtschaft, die 1929 um 10 Prozent mehr Produkte erzeugte als 1913, Ausbau der Wasserkräfte, wachsender Reiseverkehr), wurden durch die Weltwirtschaftskrise (1933: 560 000 Arbeitslose = 26% aller Arbeitnehmer) zunichte gemacht. Das reale Nationalprodukt war nur 1928 bis 1930 geringfügig höher, 1937 aber um 9 Prozent niedriger als 1913. Der wirtschaftliche Rückschlag war nach dem Zweiten Weltkrieg größer als nach dem Ersten. 1920 lag das reale Brutto-Nationalprodukt um 34, 1946 jedoch um 42 Pro-

Das Brutto-Nationalprodukt nach Wirtschaftszweigen 1913 bis 1963
(Semi-logarithmischer Maßstab; reale Indizes 1913=100)

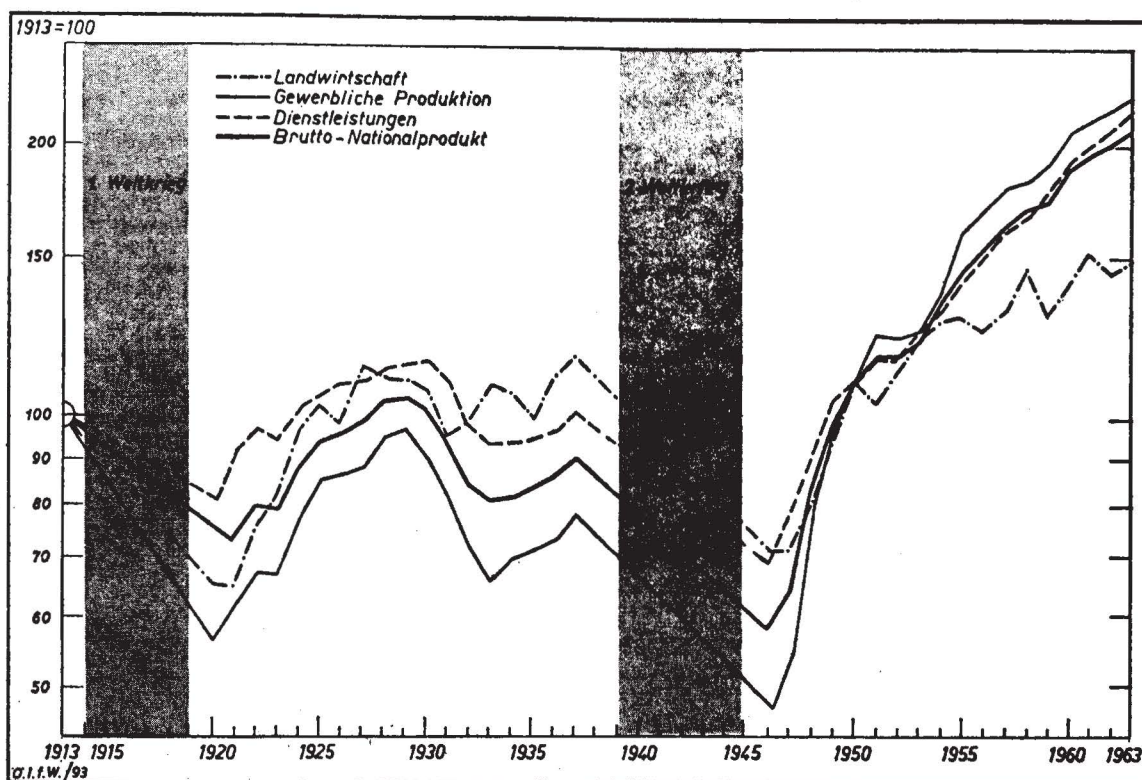


Abb. 1

zent unter dem des Jahres 1913. Trotz schwerer Kriegsschäden und Demontagen sowie langjähriger Besetzung durch die Alliierten gelang dank eigener Anstrengungen und großzügiger ausländischer Hilfe (UNRRA, ERP) der Wiederaufbau der Wirtschaft in der Zweiten Republik in verhältnismäßig kurzer Zeit. Schon 1950 übertraf das reale Nationalprodukt das der Jahre 1913 bzw. 1929. Der 1914 unterbrochene Wachstumsprozeß der österreichischen Wirtschaft setzte sich jetzt verstärkt fort. Von 1950 bis 1963 stieg das reale Brutto-Nationalprodukt um 92 Prozent oder durchschnittlich um 5,2 Prozent pro Jahr. 1963 war es um 111 Prozent höher als 1913, um 101 Prozent höher als 1929 und um 132 Prozent höher als 1937. In der gesamten Zeitspanne 1913/1963 wuchs das reale Nationalprodukt je Einwohner in Österreich mit einer durchschnittlichen Rate von 1,4 Prozent pro Jahr. Merklich höhere Wachstumsraten zeigen im gleichen Zeitraum Schweden (2,3 Prozent) und die Schweiz (2,2 Prozent), Staaten, die an den beiden Weltkriegen nicht beteiligt waren.

Wachstum der einzelnen Wirtschaftszweige

Zum Wirtschaftswachstum der letzten fünfzig Jahre trugen die einzelnen Wirtschaftszweige in unterschiedlichem Maße bei. Kennzeichen der Entwicklung ist der Übergang von der Agrar- zur Industriegewirtschaft. Die gewerbliche Produktion (Industrie, Gewerbe, Baugewerbe, Elektrizitäts-, Gas- und Wasserversorgung) wuchs um

128 Prozent, wobei sich die Wachstumsphase ausschließlich auf die Zeit nach 1945 beschränkte. Zwischen den beiden Weltkriegen ließen Strukturmängel und Weltwirtschaftskrise die Industrieproduktion schrumpfen. Besonders kräftig war das Wachstum der Industrie in der unmittelbaren Wiederaufbauperiode nach dem Zweiten Weltkrieg. Das Angebot an verschiedenen Dienstleistungen (Handel, Verkehr, Banken, Versicherungen, Wohnungswirtschaft, öffentlicher Dienst und sonstige Dienstleistungen) wuchs von 1913 bis 1963 um 120 Prozent. Dabei ist bemerkenswert, daß bis 1937 die Dienstleistungen zunächst stärker als das Brutto-Nationalprodukt wuchsen. Die Gründe hierfür liegen in der damaligen Ausweitung des Verkehrswesens, der Wohnungswirtschaft und der öffentlichen Dienste. Eine zweite überdurchschnittliche Expansionsperiode des Dienstleistungsbereiches sehen wir von 1958 bis 1963. Sie entspricht dem allgemeinen Wachstumsgesetz, wonach in einer wachsenden Wirtschaft ab einem bestimmten Reifegrad die sogenannte tertiäre Produktion (Dienstleistungen) auf Kosten der gütererzeugenden Bereiche zunimmt. Die reale Wertschöpfung der Land- und Forstwirtschaft hingegen lag 1963 nur 50 Prozent höher als 1913. Ihre stetige Expansion nach 1920 wurde von der Weltwirtschaftskrise nicht entscheidend getroffen, weil damals zwar die Gelderträge, kaum aber die Produktion sank; günstig beeinflusste sie auch die damalige Autarkiepolitik der Staaten. Erst nach dem Zweiten Weltkrieg

Tabelle 2

Anteil der Verwendungsarten am verfügbaren Güter- und Leistungsvolumen
(zu laufenden Preisen) in %

	1913	1924	1929	1933	1937	1948	1950	1954	1958	1960	1963	1964
Privater Konsum	76,9	72,5	77,0	84,2	78	69,7	64,2	65,1	62,4	59,1	62,5	60,7
Öffentlicher Konsum	10,9	7,9	10,2	12,8	13,8	11,6	11,4	13,4	14,0	12,7	13,7	13,9
Brutto-Anlageinvestitionen	12,9	6,0	9,9	5,1	7,4	11,7	16,1	19,3	21,5	22,6	23,8	24,3

wurde die Agrarproduktion dann von der Industrieproduktion übertroffen. Trotz Rückgang des Arbeitskräftevolumens (zwischen 1951 und 1961 wanderten 29 Prozent der in der Landwirtschaft hauptberuflich Tätigen in andere Berufe ab) aber stieg die landwirtschaftliche Produktion zwischen 1937 und 1963 mit 1 Prozent pro Jahr noch immer etwas stärker als zwischen 1913 und 1937 (0,6 Prozent pro Jahr), als die Zahl der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte fast konstant blieb.

Verwendung des verfügbaren Güter- und Leistungsvolumens zwischen 1913 und 1963

Das Verhältnis zwischen privatem Konsum, öffentlichem Konsum und Investitionen änderte sich zwischen 1913 und 1963 aus struktur- und konjunkturbedingten Ursachen wiederholt. 1913 wurden 13 Prozent¹ des verfügbaren Güter- und Leistungsvolumens investiert, mehr als doppelt so viel, wie zur Erhaltung des Bestandes an Produktivkapital notwendig gewesen wäre. In der Ersten Republik schränkte man die Investitionstätigkeit drastisch ein.

¹ Der Anteil der Investitionen am verfügbaren Güter- und Leistungsvolumen, ausgedrückt in Prozent, wird *Investitionsquote* genannt. Den Gesamtwert der Investitionen bezeichnet man als *Investitionsvolumen*.

Zwischen 1924 und 1937 wurden im Jahresdurchschnitt brutto 7 Prozent des verfügbaren Güter- und Leistungsvolumens investiert. Damit konnte man nur den Abgang alter Anlagen ausgleichen, das reale Anlagekapital konnte nicht vermehrt werden. Sehr stark machen sich in der Investitionstätigkeit Konjunkturschwankungen bemerkbar: 1924/1929 ein Aufschwung, 1929/1933 die Depression, 1933/1937 die Erholungspause. Die Investitionen schwankten drei- bis fünfmal so stark wie das Nationalprodukt. Aber auch im besten Investitionsjahr der Zwischenkriegszeit blieben sie deutlich unter den Investitionen von 1913. Da die Zahlungsbilanzdefizite zwischen 1924 und 1931 nur durch Verschuldung oder Verkäufe von Vermögenswerten an das Ausland finanziert werden konnten, erfuhr die österreichische Wirtschaft damals einen empfindlichen Substanzverlust, der ihre Lebensfähigkeit bedrohte. Im Gegensatz dazu sehen wir, wie nach 1945 die Investitionen steil anstiegen. 1948 überschritt die Investitionsquote mit 12 Prozent den Stand von 1929, 1950 mit 16 Prozent den von 1913. In den letzten Jahren zeichnet sich eine Stabilisierung auf hohem Niveau ab. 1964 wurden 24,3 Prozent des verfügbaren Güter- und Leistungsvolumens in dauerhaften Anlagegütern investiert. Verglichen mit 1913 ist das Investitionsvolumen gegenwärtig dreimal so hoch.

