SITZUNGSBERICHTE
DER LEIBNIZ-SOZIETÄT
Band 20 • Jahrgang 1998

trafo Verlag Berlin

ISSN 0947-5850 ISBN 3-89626-200-9

Inhalt

Gerd Laßner

Die Zahlen der Physik >>>

Hans-Jürgen Treder

Parmenides und die Begründung von Ontologie und Kosmologie >>>

Roswitha März

Mathematische Modellierung dynamischer Vorgänge -
Gedanken zur Berechenbarkeit und Unberechenbarkeit >>>

Dieter B. Herrmann

Astrologie - von der Legitimität zur Psychose >>>

Günter von Sengbusch

Kernenergie - eine Technik mit Zukunft? >>>

Reinhard Mocek

Erträgliche Bilanz. Anmerkungen zu "Wissenschaft und Wiedervereinigung" >>>

Wolfgang Schirmer

Gedanken beim Lesen der Studien und Materialien der Arbeitsgruppe "Wissenschaft und Wiedervereinigung" der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften >>>

Helmut Steiner

Die Tränen der Sieger, Wissenschaft und Wiedervereinigung - eine kritische Bilanz >>>

Hermann Klenner

Nicht so gewollt >>>

Gerd Laßner

Die Zahlen der Physik*

0. Einleitung

Im Jahre 1972 hielt der namhafte Physiktheoretiker Freedman J. DYSON die „Gibbs-Vorlesung" unter dem Titel „Missed Opportunities" [DYSO72]. Er berichtete in dieser Vorlesung, daß er sich in den Ferien, wenn er sich von der Physik erholen will, mit Zahlentheorie befaßt. Dabei hatte er für die Entwicklungskoeffizienten $\tau(n)$ der 24-ten Potenzen der Dedekindschen η-Funktion

$$(0.1) \qquad \eta(x)^{24} = x \prod_{m=1}^{\infty} (1-x^m)^{24} = \sum_{n=1} \tau(n) x^n$$

eine merkwürdige Formel gefunden. Er entdeckte dann noch solche Formeln für andere Potenzen der η-Funktion und schaute, wie er berichtet, verwundert auf die Liste der Potenzen d, für die solche Formeln existieren:

$$(0.2) \qquad d = 3, 8, 10, 14, 15, 21, 24, 26, 28, 35, 36, \ldots$$

Als Physiktheoretiker, in einer Zeit, in der die Symmetriegruppen die Quantentheorie beherrschen, erkannte er, daß all diese Zahlen, außer der 26, die Dimensionen der kompakten Lieschen Symmetriegruppen in aufsteigender Folge sind. Diese „very strange formulas", wie sie genannt werden, haben eine lange Geschichte, die auf EULER und JACOBI zurückgeht. Ohne daß er es wußte, wie DYSON weiter erzählte, hatte MACDONALD die gleichen Formeln bei seinen Forschungen über modulare Formen gefunden, und zwar zu einer Zeit, als beide gemeinsam am Institute for Advanced Studies in Princeton arbeiteten. Dies bezeichnete Dyson als

* Vortrag, gehalten in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 22. Dezember 1995

eine erste solche „verpaßte Gelegenheit“ und wertete dies als einen Ausdruck des unbegründeten Abstandes zwischen Mathematik und Physik. DYSON schreibt dann weiter: „... MACDONALD klärte das ganze Gebiet ohne meine Hilfe glücklich auf. Das einzige Ding, was er nicht klärte, war der Fall d = 26, welcher weiterhin ein quälendes Mysterium bleibt“. DYSON verliert dann kein Wort mehr über die 26, obwohl sie in den ältesten Versionen der Stringtheorie bereits eine Rolle spielte. Das hätte DYSON später eine weitere „verpaßte Gelegenheit“ nennen können. Allerdings mußte noch mehr als ein Jahrzehnt vergehen, bevor die Stringtheorie im Jahre 1984 eine „dramatische Wiedergeburt“ erlebte ([KAKU93], S.125 und [WEIN93], S.224) und dann nach und nach offensichtlich wurde, daß ein direkter Weg von den physikalischen Ideen der Stringtheorie zur Zahlentheorie führt und speziell auch zu DYSONS merkwürdigen Formeln und der seltsamen Zahl 26.

Diese Geschichte illustriert, welch innerer Zusammenhang zwischen zahlentheoretischen und physikalischen Wahrheiten existiert. Daß sich diese Zweige der Naturerkenntnis im Schaffen großer Gelehrter, von KEPLER, NEWTON, LEIBNIZ über EULER, LAGRANGE, GAUß, JACOBI und MINKOWSKI, bis hin zu DYSON, vereinen, ist Legende. Neu ist, daß durch die Entstehung der Stringtheorie sichtbar wird, wie der Reichtum der zahlentheoretischen Beziehungen bereits in die Fundamente der Physik, tiefer als die Elementarteilchen, gelegt ist. Unter diesem Gesichtspunkt erscheinen auch die Beziehungen der Zahlen und Gesetze der klassischen Physik zu zahlentheoretischen Wahrheiten, die bisher immer den Anstrich „mathematischer Zufälligkeiten“ hatten, in einem anderen Licht.

Noch eine Bemerkung aus der Dysonschen Vorlesung wollen wir aufgreifen. Er schreibt, daß er aus den berühmten Übersichtsvorträgen von HILBERT 1900 und MINKOWSKI 1908 gelernt hat, daß man nicht verständlicher wird, wenn man allgemein über die Dinge redet, sondern daß es besser ist, die Problematik an konkreten Fakten zu erläutert. Davon wollen auch wir uns leiten lassen.

Der Titel dieses Vortrages kann Verwunderung und Widerspruch hervorrufen. Was sollen „Die Zahlen ...“ der Physik sein? Soll es einen Sinn haben, und welchen, von den Zahlen einer speziellen Wissenschaft zu sprechen? Schauen wir zuerst auf einfachste Beispiele. Die Kreiszahl π = 3,14... und die Basis des natürlichen Logarithmus e = 2,73... wird man

als Zahlen der Mathematik ansehen. Wenn man diesen Zahlen in der Physik, Chemie, Biologie usw. begegnet, sieht man dies in der Regel als eine Konsequenz der Anwendung der Mathematik an. Anders ist es mit der Sommerfeldschen Feinstrukturkonstante α (2.17). Sie wird man als eine Zahl der Physik akzeptieren. Wenn sie in chemischen Arbeiten vorkommt, so wird man dies wiederum als eine Konsequenz der Anwendung der Physik in der Chemie verstehen. Die Feinstrukturkonstante α ist eine fundamentale Naturkonstante. Sie ist dimensionslos und dadurch vollkommen unabhängig von der Wahl des Maßsystems. Trotzdem ist es noch keine Zahl der Mathematik, da sie noch nicht berechnet werden kann.

Ganz anders sieht es mit der Strahlungskonstanten σ in der Stefan-Boltzmannschen-Strahlungsformel $U = \sigma T^4$ aus. Obwohl diese Konstante der klassischen Physik auf den ersten Blick viel weniger „fundamental" erscheint als die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante, ist sie, bezogen auf das absolute Maßsystem, eine vollständig berechenbare Größe. Dies werden wir in den zentralen Teilen des Vortrages ausführlich diskutieren.

Alle Zahlen der Physik, die sich bereits berechnen lassen, gehören zu ganz wenigen Typen. Die meisten von ihnen gehören überhaupt nur zu einem Typ. Sie lassen sich aus der ζ-Funktion berechnen. Es ist ein Hauptanliegen dieses Vortrages zu verdeutlichen, daß ein enger Zusammenhang zwischen physikalischen und zahlentheoretischen Gesetzmäßigkeiten besteht, der bereits in der klassischen Physik immanent ist, obwohl er dort noch als „zufällig" erscheinen kann. Ganz offensichtlich wird diese Tatsache durch die Stringtheorie, eine der neuesten Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik.

Bevor wir im nächsten Abschnitt detaillierter darauf eingehen, welche Zahlen in der Physik auftreten, sollen noch einige Worte zur Zahlentheorie selbst gesagt werden. Den Babyloniern verdanken wir das älteste erhaltengebliebene Dokument der Zahlentheorie, das auf etwa 1900 v. u. Z. zu datieren ist. Der Text gibt ganzzahlige Lösungen der Gleichung $x^2 + y^2 = z^2$ an, d.h., er bezieht sich auf Pythagoreische Tripel. Nach der chinesischen Mythologie zu urteilen, geht das Interesse für die Zahlen bis auf 3000 Jahre v.u.Z. zurück, doch ist uns kein Zeugnis dieses Zeitalters überliefert ([DIEU85], S.171). Neben einigen zahlentheoretischen Problemen, die im „Euklid" genannt sind, ist aus dem Altertum vor allem das Werk des DIOPHANT von Alexandria zu nennen, der, soweit bekannt ist, der älteste

Autor ist, der über Algebra geschrieben hat. Das Werk handelt von den Eigenschaften der Zahlen und enthält schwierige Aufgaben, die mit großer Geschicklichkeit und viel Scharfsinn gelöst sind. Als Diophantisches Problem bezeichnet man heute jede Aufgabenstellung, ganzzahlige Lösungen von Gleichungen zu finden. Die berühmteste dieser Aufgaben ist die Fermatsche Vermutung: „Es gibt keine ganzzahligen Lösungen der Gleichung

$$x^n + y^n = z^n \quad \textit{für} \quad n \geq 3 \tag{0.3}$$

d.h., es gibt keine Verallgemeinerung der Pythagoreischen Tripel für Potenzen n > 2." Diese Vermutung ist erst vor kurzem bewiesen worden. In welchem Bezug dieses zahlentheoretische Problem zur Physik steht, werden wir noch erläutern (Abschnitt 4). FERMAT verdankt man eine große Zahl merkwürdiger Sätze der Zahlentheorie, die er meistens ohne Beweis geliefert hat, und von denen auch einige falsch sind. Von diesen Problemen wollen wir noch eines erwähnen, das auch in einem interessanten Zusammenhang zu physikalischen Problemen steht: Jede natürliche Zahl n ist Summe von vier Quadraten,

$$\text{Vierquadratesatz:} \qquad n = x^2 + y^2 + z^2 + t^2. \tag{0.4}$$

Es waren erst EULER und dann LAGRANGE, die die Zahlentheorie durch ihre Beiträge in den Rang einer modernen mathematischen Disziplin erhoben. Im Gedankenkreis der Gelehrten, die die Grundlagen für die heutige mathematische Physik legten, nahmen zahlentheoretische Betrachtungsweisen noch einen markanten Platz ein. LAGRANGE, den heute jeder Physikstudent zu den Physikern zählt, löste den Vierquadratesatz. Die Untersuchungen dazu sind in den Abhandlungen unserer Akademie niedergelegt. Daß damit der Zusammenhang dieses „exotischen" zahlentheoretischen Problems zur Physik noch nicht beendet ist, werden wir im weiteren noch sehen.

Die Bewertung von tiefgehenden und erstaunlichen Beziehungen zwischen Zahlen als Ausdruck wesentlicher Zusammenhänge des Universums ist seit dem Pythagoreismus immer mehr in den Hintergrund getreten und wird auch heute noch fälschlicherweise als Zahlenmystik abgewertet. In der üblichen Darstellungsweise der Physikgeschichte wird KEPLER nach

KOPERNIKUS an den Anfang der neuzeitlichen Physik gestellt, und seine weltanschaulichen Überzeugungen über die nicht zuletzt mathematische Harmonie im All, auf deren Grundlage er seine Entdeckungen machte, werden als mystische Überbleibsel dargestellt. In Wirklichkeit ist dem ganz und gar nicht so, sondern bis hin zu den Giganten der wissenschaftlichen Revolution, NEWTON und LEIBNIZ, war ein Weltbild über den grundlegenden Charakter einer inneren Harmonie des Universums, die weit über das hinausgeht, was man heute „Newtonsche Physik" nennt, dominierend. Was NEWTON anbelangt, so scheint im besonderem Maße von seinen Nachfolgern regelrechte Fälschung am Werke gewesen zu sein, um Spuren einer wesentlichen Seite seines Weltbildes zu tilgen, damit nicht eine Vorstellungswelt des Meisters das Bild einer Physik trübt, die man in seinem Namen verfochten hat. Daraus erklärt sich wohl auch die Tatsache, daß man offensichtlich seine alchimistischen Schriften versteckte, so daß sie erst 1936 gefunden wurden. So liest man heute sogar schon die Bemerkung, daß man NEWTON als den letzten Alchimisten ansehen muß. Für die Bewertung eines Gelehrten, der so wie NEWTON zu einer Revolution in der Wissenschaft beigetragen hat, bedeutet das keinen Widerspruch zu anderen Einschätzungen. Was allerdings zu korrigieren ist, ist die Vernachlässigung in der erkenntnistheoretischen Wichtung tiefgehender mathematischer Zusammenhänge, die, wie gesagt, auch heute noch als „Zahlenmystik" oder „Numerologie" abgewertet werden. Natürlich gab es dafür handfeste Gründe aus der Praxis der wissenschaftlichen Arbeit heraus. Wie wir schon bemerkten, hatte selbst die Mathematik bis zu EULER und LAGRANGE kein wissenschaftliches Instrumentarium, um die einfach zu formulierenden Probleme über zahlentheoretische Zusammenhänge methodisch zu behandeln. Darüber hinaus mußten in einem auf mechanistische Vorstellungen reduzierten Weltbild die zahlentheoretischen Zusammenhänge als „Kuriosum" erscheinen. Obwohl LEIBNIZ schon weiter war, hat selbst ein solcher Geistesgigant wie KANT die Annahme eines dreidimensionalen Raumes noch als apriori gegebene Denknotwendigkeit bezeichnet. Weit war der Weg von dieser Zeit über die Raum-Zeit Einsteins und Minkowskis bis hin zu den mehrdimensionalen „wirklich physikalischen" Räumen der Stringtheorie, um den Raum wieder als das zu nehmen, was er nach LEIBNIZ ist, eine Ordnungsbeziehung zwischen den Dingen. Dabei ist keineswegs jede Raumdimension gleichwertig. Man kann

die „echten" physikalischen Probleme nicht in irgendeiner Dimension formulieren, so wie es bei mechanischen oder steuerungstheoretischen Problemen oft geschieht, indem man sagt, „nehmen wir an, wir haben n Freiheitsgrade und wählen deshalb einen n-dimensionalen Raum". Jede spezielle Seite der physikalischen Beziehungsmannigfaltigkeit bestimmt ihren Raum und damit auch seine Dimension. Die Superstrings „leben" in einer 10-dimensionalen Welt und die Bosonenstrings in einer 26-dimensionalen. Auf die letztere werden wir näher eingehen, weil damit besonders schöne und einfach formulierbare zahlenmäßige Zusammenhänge verbunden sind. Nicht zuletzt drückt sich die ausgezeichnete Stellung der Dimension 26 in der Tatsache aus, daß die „kuriose" Beziehung

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + \ldots + 24^2 = 70^2 \tag{0.5}$$

nur für diese aufeinanderfolgenden Zahlen gilt, also für kein anderes n ist $1^2 + 2^2 + \ldots + n^2 = a^2$ mit irgendeiner ganzen Zahl a, eine Tatsache, die schon 1924 MORDELL bewiesen hat. Wieso aber die Dimension 26, wenn in dieser Gleichung die Zahlen nur von 1 bis 24 laufen? Um diesen Zusammenhang zu sehen, mußte man erst entdecken, welche exzeptionelle Bedeutung der ganzzahlige Vektor (0,1,2,3,...,24,70) im 26-dimensionalen Minkowskiraum mit den Koordinaten $(x_1, x_1, \ldots, x_{26})$ hat. Es ist nämlich $x_1^2 + x_1^2 + x_2^2 + \ldots + x_{25}^2 - x_{26}^2 = 0$ für diesen ganzzahligen Vektor. Er ist damit ein ausgezeichneter lichtartiger Vektor. Wir kommen darauf im letzten Abschnitt über „Minkowski, Dyson und die 26" zurück.