Verwendung des verfügbaren Güter- und Leistungsvolumens 1913 bis 1963
(Semi-logarithmischer Maßstab; reale Indizes 1913=100)

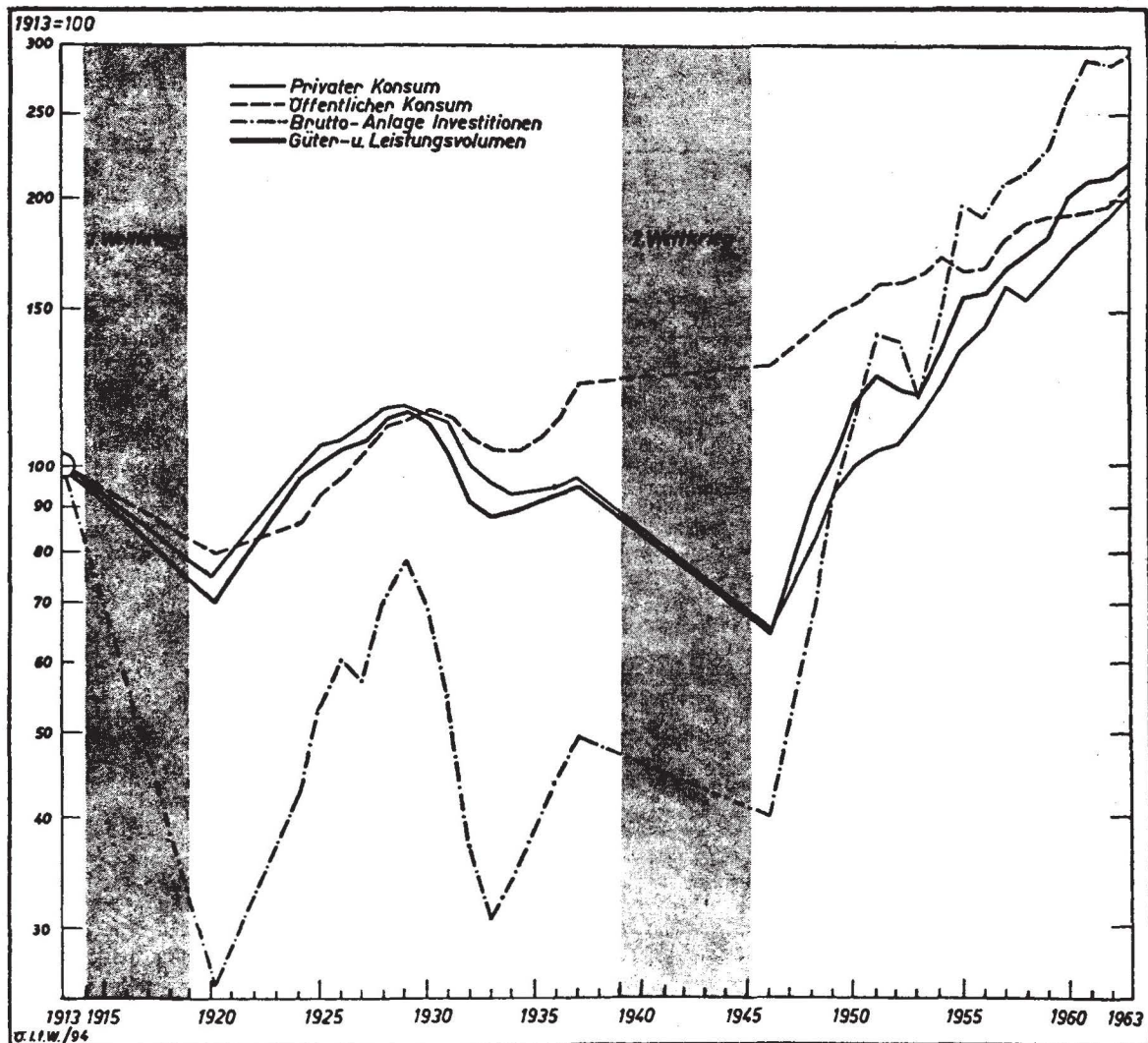


Abb. 2

Der Anteil des privaten Konsums am verfügbaren Güter- und Leistungsvolumen schwankte entgegengesetzt zur Investitionsquote. 1913 wurden 77 Prozent, zwischen 1924 und 1937 durchschnittlich 79 Prozent und zwischen 1948 bis 1950 64 Prozent in privaten Haushalten konsumiert. Das Volumen des privaten Konsums stieg in der Ersten Republik bis zur Weltwirtschaftskrise stetig. Obgleich das reale Nationalprodukt mit Ausnahme der Jahre 1928, 1929 und 1930 niedriger als 1913 war, hatte die österreichische Bevölkerung in der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen einen höheren Lebensstandard als vorher. Dieser Mehrkonsum ging zu Lasten der Investitionstätigkeit und mußte bis 1931 mit einer wachsenden Verschuldung an das Ausland erkaufte werden. Zu einem empfindlichen Konsumrückgang kam es nach 1932. Eine starke Konsumausweitung erfolgte nach 1945. Sie ließ jedoch genügend Raum für den Aufbau eines leistungsfähigen Produktionsapparates. 1950 wurde das Konsumniveau von 1913, 1954 dasjenige von 1929 wieder erreicht. Die jährliche Wachstumsrate des privaten Konsums liegt seit 1950 im Durchschnitt bei 5,5 Prozent. 1963 war der private Konsum insgesamt um 102 und pro Kopf um 90 Prozent höher als 1913. Mit steigendem Lebensstandard sank der Anteil für Nahrungsmittel und Getränke (1913: 25 Prozent — 1963: 40 Prozent), während die Verbrauchsgruppen Einrichtung und Hausrat, Körper- und Gesundheitspflege, Verkehr und Nachrichten, Bildung, Unterhaltung, Reisen und Sonstiges ihre Anteile erhöhten (1913: 19 Prozent — 1963: 34 Prozent).

Die Konsumausgaben der öffentlichen Haushalte (für allgemeine Zwecke der Verwaltung, Polizei, Gerichte, Spitäler) nahmen real in den letzten fünfzig Jahren um etwas mehr als 100 Prozent zu. Sie unterlagen nicht so starken Schwankungen wie die anderen Größen, was durch die zunehmenden Aufgaben der öffentlichen Körperschaften erklärt wird.

Wolfgang Sitte

Die britische Automobilindustrie

Entwicklung und Bedeutung

1896 begann in Großbritannien die industrielle Erzeugung von Automobilen (Daimler). 1913 betrug die Jahresproduktion an Motorfahrzeugen bereits 34 000 Stück. 1921 kam mit dem Austin 7 der erste in Massenproduktion hergestellte Kleinwagen heraus. 1937 erreichte die Produktion mit 379 000 Personenkraftwagen den Höchststand

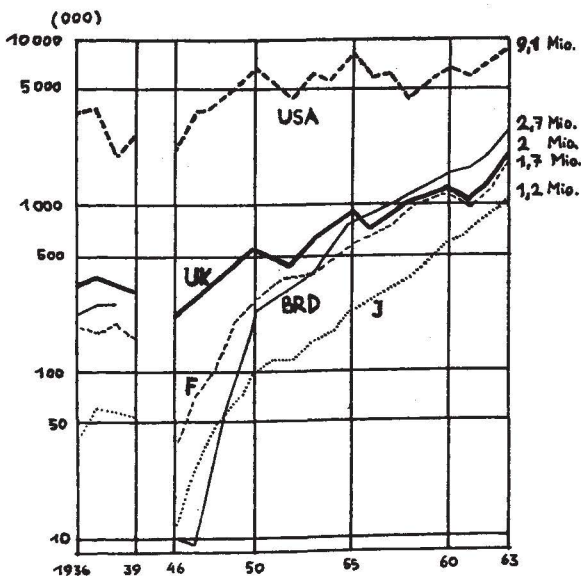


Fig. 1 Personenkraftwagen-Erzeugung in den Vereinigten Staaten, der Bundesrepublik Deutschland, dem Vereinigten Königreich, Frankreich und in Italien

in der Zwischenkriegszeit (Fig. 1). Das Vereinigte Königreich stand damals hinter den Vereinigten Staaten an zweiter Stelle der Automobilherzeugung der Erde. Nach 1945 nahm die britische Kraftfahrzeugindustrie zwar an dem starken allgemeinen Aufschwung dieser Branche in Westeuropa teil — 1949 wurde wieder die Vorkriegsproduktion erreicht, fünf Jahre später bereits doppelt so viele Personenkraftwagen hergestellt — das raschere Wachstum der westdeutschen Automobilherzeugung ließ Großbritannien jedoch auf den dritten Platz in der Weltrangliste zurückfallen. 1964 erzeugten die USA 9,3 Mill., die BRD 2,9 Mill., das U.K. 2,3 Mill., Japan 1,9 Mill., Frankreich 1,6 Mill. und Italien 1 Mill. Kraftfahrzeuge.

In der gesamten Wirtschaft des Landes nimmt die Kraftfahrzeugindustrie eine Schlüsselstellung ein. Ungefähr eine halbe Million Menschen arbeiten direkt in ihr, das sind etwa 2 Prozent aller Erwerbstätigen bzw. 6 Prozent der britischen Industriebeschäftigten. Bei Hinzurechnen der in den wichtigsten Zulieferungsbetrieben eingesetzten Personen erhöhen sich diese Zahlen beträchtlich. 1964 exportierte die Automobilindustrie Fahrzeuge im Werte von 817 Millionen Pfund Sterling; das sind 19 Prozent des Erlöses aller britischen Exporte. Eine Krise müßte sich auf die gesamte Wirtschaft sehr nachteilig auswirken.