Bevor wir uns aber in die exotischen Dimensionen der Stringtheorien begeben, wollen wir uns die Zahlen der klassischen Physik genauer ansehen.

1. Beispiele für Zahlen der Physik

Wir wollen jetzt alle allgemeineren Erörterungen darüber, was die Zahlen der Physik sind, beiseite lassen und gleich konkret werden, indem wir uns anhand von zwei Büchern über Physik ansehen, welche Zahlen genannt werden. Wir nehmen dazu das Lehrbuch der Theoretischen Physik von Joos, das erstmals 1932 erschien und auch heute noch ein Standardwerk der klassischen theoretischen Physik ist [JOOS59], und das Buch

Mikrokosmos-Makrokosmos von LANIUS, das eine aktuelle Darstellung des Weltbildes der Physik ist, wie es auch im Untertitel heißt [LANI88]. In beiden Büchern findet man hundertfünfzig bis zweihundert Zahlen. Schauen wir uns zuerst bei JOOS an, welche Zahlen in der klassischen theoretischen Physik auftreten.

Da sind zuerst die Zahlen in den Naturgesetzen zu nennen, etwa in folgenden Beispielen:

Gravitationsgesetz. Die Gravitationskraft K ist den beiden beteiligten Massen M_1, M_2 jeweils proportional und dem Quadrat der Entfernung r umgekehrt proportional:

$$K = G\frac{M_1 M_2}{r^2}, \quad g = 6{,}667 \cdot 10^{-11}\frac{N\,m^2}{kg^2}. \tag{1.1}$$

G ist die Gravitationskonstante, die wir im SI-System der international festgelegten Maßeinheiten angeben.

Fallgesetz. Der Fallweg s ist dem Quadrat der Fallzeit t proportional:

$$s = \frac{1}{2}\,g\,t^2, \quad g = 9{,}81\,\frac{m}{s^2}. \tag{1.2}$$

g ist die Erdbeschleunigung. An dieser Stelle ist bewußt etwas „gemogelt", denn das Fallgesetz findet man in dieser Form im JOOS gar nicht, weil er es schon als einen Spezialfall des allgemeinen Beschleunigungsgesetzes ansieht. Außerdem ist die Erdbeschleunigung im heutigen Sinne keine Naturkonstante mehr, diese sind immer auf dem gesamten Kosmos bezogen, sondern man kann sie als „Erdkonstante" bezeichnen.

Pendel. Die Schwingungsdauer T des Pendels ist proportional der Quadratwurzel aus der Pendellänge L:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}. \tag{1.3}$$

Was wir mit diesen drei Gesetzen verdeutlichen wollen, ist der Charakter der Zahlen, die in ihnen auftreten. Auf dem ersten Blick scheint es, daß die Gravitationskonstante in (1.1) eine „wesentlichere" Zahl der Physik ist, als die 2 (oder 1/2) im Fallgesetz. Das ist aber keineswegs so, denn die 2 kommt durch die Integralrechnung in die Formel hinein. Wenn man die 2 an dieser Stelle „verschwinden" läßt, also z.B. in das g mit hineinnimmt,

taucht sie an anderer Stelle wieder auf, etwa bei der Fallhöhe. Jedenfalls kann die 2 nicht durch eine andere Wahl der Maßeinheiten zum Verschwinden gebracht werden. Sie ist eine „echte" ganze Zahl in der Physik, die mit der Integration zusammenhängt.

Ganz anders ist es mit dem Wert der Gravitationskonstanten. Ihr Zahlenwert ergibt sich aus den Maßeinheiten m Meter, s Sekunde und kg Kilogramm, die Basiseinheiten im SI-System sind, und deren Größe an den Dimensionen des Menschen orientiert ist. Wegen des universellen Charakters der Gravitation im gesamten Kosmos könnte man, wenn die Einheiten Meter und Sekunde schon festgelegt sind, die Masseneinheit der Masse gerade dadurch definieren, daß die Gravitationskonstante exakt 1 werden soll. Wir kommen darauf im nächsten Abschnitt zurück, wenn wir das Plancksche absolute Maßsystem beschreiben.

Von einer ganz anderen Art ist die Zahl 2π beim Pendel. Wo kommt sie her? Man könnte im ersten Moment denken, daß die Kreiszahl π dadurch in die Formel hineinkommt, weil das Pendel auf einer Kreisbahn schwingt. Bedenkt man aber, daß das 2π ebenfalls in der Formel für die Schwingungsdauer bei der Federschwingung auftritt (wie überhaupt in der Schwingungsformel für den harmonischen Oszillator), so sieht man, daß das π auf Grund anderer Zusammenhänge hineinkommen muß. In der Tat hat es auch etwas mit einer Kreisfläche zu tun, aber nicht im gewöhnlichen Ortsraum, sondern mit einer Fläche im Phasenraum aus Ort und Impuls. Jeder harmonische Oszillator, egal ob Pendel oder Federschwingung, beschreibt im Phasenraum einen Kreis bzw. eine Ellipse. Daher kommt das π. Heute sollte jeder Gymnasiast das 2π in der Formel für die Schwingungsdauer herleiten können. Es folgt aus der Periode der Sinusfunktion, die als Lösung der Differentialgleichung für den harmonischen Oszillator auftritt. Ohne Differential- und Integralrechnung ist dieser Zahlenfaktor schwer zu gewinnen. Dieses Problem hatte HUYGHENS 1673 durch kunstvolle Überlegungen gelöst. Seine Beweismethoden für dieses und ähnliche Probleme waren bereits konkrete infinitesimale Methoden, also Vorstufen der Differential- und Integralrechnung. Gehen wir nun zu einem weiteren Naturgesetz über, das bereits zu unserem Jahrhundert gehört.

Spezifische Wärme fester Körper (Isolatoren). Für niedrige Temperaturen ist die spezifische Wärme C_V fester Körper proportional zur drit-

ten Potenz der Temperatur T. Es gilt genauer folgende Formel ([JOOS59], S.571):

(1.4) $$C_v = 233{,}8 \cdot R \left(\frac{T}{\Theta_D}\right)$$

Θ_D ist die sogenannte Debyesche Temperatur. Sie ist eine für das Material charakteristische Größe, die einzige Materialkonstante, die in die Formel eingeht. R ist die Gaskonstante, somit ein Größe von derselben Dimension wie die spezifische Wärme. Damit ist die Größe 233,8 dimensionslos, d.h. eine reine Zahl. Auf der Grundlage der Quantenhypothese wurde durch EINSTEIN (1907) und dann fortgesetzt durch DEBYE (1912) eine Theorie der spezifischen Wärme entwickelt, die die genaue Bestimmung dieser Zahl gestattete:

(1.5) $$233{,}8 = 9 \cdot 6 \cdot 4 \frac{\pi^4}{90}$$

An dieser Zahl fallen zwei Dinge auf. Einmal „merkwürdige" ganze Zahlen, wie die 90 und zum anderen höhere Potenzen von π. All dies entsteht durch Integration von Ausdrücken, die von der Planckschen Funktion P(x) herrühren, die im engen Zusammenhang zur Zahlentheorie steht, was im dritten Abschnitt ausgeführt wird.

Wir können jetzt schon eine erste Bilanz über die Zahlen der Physik ziehen. Unter den ersten Hundert Zahlen in [JOOS59] sind neben verschiedenen rationalen Zahlen, wie das $^1/_2$ im Fallgesetz, einmal die Naturkonstanten, über die wir im nächsten Abschnitt genauer sprechen werden, dann einige Materialkonstanten, auf die wir gleich noch eingehen werden, dann wird nur einmal eine algebraische Zahl wie $\sqrt{2}$ explizit genannt und eine Winkelgröße aus einem Kristallgitter. Alle anderen Zahlen hängen mit π zusammen. Wir müssen allerdings noch ein Wort zur Zahl e = 2,71828... sagen, der Basis des natürlichen Logarithmus. Diese kommt natürlich in einer Vielzahl grundlegender Formeln der Physik vor, wie auch in der Planckschen Funktion oben. Da aber die Eulersche Beziehung

(1.6) $$e^{i\pi} = -1$$

gilt, gehört e zum „Umfeld" von π.

Was ist nun zu den Materialkonstanten zu sagen? Diese kann man zweifellos in schrankenloser Anzahl angeben. In [JOOS59] findet man nicht mehr als zwei Dutzend Beispiele explizit genannt, wie etwa den Brechungsindex des Wassers zu $n = 1{,}33$ oder dessen Dielektrizitätskonstante $\varepsilon = 80$ (S.310). Einerseits dominiert die Vorstellung, daß diese Zahlenwerte rein zufällig sind. Sie werden in der Praxis experimentell bestimmt. Andererseits kann man von sehr namhaften Physikern, wie den Nobelpreisträger Steven WEINBERG, den Autor des Weltbestsellers „Die ersten drei Minuten", die Auffassung hören ([WEIN93], S.29 ff.), daß es prinzipiell möglich sein muß, diese Zahlenwerte aus den bekannten physikalischen Gesetzen zu berechnen. Man kennt den markanten Ausspruch von EINSTEIN: „Gott würfelt nicht!" Darin drückt sich eine Überzeugung aus, die auch in extremer Konsequenz die Philosophie von LEIBNIZ bestimmt, daß nichts ohne zureichenden Grund geschieht. Für diese Zahlen bedeutet das, daß auch sie bestimmt sind, d. h., daß sie sich letztlich aus dem Gesamtzusammenhang heraus gewinnen lassen müssen. Dies soll aber keineswegs heißen, daß sie sich aus den heute bereits bekannten Gesetzmäßigkeiten berechnen lassen. Auch soll den Auffassungen der konsequenten „Reduktionisten", zu denen sich auch selbst WEINBERG zählt ([WEIN93], S.59), widersprochen werden, daß irgendwie eine allumfassende Theorie, aus der sich alles Meßbare prinzipiell berechnen läßt, kurz vor der Vollendung stehe. Ganz im Gegenteil, indem der Vortrag verdeutlichen möchte, wie sich schon in den bereits bekannten physikalischen Gesetzen auch wesentliche zahlentheoretische Beziehungen verschlüsselt finden, soll der Auffassung Ausdruck verliehen werden, auch in der Vielfalt der nach vorn offenen mathematischen Probleme einen Hinweis auf die unendliche Vielfalt der physikalischen Beziehungen im Universum zu sehen.

Bevor wir noch etwas mehr dazu sagen, schauen wir uns zuerst noch, wie angekündigt, Zahlenbeispiele aus dem Buch von LANIUS an. Dem Charakter dieses Buches entsprechend, sind dort solche Gesetzmäßigkeiten aus dem Mikro- und Makrokosmos beschrieben, die von prinzipieller Bedeutung für ein naturwissenschaftliches Weltbild sind. Ein Beispiel ist der sogenannte Kohlenstoffzyklus für die Kernfusion in heißen Sternen (S.195):

$$
\begin{array}{lll}
{}^{12}C + p \rightarrow {}^{13}N + \gamma & & + 1{,}95\ MeV \\
{}^{13}N \rightarrow {}^{13}C + e^{+} + \nu_e & & + 2{,}22\ MeV \\
{}^{13}C + p \rightarrow {}^{14}N + \gamma & & + 7{,}54\ MeV \\
{}^{14}N + p \rightarrow {}^{15}O + \gamma & & + 7{,}35\ MeV \\
{}^{15}O \rightarrow {}^{15}N + e^{+} + \nu_e & & + 2{,}71\ MeV \\
{}^{15}N + p \rightarrow {}^{12}C + {}^{4}He & & + 4{,}96\ MeV
\end{array}
\tag{1.7}
$$

Es beginnt also mit Kohlenstoff-12 links oben, dann kommen schrittweise vier Protonen auf der rechten Seite hinzu und am Ende ist Helium-4 entstanden und das Kohlenstoff-12-Atom steht für den nächsten Zyklus zur Verfügung. Zusätzlich wird Energie gewonnen, die dem Stern zur Abstrahlung zur Verfügung steht. Die Zahlenwerte der gewonnen Energien bestimmen wesentlich die Zeiträume für die Entwicklung der Sterne und Galaxien. Das läßt sich noch deutlicher machen bei einem weiteren Zahlenwert.

Das Neutron ist etwa ein Promille schwerer als das Proton. Das genaue Zahlenverhältnis ist

$$\frac{M_n}{M_p} = 1{,}001372\,. \tag{1.8}$$

Dieser feine Massenunterschied führt nach den Berechnungen im Standardmodell für das Universum zu der Konsequenz, daß 4 Minuten nach dem Urknall der Anteil der Neutronen unter allen Nukleonen nur noch 12% betrug. Berücksichtigt man diese und andere Abhängigkeiten, so kommt man zu einer Vorhersage des Standardmodells für den Helium-Gewichtsanteil von 24 % ([LANI88], S.240). Durch neue Messungen während des Fluges der Raumfähre Endeavour im März 1995 ist dieser Wert bestätigt worden.

Das Massenverhältnis (1.8) muß also den Wert haben den es hat, sonst wäre das Universum nicht so wie es ist und es gäbe keine Menschen. Analoges läßt sich heute schon für viele charakteristische Größen der Physik nachweisen, besonders auch für viele Materialkonstanten und solche Zahlen wie in (1.7). Die Existenz des Menschen erzwingt viele dieser Zahlenwerte mit einer erstaunlichen Genauigkeit. Ein Kompendium solcher Beziehungen der physikalischen Größen zur Existenz des Menschen ist das Buch von J.D. BARROW und F.J. TIPLER über das anthropische Prinzip [BARR88].

Unter den Zahlen der Physik nimmt das magnetische Moment μ_e der Elektronen einen besonderen Platz ein, weil es zu den Größen gehört, die gegenwärtig sowohl experimentell wie auch theoretisch am genauesten bestimmt werden können. Bezieht man es auf das Bohrsche Magneton (s. (2.16)), so gilt ([LANI88], S.139)

$$\frac{\mu_e}{\mu_B} = \begin{cases} 1{,}001\,159\,652\,410 & \text{experimentell} \\ 1{,}001\,159\,652\,359 & \text{theoretisch} \end{cases} \tag{1.9}$$

Neben den „nichtrationalen" Zahlenwerten wie in (1.8) und (1.9) (wobei bisher noch offen ist, ob diese Zahlenwerte nicht doch rational, d. h. Brüche p/q, sind), wirft die heutige Physik auch die Frage nach der Erklärung ganzer Zahlen auf. Dazu gehören einmal die Dimensionen, in denen die Elementarobjekte leben, also die Frage, warum ist die Raum-Zeit 4-dimensional oder warum die Superstrings in 10 Dimensionen leben? Bei der letzten Frage könnte man noch geneigt sein zu sagen, daß diese Dimensionen ja reine mathematische Größen sind, also fiktiv in die Physik hineingetragen. Ein solcher Standpunkt ist aber gewiß nicht mehr haltbar, wenn man fragt, warum es gerade drei Generationen von Elementarteilchen gibt. Wir kommen auf dieses Problem im vierten Abschnitt zurück. Am Ende seines Buches betont LANIUS den prinzipiellen Charakter solcher Fragestellungen (S.199):

„Es gibt drei Leptonen, die eine negative Elementarladung tragen, und drei Leptonen, die elektrisch neutral sind. Hinzu kommen je drei Quarks .... Warum ausgerechnet drei Familien?". „Woher kommen die Massenverhältnisse in den drei Familien, und was ist die Ursache des Ladungsverhältnisses von Quarks und Leptonen?"

Und er zitiert den Standpunkt von Hermann WEIL in seinem Buch „Was ist Materie?" aus dem Jahre 1925:

„Diese und andere Fragen lassen sich wohl nur im Rahmen einer umfassenderen Theorie beantworten. ... Wir haben im Erkennen der Natur erstaunliche Fortschritte gemacht. Aber die Frage nach dem Sein im Mikrokosmos stellt uns wie alle Fragen grundsätzlicher Art vor eine unendliche Aufgabe, die auf jeder Stufe des Wissens neu beantwortet werden muß."

Schon in den zwanziger Jahren waren es besonders WEIL und EINSTEIN, die das Problem der theoretischen Begründung auch solcher Zahlenverhältnisse aufwarfen. EINSTEIN konnte sich niemals mit einem Standpunkt abfinden, nachdem solche Zahlen zufällig seien. Er verfolgte ausdrücklich das Ziel einer umfassenden Theorie, die auch solche „zufälligen" Zahlen oder Anfangswerte bestimmt. Sein Biograph Abraham PAIS sagt über ihn: „Einstein ist eine typisch alttestamentarische Gestalt mit der an Jehova gemahnenden Einstellung, daß es ein Gesetz gebe und man es finden müsse" ([WEIN93], S.25).

Besonders waren es auch merkwürdige „großen Zahlen" der Physik, die mit der Quantentheorie entdeckt wurden. Dazu gehören

$$\frac{\textit{Elektronenradius}}{\textit{Gravitationsradius}} \approx 10^{40}$$

$$\frac{\textit{Alter des Universums}}{\textit{Lichtlaufzeit im Atom}} \approx 6 \times 10^{39} \tag{1.10}$$

$$\frac{\textit{Masse des Universums}}{\textit{Masse der Partikel}} \approx 10^{80}$$

WEYL schrieb zu diesen „großen Zahlen" bereits 1919 [WEYL19]: „Es ist eine Tatsache, daß am Elektron reine Zahlen auftreten, deren Größenordnung gänzlich von 1 verschieden ist; so das Verhältnis des Elektronenradius zum Gravitationsradius seiner Masse, welches von der Größenordnung 10^{40} ist;... Merkwürdige Konsequenzen für die Organisation des Weltalls scheinen da aufzudämmern und die Möglichkeit einer Erklärung seiner Ruhe im großen und Unruhe im kleinen."

Damit kein falscher Eindruck entsteht, soll sehr direkt gesagt werden: Keines dieser Probleme hat bisher eine Lösung gefunden. Aber es ist Anliegen dieses Vortrages zu verdeutlichen, daß das „Aufdämmern merkwürdiger Konsequenzen" heute bereits einen mathematischen Schimmer bekommen hat. Wir führen das in den letzten beiden Abschnitten näher aus. Zuvor aber gehen wir im nächsten Abschnitt auf die Naturkonstanten der klassischen Physik detaillierter ein.

2. Naturkonstanten und Zahlen

Man bezeichnet nicht alle Zahlen, die in physikalischen Gesetzmäßigkeiten auftreten, als Naturkonstanten, sondern nur diejenigen, die man nicht auf andere zurückführen kann. Daß dabei eine bestimmte Willkür herrscht, ist selbstverständlich. Da diese Zahlenfaktoren vielfältig voneinander abhängen, muß man sich darüber einigen, welche als grundlegend und welche als abgeleitet anzusehen sind. Dies hängt natürlich vom historischen Stand der Wissenschaftsentwicklung und der Ansicht darüber ab, welche Gesetzmäßigkeiten man als fundamentaler ansieht und welche als abgeleitet. In der international vereinbarten Liste aus dem Jahre 1973 werden 38 Naturkonstanten aufgeführt. Man findet diese in jedem Lexikon der Physik.

Die älteste Naturkonstante in dieser Liste ist die Gravitationskonstante G (s. (1.1)). Wir wollen sie auf das Erscheinungsjahr 1687 von Newtons 'Principia' datieren. Newtons Mechanik basiert bekanntlich auf zwei wesentlichen Gesetzmäßigkeiten. In heutiger Sprechweise ist erstens Kraft = Masse x Beschleunigung, und zweitens gilt das Gravitationsgesetz (1.1). Mit der ersten Gesetzmäßigkeit wird heute die Einheit der Kraft bestimmt. Da die Einheit der Masse kg und die Einheit der Beschleunigung m/s^2 ist, ergibt sich für die Krafteinheit $kg \cdot m/s^2$. Man nennt diese Größe ein Newton N. Damit hat man für das erste Newtonsche Grundgesetz die einfache Formel

$$K = M \cdot b\,, \tag{2.1}$$

wobei K die Kraft ist, gemessen in Newton, M die Masse, gemessen in Kilogramm und b die Beschleunigung, gemessen in m/s^2. Dadurch, daß man die Kraft aus dem ersten Newtonschen Gesetz definiert hat, tritt in diesem Gesetz kein Zahlenfaktor auf. Mit der älteren Definition der Kraft als Kilopond kp würde in die Formel der Zahlenfaktor 9,81 (Erdbeschleunigung) hineinkommen. Nachdem man also die Kraft durch das Gesetz (2.1) definiert hat, tritt im Gravitationsgesetz (1.1) natürlich ein Zahlenfaktor auf, der von den Maßeinheiten m, s, kg abhängt, also die Gravitationskonstante.

Wie ging es nun mit den Naturkonstanten weiter? Mehr als 100 Jahre

wurde keine weitere Naturkonstante entdeckt. Die heutige Liste der 38 Naturkonstanten beginnt also mit der Gravitationskonstanten aus dem Jahre 1687, dann folgen sechs Naturkonstanten aus den Jahren 1830–1900, und alle anderen mehr als 30 Naturkonstanten gehören zu physikalischen Gesetzmäßigkeiten des 20. Jahrhunderts.

Liste der Naturkonstanten:

1687	
1. Gravitationskonstante	$G = 6{,}67\ 20 \cdot 10^{-11}$ $N \cdot m^2/kg$
1800	
2. Avogadrosche Zahl	$N = 6{,}0220943 \cdot 10^{26}$ $kmol^{-1}$
3. Gaskonstante	$R_0 = 8{,}31441 \cdot 10^3$ $J/kmol \cdot K$
4. Molvolumen des idealen Gases	$V_0 = 22{,}41383$ $m^3/kmol$
5. Boltzmannkonstante	$k = 1{,}380662 \cdot 10^{-23}$ J/K
6. Faradaykonstante	$F = 9{,}648456 \cdot 10^7$ $A \cdot s/kmol$
7. Stefan-Boltzmann-Konstante	$s = 5{,}67032 \cdot 10\text{-}8$ $J/s\ m^2K^4$
1900	
8. Lichtgeschwindigkeit	$c = 2{,}99792458 \cdot 10^8$ m/s
9. Plancksches Wirkungsquantum	$h = 6{,}626176 \cdot 10^{-34}$ $J \cdot s$
10. Elektronenladung	$e = 1{,}6021892 \cdot 10^{-19}$ $A \cdot s$
11. Elektronenmasse	$m_e = 9{,}109534 \cdot 10^{-31}$ kg
12. Protonenmasse	$M_p = 1{,}6726485 \cdot 10^{-27}$ kg
13. Neutronenmasse	$M_n = 1{,}6749543 \cdot 10^{-27}$ kg
... (25 weitere Naturkonstanten)	

Die ersten sieben Naturkonstanten gehören zu den Gesetzen der klassischen Physik. Mit der (Vakuum)-Lichtgeschwindigkeit und dem Planckschen Wirkungsquantum, also den Naturkonstanten der Relativitätstheorie und der Quantentheorie, sind wir bereits hinter der Grenze zwischen klassischer Physik und der Physik des 20. Jahrhunderts. Die Lichtgeschwindigkeit ist natürlich eine ältere Größe. Auch GALILEI hat eine endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts vermutet und Versuche zu ihrer Messung unternommen. Erstmals wurde die endliche Lichtgeschwindigkeit 1673 von Olaf RÖMER bestimmt. Eine Naturkonstante, d.h. eine universelle Größe des Universums, ist sie aber erst seit der Einsteinschen Relativitätstheorie. Ihr Quadrat ist der Um-

rechnungsfaktor zwischen Masse und Energie gemäß der Einsteinschen Formel

$$E = m \cdot c^2 . \tag{2.2}$$

In dieser Formel tritt also der Zahlenfaktor c^2 auf. Gehen wir nochmals zurück zum ersten Newtonschen Gesetz. Es war Anlaß die Kraft so zu definieren, daß in der Formel (2.1) kein Zahlenfaktor vorkommt. Ebenso kann man in (2.2) den Faktor c^2 „verschwinden lassen", wenn man z. B. die Längeneinheit so wählt, daß die Lichtgeschwindigkeit gleich 1 wird. Die Längeneinheit wäre also dann die Entfernung, die das Licht in einer Sekunde durchläuft, also $7^1/_2$-mal um die Erde. Dies wäre eine sehr unpraktische Längeneinheit. In der Tat hat man seit 1983 den Meterstandard durch die Zeiteinheit Sekunde definiert. Ein Meter ist diejenige Länge, für die die Lichtgeschwindigkeit exakt die „ganze Zahl"

$$c = 299792458 \text{ m/s} \tag{2.3}$$

ist. Die Voraussetzung dafür war ein hoher experimenteller Fortschritt in der Laserspektroskopie, um den Längenstandard mit hinreichender Genauigkeit festlegen zu können. Für diese experimentelle Leistung wurde 1981 der Nobelpreis für Physik an N. BLOEMBERGEN und A.L. SCHAWLOW vergeben. Sie hatten die Rydberg-Konstante R, eine von den oben nicht aufgeführten weiteren Naturkonstanten, bis auf mehr als 10 Stellen bestimmt:

$$R = 1{,}0973731476\,(32) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \tag{2.4}$$

Die letzte der klassischen Naturkonstanten in obiger Liste ist die Stefan-Boltzmann-Konstante σ, oder auch kurz Strahlungskonstante genannt. Sie erklärt sich durch die Strahlungsformel (2.6) für schwarze Körper. Schwarz ist dabei eine Oberfläche genau dann, wenn sie alle ankommende elektromagnetische Strahlung absorbiert, also keine Strahlung reflektiert. Daraus folgt, daß alle schwarzen Körper in gleicher Weise abstrahlen, unabhängig von ihrer materiellen Zusammensetzung. Denn würde bei gleicher Temperatur ein schwarzer Körper anders als ein anderer abstrah-

len, so würde im Widerspruch zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, Energie von dem einen Körper auf den anderen übergehen, also von einer gleichen Temperatur ausgehend, würde der eine Körper plötzlich wärmer werden und der andere kälter. Diese Gesetzmäßigkeit wurde schon um 1860 von KIRCHHOFF herausgearbeitet: Das Verhältnis der Emission der Temperaturstrahlung zur Absorption der Temperaturstrahlung ist eine für alle Körper gleiche Funktion der Wellenlänge und der absoluten Temperatur, und diese Funktion ist gleich der Emission der Temperaturstrahlung des vollkommen schwarzen Körpers. KIRCHHOFF hat auch klargestellt, daß man sich bei dieser Frage nicht mit dem Problem geeigneter schwarzer Farben herumschlagen muß. Denn am „schwärzesten" ist immer noch ein Loch in einem größeren Hohlkörper, egal aus welchem Material. Man sieht dies unmittelbar, wenn man eine Zigarrenkiste schwarz anstreicht und dann ein kleines Loch hineinbohrt. Schwärzer als der Anstrich ist dann immer noch das Loch. Deshalb spricht man bei der schwarzen Strahlung auch von Hohlraumstrahlung, und mit Hohlkörpern wurden auch in der Folgezeit die Experimente durchgeführt.

Die Entdeckung des Strahlungsgesetzes ist, wie oft in der Physikgeschichte, ziemlich abenteuerlich gewesen (s. [SIMO90], S.426): „STEFAN hat 1879 Messungen von TYNDALL analysiert und dabei festgestellt, daß ein Probekörper bei einer Temperatur von 1473 K eine 11,7-mal größere Energie abstrahlt als bei einer Temperatur von 798 K. STEFAN hat bemerkt, daß

$$11{,}7 \approx \left(\frac{1473}{798}\right)^4 \tag{2.5}$$

ist und daraus den Schluß gezogen, daß die von einem schwarzen Körper abgestrahlte Gesamtenergie pro Zeit- und Flächeneinheit zur vierten Potenz der Temperatur proportional ist, d. h.

$$E = \sigma T^4. \tag{2.6}$$

σ wird als Stefan-Boltzmann-Konstante bezeichnet. Bemerkenswert ist, daß die von TYNDALL bei seinen Messungen verwendeten Körper nicht einmal annähernd als schwarze Körper angesehen werden können und daß sich der Quotient 11,7 bei späteren Messungen als völlig unzutreffend her-

ausgestellt hat. Der wahre Meßwert liegt bei 18,6. Die fehlerhafte Messung hat aber zu ihrer Zeit gute Dienste geleistet und STEFAN zur Erkenntnis des richtigen Gesetzes verholfen."

Man muß sich vergegenwärtigen, welch ein kühner Schluß dies von STEFAN war, denn aus der ganzen klassischen Physik war kein Beispiel einer Abhängigkeit zur 4-ten Potenz bekannt. Die theoretische Ableitung dieses Gesetzes hat 1884 BOLTZMANN geleistet. Beide Gelehrte waren Professoren an der Wiener Universität. Obwohl die Physiker die außerordentliche Bedeutung dieser Gesetzmäßigkeit klar sahen, dauerte es noch bis Ende des 19. Jahrhunderts, ehe besonders durch die Messungen von LUMMER, PRINGSHEIM (1897) u.a. genaue Meßergebnisse vorlagen, denn die experimentelle Technik für Strahlungsmessungen mußte erst qualifiziert werden.