Die Unternehmen

Ursprünglich befaßten sich nur mittlere und kleine Unternehmen mit dem Bau von Automobilen. Sie brachten zahlreiche Typen und Modelle in kleinen Serien auf den Markt. Aus wirtschaftlichen Gründen kam es dann in den dreißiger Jahren erstmalig zu größeren horizontalen Konzentrationen, bei denen sich mehrere gleichartige Firmen zusammenschlossen. Nach dem Zweiten Weltkrieg ging die Konzentrationsbewegung weiter. Heute erzeugen fünf große Unternehmen mehr als 90 Prozent aller Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeuge. Der größte britische Autokonzern ist The British Motor Corporation (B.M.C.). Sie entstand 1952 aus der Fusion der Austin- und Nuffield-Gruppe. Das Produktionsprogramm umfaßt Personen-, Last-, Lieferwagen, Traktoren, Motoren und Haushaltsmaschinen. Die Erzeugnisse werden unter den Markenbezeichnungen Austin, MG, Metropolitan, Morris, Princess, Riley und Wolseley vertrieben. Der Marktanteil im U.K. beträgt ungefähr 40 Prozent. Der Konzern beschäftigt etwa 80 000 Menschen. An zweiter Stelle steht die Ford Motor Company, die neben den deutschen Fordwerken die bedeutendste Tochtergesellschaft der amerikanischen Ford Motor Company ist. Auch sie produziert neben Personenwagen verschiedene Nutzfahrzeuge. Ihr Marktanteil im U.K. beträgt 30 Prozent. Besondere Bedeutung hat ihre Traktorenerzeugung, von der 70 Prozent in den Export gehen. Der Beschäftigtenstand erreicht 35 000. Der Ford Motor Company sind zahlreiche Zulieferungsbetriebe angegliedert. Mit deutlichem Abstand folgen Vauxhall, ein Tochterunternehmen von General Motors, das mit der Erzeugung von schweren Lastkraftwagen in Großbritannien führend ist, die Röttes-Gruppe, welche zum Chrysler-Konzern gehört und Standard-Triumph International. Neben diesen fünf großen Firmen gibt es aber auch eine Reihe kleiner und kleinster Unternehmen, deren Jahresproduktion zwischen 30 000 und 10 (!) Fahrzeugen liegt. Sie blieben auf dem Markt, weil sie sich auf den Bau von Spezialfahrzeugen festlegen bzw. Sonderwünsche erfüllen. Wir finden unter ihnen bekannte britische Automarken wie Rolls-Royce, Jaguar, Rover, Lotus u. a.

Standorte

Die ersten Automobilfabriken entwickelten sich am Ende des vorigen Jahrhunderts in Coventry aus Nähmaschinen- und Fahrradfabriken. Das große Reservoir geschulter Arbeitskräfte, die günstige Versorgung mit Energie sowie die Nähe zahlreicher Zulieferungsbetriebe bewirkten in der Folge eine starke geographische Konzentration der Automobilindustrie in den westlichen Midlands. Das zweite Zentrum, welches entstand, war London, wo die Autoindustrie ihr Hauptabsatzgebiet hatte. Vor dem Zweiten Weltkrieg beherbergte das Gebiet zwischen Birmingham und London mit Nebenzentren in Luton und Oxford 85 Prozent der Erzeugungskapazität der britischen Kraftfahrzeugindustrie. Als nach 1945 die Nachfrage nach Automobilen stark zunahm, vergrößerten die einzelnen Firmen zunächst ihre alten Produktionsstätten

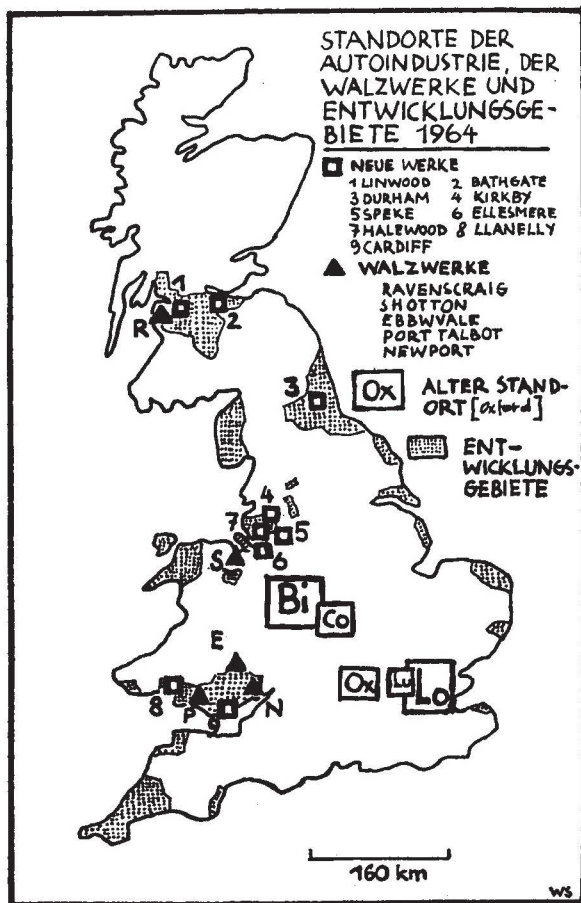


Fig. 2

bzw. errichteten in deren unmittelbaren Nähe neue Fabriken. Im Rahmen einer aktiven Wirtschaftspolitik versuchte jedoch dann die Regierung, die weitere Expansion der großen Konzerne in jene Gebiete zu lenken, die infolge ihrer Randlage oder ihrer einseitigen, krisenanfälligen Struktur wirtschaftliche Notgebiete mit hoher Arbeitslosenrate und niedrigem Durchschnittseinkommen sind. Beispielsweise erhielt die B.M.C. einen billigen, zehnjährigen Kredit im Umfang von 800 Millionen österreichischen Schilling nur unter der Bedingung, daß die neuen Produktionsstätten in Schottland und Südwaales errichtet werden. Wie die Skizze (Fig. 2) zeigt, liegen fast alle neuen Automobilfabriken in der Nähe der großen britischen Walzwerke, deren Hauptabnehmer sie neben der Schiffbauindustrie sind.

Probleme

Die Zusammenlegungen in der britischen Automobilindustrie und der starke Ausbau nach 1945 haben dazu geführt, daß die einzelnen Produktionsstätten der großen Konzerne eine weite geographische Streuung zeigen. Zwar sind im Vergleich zu den Vereinigten Staaten die Entfernungen in Großbritannien klein, doch werfen auch sie im Zusammenhang mit Rationalisierungsmaßnahmen zahlreiche transport- und betriebsorganisatorische Probleme auf. Ihre Erörterung soll am Beispiel des B.M.C.-Konzerns erfolgen (Fig. 3).

Als dieses Unternehmen 1952 durch Zusammenschluß mehrerer bekannter Automobilhersteller entstand, befanden sich die wichtigsten Produktionsstätten in Longbridge (Motorenherzeugung), Birmingham (Getriebe- und Karosseriebau), Coventry (Motorenbau); ein Teil der Karosserien wurde von fremden Firmen in Oxford und Swinnerton bezogen. Der Zusammenbau der Fahrzeuge fand in Longbridge (Austin), Birmingham (Morris-Nutzfahrzeuge, Traktoren), Coventry (Morris-Pkw), Oxford (Wolseley), Abington (MG) und London (Vanden Plas) statt. Die neuen Anlagen wurden in Bathgate (schwere Diesellastkraft-

wagen und Traktoren), Kirkby (Haushaltsmaschinen), Llanelly (Kühler, Pressen der Karosserien, Teilzusammenbau) und Swinnerton (Versandlager) errichtet. Nach ihrer Fertigstellung verlegte man die gesamte Erzeugung von schweren Lastkraftwagen und Traktoren nach Bathgate. Da dieser Betrieb ein weitgehend autonomes Werk ist, das von den übrigen Produktionsstätten der B.M.C. keine Fabrikationsteile zugeliefert bekommt, bringt die etwas abseitige Lage keine Nachteile. Durch die Verlagerung der Lkw- und Traktorenproduktion nach Schottland konnte man aber in Birmingham die Erzeugung von Motoren und leichten Nutzfahrzeugen ausweiten. Der Bau eines zentralen Versandlagers in Swinnerton, einem Platz etwa in der Mitte zwischen der nördlichsten und südlichsten Fabrik der B.M.C. in Großbritannien, der durch einen Kanal mit der Irischen See in Verbindung steht, schuf bei den Betrieben in Oxford, Longbridge und Coventry Raum für deren weiteren Ausbau. Auf diese Weise gelang es, die Produktionskapazität des Konzerns in wenigen Jahren um etwa 250.000 Einheiten auf rund 1 Million Fahrzeuge zu vergrößern.

Wenn die britische Automobilindustrie wettbewerbsfähig bleiben will, wird sie sich weiter integrieren müssen. Große Konzerne sind den kleineren Unternehmen nicht nur deshalb überlegen, weil sie ein dichtes Kundendienstnetz aufbauen und eine großzügige Werbung betreiben können, ihre Stärke liegt vor allem in ihrer Investitionskraft. Angesichts der Verteuerung der menschlichen Arbeitskraft kommt heute der Verwendung arbeitssparender Maschinen eine immer größere Bedeutung zu. Automation aber lohnt sich erst bei hohen Produktionszahlen. Was Investitionskraft bedeutet, mag folgendes Beispiel zeigen. Der Jahresgewinn von General Motors, dem größten Automobilkonzern der Welt, liegt ungefähr in der Größenordnung des Umsatzes einer seiner europäischen Tochtergesellschaften. Wenn es nötig wird, ist dieser Konzern damit ohne weiteres in der Lage, 10 oder mehr Milliarden österreichische Schilling zu investieren.

Der Anteil der Automobilexporte an der gesamten britischen Kraftfahrzeugproduktion lag gegen Ende der fünfziger Jahre bei 50 Prozent. Seither ist er stark im Fallen. 1964 betrug er nur mehr 36 Prozent. Die großen Hoffnungen, die sich die britische Autoindustrie auf den Europamarkt machte, sind bis jetzt nicht aufgegangen (1959 rollten in Frankreich, Belgien, der BRD und im U.K. 18 Millionen Automobile auf den Straßen — nach den Berechnungen der Statistiker werden es im Jahre 1970 etwa 50 Millionen sein). Der Hauptgrund dafür dürfte neben der festländischen und in letzter Zeit stark aufkommenden amerikanischen Konkurrenz die Diskriminierung der britischen Autos im EWG-Bereich durch Aufschlag eines 29prozentigen Zolls sein.

Literatur: W. GOODWIN, The Structure and Position of the British Motor Vehicle Industry, *Tijdsch. Economische en Sociale Geografie* 56, 1965, No. 4; *Die Presse* 24. 8. 1964; *Monthly Digest of Statistics* No. 236 August 1965, London.