Bevor wir mehr zur Strahlungskonstante sagen, wollen wir fragen, ob es denn vor der Gravitationskonstante keine Naturkonstante gab? In der Tat hatte die Zahl π den Charakter einer Naturkonstanten. Zum einen war sie im Altertum als Verhältnis zwischen Kreisumfang und Durchmesser eine Naturkonstante, und ihre Herausbildung als Zahl der Mathematik war ein äußerst komplizierter Prozeß. Zum anderen trat sie an der Quelle der modernen Physik nochmals als Naturkonstante in der Formel für die Schwingungsdauer des Pendels auf (s.(2.10)), wurde dann aber schon bald von HUYGHENS als die Zahl π erkannt. Wir wollen als nächstes an der Formel für die Schwingungsdauer des Pendels verdeutlichen, wie reine Zahlen in die Physik hineinkommen.

Um das Wesen der Problematik zu verdeutlichen, folgen wir nicht der historischen Entwicklung, sondern wählen eine künstliche Situation. Nehmen wir an, uns wäre (ohne NEWTON und die Infinitesimalrechnung) bereits voll bewußt, daß die Körper auf der Erde eine Fallbeschleunigung von der Größe

$$g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2} \tag{2.7}$$

erfahren. Entscheidend wird dabei sein, daß wir in einem Maßsystem denken (was in der „vornewtonschen" Zeit noch keineswegs gegeben war), daß die Geschwindigkeit die Dimension m/s hat und demgemäß die Beschleunigung, als Änderung der Geschwindigkeit pro Zeit, die Dimen-

sion m/s^2. Nun gehen wir an unser Schwingungsexperiment. Wir hängen an einen Faden eine Masse und beobachten die Schwingungsdauer. Die Grundbeoachtung Galileis war, daß die Schwingungsdauer nicht von dem Pendelausschlag abhängt. Erzählt wird der Hergang der Galileischen Entdeckung so: Ihm ist diese Tatsache der Unabhängigkeit der Schwingungsdauer vom Ausschlag bei der Beobachtung der Schwingungen seiner an der Decke hängenden Öllampe vom Bett aus aufgegangen. Eine „richtige" Uhr stand natürlich nicht zur Verfügung (es ist ja gerade diese Gesetzmäßigkeit, die zur Pendeluhr geführt hat), so hat GALILEI die Schwingungsdauer der Öllampe mit seinem Puls verglichen. Er hat sich auch gleich die Frage gestellt, ob er nicht getäuscht wird, weil sich vor lauter Aufregung über diese Entdeckung die Pulsfrequenz verändern könnte. Diese Bedenken hat er dann natürlich experimentell schnell ausgeräumt. Jedenfalls war die Entdeckung dieses experimentellen Faktes aufregend und plötzlich.

Weitere einfache Experimente zeigten dann, daß die Schwingungsdauer auch nicht von der Masse des angehängten Gewichtes abhängt, sondern nur von der Pendellänge. Für diesen Vortrag wurde das Experiment mit den einfachsten Mitteln nochmals durchgeführt, um reale Werte einzusetzen. Bei den folgenden Pendellängen L ergaben sich die in der Tabelle angegebenen Schwingungsdauern T. Die Pendellänge ist nun nicht proportional zur Schwingungsdauer, sondern proportional zum Quadrat der Schwingungsdauer. Diesen Blick hat heute jeder Experimentator und den hatte auch schon GALILEI. Wir tragen das Verhältnis gleich mit in die Liste ein:

	Pendellänge L in Metern m	Schwingungsdauer T in Sekunden s	T^2/L in s^2/m
	0,5	1,43	4,08
(2.8)	0,8	1,77	3,91
	1,0	2,00	4,00
	1,1	2,11	4,04

Damit haben wir eine physikalische Gesetzmäßigkeit gefunden:

(2.9) $$T^2/L = A = \text{const.}$$

Es sieht auf den ersten Blick so aus, als ob die Konstante A = 4 wäre. Man muß schon viel genauer messen um festzustellen, daß A = 4,025... gilt. Wo kommt diese Zahl her? Man kann sich jetzt weiter überlegen, daß A die Dimension s^2/m hat und g die Dimension m/s^2. Bildet man das Produkt aus breiten Zahlen, so erhält man $A \cdot g = 39{,}49$, d. h. es würde $T^2 = 39{,}49\ L/g$ gelten. Auch in dieser Form erscheint der Wert der reinen Zahl 39,49 noch äußerst merkwürdig. Anders sieht die Sache allerdings aus, wenn man die Quadratwurzel zieht und das gefundene Gesetz in der Form

$$T = 6{,}28 \sqrt{\frac{L}{g}} \cdot \tag{2.10}$$

schreibt. Jetzt wird man zweifellos 6,28 als 2π erraten. Den Beweis dafür, daß dieser Faktor „wirklich" 2π ist, hat, wie schon gesagt, HUYGHENS erbracht, aber erst 1673, Jahrzehnte nach dem Tode (1642) Galileis.

Die eben für das Pendel durchgeführte Betrachtung hat exemplarische Bedeutung. Analog wollen wir jetzt bei der Bestimmung der Strahlungskonstanten σ vorgehen. Aus der Strahlungsformel (2.6) sieht man unmittelbar, daß σ die Dimension Energie pro Fläche, Zeit und der vierten Potenz der Temperatur hat. Sie ist die siebente Naturkonstante in obiger Liste. Nun läßt sich aus der Boltzmannkonstanten k, der Lichtgeschwindigkeit c und dem Planckschen Wirkungsquantum h ebenfalls eine Größe bilden, die die gleiche Dimension wie die Strahlungskonstante hat, nämlich

$$\frac{k^4}{c^2h^3} = 1{,}38969 \cdot 10^{-9} \frac{J}{s\ m^2\ K^4} \cdot \tag{2.11}$$

Wir erhalten somit für die Strahlungskonstante

$$\sigma = 40{,}8027\ \frac{k^4}{c^2h^3}, \tag{2.12}$$

(56,7032 /1,38969 = 40,802768963). Der Faktor 40,8 ist ein reiner Zahlenfaktor. Seinen exakten (mathematischen) Wert wird man schwerlich erraten. In ihn geht nämlich sogar die 5-te Potenz von π ein. Genau gilt

$$\sigma = \frac{2}{15}\pi^5 \frac{k^4}{c^2h^3}. \tag{2.13}$$

Dies ist somit eine weitere Zahl der Physik, die sich aus einer höheren Potenz von π errechnet. Mit den Formeln (1.4) für die spezifische Wärme der Festkörper hatten wir bereits eine Zahl kennengelernt, in die die 4-te Potenz von π eingeht. Wie diese höheren Potenzen von π in die Zahlen der Physik hineinkommen und den Zusammenhang mit der Zahlentheorie werden wir im nächsten Abschnitt diskutieren.

Schon 1899, also ein Jahr vor der Entdeckung der Quantentheorie, hat PLANCK bemerkt, daß es ein absolutes Maßsystem der Physik gibt. Um die Überlegung dazu zu erläutern, gehen wir nochmals zu den Betrachtungen über die Lichtgeschwindigkeit zurück, die wir im Anschluß an die Formel (2.2) angestellt hatten. Man könnte die Längeneinheit so festlegen, daß für die Lichtgeschwindigkeit c = 1 gilt. Höchst bemerkenswert ist nun aber die Tatsache, daß alle Basiseinheiten der Physik vollkommen festgelegt sind, wenn man weiterhin fordert, daß auch die Gravitationskonstante G, die Boltzmannkonstante k und das Plancksche Wirkungsquantum h gleich 1 werden, also

$$G = c = k = h = 1. \tag{2.14}$$

Wie gesagt, sind dann alle Einheiten festgelegt. Es zeigt sich, daß die Einheiten für die Zeit, die Länge und die Masse sehr klein werden.

Plancksche Einheiten:

$$\begin{aligned} t_{pl} &= \left(\frac{h \cdot G}{c^5}\right)^{\frac{1}{2}} &&= 1{,}35 \cdot 10^{-43}\ s \\ l_{pl} &= c \cdot t_{pl} &&= 4{,}05 \cdot 10^{-35}\ m \\ M_{pl} &= \left(\frac{h \cdot c}{G}\right)^{\frac{1}{2}} &&= 5{,}45 \cdot 10^{-8}\ kg \\ T_{pl} &= \frac{1}{k}\left(\frac{h \cdot c^5}{G}\right)^{\frac{1}{2}} &&= 3{,}55 \cdot 10^{-32}\ K \end{aligned} \tag{2.15}$$

Im Gegensatz zu den anderen Planckschen Einheiten, ist die Plancksche Temperatur eine sehr große Einheit. An der Definition der Planckschen Länge l_{Pl} sieht man besonders deutlich, wie diese Einheiten durch Naturgesetze definiert werden. Wenn die Plancksche Zeit t_{Pl} schon defi-

niert ist und die Lichtgeschwindigkeit im Planckschen Einheitensystem gleich 1 sein soll, muß die Längeneinheit also genau die Strecke sein, die das Licht in der Planckschen Zeiteinheit durchläuft.

Mit dieser Wahl der Einheiten schreiben sich die Naturgesetze sehr einfach, z. B. liest sich dann die Einsteinsche Beziehung (2.2) einfach als Gleichheit von Masse und Energie, $E = m$, da $c = 1$ ist. Im Ausdruck (2.13) für die Strahlungskonstante bleibt nur der Zahlenwert $\sigma = 2/15\ \pi^5$ übrig. Analoges gilt für die anderen physikalischen Gesetzmäßigkeiten. PLANCK hat die erkenntnistheoretische Bedeutung seiner „natürlichen Einheiten", die unabhängig von speziellen Körpern oder Substanzen sind, und ihre Bedeutung für alle Zeiten und jedes Milieu behalten, sei es irdisch, terrestrisch oder menschlich, äußerst hoch eingeschätzt. „Diese Größen behalten ihre natürliche Bedeutung so lange bei, als die Gesetze der Gravitation, der Lichtfortpflanzung im Vakuum und die beiden Hauptsätze der Wärmetheorie in Gültigkeit bleiben, sie müssen also, von den verschiedensten Intelligenzen nach den verschiedensten Methoden gemessen, sich immer wieder als die nämlichen ergeben" ([PLAN99], S. 599). Er hat bei Gelegenheit die Einführung dieser absoluten Maßeinheiten als seine größte Entdeckung bezeichnet.

Man muß noch ein Wort dazu sagen, wieso PLANCK diese Entdeckung bereits 1899 machen konnte, obwohl er seine Quantentheorie erst 1900 entwickelt hat, geht doch in die obigen Einheiten sein Wirkungsquantum h wesentlich ein. Die Ursache liegt in dem 1899 schon sehr vertrauten Planck-Wienschen Strahlungsgesetz, das eine Approximation der dann von PLANCK aufgestellten endgültigen Strahlungsformel für den Bereich des sichtbaren Lichtes und normale Temperaturen ist. In ihm tritt die Konstante h bereits auf. Sie war damals mit dem Buchstaben b bezeichnet (und hieß natürlich auch noch nicht Wirkungsquantum).

Man muß noch erwähnen, daß ein natürliches Maßsystem wahrscheinlich erstmals bereits 1874 von G. J. STONEY diskutiert wurde ([BARR88], S.291). Er bezog sich neben der Gravitationskonstanten und der Lichtgeschwindigkeit auf die Elektronenladung e. PLANCK war dieser Ansatz von STONEY offensichtlich unbekannt.

Aus den Naturkonstanten läßt sich durch reine Dimensionsbetrachtungen jede beliebige physikalische Größe zusammensetzen. Eine der wichtigsten ist das Bohrsche Magneton,

(2.16) $$\mu_B = \frac{e \cdot h}{4\pi\, m_e} = 9{,}27408 \cdot 10^{-24}\ A \cdot m^2$$

Es hat die Dimension eines magnetischen Momentes und stimmt schon bis auf ein Promille mit dem magnetischen Moment des Elektrons überein. Ohne daß man sich in die Einzelheiten hineindenken muß (z.B. was ein magnetisches Moment ist), kann man an einer solchen Betrachtung eine bemerkenswerte Tatsache verdeutlichen. Wenn eine Kombination aus den Naturkonstanten dimensionsmäßig eine physikalische Größe liefert, so ist sie auch mit hoher Erwartung eine direkt meßbare Einheit (s.a. [ROMP88]). Das überraschendste jüngste Ereignis dieser Art war die Entdeckung des Quanten-Hall-Effektes durch v. KLITZING im Jahre 1980 (Nobelpreis 1985). Kein Mensch hatte vorher die Behauptung gewagt, daß die Größe $h/e^2 = 25812.8$ Ohm eine „wirkliche" Widerstandseinheit sein könnte. Die Entdeckung v. Klitzings bestand aber gerade darin, daß bei Widerstandsmessungen an geeigneten Proben Sprünge in den Widerständen auftreten, die ganzzahlige Teile dieses „elementaren Widerstandes" sind.

Wir können den Abschnitt nicht beenden, ohne die „wichtigste Zahl" der Physik, die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante

(2.17) $$\alpha = \frac{e^2}{2\varepsilon_0\, hc} = 0{,}00729735\,,\ \frac{1}{\alpha} = 137{,}03604\,,$$

zu nennen. $\varepsilon_0 = 10^7/4\pi\ c^2 = 8{,}85419$ As/Vm ist die Dielektrizitätskonstante. Ihr Zahlenwert ist durch die Lichtgeschwindigkeit bestimmt. Die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante bestimmt die Feinaufspaltung von Spektrallinien der Atome. Sie ist eine dimensionslose Größe, also eine reine Zahl. Im Planckschen Maßsystem ist, wegen $c = h = 1$, die Zahl α bis auf den Zahlenfaktor $10^7/2\pi$ das Quadrat der Elementarladung. Schon unmittelbar nach ihrer Einführung durch SOMMERFELD (1927) wird die außerordentliche Bedeutung dieser Zahl immer wieder betont (s. [ROMP88]). PAULI nannte bei Gelegenheit die Deutung dieser Zahl eines der wichtigsten Probleme der Atomphysik. In den 30-er Jahren war es vor allem EDDINGTON, der viele Ideen über die Deutung der Zahlen in der Physik entwickelte und auch recht „abenteuerliche" Vorstellungen äußerte (s. Schluß des Vortrages). Insgesamt bietet der Vortrag keinen Raum, auf die Eddingtonschen Ideen näher einzugehen, zu denen eine umfangreiche

Literatur existiert. Eine recht ausführliche Übersicht über diese Ideen und ihre Beziehungen zum anthropischen Prinzip finden man in [BARR88].

Einen Versuch zur Deutung des Zahlenwertes der Feinstrukturkonstanten wollen wir aber noch erwähnen, weil er zu den Potenzen von π paßt. In [SCHÖ86] wurde eine bemerkenswert gute Näherung auf Grund eines geeigneten Teilchenmodells abgeleitet:

$$\frac{1}{\alpha} = \pi^4 \sqrt{2} \cdot 1{,}0052635 = 137{,}035967 \,. \tag{2.18}$$

Der „Korrekturfaktor" 1,0052635 in der Mitte der Formel wird aus der Diskussion der Energieverhältnisse bei der Bewegung des Elektrons im Magnetfeld gewonnen.