Wolfgang Sitte

Vom Wesen und Wert unseres Geldes

1. Zur Geschichte des Geldes

Um die Geschichte des Geldes besser verstehen zu können, wollen wir eine Definition dieses Wirtschaftsbegriffes vorwegnehmen. Geld ist allgemeines Zahlungsmittel (Tausch-)mittel, welches die Massengewohnheit der Annahme erlangt hat. Neben der Funktion des anerkannten Tauschmittels sollen nach Meinung einiger Wissenschaftler schon die Anfänge des Geldwesens die sprachliche Verwandtschaft von Geld mit gelten und von Währung mit wahren gezeigt haben. Denn damals gaben die Menschen das, was ihnen Geltung verlieh, also das damalige Geld, in die Obhut ihrer Götter als Huldigung, Weihegabe oder Opfer. Auch die Heilige Schrift erwähnt die Schatzkammern in den Tempeln. Das Sozialprestige des Geldes ist also sehr alt. Denkt man rein wirtschaftlich, so muß festgehalten werden, daß in jeder Gesellschaft eine oder mehrere Waren als allgemeines Tauschmittel Geldfunktionen erfüllen, daß aber in den damaligen geschlossenen Hauswirtschaften eine Art Selbstversorgerwirtschaft

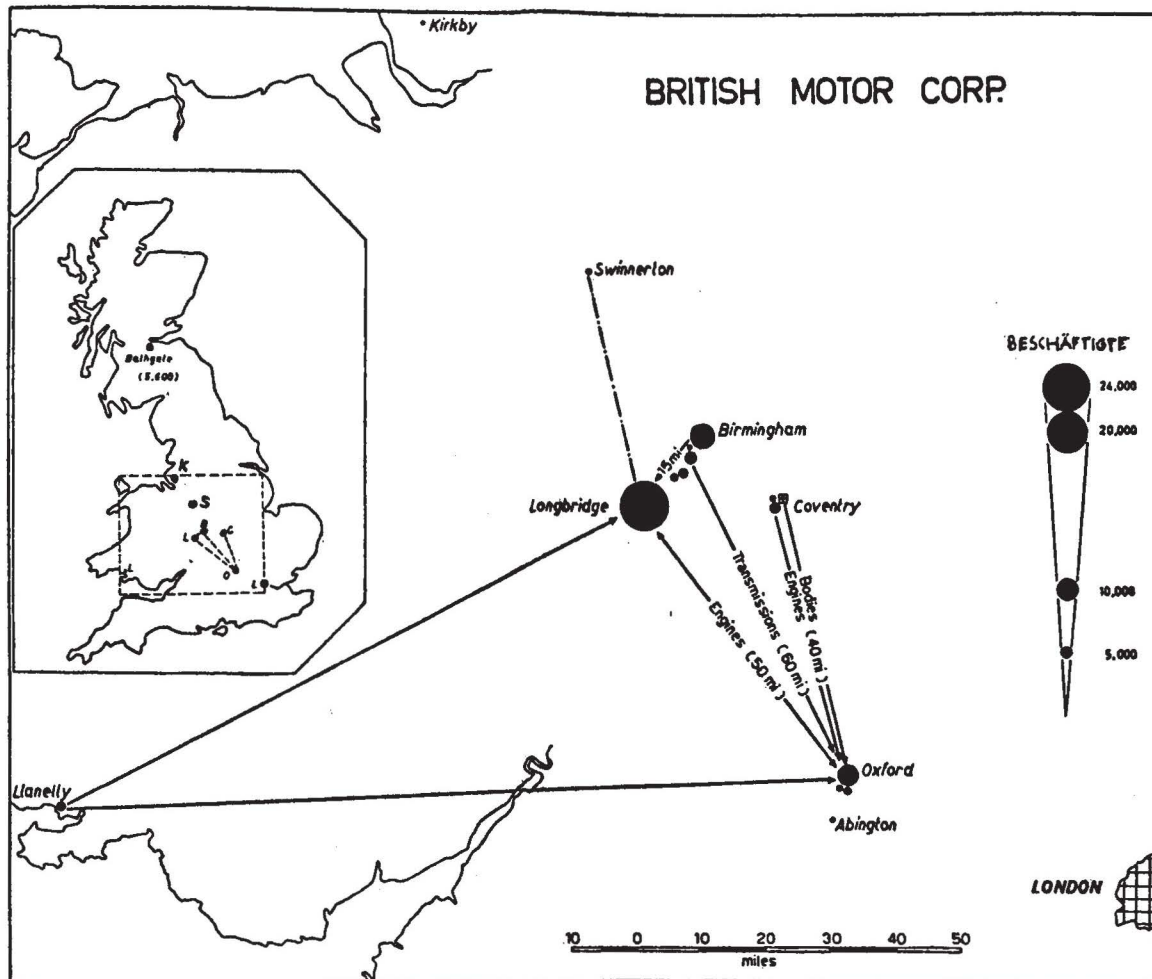


Fig. 3

herrschte, wo kein Bedarf zum Tausch Gut gegen Gut vorlag. Erst als man Waren benötigte, die man selbst nicht mehr herzustellen vermochte, benötigte man ein solches Tauschmittel. Rinder (vergleiche die lateinische Bezeichnung pecunia), Muscheln, Perlen, Salz, Felle waren zum Beispiel solche Tauschmittel. In der ägyptischen Kultur, im siebenten vorchristlichen Jahrhundert in Kleinasien und später bei den Römern, Griechen und Persern dienten dann schon Metallstücke als Mittler des interpersonalen Güterverkehrs. Die Edelmetalle Gold und Silber wurden zuerst als Wägegeld verwendet, die Münzprägung erlaubte später ihren Einsatz als Zählgeld. Die gewöhnlich vom Staat auf Gewicht und Feingehalt beglaubigten Münzen erleichterten den Zahlungsvorgang wesentlich.

Mit zunehmender Arbeitsteilung ist das Tauschbedürfnis der Menschen immer stärker geworden, und damit hat auch die Geldwirtschaft die Güterwirtschaft abgelöst. Alle primitiven Währungen wurden von Metallwährungen (neben Gold und Silber erlangte zeitweise auch Platin, Kupfer und Eisen einige Bedeutung) verdrängt. Erst verhältnismäßig spät (im Laufe des 18. Jahrhunderts) gesellten sich zu den metallischen Zahlungsmitteln auch Banknoten. Diese waren ursprünglich Depositenbescheinigungen über die Hinterlegung von Metallgeld bei einer Bank oder bei einem Goldschmied. Als Tauschmittel konnten diese Depotscheine deswegen zirkulieren, weil die betreffende Bank sich verpflichtete, das bei ihr deponierte Geld nicht nur an den Einleger, sondern auch an jeden Überbringer auszuzahlen. Besaßen die Banknoten einmal die Massengewohnheit der Annahme, dann konnten die Banken, im späteren Verlauf die dazu staatlich autorisierten Notenbanken, die Verpflichtung ihrer Einlösung in Edelmetall fallenlassen. Durch maßlose Notenausgabe während der Napoleonischen Kriege wurden viele Banknoten erheblich entwertet und verloren an

Ansehen. Allgemein führte man den Wertverlust der Banknoten auf mangelnde Deckung durch Gold und Silber zurück, eine Meinung, die noch heute Anhänger anspricht. Die starke Zunahme der Silberproduktion in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ließ den Silberpreis auf den Weltmärkten abrupt sinken, so daß Länder mit Silberwährung, wie zum Beispiel Österreich, wo erst 1892 eine Goldwährung installiert wurde, in arge Verlegenheit kamen. Internationale Abkommen (Münzunionen) versuchten ein klagloses Nebeneinander von Gold- und Silberwährungen zu schaffen, versagten aber nach kurzer Zeit. Heute ist das Privileg zur Ausgabe von Banknoten auf eine oder höchstens wenige Banken (in Österreich besitzt die Oesterreichische Nationalbank, deren Vorläuferin im Jahre 1816 gegründet wurde, das Notenbankprivileg) eingeschränkt. Während bis zum Ende des Ersten Weltkrieges in fast allen Welthandelsstaaten Goldwährungen mit freiem Wechselkursausgleich zwischen den beiden sogenannten Goldpunkten zur vollsten Zufriedenheit bestanden, gibt es heute eine Umtauschverpflichtung der Notenbanken in Edelmetall nur mehr vereinzelt, in Österreich zum Beispiel auch nicht. Die international wichtigsten Währungseinheiten wurden in feste Paritäten zum Gold beziehungsweise zum US-Dollar gesetzt, und die Wechselkurse mit engen Schwankungsbreiten fix gestaltet — erhebliche Änderungen der Wechselkurse sind nur bei grundlegenden Gleichgewichtsstörungen vorgesehen —. So hat der österreichische Schilling im Einvernehmen mit dem Internationalen Währungsfonds (IWF) seit 1953 eine Parität von 0,0341796 g Feingold.

2. Aufgaben des Geldes

Welche Funktionen soll also unser Geld erfüllen? Die wichtigsten nannten wir bereits, nämlich die als allgemeines Tausch- und Zahlungsmittel. Geld verkörpert

darüber hinaus seinem Besitzer den abstrakten Verfügungsanspruch auf alle am Markt vorhandenen Güter und Dienstleistungen. Daneben ist das Geld Ausdruck von Wert und Preis und somit eine allgemeine Recheneinheit. Dadurch ist ein Vergleich der Tauschwerte verschiedener Güter unschwer möglich. Schließlich sind noch die Wertaufbewahrungs-(Thesaurierungs-)funktion des Geldes — Waren sind oft verderblich und können nur mit erheblichen Kosten gelagert beziehungsweise gespart werden — und seine Aufgabe als Werttransportmittel zu nennen; diese Aufgaben kann das Geld auf Grund seiner Wertbeständigkeit, leichten Transportierbarkeit und Teilbarkeit erfüllen. Dadurch daß das Geld gesetzliches Zahlungsmittel ist, sind auch einseitige Verfügungen, wie zum Beispiel bei Steuerzahlungen oder Schenkungen, möglich.

3. Arten des Geldes

Das Geld kann uns heute auf drei Arten begegnen:

1. Metallgeld. Diese Art von Geld lernten wir bereits als Münzgold kennen. Jede Münze hat einen (aufgeprägten) Nenn- oder Nominalwert. Maßgebend für das Metallgewicht der Münze ist der gesetzlich festgelegte Münzfuß. Kurantmünzen müssen in unbeschränkter Höhe in Zahlung genommen werden und sind vollwertig aus dem Währungsmetall ausgeprägt, Scheidemünzen dagegen nur bis zu einem gesetzlich festgelegten Höchstbetrag; ihr Metallwert ist wesentlich kleiner als ihr Nennwert. Metallgeld ist heute nur als Stückgeld zur Bezahlung kleinerer Beträge von Bedeutung.

2. Papiergeld. Zum Unterschied vom sachhaften Metallgeld handelt es sich hier um stoffwertloses Geld. Seine geschichtliche Beziehung zum Metall hat das heutige Papiergeld weitgehend verloren; es stellt nur noch ein allgemein anerkanntes Zirkulationsmittel und eine Anweisung auf das Sozialprodukt dar. Seine Annahmepflicht beruht auf staatlicher Gesetzgebung.

3. Buch- oder Giralgeld. Diese dritte Kategorie hat heute die größte Bedeutung auf dem Geldsektor, weil der überwiegende Teil der Zahlungsumsätze in der modernen arbeitsteiligen Verkehrswirtschaft bargeldlos vorgenommen wird. Buchgeld entsteht: a) durch Einzahlung von Münzen oder Noten auf ein Konto bei einem Kreditinstitut. Über das Guthaben dieses Kontos kann der Einzahler mittels Scheck und Überweisung jederzeit verfügen; das eingezahlte Metall- oder Papiergeld besteht weiter und steht zur freien Verfügung des Kreditinstitutes; b) durch Überweisung von einem anderen Bankkonto; c) durch Kreditgewährung seitens der Kreditinstitute. Grundlage hierfür ist der moderne bargeldlose Zahlungsverkehr, der sich in Form von Umbuchungen von einem Bankkonto auf ein anderes abspielt, ohne daß Notenbankgeld zirkulieren müßte. Das Buchgeld entsteht dabei vornehmlich so, daß die von den Kreditinstituten eingeräumten Kredite von den Schuldnern gar nicht oder nur teilweise in barem Geld beansprucht werden, sondern daß über sie mittels Scheck und Überweisung auf andere Bankkonten verfügt wird. Dadurch, daß die Kreditinstitute untereinander in einem täglichen Abrechnungsverkehr von Forderungen und Gegenforderungen stehen, können sie mehr bargeldlose Zahlungen vornehmen, als ihnen vorher an Papier- oder Metallgeld zugeflossen ist.

Da Wechsel und Schecks oft für Zahlungszwecke herangezogen werden, zählt man sie zu den sogenannten Geldsurrogaten. Der Wechsel ist seiner rechtlichen Konstruktion nach eine Krediturkunde, die durch Indossament übertragen werden kann; der Scheck ist eine schriftliche Anweisung an eine Bank, aus einem Kontoguthaben des Scheckausstellers Zahlung zu leisten.

4. Geldtheorien

Die Nationalökonomie ist die Spezialwissenschaft, die sich intensiv mit den Problemen des Geldes beschäftigt. Hatte noch die sogenannte klassische Schule der Nationalökonomie behauptet, das Geld verberge nur die güterwirtschaftlichen Erscheinungen („Geldschleier“) und deswegen eine Trennung zwischen Güterwirtschaftslehre und Geldtheorie vorgenommen, so ist die neuere Wirtschaftstheorie eindeutig der gegenteiligen Auffassung und integriert beide Bereiche aus der Erkenntnis, daß zwischen monetären und güterwirtschaftlichen Vorgängen enge funktionelle Beziehungen bestehen. Dabei wird die Geldfrage in die makroökonomische Kreislaufbetrachtung

einbezogen und insbesondere konjunktur- und beschäftigungspolitische Probleme mit Geldproblemen verknüpft. An essentialen Geldtheorien seien kurz besprochen:

1. Der Metallismus. Er sieht den Stoffwert als besonderes Merkmal des Geldes an, die Geldeinheit ist daher eine bestimmte Menge Edelmetall. Diese Theorie ist vor allem durch die moderne Entwicklung des Papier- und Giralgeldes, und weil sie das Vertrauen in die Zirkulationsfähigkeit des Geldes nicht berücksichtigt, entkräftet worden.

2. Der Nominalismus verwirft den Stoffwert des Geldes und betont die Geltung des im Geld verkörperten Wertversprechens. Das Geld wird zum Symbol und erhält seine Geltung durch staatliche Proklamation. Geistig verwandt mit dem Nominalismus ist die Konventionstheorie, die als Gegenstück zur Auffassung, der Staat sei durch einen Gesellschaftsvertrag entstanden, die Entstehung des Geldes auf eine Übereinkunft der Menschen zwecks Erleichterung der Wirtschaftskommunikation zurückführt. Berührungspunkte mit dem Nominalismus hat auch die

3. Funktionstheorie, die den Geldwert aus den ökonomischen Aufgaben des Geldes ableitet; das Geld basiert nach dieser Theorie auf dem Vertrauen in seine Zirkulationsfähigkeit.

5. Der Geldwert

Spricht man von Geldwert, so kann man grundsätzlich drei verschiedene Standpunkte beziehen.

1. Der subjektive oder persönliche Geldwert, das ist der Wert, den eine Geldeinheit für das einzelne Wirtschaftssubjekt zum Erwerb von Gütern und Leistungen besitzt. Der subjektive Geldwert ist demnach von der Höhe der Waren- und Dienstleistungspreise und zweitens vom Bedürfnis- und Einkommensniveau des einzelnen abhängig. Ein verhältnismäßig bedürfnisloser Mensch schätzt eine Geldeinheit geringer ein als jemand mit gleich hohem Einkommen, aber mit vielen und intensiven Bedürfnissen. Für die Bezieher höherer Einkommen besitzt die Geldeinheit geringeren persönlichen Tauschwert als für Bezieher eines niedrigen Einkommens.

2. Der objektive Geldwert ist gleich mit dem inversen Preisniveau, das heißt bei steigendem Preisniveau sinkt die mit einer Geldeinheit zu erwerbende Gütermenge und umgekehrt. Die Berechnung dieses objektiven Tauschwertes des Geldes hat man schon früh versucht. Die theoretische Voraussetzung dafür liefert die Quantitätstheorie des Geldes. Mathematisch formulierte sie ihre Erkenntnis in der Formel $G \times U = H \times P$, wobei G die Geldmenge (später verfeinert: nicht die gesamte Geldmenge, sondern nur die marktwirksame unter Berücksichtigung der Geldhortungen), U die Umlaufgeschwindigkeit des Geldes, H das Handelsvolumen (die Gütermenge) und P die Güterpreise symbolisiert. Eine weitere Differenzierung berücksichtigt die modernen Zahlungsgewohnheiten und schloß die Buchgeldmenge G' und deren Umlaufgeschwindigkeit U' ein: $G \times U + G' \times U' = H \times P$. Obwohl die einzelnen Posten dieser Gleichung statistisch immer nur mit einiger Ungenauigkeit berechnet werden können und sich die Interdependenz von Geldwert und Preisniveau keineswegs so automatisch und proportional, wie in der Formel ausgedrückt, in Wirklichkeit auch abspielt, so ist die Quantitätsgleichung auch heute noch der wichtigste Erklärungsbehelf für den Tauschwert des Geldes geblieben. Zunehmende Bedeutung haben außerdem Preisindizes gewonnen, welche versuchen, die Preise eines repräsentativen Warenkorbes zu erfassen, und damit auf die Kaufkraft des Geldes Rückschlüsse ziehen.

Schließlich kann drittens unter Geldwert auch das Wertverhältnis zwischen inländischem Geld und ausländischen Währungen, der Kurswert des Geldes, gemeint werden. Dieses Wertverhältnis schlägt sich vor allem in den Kursen der ausländischen Devisen nieder, so daß man häufig auch von Wechsel- oder Devisenkursen spricht. Nach der Kaufkraftparitätentheorie ist für Angebot und Nachfrage nach Devisen und damit für die freie Wechselkursbildung entscheidend, daß im Land A mit der Geldeinheit des Landes A eine gleiche Menge von Gütern erworben werden kann wie im Lande B mit der Menge der Geldeinheiten des Landes B, die sich bei der Umrechnung der beiden Währungen über den Wechselkurs ergibt. In die Frage der Wechselkurse spielen Zahlungsbilanz- und Währungsprobleme hinein, auf deren genaue Darstellung wir in diesem Artikel verzichten wollen.

6. Das österreichische Geldvolumen

Zur Illustration sei angeführt, daß das österreichische Geldvolumen, das entspricht der gesamten statistisch erfassbaren Geldversorgung der österreichischen Wirtschaft, Ende 1964 insgesamt 47 694 Mill. S betrug, davon entfallen 26 112 Mill. S auf Bargeld und 21 582 Mill. S auf Giralgeld. Beim Bargeldumlauf werden die Kassenbestände der Kreditinstitute nicht zum Geldvolumen gerechnet, weil sie zu diesem Zeitpunkt nicht als Tauschmittel des interpersonalen Güterverkehrs eingesetzt sind; dazuzurechnen sind die Sichteinlagen von Nichtbanken bei der Nationalbank und die Sichteinlagen bei Kreditinstituten ausschließlich Zwischenbankeinlagen. Letztere werden mit der gleichen Begründung wie die Kassenbestände der Kreditinstitute ausgenommen. Eine strenge statistische Ausschcheidung allen nichtmarktwirksamen Bar- und Giralgeldes (welches also gehortet wird) ist nicht möglich; auch gibt es international unterschiedliche Definitionen des Geldvolumens, insbesondere hinsichtlich der Abgrenzung des Buchgeldes. Die Umlaufgeschwindigkeit des Geldes wird üblicherweise durch Division des Bruttonationalproduktes durch die Geldmenge geschätzt. (Richtiger müßten die gesamten Wertumsätze eines Zeitraumes durch die Geldmenge dividiert werden.) Vom gesamten Bargeldumlauf entfielen zum gleichen Zeitpunkt (Ende 1964) 25,74 Mrd. S auf Banknoten und 2,01 Mrd. S auf Scheidemünzen. Für währungspolitische Vergleiche wird der Gesamtumlauf, definiert als Banknotenumlauf und sofort fällige Verbindlichkeit bei der Nationalbank (Ende 1964: 38 407 Mill. S), der valutarischen Deckung (15 459 Mill. S Gold und 16 762 Mill. S Devisen und Valuten) sowie anderen Deckungswerten (8949 Mill. S) gegenübergestellt und eine prozentuelle Deckungsrelation errechnet. Die Entwicklung der inneren Kaufkraft des österreichischen Schilling zeigt unter anderem die Entwicklung des Verbraucherpreisindex II (für einen vierköpfigen städtischen Arbeitnehmerhaushalt), der von 100 (Durchschnitt 1958) auf 119,1 (Durchschnitt 1964) beziehungsweise 126,5 September 1965 angestiegen ist.