3. Plancksche Funktion und Primzahlen

Die Physik des 20. Jahrhunderts begann mit der Entdeckung der korrekten Strahlungsformel durch Max PLANCK. Er gilt auch als der erste theoretische Physiker im modernen Verständnis. Besonders das Konzept der Entropie hatte er theoretisch vertieft, und so war es ganz natürlich, daß er die Situation um die schwarze Strahlung aus der Sicht der Entropie beleuchtete und fragte, wie sich die Entropie S der Strahlung mit der Energie U ändert. Für hohe Frequenzen hatte man die Wien-Plancksche Strahlungsformel und für niedere Frequenzen die Rayleigh-Jeanssche Strahlungsformel. PLANCK schaute sich für beide Bereiche die zweite Ableitung der Entropie nach der Energie an, in heutiger Darstellungsweise der Thermodynamik ein ungewöhnlicher Ausdruck, denn die Energie und die Entropie, die wichtigsten thermodynamischen Zustandsfunktionen, werden in Abhängigkeit von den anderen thermodynamischen Veränderlichen wie Temperatur, Druck usw. betrachtet und kaum gegeneinander differenziert. PLANCK hat dann zwischen diesen beiden Formeln interpoliert. Für ihn ergab sich also folgendes Schema ([SIMO90], S.430):

$$\begin{array}{lll} & \textit{Wien–Planck} & \textit{Rayleigh–Jeans} \\ & U = av^3 e^{-\frac{\beta\nu}{T}} & U = \frac{8\pi}{c^3}\nu^2 kT \\ (3.1) & \underbrace{\frac{\delta^2 S}{\delta U^2} = \frac{konst.}{U} \qquad \frac{\delta^2 S}{\delta U^2} = \frac{konst.}{U^2}}_{\frac{\delta^2 S}{\delta U^2} = \frac{a}{U(U+b)}} & \end{array}$$

Die Formel unter der geschweiften Klammer ist eine geeignete Zusammenfassung der beiden Formeln darüber. Diese Zusammenfassung ist, wie man sieht, ziemlich zwangsläufig, wenn man die beiden Ausdrücke über der Klammer hat. Von diesen Ausdrücken auszugehen, also die zweiten Ableitungen der Entropie nach der Energie zu interpolieren, war die entscheidende Idee Plancks. Die Integration dieser Differentialgleichung führt dann zur berühmten Planckschen Strahlungsformel. Im Planckschen absoluten Maßsystem (c=h=k=1) hat sie folgende Form, wenn wir noch das Verhältnis von Frequenz n zur absoluten Temperatur gleich x = n/T setzen:

$$(3.2) \qquad U = 2\pi\, T^3 \frac{x^3}{e^x - 1} \qquad \textit{Plancksches Strahlungsgesetz}$$

Heute kann jeder Physikstudent diese Funktion aus der Quantenhypothese „ableiten". Historisch war es aber umgekehrt. PLANCK hat zuerst diese Funktion gefunden und ist dann zur Quantenhypothese gekommen, als er eine statistische Herleitung dieser Strahlungsformel versuchte. In den verschiedensten Anwendungen der Quantentheorie tauchen Varianten dieser Funktion auf, wobei die x-Potenz über dem Bruchstrich eine andere sein kann. Sie gehen also aus der sogenannten Planckschen Funktion

$$(3.3) \qquad P(x) = \frac{x}{e^x - 1}, \qquad \textit{Plancksche Funktion,}$$

hervor. In der Mathematik war diese Funktion und ihre „merkwürdigen" Beziehungen zur Zahlentheorie schon gut bekannt, die Anfänge gehen auf BERNOULLI und EULER zurück. Die Funktion selber hat dabei nur eine Hilfsrolle gespielt und hatte deshalb vor ihrem Auftauchen in der Physik

auch keinen besonderen Namen. Sie ist die erzeugende Funktion für die bedeutungsvollen Bernoullischen Zahlen B_n:

$$(3.4)\qquad \frac{x}{e^x-1} = 1 - \frac{x}{2} - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n B_n \frac{x^{2n}}{(2n)!}\,.$$

Das Ausrufezeichen bezeichnet die Fakultät, $n! = 1\cdot 2\cdot 3\cdot\ldots\cdot n$. Ihre Fortsetzung für nicht ganzzahlige n ist die Gammafunktion (3.15). Die Bernoullischen Zahlen B_n sind rationale Zahlen mit folgenden Werten:

	n:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
(3.5)	B_n	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{5}{66}$	$\frac{691}{2730}$	$\frac{7}{6}$	$\frac{3617}{510}$	$\frac{43867}{798}$	...

Es ist kaum vorstellbar, von welch großer Bedeutung und welch großem Geheimnis die unendliche Folge der Bernoullischen Zahlen ist. Es ist die einzige Serie rationaler Zahlen, der ganze Kapitel in den Büchern über Zahlentheorie gewidmet sind. Eine Merkwürdigkeit hängt mit der Fermatschen Vermutung zusammen und wir beschreiben sie im nächsten Abschnitt. Für unseren Zusammenhang ist wichtig, daß sie die merkwürdigen rationalen Zahlen in den physikalischen Konstanten bestimmen. So rührt z. B. die 90 in der Formel (1.5) von der 30 in der vierten Bernoullischen Zahl her. Bevor wir aber dazu kommen, wenden wir uns der ζ-Funktion zu, die von EULER zur Untersuchung der Primzahlen eingeführt wurde.

Es wird wohl keiner bestreiten, daß sich in den Primzahlen elementarste Eigenschaften der Materie ausdrücken, mit denen man sofort konfrontiert ist, wenn überhaupt verschiedene Dinge existieren. Wenn man 15 Körner auf der Tischplatte hat, so kann man sie zu drei kleinen Haufen von je 5 Körnern zusammenschieben. Hat man dagegen 17 Körner, so kann man schieben wie man will, es entstehen nie gleich große Haufen. Das ist zweifellos eines der einfachsten Experimente. Daß es unendlich viele Primzahlen gibt, hat schon EUKLID bewiesen. Seine Überlegung lag auf folgender Linie: Angenommen es gäbe nur endlich viele Primzahlen p_1, $p_2,\ldots,p_N$, so bilden wir die Zahl $p_1\cdot p_2\cdot\ldots\cdot p_N + 1$. Diese Zahl ist durch keine der Primzahlen p_i teilbar. Entweder ist sie selbst eine Primzahl, wie bei $2\cdot 3\cdot 5 + 1 = 31$ und $2\cdot 3\cdot 5\cdot 7 + 1 = 211$, oder es muß eine Primzahl größer als p_N geben. Beim nächsten Schritt kommt man nochmals zu einer

Primzahl $2\cdot3\cdot5\cdot7\cdot11 + 1 = 2311$, aber dann ist $2\cdot3\cdot5\cdot7\cdot11\cdot13 + 1 = 30031 = 59\cdot509$. Es gibt keine Regel, wie das weitergeht. Dies ist typisch für Primzahlprobleme. Eines der berühmtesten ungelösten Probleme ist die Goldbachsche Vermutung: Jede gerade Zahl $n > 4$ ist die Summe zweier Primzahlen, so wie $8 = 3+5$, $10 = 5+5$, $12 = 7+5$, ... ,$30 = 7+23 = 11+19$. Dieses Problem hat GOLDBACH im Jahre 1742 EULER vorgelegt. Man vergegenwärtige sich am Beispiel der Zerlegung eines Haufens Körner auf dem Tisch, welch einfache „physikalische" Fragestellung das bis heute ungelöste Goldbachsche Problem ist.

Mit EULER, den man als den Begründer der mathematischen Physik ansieht, beginnt auch die Zahlentheorie als Wissenschaft. Erstmals seit EUKLID hat er einen neuen Beweis für die Existenz unendlich vieler Primzahlen erbracht und dabei auch die analytischen Methoden in die Zahlentheorie eingeführt. Ausgangspunkt war für ihn die Beziehung

$$(3.6) \qquad \prod_p \frac{1}{1-\frac{1}{p^s}} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s} ,$$

wobei links das Produkt über alle Primzahlen p genommen ist. Wie sieht man diese Beziehung ein? Wenn man für jede Primzahl p_i links den Bruch als geometrische Reihe berechnet, erhält man

$$(3.7) \qquad \frac{1}{1-\frac{1}{P_i^s}} = 1 + \frac{1}{P_i^s} + \frac{1}{P_i^{2s}} + \frac{1}{P_i^{3s}} + \dots .$$

Multipliziert man jetzt diese Ausdrücke für alle Primzahlen, so erhält man die Summe aller möglichen Brüche

$$(3.8) \qquad \frac{1}{(P_i^{ni} \dots P_k^{nj})^s}$$

Da die Menge aller möglichen Primzahlprodukte $p_i\, p_j \dots p_k$ aber genau die Menge aller natürlichen Zahlen ist (denn jede natürliche Zahl hat eine eindeutige Primzahlzerlegung), hat man sich von der Richtigkeit der Formel (3.6) überzeugt.

Wie sieht man nun aus dieser Formel, daß es unendlich viele Primzahlen gibt?

Angenommen es gäbe nur endlich viele Primzahlen, dann wäre das Produkt auf der linken Seite immer endlich, auch wenn wir s=1 setzen. Auf der rechten Seite erhalten wir aber im Widerspruch dazu

$$(3.9) \qquad 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots = \infty ,$$

denn dies ist die harmonische Reihe, die unendlich groß wird, wenn man mehr und mehr Glieder addiert. Sie geht zwar langsam nach unendlich, so wie log n, aber sie wird unendlich!

EULER wäre nicht der außerordentliche Gelehrte gewesen, der er war, hätte er nicht eine große Anzahl Eigenschaften der ζ-Funktion hergeleitet. Es ist müßig und sinnlos entscheiden zu wollen, wer in der Folge von EUKLID, ARCHIMEDES über GAUß, RIEMANN bis zu GROTHENDICK der größere Mathematiker ist. Eines kann man aber sagen: EULER war der produktivste unter allen Mathematikern, wenn nicht sogar unter allen Gelehrten aller Zeiten. Von seinen schier zahllosen Schriften ist bisher nur ein Bruchteil herausgegeben. In welches Gebiet er sich auch begab, immer war eine Vielzahl wunderbarer Resultate das Ergebnis, so auch zur ζ-Funktion. Unter vielem anderen bestimmte er die Werte der ζ-Funktion an den geraden Zahlen:

$$(3.10) \qquad \zeta(2n) = \frac{(2\pi)^{2n}}{2(2n)!} \; B_n$$

Schon die erste Relation für n=1 in (3.10) war eine sensationelle Entdeckung. Es ist nämlich das Ergebnis

$$(3.11) \qquad \zeta(2) = 1 + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{4^2} + \dots = \frac{\pi^2}{6} .$$

LEIBNIZ und BERNOULLI hatten sich vergeblich bemüht, diese Reihe der inversen Quadrate aus den natürlichen Zahlen zu berechnen.

Die Werte der ζ-Funktion an den geraden natürlichen Zahlen sind also transzendente Zahlen, die rationale Vielfache von Potenzen von π sind. Die Werte $\zeta(2n+1)$ der ζ-Funktion an den ungeraden natürlichen Zahlen $2n + 1$ geben der Mathematik noch ein vollkommenes Rätsel auf. Man

weiß noch nicht einmal, ob diese Zahlen alle irrational sind. Für $\zeta(3)$ ist die Irrationalität erst vor wenigen Jahren bewiesen worden.

Setzt man in der Reihe $\zeta(s)= \sum 1/n^s$ den Exponenten $s = -1$, so erhält man zuerst einmal formal
$\zeta(-1) = 1+2+3+4+5+\ldots$. Es stellt sich die Frage: Hat die Summe aller natürlichen Zahlen sinnvollerweise einen Wert und welchen? Die Antwort ist ja, und es gilt

$$(3.12) \qquad 1 + 2 + 3 + 4 + \ldots = -\frac{1}{12} .$$

Dieses Resultat kommt dadurch zustande, daß die ζ-Funktion, die zuerst nur für reelle Zahlen $s > 1$ definiert war, eine eindeutige Fortsetzung für alle komplexen Zahlen hat, die von 1 verschieden sind. Ihr Wert an -1 ist dann wohldefiniert und gleich -1/12. Was zuerst wie mathematischer Hokuspokus aussieht, hat eine tiefe Beziehung zur Realität. In der Quantenfeldtheorie treten bekanntlich auf Schritt und Tritt in den Formeln Unendlichkeiten auf, die aber letztlich zu endlichen Meßwerten führen müssen. Es erweist sich nun, daß man gerade mit Hilfe der ζ-Funktion nach dem vorangegangenen Muster unendliche Ausdrücke in endliche Werte überführen kann. Diese Methode trägt deshalb auch den Namen ζ-Renormierung.

Wir fügen noch die Bemerkung an, daß die merkwürdige Raumdimension $d = 26$ in der Stringtheorie erstmalig auf Grund der Beziehung (3.12) auftauchte. In den ersten Berechnungen zur Stringquantisierung traten ganz profan „schreckliche Ausdrücke" auf, die unbedingt verschwinden mußten, was in Folge dieser 12 in obiger Formel nur dann möglich war, wenn $d - 2 = 2 \cdot 12$ galt. Wir können in diesem Vortrag darauf nicht weiter eingehen. Vielmehr werden wir im letzten Abschnitt die Besonderheiten der Dimensionen 24 und 26 an ganz anderen, nämlich geometrischen Zusammenhängen erkennen.

Die Bedeutung der numerischen Eigenschaften der ζ-Funktion für wichtige physikalische Konstanten liegt darin, daß folgende Integrale mit der Planckschen Funktion auf Werte der ζ-Funktion führen:

$$(3.13) \qquad \int_0^\infty \frac{x^k}{e^x-1}\, dx = k!\ \zeta(k+1) .$$

Wenn k ungeradzahlig ist, ist der Wert der ζ-Funktion durch die Formel (3.12) bestimmt. So kommt z. B. auch der Wert der Strahlungskonstanten (2.13) im Planckschen absoluten Maßsystem (c = h = k = 1) zustande,

$$(3.14) \qquad \sigma = 2\pi \; 3! \; \zeta(4) = \frac{2}{15}\pi^5 ,$$

wenn man für $\zeta(4)$ die entsprechenden Werte aus Formel (3.10) einsetzt. Die Quintessenz aus der Betrachtung dieses Beispiels ist das Resultat, daß die höheren π-Potenzen und die merkwürdigen rationalen Zahlen in den Naturkonstanten auf Grund der ζ-Funktionen hineinkommen. Auch in diesem Fall entsteht die 15 aus der 30 in der 4-ten Benoullischen Zahl.

Die ζ-Funktion ist eine der wichtigsten Funktionen der Zahlentheorie. Um zu sehen, daß mit diesen Funktionen die Zahlentheorie nicht nur auf Grund der genannten numerischen Zusammenhänge in den Naturkonstanten in die Physik hineinkommt, sondern direkt in die Dynamik, müssen wir noch einen Schritt weitergehen und noch zwei weitere Funktionen erwähnen.