Dkfm. Dr. Gustav RAAB, Wien

Die Bedeutung des Gewerbes in der heutigen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung

In einer Anzahl von wissenschaftlichen Werken¹ und auf den mit Problemen des Gewerbes befaßten wissenschaftlichen Instituten² wurde die Frage der Existenzfähigkeit und -berechtigung des Gewerbes in der heutigen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung in letzter Zeit viel diskutiert.

Einerseits stellt man fest, daß eine Reihe von Gewerbebetrieben infolge der Vereinheitlichung der Bedürfnisse breiter Schichten der Bevölkerung und damit verbunden der Herstellung von standardisierten industriellen Gütern ständig an Boden verloren. Eine große Anzahl von Gewerbebetrieben wurde geschlossen und verschiedene Branchen verschwanden vollständig aus dem Wirtschaftsleben. Andererseits brachte jedoch gerade die Industrialisierung das Entstehen einer Reihe von Gewerbebetrieben mit sich, die mit der Wartung und der Reparatur der Industrieerzeugnisse beschäftigt sind. Die steigenden Einkommen der Bevölkerung bewirkten auch, daß die Nachfrage nach individuell abgestimmten Leistungen, die das Gewerbe erstellt, immer mehr zunahm. Die Diskussion um die Existenzfähigkeit und -berechtigung des Gewerbes zeigte die Vielschichtigkeit der aufgeworfenen Probleme und ein allgemeingültiges Urteil für den Wirtschaftszweig „Gewerbe“ konnte nicht abgegeben werden.

¹ Gutersonn, A.: „Das Gewerbe in der freien Marktwirtschaft“, Zürich und St. Gallen 1962. Rössle, K.: „Wirtschaftslehre des Handwerks“, München 1964. Wernet, W.: „Zur Abgrenzung zwischen Handwerk und Industrie“, Münster 1965

² Institut für Gewerbeforschung an der Hochschule für Welthandel in Wien, Institut für Handwerkswirtschaft in München

Der Gewerbebegriff

Eine Schwierigkeit liegt bereits darin, das „Gewerbe“ zu definieren und damit von anderen Wirtschaftszweigen abzugrenzen. Der rechtliche Begriff des handwerksmäßigen Gewerbes geht auf ein Gesetz vom 15. März 1883 zurück, das eine Ergänzung zur Gewerbeordnung darstellt. „Handwerksmäßige Gewerbe sind solche, bei denen es sich um Fertigkeiten handelt, die die Ausbildung im Gewerbe durch Erlernung und eine längere Verwendung in denselben erfordern.“ Das Gesetz zählt die Gewerbe-zweige, die handwerksmäßig betrieben werden können, taxativ auf. Die rechtliche Definition der handwerksmäßigen Gewerbe erwies sich in der Praxis als äußerst unzulänglich, und es wurde im Zweifelsfall der praktischen Rechtsprechung überlassen, ob man einen Betrieb dem Gewerbe oder der Industrie zurechnen sollte. Die rechtlichen Unterlagen bieten also keinerlei Anhaltspunkte für eine allgemeingültige Definition des Gewerbes.

Die zahlreichen Versuche, eine Definition des Gewerbes zu finden, gingen hauptsächlich von den äußeren oder organisatorischen Merkmalen des Gewerbebetriebes aus. Als wesensbestimmende Merkmale wurden in der Literatur die Betriebsgröße, die Mitarbeit des Meisters im Betrieb, die fachliche Ausbildung des Meisters, die geringe Verwendung von Maschinen, die fehlende Arbeitsteilung und die reine Kundenproduktion angeführt. Eine zureichende Definition sollte jedoch nur auf einem entscheidenden Kriterium aufbauen. Dieses ist beim Gewerbe durch die Erbringung einer spezifischen Leistung für die Marktvorsorgung gegeben.

Bei den Rencontres de St. Gall, einer internationalen Zusammenkunft von Gelehrten und Praktikern, wurde eine Definition geschaffen, die die artetigene Leistung des Gewerbes, ausgerichtet auf ein bestimmtes Wirtschaftsziel, in den Vordergrund stellt. Gewerbe wurde definiert als selbständige Erwerbstätigkeit, gerichtet auf die Befriedigung individualisierter Bedürfnisse durch Arbeiten, die ein Ergebnis der Persönlichkeit des gewerblichen Unternehmers, seiner umfassenden beruflichen Ausbildung und des üblichen Einsatzes seiner persönlichen Kräfte und Mittel sind. Als wesentliches Merkmal des Wirtschaftssektors „Gewerbe“ wurde also die Befriedigung individualisierter Bedürfnisse erkannt.

Die Leistungen des Gewerbes

Es gilt zuerst zu untersuchen, ob die heutige Gesellschaft überhaupt noch Bedarf an Leistungen, die individualisierte Bedürfnisse befriedigen, hat. Ist der Mensch als Individualität anzusehen, werden auch seine Bedürfnisse so beschaffen sein, wie es seinen individuellen Wünschen entspricht. Der Wunsch nach Individualität entspringt dem Streben nach sozialer Anerkennung, dem Bedürfnis einem bestimmten Lebenskreis anzugehören und dem Gefühl der eigenen Werterhöhung durch den Erwerb von Leistungen, die individuellen Bedürfnissen angepaßt sind. Untersuchungen des Institutes für Gewerbeforschung an der Hochschule für Welthandel in Wien konnte man entnehmen, daß ein Großteil der Konsumenten Bedarf an individuell abgestimmten Gütern und Leistungen hat und auch bereit ist, für diese höhere Preise als für industrielle Erzeugnisse zu zahlen.

Neben dem Bedürfnis nach individuellen Leistungen kommt allerdings — in den USA noch stärker als in Europa — der Wunsch nach uniformierten Gütern und Leistungen zum Ausdruck. Der Grund für diese Konformität der Bedürfniswelt der Menschen liegt darin, daß die Bedürfnisse des einzelnen von dem Verhalten der Mitmenschen beziehungsweise der sozialen Gruppe, der sie angehören, mitbestimmt werden. Zudem glauben gegenwärtig Kulturphilosophen und Soziologen eine eigentliche Vermassung großer Bevölkerungskreise festzustellen, wobei sie als deren Kennzeichen das Herabgleiten unzähliger bisheriger Individualitäten in eine breite Bevölkerungsschicht verstehen. Der uniformierende Einfluß auf die Bedürfniswelt ist auch auf die Mode zurückzuführen, die in einem egalisierenden Nachahmungstrieb der modernen Menschen zum Ausdruck kommt.

Es machen sich also zwei Tendenzen in der Bedürfniswelt der Menschen in der heutigen Zeit bemerkbar: eine individualisierende Tendenz, die von dem Gedanken der

³ Heini-Leobenstein-Verosta, „Das österreichische Recht“.

Individualität des einzelnen Menschen getragen wird und eine zur Uniformierung strebende Tendenz, die dem Nachahmungstrieb des Menschen, der oft noch durch die Mode verstärkt wird, entspricht.

Das Bestehen dieser zwei Tendenzen spricht dafür, daß die zwei großen miteinander konkurrierenden Bereiche der „Industrie“ und des „Gewerbes“ zu einer Arbeitsteilung kommen könnten. Die Deckung des „Massenbedarfs“ sollte der Industrie überlassen werden, während dem „Gewerbe“ die Befriedigung individualisierter Bedürfnisse obliegen könnte.

Es stellt sich nun die Frage, wie die Leistungen des Gewerbes in der heutigen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung beschaffen sind und welche Wandlungen sich in diesem Wirtschaftszweig in der letzten Zeit vollzogen haben. Dabei zeigt sich, daß gerade im „Gewerbe“ äußerst vielschichtige Leistungen erstellt und angeboten werden. Es soll trotzdem versucht werden, die Leistungen des Gewerbes zu erfassen und systematisch zu beschreiben.

Die gewerblichen Leistungen werden in der Gegenwart auf folgenden Gebieten erbracht:

- Herstellung bestimmter Erzeugnisse,
- Reparatur,
- Installation oder Montage,
- Handel.

Das produzierende Gewerbe

Die gewerbliche Produktionsleistung umschließt die Herstellung von Erzeugnissen aller Art, die ihren wesentlichen Charakter erst im Gewerbebetrieb, insbesondere auf Grund der Ausbildung der dort beschäftigten Personen erhalten. Die gewerbliche Erzeugungsleistung behauptet sich erfolgreich für Gegenstände, die individuellen Anforderungen der Kunden gerecht werden sollen. Der Handwerksmeister kann die Herstellung eines bestimmten Erzeugnisses, sei es nun ein Maßanzug oder eine Sitzgarnitur, bis in die Einzelheiten genau nach den Wünschen des Kunden vornehmen. In diesem Fall ist der Gewerbebetrieb auf dem Gebiet der Einzelfertigung tätig, paßt sich den Wünschen des Kunden an und befriedigt damit individualisierte Bedürfnisse.

Ein neues Aufgabengebiet erschloß sich dem produzierenden Gewerbe als Zu- und Untertierlieferer der industriellen Wirtschaft. Bei Zulieferanten handelt es sich um selbständige Gewerbebetriebe, die Erzeugnisse an eine bestimmte industrielle „Bezugsfirma“ auf Bestellung liefern. Die Untertierlieferanten übernehmen lediglich einen Teil der Fertigungsleistung des Endbetriebes, nämlich jenes Industriebetriebes, der das Gesamtprodukt auf den Markt bringt. Gewerbliche Zu- und Untertierlieferanten erbringen für ihre Auftraggeber hauptsächlich Serienleistungen. Allerdings sind viele Gewerbebetriebe im Auftrag der Industrie auf dem Gebiete der Konstruktion und Entwicklung von Erzeugnissen tätig. Die Zusammenarbeit von Gewerbe mit Industriebetrieben ist insbesondere in den USA und in der Bundesrepublik Deutschland sehr verbreitet. Die Weltfirma General Motors beispielsweise läßt alle Bestandteile ihrer Autos von Gewerbebetrieben herstellen und übernimmt dann lediglich die Montage der Fertigteile. Gängige Markenartikel, wie zum Beispiel Philips-Röhren oder Hardy-Bremsen, werden durch Untertierlieferer der großen Industriebetriebe angefertigt.

Das reparierende Gewerbe

Die Leistung des reparierenden Gewerbes besteht in der Ausbesserung und Erneuerung von Objekten, wobei die Leistung nach Art, Ort und Ausmaß der zu behandelnden Schäden jeweils anders beschaffen sein wird. Die Reparaturleistung des Handwerksmeisters muß also den jeweiligen Einzelfällen individuell angepaßt sein.