Die erste ist die Gammafunktion $\Gamma(x)$. Eulers Phantasie war oft durch Aufgaben angeregt, die zu Interpolationsproblemen gehörten. Er stellte sich das schwierige Problem, stetige Funktionen zu finden, welche an ganzzahligen Stellen vorgegebene Werte annehmen. Seine schönsten Resultate betreffen die Folge der Fakultäten $n! = 1\cdot 2\cdot 3\cdot \ldots \cdot n = \Gamma(n+1)$. Er fand zahlreiche Darstellungen für die gesuchte Funktion, u.a. folgende Integraldarstellung ([DIEU85], S.36):

$$(3.15) \qquad \Gamma(x+1) = \int_0^1 (\log \frac{1}{t})^x \, dt \; .$$

Die zweite Funktion ist die Jacobische θ-Funktion. Sie hat äußerst praktische Ursprünge. Will man nämlich die Schwingungen eines realen Pendels mit größeren Ausschlägen beschreiben, so wird man auf die elliptischen Funktionen geführt. Ihr Name stammt daher, daß sie auch bei der Berechnung des Umfangs der Ellipse auftreten. Für die Fläche der Ellipse hat man noch eine zur Kreisberechnung analoge Formel, die Umfangsberechnung führt aber schon auf diese neuen Funktionen. Es war JACOBI, der alle Varianten der elliptischen Funktionen aus einer einzigen Funktion ableitete, der θ-Funktion,

$$(3.16) \qquad \Theta(x,\tau) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} e^{2\pi i n x} + \pi^{i n^2 \tau} .$$

Heute sind mathematische Ausdrücke dieser Art in Naturwissenschaft und Technik unter den Begriff der Fourier-Transformationen gut bekannt. Die θ-Funktion ist übrigens auch eine Fundamentallösung der Wärmeleitungsgleichung, ein weiterer physikalischer Bezug.

Die θ- Funktion ist also eine höchst praktische Funktion. Um so mehr mußte es überraschen, als JACOBI mit Hilfe verschiedenster Relationen, die die θ-Funktion befriedigt, einen Beweis für den Vierquadratesatz (0.4) angeben konnte. Alles hatte seinen Ausgangspunkt mit der Betrachtung „seltsamer Formeln" genommen, die schon EULER (1750) bemerkt hatte und JACOBI (1826) anders interpretierte (s. [DIEU85], S.64). Es sind die Formeln, mit denen sich in unseren Tagen DYSON „in den Ferien" beschäftigte (s. Einleitung). Wie bei vielen Dingen, die später mit den Namen berühmter Leute verbunden sind, hatte auch GAUß die wunderbaren Beziehungen in diesem Bereich schon gesehen und teilweise auch schon gefunden. In einem Brief aus dem Jahre 1808 schrieb er: „Mit Kreisfunctionen und dem Logarithmischen wissen wir jetzt umzugehen, wie mit dem 1 mal 1, aber die herrliche Goldgrube, die das Innere der höheren Functionen enthält, ist fast noch Terra Incognita. Ich habe darüber ehemals sehr viel gearbeitet und werde dereinst ein großes Werk darüber geben.... Man geräth in Erstaunen über den überschwenglichen Reichtum an neuen höchst interessanten Wahrheiten und Relationen, die dergleichen Functionen darbieten (wohin auch diejenigen gehören, mit denen die Rectification der Ellipse und Hyperbel zusammen hängt)." GAUß hat das „große Werk", von dem er hier spricht, leider nicht mehr geschrieben.

Um zu zeigen, wie die genannten Grundfunktionen der analytischen Zahlentheorie zusammenhängen, wollen wir noch die „fundamentale Formel" niederschreiben:

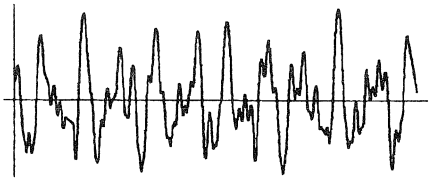
$$(3.17) \qquad 2\pi^{-s/2}\, \zeta(s)\, \Gamma(s/2) = \int_0^{\infty} (\Theta(0,i\tau) - 1)\, \tau^{s/2} \frac{d\tau}{\tau} .$$

Es ist übrigens von großer didaktischer Bedeutung, daß sich der Reichtum der höheren transzendenten Funktionen um eine einzige Funktion, die θ-Funktion, gruppiert. Diese Einzigartigkeit wird auch aus einer Bemerkung WEIERSTRAß' deutlich, die HILBERT in der Gedächtnisrede auf ihn zitiert:

„Auf die Frage, ob es denn wirklich möglich sei, aus den abstrakten Theorien, welchen sich die heutige Mathematik mit Vorliebe zuzuwenden scheine, auch etwas unmittelbar Brauchbares zu gewinnen, möchte ich entgegnen, daß doch auch auf rein spekulativem Wege griechische Mathematiker die Eigenschaften der Kegelschnitte ergründet hatten, lange bevor irgendwer ahnte, daß sie die Bahnen seien, in welchen die Planeten wandeln, und ich lebe allerdings der Hoffnung, es werde noch mehr Funktionen geben mit Eigenschaften, wie sie JACOBI an seiner Thetafunktion rühmt, welche lehrt, in wie viele Quadrate sich jede Zahl zerlegen läßt wie an den Bogen der Ellipse rektifiziert und dennoch imstande ist, und zwar sie allein, das wahre Gesetz darzustellen, nach welchem das Pendel schwingt."

Ich kann mich nicht enthalten, den Abschnitt mit folgender Bemerkung abzuschließen: Es gibt durchaus namhafte Gelehrte, die solche Brückenschläge zwischen physikalischen und mathematischen Wahrheiten als „unnötigen Firlefanz" abtun und der Meinung sind, was zählt sind allein die experimentell gefundenen funktionalen Abhängigkeiten, die immer nur Näherungscharakter tragen. Auch solche Auffassungen werden von der ζ-Funktion „eingeholt". Sie ist nämlich in folgendem Sinne eine universelle Funktion: Welche (stetige) approximative funktionale Abhängigkeit in einem endlichen Meßintervall man auch hat, und sei sie noch so „wild", z.B.

(3.18)



immer findet man einen Abschnitt des Logarithmus der ζ-Funktion $\zeta(x)$ (im Bereich der komplexen Zahlen), der die Meßwerte beliebig genau approximiert (bis auf Ähnlichkeit) ([KARA92], S.241).

4. Stringtheorie und Zahlen

Der Zusammenhang physikalisch wichtiger Größen mit der Zahlentheorie, wie er durch die zahlentheoretische Bedeutung der Theta- und Zetafunktion umrissen wird, mag auf der Ebene der vorangegangenen Betrachtungen über die Zahlen der klassischen Physik noch als interessanter und schöner „mathematischer Zufall" erscheinen. Er erscheint allerdings in einem ganz anderen Licht, wenn man ihn auf dem Hintergrund der jüngsten Ideen in der Theorie der Elementarteilchen, der sogenannten Stringtheorien, sieht, wie jetzt ausgeführt werden soll. Eine hervorragende Darlegung der Entstehungsgeschichte und des Inhaltes der Stringtheorie, wie es ohne mathematische Formeln überhaupt nur möglich ist, ist das Buch von M. KAKU und J. TRAINER [KAKU93]. String steht hierbei einfach für Saite. Es wurde die Idee aufgegriffen, daß die Elementarteilchen Schwingungszustände von kleinen ringförmig geschlossenen Saiten, Strings, sind. Ohne daß weiter auf die Entstehungsgeschichte dieser Vorstellungswelt eingegangen werden soll, paßt eine solche Idee voll und ganz in das mit der Quantentheorie entstandene Weltbild, in dem wir eine vollkommene Dualität zwischen Welle und Teilchen haben. Wenn jedes Teilchen eine Wellenform hat und jeder Schwingungszustand seine Quanten, warum sollten dann nicht die Elementarteilchen Schwingungszustände von grundlegenderen Objekten sein? Die einfachsten solcher Objekte sind eindimensionale Saiten. Ja, es ist geradezu erstaunlich, warum man vorher in den Lehrbüchern der Physik der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts nirgendwo die quantisierte Saite fand, wo doch sonst „Donner und Teufel" quantisiert wurden.

Wir müssen noch ein Wort zu den Bezeichnungen sagen. Wenn wir allgemein von Strings reden, meinen wir eine Variante von verschiedenen Theorien. Die erste Version der Stringtheorie war eine Theorie der Bosonenstrings in einer 26-dimensionalen Welt. Später wurden dann andere Versionen interessant und man hat die Bezeichnung Superstrings eingeführt. Wenn wir hier von Superstrings reden, bezieht sich das auf die 10-dimensionale Variante der Stringtheorie.

Wenn sich ein solcher geschlossener String bewegt, entsteht im Raum ein „Schlauch"

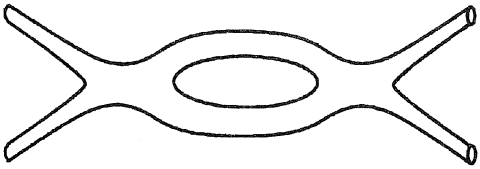
(4.1)

und nicht nur eine Bahnkurve, wie es bei einem punktförmigen Teilchen der Fall ist.

Da die Massen der Elementarteilchen sich aus der Schwingungsenergie der Saiten ergeben, müssen diese „straff gespannt" und außerdem sehr klein im Durchmesser sein. Ohne daß das hier erläutert werden soll, ergibt sich, daß ihr Durchmesser in der Größenordnung der Planckschen Länge l_{Pl} (2.15) sein muß. Das ist gleichzeitig eine weiteres Indiz dafür, daß die Plancksche Länge nicht etwa nur eine willkürliche Einheit ist, sondern tatsächlich so etwas wie eine „Elementarlänge". Nehmen wir nun einmal weiter an, daß sich die Strings in irgend einem Raum bewegen und beim Aufeinandertreffen ebenso streuen, wie die Elementarteilchen (s. [LANI88],S.135). Die bekannten Streubilder (Feynmangraphen)

(4.2)

werden dann zu folgenden Figuren, wenn wir die punktförmigen Elementarteilchen durch kleine geschlossen Strings ersetzen und damit die Linien zu „Schläuchen" werden:

(4.3) 

In der Teilchenphysik gewinnt man alle experimentell relevanten Größen aus der „Streumatrix" S und der „Zustandssumme" Z. Diese wiederum ergeben sich durch Aufsummieren aller möglichen Flächen von der Form (4.3). Diese ist eine Fläche mit einem Loch. Anlog gibt es nun Brezeln mit zwei, drei, usw. Löchern. All diese Figuren liefern Beiträge zur Zustandssumme. Diese Flächen hat im vorigen Jahrhundert RIEMANN in die Mathematik und auch schon in die klassische Physik eingeführt. Sie heißen deshalb auch Riemannsche Flächen. Der Umgang mit Riemannschen Flächen

ist schon längere Zeit auch den theoretischen Physikern in der Elementarteilchenphysik recht vertraut. Was davon bisher den Physikern nicht vertraut war, sind die zahlentheoretischen Aspekte der Theorie der Riemannschen Flächen im weitesten Sinne des Wortes. Aber nicht nur für die Physiker, sondern auch für die Spezialisten unter den Zahlentheoretikern war es ungeheuer überraschend, in welcher Form die Zahlentheorie in physikalisch relevante Formeln hineinkommt, wenn man nach dem in der Physik vertrauten Schema über alle Riemannschen Flächen und, in Verallgemeinerung dazu, über alle arithmetischen Flächen „aufsummiert". Die Spitze des Eisberges sind dann Formeln wie die folgende, mit denen die physikalischen Zustandssummen als Limes- und Summationsprozesse über alle algebraischen Zahlkörper entstehen ([SMIT88], S.678):

$$(4.4) \qquad Z_A = \lim_{K} \sum_{x \in A(K)} e^{26\, h(x)} .$$

Dabei ist A der Modulraum von Mannigfaltigkeiten eines bestimmten Geschlechtes über den rationalen Zahlen. Der Limes wird über alle algebraischen Zahlkörper K genommen. Die Summation läuft über alle K-rationalen Punkte x der Mannigfaltigkeit A und im Exponenten steht die Höhe h(x) der K-rationalen Zahl.

Es gibt natürlich im Rahmen eines solchen Vortrages überhaupt keine Möglichkeit, den mathematischen Gehalt dieser Formel zu erklären. Aber wir können und wollen sehr wohl einen Eindruck von dem vermitteln, was in einer solchen Formel „aufdämmert", wie es WEYL formulierte (s.o.). Zuerst einmal kann man die Formel insgesamt auf sich wirken lassen. Es geht um eine physikalisch fundamentale Größe, die Zustandssumme für Strings, und diese bestimmt sich aus der Kenntnis bestimmter Eigenschaften aller algebraischen Zahlkörper. Was das ist, die Zahlkörper, davon werden wir gleich noch einen Eindruck vermitteln. Richten wir vorher noch einen Blick auf die 26, die ganz unvermittelt im Exponenten dieser Formel auftritt. In ihr „dämmert" die höhere Dimensionalität des Universums auf. Es ist nämlich so, daß die quantisierten Strings nicht in jeder Raumdimension existieren können. Unter Hundert sind dabei nur zwei Dimensionen von zentraler Bedeutung, der 26-dimensionale Raum, in dem die Bosonenstrings leben, und der 10-dimensionale Raum, in dem die Superstrings leben. Warum es nicht String-Physik in jeder Raumdimension geben kann

und welche mathematischen Beziehungen dabei eine Rolle spielen, werden wir im letzten Abschnitt noch erläutern.

Kommen wir auf die Zahlkörper zurück. Eine Teilmenge der komplexen Zahlen, die man nicht überschreitet, wenn man in ihr nur die Grundrechnungsarten ausführt, also addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert, heißt Zahlkörper. So ist zum Beispiel die Menge Q der rationalen Zahlen, also aller Brüche p/q aus zwei ganzen Zahlen p und q, ein Zahlkörper. Bei beliebigem Rechnen mit den Grundrechnungsarten bleibt man also innerhalb der rationalen Zahlen. Das gilt aber auch für die Menge $Q(\sqrt{D})$ aller Zahlen der Form $a + b\sqrt{D}$, wobei a,b beliebige rationale Zahlen sind und D eine feste ganze Zahl. Wenn man verschiedene Zahlen dieser Wurzelform addiert oder subtrahiert, erhält man wieder Zahlen dieser Form. Das gilt aber auch für die Multiplikation und Division, wie man aus folgenden Beispielen erkennt:

$$(4.5) \qquad (2+7\sqrt{5})\ (4-3\sqrt{5}) = -97+22\sqrt{5}$$

$$\frac{1}{2+7\sqrt{5}} = \frac{2-7\sqrt{5}}{(2+7\sqrt{5}) = 2-7\sqrt{5})} = \frac{-2}{241} + \frac{7}{241}\sqrt{5}$$

$Q(\sqrt{D})$ ist also ein Zahlkörper, ein sogenannter quadratischer Zahlkörper.

D kann eine beliebige ganze Zahl sein, also auch -1. Bekanntlich setzt man $\sqrt{-1} = i$, die imaginäre Einheit. Damit ist Q(i) nichts anderes als der Körper der komplexen Zahlen a + b i mit rationalem a,b. Man kann nun auch in diesem Zahlkörper die Menge Z[i] der ganzen komplexen Zahlen m + n i auswählen und nach der Faktorzerlegung dieser verallgemeinerten ganzen Zahlen fragen. Dann gilt zum Beispiel

$$(4.6) \qquad \begin{aligned} 2 &= (1+i)\,(1-i) \\ 5 &= (2+i)\,(2-i) \end{aligned}$$

d.h., die gewöhnlichen Primzahlen 2 und 5 sind innerhalb der Menge der ganzen komplexen Zahlen keine Primzahlen mehr, sondern zerlegbar. Die gewöhnliche Primzahl 3 ist aber auch innerhalb der ganzen komplexen Zahlen weiterhin unzerlegbar, und dies gilt für alle gewöhnlichen Primzahlen der Form 4 m + 3 . Trotz dieser Änderungen gilt weiterhin die

eindeutige Zerlegbarkeit der komplexen ganzen Zahlen in ein Produkt von verallgemeinerten Primzahlen.

Ganz anders ist die Situation im quadratischen Zahlkörper $Q(\sqrt{5})$. Für seine ganzen Zahlen $Z[\sqrt{-5}\,]$ gilt die eindeutige Zerlegung in Primfaktoren schon nicht mehr, denn es ist z.B.

$$(4.7) \qquad 9 = 3\cdot 3 = (2+\sqrt{-5})\,(2-\sqrt{-5}).$$

Man muß sich allerdings noch davon überzeugen, daß sowohl die 3, wie auch die Faktoren mit der Wurzel von -5, nicht weiter zerlegbar sind, also verallgemeinerte Primzahlen.

Wir sind auf die Mehrdeutigkeit in den Zahlkörpern deswegen eingegangen, weil sie uns auf die Lösungsproblematik der Fermatschen Vermutung (0.3) führt und dann weiter wieder zu der Formel (4.4) der Stringtheorie. Dazu muß man allerdings noch andere algebraische Zahlkörper betrachten. Sei ζ eine beliebige komplexe Einheitswurzel, d.h. eine komplexe Zahl, die Lösung der Gleichung $\zeta^p = 1$ ist, so bilden die Zahlen der Form $x = a_0 + a_1\,\zeta + a_2\,\zeta^2 + \ldots + a_{p-1}\,\zeta^{p-1}$, wobei alle a_k rational sind, ebenfalls einen Zahlkörper $Q(\zeta)$, denn die Multiplikation zweier Zahlen dieser Form ist wieder eine Zahl dieser Form. Sobald nämlich eine p-te Potenz von ζ auftritt, kann man sie durch 1 ersetzen. In diesem Zahlkörper hat man, ebenso wie in den obigen Beispielen der quadratischen Zahlkörper, die Menge $Z[\zeta]$ seiner verallgemeinerten ganzen Zahlen x , bei denen alle a_k ganze Zahlen sind. Man kann in diesen Mengen verallgemeinerter ganzer Zahlen, ebenso wie in der Menge der gewöhnlichen ganzen Zahlen, addieren, subtrahieren und multiplizieren, allerdings nicht beliebig dividieren. Mengen mit solchen Rechenoperationen heißen Ringe. Würde nun in den Ringen $Z[\zeta]$ für jede Primzahl p die eindeutige Faktorzerlegung gelten, so könnte man die Fermatsche Vermutung einfach beweisen. Einen solchen „falschen Beweis" hat angeblich zwischen 1830 und 1840 der Berliner Mathematiker KUMMER geliefert, dann aber bemerkt, daß die eindeutige verallgemeinerte Primzahlzerlegung für p = 23 (und höhere Primzahlen) nicht mehr gilt.

KUMMER hat dann, angespornt durch dieses Problem, ein grandioses Werk geschaffen und damit die gesamte moderne Zahlkörpertheorie begründet (s. [DIEU85], Kap.5). Wir wollen die Aufmerksamkeit noch dar-

auf lenken, daß gerade p = 23 eine kritische Grenze ist. Das erscheint in Hinblick auf die Ausführungen im nächsten Abschnitt in einem besonderen Licht, indem wir verdeutlichen werden, daß in der Umgebung von 24 „viel geschieht".

In den 150 Jahren seit KUMMER ist ein gewaltiges Gebäude der modernen Zahlentheorie entstanden, das auch immer wieder am Beweis der Fermatschen Vermutung getestet wurde. Schließlich ist der Beweis der Fermatschen Vermutung in den letzten Jahren gelungen (s. [FALT95]). Es gibt also keine ganzzahligen Lösungen der Gleichung $x^n + y^n = z^n$, wenn $n>2$ ist. Den entscheidenden Durchbruch erzielte 1983 FALTINGS mit dem Beweis, daß es höchstens endlich viele Lösungen geben kann. Es ist durchaus möglich, daß künftig für das äußerst elementar formulierte Fermatsche Problem auch ein elementarer Beweis gefunden wird. Der gegenwärtige Beweis allerdings benötigt die gesamte moderne Maschinerie einer der neuesten Synthese zwischen Zahlentheorie und Geometrie, der sogenannten „arithmetischen Geometrie", bei deren Ausbau die Faltingsschen Methoden einen Höhepunkt bildeten. Es hat nun erneut äußerste Überraschung hervorgerufen, daß der gesamte mathematische Apparat dieser neuen arithmetischen Geometrie in der Stringtheorie reflektiert ist. Er ist nämlich der mathematische Hintergrund, auf dem die Beziehung (4.4) gefunden und verstanden werden kann. Bei rechtem Licht betrachtet, sollte die Tatsache eigentlich nicht überraschen, denn seit Einsteins gekrümmter Welt ist uns vertraut, daß Geometrie und Physik in enger Verwandtschaft stehen und es sind zahllose Artikel dazu erschienen. Mit der arithmetischen Geometrie haben allerdings die geometrischen Begriffe einen derartigen Abstraktionsgrad erreicht, daß kaum einer ihrer Akteure angenommen hatte, daß sie etwas mit der „wirklichen physikalischen Geometrie" zu tun haben könnte. Zwischen der Einsteinschen Geometrisierung der Gravitation und der Schaffung der „gekrümmten Räume" durch RIEMANN lag immerhin noch ein halbes Jahrhundert. Die neuerliche Synthese zwischen arithmetischer Geometrie und der Stringtheorie vollzieht sich in engster Wechselwirkung.

Die Stimulans, welche das äußerst einfach und elementar formulierbare Fermatsche Problem für die moderne Zahlentheorie bis hin zur arithmetischen Geometrie hatte, ist bereits Legende. Jetzt sehen wir, wie es sogar fundamentale physikalische Theorien befördert. Es ist eine selten

erwähnte Tatsache, daß die Fermatsche Vermutung die moderne Physik über viele Jahre sogar „finanziell gefördert" hat. Aller Welt bekannt ist die Rolle Göttingens bei der Entwicklung der modernen Physik in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts. Es war das Mekka der Physiker aus der ganzen Welt und die regelmäßigen Vorträge internationaler Gäste in Göttingen haben auch die Bezeichnung „Göttinger Festspiele" gefunden. Viel weniger bekannt ist die Tatsache, daß diesen „Göttinger Festspielen" finanzielle Mittel aus der ungelösten Fermatschen Vermutung zuflossen. Im Jahre 1905 hatte der Göttinger Professor P. WOLFSKEHL der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften die hohe Summe von 100 000 Reichsmark als Preis für denjenigen zur Verfügung gestellt, der die Fermatsche Vermutung beweist. Man kann sich denken, wie viele Schriften zu angeblichen Beweisen in Göttingen eingegangen sind, die geprüft und beantworten werden mußten. Unterdessen konnten aber die Zinsen aus der Wohlfskehlschen Stiftung genutzt werden und flossen den „Göttinger Festspielen" zu. HILBERT soll bemerkt haben, daß er sich über jeden falschen Beweis freut, weil dadurch das Geld weiterhin zur Förderung des wissenschaftlichen Lebens zur Verfügung steht.

Damit ist die innere Verbindung des Fermatschen Satzes zur Physik noch keineswegs ausgeschöpft. Interessant ist nämlich auch ein Zusammenhang zu den „rationalen Zahlen der klassischen Physik", d.h. den Bernoullischen Zahlen. KUMMER hatte seinerzeit für eine große Klasse von Primzahlen die Fermatsche Vermutung beweisen können, für die sogenannten regulären Primzahlen. In ihnen reflektiert sich ein wesentlicher zahlentheoretischer Zusammenhang, der mit der oben diskutierten Mehrdeutigkeit der allgemeinen Primzahlzerlegung zusammenhängt und hier nicht weiter diskutiert werden kann. Aus unserer „physikalischen Sicht" ist aber nun interessant, daß KUMMER die regulären Primzahlen mittels der Bernoullischen Zahlen (3.5) charakterisieren konnte. Eine Primzahl p ist genau dann regulär, wenn p keinen der Zähler der ersten $1/2$ (p-3) Bernoullischen Zahlen teilt. Also beispielsweise für $p = 17$ ist $1/2$ (p-3) = 7. Nun teilt 17 keinen der Zähler der ersten 7 Bernoullischen Zahlen in (3.5), also ist 17 eine reguläre Primzahl.

Damit sind wir wieder auf die rationalen Zahlen der Physik zu sprechen gekommen. Dieser Vortrag bietet keinen Raum, auf markante ganze Zahlen der Physik einzugehen. Zu denen gehören zum Beispiel die „magi-

schen Zahlen“ der Kernphysik (s. [JOOS59], S.736). Magische ganze Zahlen sind auch in den Isotopenregeln angesprochen. Sei Z die Kernladungszahl, M die Massenzahl eines Elementes und J die Anzahl der stabilen Isotope eines Elementes. So gelten folgende Isotopenregeln ([GRIM75], S.28): 1.Isotopenregel: a) Elemente mit ungeradem Z haben stets $J < 3$. b) Bei geradem Z ist $J > 2$ mit den Ausnahmen $_4$Be ($J = 1$) und 2He, 6C ($J = 2$). 2. Isotopenregel: Zu jeder Massenzahl M gehört mindestens ein stabiler Kern, mit den Ausnahmen $M = 5$ und $M = 8$.

Man kann noch viele magische ganze Zahlen der Physik und Chemie angeben, bis hin zu den 20 Aminosäuren der Biochemie, aus denen sich die Proteine aufbauen. In welche mathematische Richtung man bei solchen magischen ganzen Zahlen denken kann, soll jetzt noch an den Elementarteilchen erläutert werden und damit kommen wir zu den Strings zurück.

Nachdem in der ersten Hälfte des Jahrhunderts die Vorstellung noch gerechtfertigt schien, daß die Stoffe aus ganz wenigen Typen von Elementarteilchen entstehen, änderte sich die Situation markant, als in den 50er Jahren ganze Kaskaden von immer neuen Elementarteilchen entdeckt wurden. Erst nach und nach konnten mit Hilfe von Symmetriegruppen die Elementarteilchen zu einzelnen Typen zusammengefaßt werden. Viele Teilchen, die ursprünglich als verschiedene Teilchen erschienen, erweisen sich nun als das gleiche Teilchen, nur mit anderen Attributen. Man hat für diese Attribute solch „blumige“ Worte wie Farbe, Charme, Flavour eingeführt. Diese Attribute bilden somit einen mehrdimensionalen Parameterraum innerer Eigenschaften und die Symmetriegruppen „drehen“ in diesem Raum, wie die gewöhnlichen Drehgruppen die Kristalle im dreidimensionalen Raum drehen. Wenn man etwa an die Zahl 20 der Aminosäuren denkt, so wäre es nicht verwunderlich, wenn es Dutzende solcher Familien von Elementarteilchen, oder Generationen, wie man sagt, gäbe. Nachdem erst eine ungeheure Vielfalt die Situation verwirrte, ist es umgekehrt erstaunlich, daß diese Vielfalt sich auf drei Generationen reduzierte ([LANI88], S.155). Im Rahmen der Stringtheorie läßt sich nun eine Konzeption entwickeln, die die Anzahl der Elementarteilchengenerationen in Beziehung zur inneren Geometrie der „schwingenden Strings“ bringt.

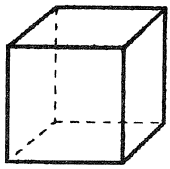
Nehmen wir dazu das Modell der Superstrings. Diese leben in einem 10-dimensionalen Raum. Da wir in unserer makroskopischen Raum-Zeit-

Welt aber nur 4 Dimensionen beobachten, nimmt man an, daß 6 Dimensionen „eingerollt" sind, kompaktifiziert, wie der mathematische Ausdruck heißt. Man kann sich das im 2-dimensionalen Fall anschaulich verdeutlichen. Angenommen, die 2-dimensionale Ebene sei zu einem sehr dünnen Zylinder zusammengerollt,

(4.8)

Dann erscheint uns makroskopisch nur noch eine Dimension, wenn der Kreis K sehr klein ist. In der Superstringtheorie ist K natürlich kein einfacher Kreis, sondern ein kompakter 6-dimensionaler Raum K. Wir werden gleich eine Vorstellung davon vermitteln, was die Eulersche Charakteristik $\chi(K)$ eines solchen Raumes ist. Wenn man der inneren Logik der Stringtheorie folgt, ist die Anzahl der Elementarteilchengenerationen gleich der Hälfte der Charakteristik $\chi(K)$. Da die Existenz von 3 Generationen eine gesicherte Tatsache zu sein scheint, müßte die Charakteristik des eingerollten Raumes K also 6 sein. Die aktuellen mathematischen Forschungen zu dieser Problematik laufen jetzt so, daß die 6-dimensionalen Räume durchgemustert werden nach besonderen Räumen der Charakteristik 6. Sollte es einen ganz ausgezeichneten Kandidaten für einen solchen Raum geben, kann man dann prüfen, was das für Konsequenzen für die Elementarteilchen hat. Wie bei jeder theoretische Konzeption kann es zwei Wege ihrer weiteren Entwicklung geben. Entweder wäre ein solcher Raum mit der Charakteristik 6 zwingend, dann hätte man einen theoretischen „Beweis" für die Zahl 3 der Generationen, oder es gibt eine Vielfalt solcher zulässiger Räume, dann wird man angeregt werden, nach weiteren einschränkenden Bedingungen zu suchen, die die Theorie weiter ausbauen.

Was ist nun die Eulersche Charakteristik eines Raumes? Wir erläutern dies für den Fall eines 2-dimensionalen kompakten Raumes, d.h. für die kompakten Flächen (Flächen ohne Ränder). Nehmen wir z.B. die Oberfläche W eines Würfels,

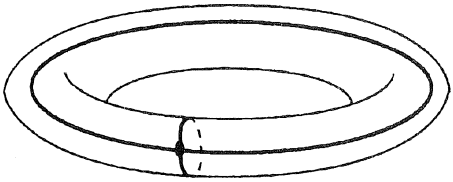
(4.9) 

Diese hat 8 Ecken, 12 Kanten und 6 Flächen. Die Eulersche Charakteristik ist nun die Wechselsumme

(4.10) $\chi(W) = \text{Ecken} - \text{Kanten} + \text{Flächen} = 8 - 12 + 6 = 2$.