Der Absatz der meisten Industrieerzeugnisse ist nur dadurch möglich, daß dem Käufer zugleich auch die Gewähr für das Beheben von eventuell auftretenden Schäden gegeben wird. Insbesondere die meist sehr komplizierten technischen Geräte brauchen sachkundige Pflege und Betreuung, wenn der Kunde zufrieden und der Absatz gesichert sein soll. Diese Forderung ist unabdingbar, solange die sogenannte „Wartungsfreiheit“ der Erzeugnisse noch nicht erreicht ist.

Bestrebungen, die auf eine Ausschaltung oder Verringerung der Reparaturen abzielen, gehen hauptsächlich von den USA aus. Dazu zählt die Herstellung von Erzeugnissen aller Art, die so billig sind, daß man sie nach einer

gewissen Zeit lieber wegwerft, als sie reparieren zu lassen. Zu diesen Erzeugnissen rechnet man billige „Wegwerfuhren“ genauso wie Elektrogeräte aller Art. Bei anderen Erzeugnissen bemühen sich die industriellen Produzenten, die notwendigen Reparaturen auf einen so geringen Umfang zu beschränken, daß sie im Rahmen der Einzelhandelsgeschäfte durchgeführt werden können. Dabei geht es darum, den Motor oder andere reparaturanfällige Teile im Gerät so anzubringen, daß sie sich schnell auswechseln lassen.

Nach wie vor hat es sich jedoch gezeigt, daß es eine Reihe von Geräten gibt, die die Wartung und Reparatur durch Gewerbebetriebe erforderlich machen. Das unverzügliche und fachgerechte Beheben von Schäden bei technischen Geräten verlangt eine Leistung, die in qualitativer und örtlicher Hinsicht so differenziert sein muß, daß sie nicht im Rahmen der Serienreparatur — die bei manchen großen Industriebetrieben der Automobilbranche durchgeführt wird — erbracht werden kann.

Das installierende Gewerbe

Die Installation oder Montageleistung besteht im Einfügen von Erzeugnissen in schon bestehende Anlagen, wobei die Erzeugnisse vom Gewerbebetrieb selbst hergestellt oder von der Industrie fertig bezogen werden. Die Installation erfordert in gleicher Weise wie die Reparatur die Anpassung an individuelle Verhältnisse und fällt daher größtenteils in das Aufgabengebiet der Gewerbebetriebe.

Das handelnde Gewerbe

Die Funktion des Handels besteht in der Überbrückung von Unterschieden zwischen Produktion und Konsumtion. Die Handelstätigkeit der Gewerbebetriebe kann nur als zusätzliche Leistung aufgefaßt werden, da der Handel als eigene Wirtschaftssparte bezeichnet werden muß.

Die Handelstätigkeit ist für Gewerbebetriebe, wie beispielsweise Bäcker und Konditor, die leicht verderbliche Waren für einen örtlich begrenzten Markt herstellen, unbedingt erforderlich. In verschiedenen Gewerbebezügen ist der Handel mit industriellen Gütern des einschlägigen Fachs üblich. Betriebe des Schneiderhandwerks verkaufen Stoffe und Schneiderzugehör, und Elektroinstallateure handeln mit industriell gefertigten Installationsmaterialien aller Art.

Der Markt für gewerbliche Leistungen

Die Güter, die vom „Gewerbe“ erzeugt werden, und die Leistungen die dieser Wirtschaftszweig erstellt, werden in ihrem Umfang und in ihrer Beschaffenheit vom „Markt“ bestimmt. Es soll daher im folgenden versucht werden, den Markt für gewerbliche Erzeugnisse und Leistungen zu beschreiben. Die Struktur und die Form dieses „Teilmarktes der Wirtschaft“ wird darüber entscheiden, ob das „Gewerbe“ in der heutigen Zeit weiter zu bestehen vermag. Wertmäßiger Ausdruck des Geschehens auf dem Markt sind die Preise, deren Höhe im konkreten Fall darüber entscheiden wird, ob ein Gewerbebetrieb weiter existieren kann und in welcher Weise er sich zu entwickeln vermag.

Als Nachfrager auf dem Markt für gewerbliche Güter und Leistungen treten die privaten Haushalte, die Betriebe und die öffentliche Hand auf. Von dem Verhalten dieser drei Gruppen wird es — wenn man von dem Einfluß der Konkurrenz der Industriebetriebe absieht — abhängen, in welchem Maß die jeweiligen Gewerbebezüge konkurrenzfähig sind und sich in der heutigen Wirtschaft behaupten können.

Die Nachfrage der privaten Haushalte

Den Bedarf der privaten Haushalte nach Gütern und Dienstleistungen kann man in verschiedene Schichten zerlegen, wobei sich in den einzelnen Bedarfsschichten sowohl eine unterschiedliche Zahlungswilligkeit der Nachfrager als auch eine unterschiedliche Elastizität der Nachfrage auf Preis- und Kaufkraftänderungen hin, ergibt.

Die unterste Bedarfsschicht stellt den Elementarbedarf dar, der in dem Verlangen nach der erforderlichen Kleidung, Ernährung und Unterkunft seinen Ausdruck findet. Im Bereich des Elementarbedarfs ist das Gewerbe

in viel geringerem Maß als die Industrie an der Versorgung der privaten Haushalte beteiligt. Der Elementarbedarf zeigt im allgemeinen kaum die Tendenz, sich bei Preisänderungen in wesentlichem Ausmaß zu verändern. Diese Erscheinung trifft auf die Gesamtnachfrage der privaten Haushalte nach Gütern des lebensnotwendigen Bedarfs zu. Die betriebsindividuelle Nachfrage könnte trotzdem elastisch sein, da gerade die Güter des Elementarbedarfs auf ihre Preisentwicklung hin sehr genau beobachtet werden. Im Gefolge wachsender Kaufkraft zeigen sich im Bereich des Elementarbedarfs kaum Veränderungen. Es tritt höchstens bei Kaufkraftvermehrungen eine Verringerung der Nachfrage nach lebensnotwendigen Gütern zugunsten von Erzeugnissen, die „gehobeneren Bedarfsschichten“ angehören, ein.

In den gehobeneren Bedarfsschichten macht sich die Bereitschaft der Nachfrager für Leistungen, die individuell auf die Wünsche der Kunden abgestimmt sind, höhere Preise zu zahlen, bemerkbar. Die Bereitschaft zur Zahlung höherer Preise tritt um so entschiedener hervor, je größer die Anforderungen sind, welche die privaten Haushalte an die individuelle Gestaltung der Leistung stellen.

In den oberen „Bedarfsschichten“, deren Befriedigung die gewerblichen Leistungen im allgemeinen dienen, müßte entsprechend der Tatsache, daß jede Preisänderung hier zu einer größeren Preisdifferenz führt, die Nachfrage die größte Elastizität aufweisen. Es hat sich jedoch in der Praxis gezeigt, daß die nachfragenden privaten Haushalte auf Preiserhöhungen hin, nur langsam auf Güter und Leistungen von geringerer Qualität zurückweichen. Diese Tatsache ist darauf zurückzuführen, daß eine Anzahl von Konsumenten gewisse Bedürfnisse bestmöglich befriedigen will und dafür bereit ist, auf andere zu verzichten.

Die potentiellen Käufer sehen in den hohen Preisen auch oft die Gewähr für eine besonders hohe Qualität der begehrten Güter. So konnte man auf Grund einer Untersuchung des Marktverhaltens der privaten Haushalte feststellen, daß bestimmte gewerbliche Erzeugnisse um des sozialen Prestiges willen gekauft werden, und zwar selbst bei starken Preissteigerungen oder gerade deshalb, weiterhin gekauft wurden. Die Amerikaner sprechen in diesem Fall von „snobappeal“ und meinen damit eine Form des sozialen Geltungsaufwandes, wobei der Konsument Leistungen von „hoher Qualität“ aus gesellschaftlichem Auszeichnungstreben verlangt. Es gibt eine große Anzahl von Käufer, die individuell abgestimmte handwerkliche Erzeugnisse größerer finanzieller Opfer wert erachten und deshalb über eine Bewertungsreserve verfügen. Die Folge davon ist, daß die Nachfrage nach diesen Erzeugnissen bei Preiserhöhungen nicht kleiner wird.

Bei der Nachfrage der privaten Haushalte nach gewerblichen Leistungen kann man feststellen, daß sie für breite Bedarfsbereiche nur innerhalb bestimmter Preisstufen auftritt. Es bilden sich für die einzelnen „Bedarfsschichten“ Preisklassen, innerhalb derer die Preise variieren, die sie jedoch nicht wesentlich über- oder unterschreiten.

Jemand will beispielsweise einen Maßanzug, der gehobenen Ansprüchen genügen soll, bei einem guten Schneider bestellen. Der zukünftige Käufer ordnet den Maßanzug einer bestimmten Preislage zu und ist damit bereit, für eine gewisse Qualität einen Preis zu zahlen, der innerhalb eng gezogener Grenzen variiert. Damit bezieht sich das Urteil des Käufers über die Preiswürdigkeit einer Leistung auf eine bestimmte Qualitätsstufe und Preislage.

Am Markt für gewerbliche Leistungen kann man in großem Ausmaß auch das Bestehen von Präferenzen feststellen. Dabei sollen in diesem Zusammenhang unter Präferenzen jene besonderen Vorlieben verstanden werden, die die privaten Haushalte beziehungsweise die Konsumenten bestimmten Gütern und Leistungen entgegenbringen.

Die Präferenzen können entweder durch tatsächlich bessere Leistungserstellung hervorgerufen werden, oder nur auf einer vermeintlich besseren Leistungserstellung eines bestimmten Betriebes beruhen. Diese Tatsache führte in der Literatur zu einer Einteilung der Präferenzen in objektive und subjektive, und man versuchte zu entscheiden, ob die privaten Haushalte bei dem Ersten eines Gutes nach rationalen oder irrationalen Gesichtspunkten handeln.

Eine vor drei Jahren in der Schweiz durchgeführte Befragung der Konsumenten, welche die Motive für den

Kauf von gewissen Erzeugnissen in bestimmten Gewerbebetrieben aufdecken sollte, ergab folgendes Bild:

	gesamte Schweiz	deutsche Schweiz	West-Schweiz
1. Qualität der Produkte	18,9	16,8	29,3
2. Beziehungen	16,8	18,7	10,5
3. Bedienung	7,65	7,6	7,7
4. Spezialausführung erhältlich	0,1	—	0,5
5. Grundsätzliche Sympathie für Klein- und Mittelbetrieb	15,6	18,1	7,7
6. Gewohnheit	21,3	18,8	28,7
7. Kundennähe	12,—	10,—	14,5
8. Einzige Einkaufsgelegenheit	7,65	10,—	1,1

Die unterschiedlichen Gründe, die zum Kauf von Gütern bei bestimmten Gewerbebetrieben geführt haben, zeigen deutlich, wie weitgehend Präferenzen den Markt der gewerblichen Güter bestimmen. Die „Vertrauenswürdigkeit“ des Geschäftsinhabers, die Freundlichkeit und Höflichkeit des Personals sind Gründe, die für den Kauf von Gütern bei einem Gewerbebetrieb sprechen können.

Die Nachfrage der Betriebe

Die Nachfrage der Betriebe kann sich entweder auf Güter oder Leistungen beziehen, die zur Verwendung in den eigenen Betrieben bestimmt sind und nicht weiterveräußert werden, oder auf handwerkliche Erzeugnisse ausgerichtet sein, die ohne oder nach Vornahme einer Bearbeitung von den Betrieben weiterveräußert werden.

Bei der Nachfrage nach gewerblichen Erzeugnissen und Leistungen, die in den Betrieben ihre endgültige Verwendung finden sollen, treten Präferenzen wie bei der Nachfrage der privaten Haushalte in Erscheinung. Eine Reihe von Gewerbebetrieben, die sich speziell auf die Bedürfnisse der nachfragenden Betriebe ausrichten, konnten ihre Position erfolgreich behaupten. Schlosser, die Spezialwerkzeuge herstellen und Tischler, die auf persönliche Wünsche abgestimmte „Büromöbel“ anfertigen, werden nach wie vor Kunden haben.

Eine hohe Zahlungswilligkeit der nachfragenden Betriebe zeigt sich auch auf dem Gebiet der Werterhaltung von Gegenständen des Anlagevermögens, bei denen die Heranziehung von Gewerbebetrieben zu Ausbesserungs- und Erneuerungsarbeiten mit dem wachsenden Umfang der technischen Anlagen eher noch an Bedeutung gewinnt und nicht selten die Betreuung durch selbständige Spezialisten verlangt. Selbständige Gewerbebetriebe konnten sich zum Teil in die Wartung von Schreibmaschinen, Fotokopierapparaten und anderen technischen Bürobekämpfungsmitteln einschalten und sich ein neues Aufgabengebiet schaffen.

Die Nachfrage der weiterveräußernden Industrie- und Handelsbetriebe nach gewerblichen Erzeugnissen wird sich an den Gewinnen, die beim Verkauf dieser Erzeugnisse an die Letztverbraucher erzielt werden können, orientieren. Dabei hat es sich insbesondere im Zu- und Unterlieferwesen gezeigt, daß von Gewerbebetrieben entwickelte und gefertigte Erzeugnisse einen guten Absatz gefunden haben und die „Bezugsfirmen“ bereit waren, den Gewerbebetrieben Preise zu zahlen, die ihnen ihre Existenz sichern konnten. In Deutschland gibt es beispielsweise in der Automobilbranche und in der Textilbranche eine Reihe von Gewerbebetrieben, die ihr ursprüngliches Erzeugungssortiment auf Grund des sich vollziehenden Strukturwandels aufgeben mußten und sich als Zu- und Unterlieferer von Großbetrieben ein neues Aufgabengebiet geschaffen haben.

Die Nachfrage der öffentlichen Hand

Eine Anzahl von Gewerbebetrieben führt Aufträge für Bund, Länder, Gemeinden und sonstige öffentlich rechtliche

Anteil des Gewerbes am Bruttonationalprodukt (zu Preisen von 1954 in Mill. S)

	1947	1950	1955	1960	1962	1964
BNP	45.315	77.062	103.587	133.672	142.126	157.190
Gewerbe	6.936	9.909	11.729	13.609	13.863	15.100

Körperschaften aus. Die Organisationsform, in der die Nachfrage der öffentlichen Hand nach gewerblichen Gütern und insbesondere Leistungen wirksam zu werden pflegt, ist die Submission. Unter Submission versteht man die Erteilung von Aufträgen für Güter und Leistungen auf Grund von schriftlichen Angeboten, zu deren Einreichung eine Reihe von Bewerbern aufgefordert worden ist. Der Auftrag wird dann dem „günstigsten Anbieter“ erteilt. Der öffentlichen Hand kommt in Österreich als Nachfrager auf dem Markt für gewerbliche Leistungen eine besondere Stellung zu.

Der Strukturwandel im Sektor Gewerbe

Die Untersuchung der Nachfrage nach gewerblichen Gütern und Leistungen hat gezeigt, daß in der heutigen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung noch immer Bedarf nach persönlich abgestimmten und individuell gestalteten gewerblichen Erzeugnissen und Leistungen besteht. Es hat sich allerdings im „Gewerbe“ ein Strukturwandel vollzogen, der wesentlich durch die Änderung der Lebensgewohnheiten und die Entwicklung der Industrieproduktion beeinflusst wurde.

Manche Gewerbebezüge, wie beispielsweise die Sattler, Schmiede, Hafner, Schuster, sind fast völlig aus der Wirtschaft verschwunden. Die Leistungen, die sie erbracht haben, sind zum Teil überhaupt nicht mehr gefragt, wie beispielsweise beim Sattler und Hufschmied, die bereits mit der Verwendung des Automobils als Beförderungsmittel ihre Existenzberechtigung verloren haben. Andere Gewerbebetriebe, wie beispielsweise die Schuster, stellten Erzeugnisse her, die von der Industrie billiger und teilweise auch besser produziert werden.

Andererseits gibt es Gewerbebetriebe, die Güter erzeugen oder Dienstleistungen erbringen (Friseurbetriebe, Betriebe des Kunsthandwerks), die von der Industrie überhaupt nicht oder nicht in dieser Form erstellt werden können. Auf manchen Gebieten haben sich verschiedene Funktionsbereiche herausgeschält, so daß der Gewerbebetrieb ganz andere Verrichtungen als der Industriebetrieb ausführt und beide sich in ihrer Tätigkeit ergänzen. Zahlreiche Gewerbebetriebe sind erst im Zuge der industriellen Entwicklung entstanden. So ist das Auto- und Radiomechanikergewerbe erst mit dem Entstehen und der Entfaltung des jeweiligen Industriezweiges begründet worden.

Die Untersuchungen der Leistungen des Gewerbes in der modernen Wirtschaft haben ergeben, daß dem Gewerbe in der heutigen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung die Erfüllung von individualisierten Leistungen zufällt, nach denen ein echter Bedarf besteht. Es haben sich in dem so vielschichtigen Wirtschaftszweig „Gewerbe“ allerdings Strukturwandlungen vollzogen, die auf die Entwicklung der Technik und die damit verbundenen unterschiedlichen Lebensbedingungen der heute lebenden Menschen zurückzuführen sind. Die Entwicklung der Industrieproduktion hat andererseits das Entstehen anderer Gewerbebezüge bedingt, deren Aufgabe beispielsweise auf dem Gebiet der Reparatur von industriellen Erzeugnissen liegt. Das Gewerbe hat einen neuen Aufgabenbereich in der Zusammenarbeit mit industriellen Betrieben auf dem Sektor der dezentralisierten Produktion gefunden. Die steigenden Einkommen haben es darüber hinaus mit sich gebracht, daß der Wunsch nach individualisierten Gütern und persönlichen Dienstleistungen, die das Gewerbe erbringt, teilweise bestehen bleibt und sogar neu geweckt wurde.

Das Gewerbe in Österreich

Die Entwicklung des Anteils des Gewerbes am Bruttonationalprodukt in Österreich zeigt deutlich, daß das Gewerbe seine Position zu behaupten vermochte. Es ist

also nicht angebracht und nicht zutreffend, zu behaupten, daß das Gewerbe seine Existenzberechtigung und -fähigkeit in der modernen Wirtschaft verloren hat.

Besser als die absoluten Zahlen zeigen die folgenden Prozentzahlen die Entwicklung des Gewerbes im Verhältnis zu: Land- und Forstwirtschaft, Industrie, Handel. Das Gewerbe konnte sich etwa gleichmäßig wie die übrigen Wirtschaftszweige entwickeln und hat nichts von seiner Bedeutung eingebüßt.

	1947 %	1950 %	1955 %	1960 %	1962 %	1964 %
1. Gewerbe	6,53	7,78	8,83	9,82	10,25	10,41
2. Land- u. Forstwirtschaft	5,81	6,45	7,33	8,74	8,98	9,16
3. Industrie	5,26	3,76	3,30	3,11	3,09	3,05
4. Handel	10,77	9,33	8,75	7,65	7,41	7,44

Die fortschreitende Integration wird allerdings für jene Gewerbebetriebe, die nicht für einen örtlich begrenzten Bedarf, wie beispielsweise die Bäcker, Fleischer und Maler, arbeiten, noch große Probleme mit sich bringen. Es wird eine noch stärkere Modernisierung und Rationalisierung von Gewerbebetrieben erforderlich sein, die nur durch das Bereitstellen entsprechender finanzieller Mittel möglich ist. Da für die Betriebsinhaber von Gewerbebetrieben die Möglichkeiten der Aufbringung von Eigenkapital im allgemeinen nicht übermäßig groß sind, wird das Gewerbe auf Kredite von Geldinstituten angewiesen sein. Die Finanzierung des Gewerbes wird zu einem großen Teil von den Sparkassen vorgenommen, die rund 30 Prozent aller Kredite an das Gewerbe gewähren. Die nachstehende Statistik zeigt den Stand der jeweils aushaftenden Kredite bei den österreichischen Geldinstituten und den Anteil der Sparkassen an der Finanzierung dieses bedeutenden Wirtschaftszweiges.

6. Kredite für das Gewerbe

Jahr	alle Kredit- institute Mill. S	Sparkassen Mill. S	Sparkassen- kredite in % der Gesamtsumme
1947	228,8	55,8	24,39
1950	840,4	242,5	28,86
1955	2.534,6	841,4	33,20
1960	5.058,0	1.603,0	31,69
1962	6.180,0	1.875,0	30,34
1964	7.938,0	2.358,0	29,71

Dem Bedarf des Gewerbes nach billigen und ausreichenden Krediten wurde insbesondere durch den im Jahre 1955 gegründeten Bürgschaftsfonds Rechnung getragen. Der Bürgschaftsfonds übernimmt die Haftung für Kredite, die die Geldinstitute aus eigenen Mitteln den Gewerbetreibenden einräumen, die über keine ausreichenden Sicherheiten verfügen.

Dkfm. Dr. Eva Pohl