Die Charakteristik wird also mittels einer Triangulation der Oberfläche bestimmt. Man kann sich jetzt in Ruhe überlegen, daß sich diese Wechselsumme aus Ecken, Kanten, Flächen nicht ändert, wenn man weitere Triangulationslinien einzeichnet. Diese Wechselsumme ist somit für alle Triangulationen die gleiche. Damit ist außerdem gezeigt, daß die Charakteristik gegen Deformationen der Fläche invariant ist, weil sich dabei zwar die Triangulationslinien verbiegen, die Zahlen aber unverändert bleiben. Also hat die Sphäre, die Kugeloberfläche, auch die Charakteristik 2. Anders ist es beim Torus T,

(4.11)



Für die in der Skizze angedeutete sehr „entartete" Triangulation durch die beiden Kreise hat man nur eine Ecke, nur eine Fläche aber zwei Kanten. Deshalb ist für den Torus die Charakteristik $\chi(T) = 0$.

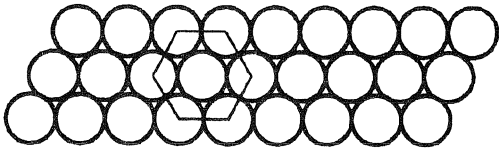
Wenn man davon noch nicht überzeugt ist, kann man weitere Linien einzeichnen, also „richtigere" Triangulationen. Immer wieder wird die Wechselsumme aus Ecken, Kanten und Flächen gleich Null. Für Räume höherer Dimension wird die Eulersche Charakteristik durch eine analoge Wechselsumme definiert. Es geht also bei den 0-dimensionalen Elementen (Ecken) einer Zerlegung los, dann kommen die 1-dimensionalen Elemente (Kanten), dann die 2-dimensionalen und so fort. Für die höheren Dimensionen verläßt einen natürlich die Anschauung und man muß die Zerlegungen und die Abzählungen mit entsprechenden mathematischen Techniken durchführen.

5. MINKOWSKI, DYSON und die „26“

Mit den Primzahlen und den Teilbarkeitseigenschaften ganzer Zahlen waren die einfachsten quantitativen Beziehungen der Realität angesprochen, von denen ein direkter Weg über die Zetafunktion zu den Konstanten der klassischen Physik führte. Mit den Kugelpackungen soll jetzt eine der fundamentalsten geometrischen Beziehungen in den Blick genommen werden, die von einfachsten Fragestellungen zu den kompliziertesten mathematischen Problemen führt und auf direktem Wege zu den merkwürdigen Dimensionen und zahlentheoretischen Zusammenhängen in der Stringtheorie.

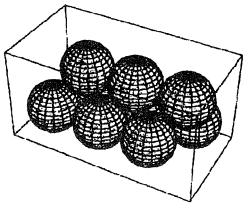
Die Geschichte der Kugelpackungen beginnt im 17. Jahrhundert mit dem wohl bekanntesten Problem der Geometrie. KEPLER stellte 1611 die Frage nach der dichtesten Kugelpackung im 3-dimensionalen Raum und behauptete, daß es keine dichtere als die dichteste gitterförmige Packung gäbe. Dieses Problem gilt bis heute als ungelöst, obwohl seit 1990 W.Y. HSIANG aus Berkeley einen fast 100-seitigen Beweis vorgelegt hat, über den schon viel berichtet wurde, auch in der internationalen Presse, den aber die Mehrheit der Experten nicht als stichhaltig ansieht [WILL95]. Günstiger ist die Situation bei den dichtesten gitterförmigen, also regelmäßigen Packungen. Da bewies LAGRANGE im Jahre 1773, daß die dichteste gitterförmige Packung von gleich großen Kreisen in der Ebene die hexagonale ist:

(5.1)



GAUß bestimmte dann 1831 die dichteste Kugelpackung im 3-dimensionalen Raum. Es ist die in der Kristallographie wohlbekannte Kugelpackung zum flächenzentrierten kubischen Gitter:

(5.2)



Die Dichte Δ einer Kugelpackung ist das Verhältnis der Volumen des überdeckten Raumgebietes zum Gesamtraum. Für die dichteste Gitterpackungen in der Ebene, die hexagonale, ist die Dichte $\Delta_2 = \pi/\sqrt{12} = 0{,}9069$ und im 3-dimensionalen Raum gilt für die dichteste Gitterpackung $\Delta 3 = \pi/\sqrt{18} = 0{,}7405$. Bis zur Dimension 8 sind die dichtesten Gitterpackungen bekannt. Darüber hinaus liegen nur Teilergebnisse vor. Allerdings nimmt der Bereich bis zur Dimension 24 einen besonderen Platz ein. Es zeigt sich nämlich, daß man die bekannten dichtesten Gitterpackungen bis zur Dimension 8 schrittweise durch Übereinanderschichten gewinnen kann. Und diesen Prozeß kann man über die 8 hinaus fortsetzen. Wir wollen das jetzt beschreiben.

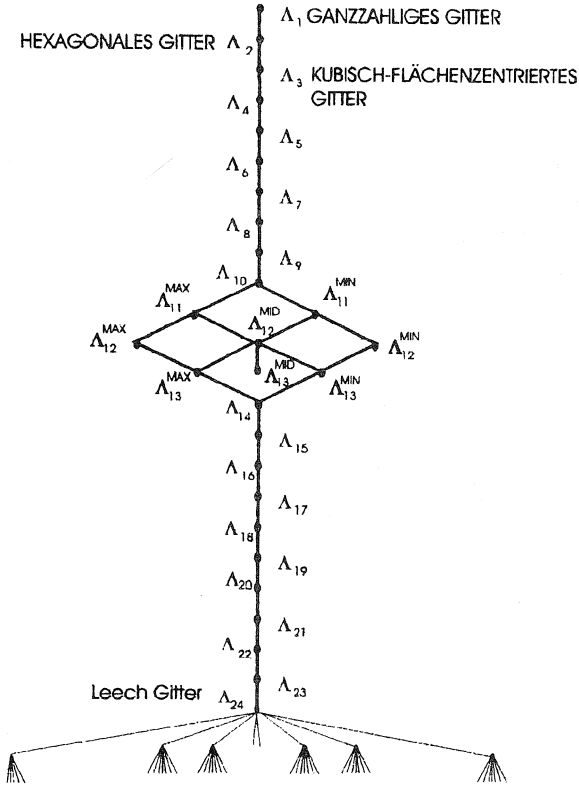
Die eindimensionalen Einheitskugeln sind natürlich einfach Strecken der Länge 2 (Radius 1 um einen Mittelpunkt). Erweitert man diese Strecken (1-dimensionalen Kugeln) zu Kreisen (2-dimensionalen Kugeln) so erhält man aus der dichtesten eindimensionalen Kugelpackung eine Perlenkette von Kreisen:

(5.3)

Schichtet man nun solche eindimensionale Kreisreihen so übereinander, daß die Kreise der nächsten Schicht in die kleinen Lücken rutschen, so erhält man genau die hexagonale Packung (5.1). Man kann nun auf diese Weise weiter fortschreiten. Zuerst die Kreise dieser Packung zu 3-dimensionalen Kugeln erweitern und dann diese Schichten von Kugeln so übereinanderlegen, daß die nächste Schicht genau in die kleinen Lücken der vorhergehenden rutscht. Was man erhält ist die dichteste Packung (5.2) des 3-dimensionalen Raumes. Diese Prozedur läßt sich nun weiter fortsetzen, von einer Dimension zu nächsten. Die durch solche Schichtungen entstehenden Gitterpackungen heißen deshalb auch geschichtete Gitterpackungen (engl. Laminated Lattices). Bis zu Dimension 10 ist das nächste Gitter immer eindeutig bestimmt. Beim Übergang zur 11-ten Dimension gibt es eine Mehrdeutigkeit. Die 10-dimensionalen Schichten können beim Übereinanderlegen auf verschiedene Weise ineinanderrutschen, so daß es verschieden geschichtete Gitter (genau 2) in der 11-ten Dimension gibt. Ab der Dimension 14 gibt es dann jeweils wieder eine geschichtete Gitterpackung,

aber oberhalb 24 fächert die Situation dramatisch auf. 24 ist also eine kritische Grenze, wie man aus folgender Grafik sieht ([CONW92], S.159):

(5.4)



Das 24-dimensionale geschichtete Gitter ist von außerordentlicher Bedeutung. Es ist das berühmte Leech-Gitter und steht im direkten Zusammenhang zur 26-dimensionalen Stringtheorie. Wir werden dazu noch einiges sagen. Außerdem spielt es in der Kodierungstheorie eine Rolle, denn selbstkorrigierende Kodes hängen mit den sogenannten selbstdualen geraden Gittern zusammen, die es nur in Dimensionen gibt, die ein Vielfaches der 8 sind. Davon gibt es nur eins in der Dimension 8, zwei in der Dimension 16, genau 24 Stück in der Dimension 24, unter denen das Leech-Gitter nicht nur wegen seiner Dichte ausgezeichnet ist. In der Dimension 32 gibt es bereits mehr als 80 000 000 solcher Gitter.

Es gibt viele Gründe zu der Vermutung, daß die Gitter Λ_{16} und das Leech-Gitter Λ_{24} Gitter dichtester Kugelpackung sind. Außerdem kennt man in der Dimension 12 noch ein spezielles Gitter, das Coxeter-Todd-Gitter, von dem man das gleiche vermutet. Von den anderen Dimensionen ist bisher alles unbekannt.

Im Bereich bis zur Dimension 24 gilt eine bemerkenswerte Symmetrie, die DYSON in [DYSO84] hervorhebt. Diese erkennt man, wenn man die sogenannte zentrierte Dichte $\delta_n = \Delta_n/V_n$ einführt, d. h., wenn man die Dichte Δ_n durch das Volumen V_n der n-dimensionalen Kugel teilt. Dann hat man für die zentrierte Dichte der geschichteten Gitterpackungen bis zu Dimension 24 folgende Liste

(5.5)

$$\begin{gathered}
\text{Zentrierte Dichten} \\
\delta_0 = \delta_{24} = 1 \\
\delta_1 = \delta_{23} = 2^{-1} \\
\delta_2 = \delta_{22} = 2^{-1}3^{-1/2} \\
\delta_3 = \delta_{21} = 2^{-5/2} \\
\delta_4 = \delta_{20} = 2^{-3} \\
\delta_5 = \delta_{19} = 2^{-7/2} \\
\delta_6 = \delta_{18} = 2^{-3}3^{-1/2} \\
\delta_7 = \delta_8 = \delta_{16} = \delta_{17} = 2^{-4} \\
\delta_9 = \delta_{15} = 2^{-9/2} \\
\delta_{10} = \delta_{14} = 2^{-4}3^{-1/2} \\
\delta_{11} = \delta_{12} = \delta_{13} = 2^{-5} \\
\text{Theorem: } \delta_n = \delta_{24-n}\,.
\end{gathered}$$

Schauen wir nochmals auf die Grafik (5.4). Wir sehen, daß nach der 10 ein erster kritischer Bereich kommt. Dies hebt eine Besonderheit der Dimension 10 hervor und korrespondiert auch zu anderen Besonderheiten sowie zur Dimension 10 der Welt der Superstrings, worauf wir aber in diesem Vortrag nicht weiter eingehen können. Außerdem sind für die Dimensionen 10 – 13 die geschichteten Gitterpackungen nicht die dichtesten unter den bekannten. Oberhalb der Dimension 24 ist zwar schon viel bekannt, aber wegen der außerordentlichen Vielfalt, die oberhalb dieser kritischen Dimension auftritt, nur einzelne Beispiele. Allerdings gibt es verschiedene Abschätzungen über die Dichte der Kugelpackungen, und hier kommt MINKOWSKI wieder ins Spiel.

MINKOWSKI ist jedem Physikstudenten wegen seiner Beiträge zur Begründung der Relativitätstheorie bekannt. Weniger allgemein bekannt in der Physik ist MINKOWSKI als großer Zahlentheoretiker. Sein Wirken begann gleich mit einem Paukenschlag. 1881 hatte die Pariser Akademie das Problem der Zerlegung der ganzen Zahlen in eine Summe von fünf Quadraten als Preisthema gestellt (vgl.(0.4)). MINKOWSKI reichte als 17-jähriger Student dazu eine Arbeit ein und gewann den Preis. Seine Arbeit ging weit über das Thema hinaus und war ein großartiger Beitrag zur Zahlentheorie. Obwohl er, entgegen der Regel, seine Arbeit nur in deutscher Sprache eingereicht hatte, erhielt er den Preis wegen seiner außergewöhnlichen Leistung unter ausdrücklicher Betonung des „exzeptionellen Falls" im Kommissionsbericht. Er wurde dann einer der bedeutendsten Mathematiker des ausgehenden 19. Jahrhunderts. Seine ureigenste Schöpfung ist die „Geometrie der Zahlen" . Durch scheinbar einfachste Betrachtungen über gitterförmig verteilte konvexe Körper, konnte er zur Überraschung der Fachwelt tiefe zahlentheoretische Einsichten gewinnen. In diesem Zusammenhang entstand übrigens auch die Theorie der konvexen Körper [MINK89]. Heute sind konvexe Körper in vielfältigen technischen Anwendungen und der Optimierung gang und gäbe . Kaum einer denkt dabei daran, daß die Anfänge ihrer Theorie bei dem Zahlentheoretiker MINKOWSKI liegen, der durch den Minkowskiraum seinen festen Platz in der Physik hat. Mit seinem Gitterpunktsatz leitete er verschiedene wichtige zahlentheoretische Abschätzungen ab, insbesondere über die Klassenzahl algebraischer Zahlkörper. Im vorigen Abschnitt hatten wir gesehen, daß in einem Zahlkörper die Zerlegung in Primfaktoren in der Regel mehrdeutig ist. Der Grad der Mehrdeutigkeit wird durch die Klassenzahl gemessen.

MINKOWSKI gelang nun 1905 eine Abschätzung für die maximale Dichte Δ_n der Kugelpackungen für alle Dimensionen n mit der Formel

$$\Delta_n \geq \frac{\zeta(n)}{2^{n-1}} . \tag{5.6}$$

Wiederum ist es die wichtige ζ-Funktion, die, über alle Dimensionen hinweg, in ein Maß für die dichtesten Kugelpackungen eingeht.

Die Dimension 24 und das Leech-Gitter sind noch aus der Sicht einer andere Problematik höchst bemerkenswert, die auf NEWTON zurückgeht. Es ist eine Fragestellung, die als das „Kußzahl-Problem" oder auch „13-

Kugeln Problem" bekannt ist. Es war Gegenstand eines Disputes zwischen NEWTON und GREGORY im Jahre 1694. NEWTON war der Ansicht, daß eine Kugel im 3-dimensionalen Raum von höchstens 12 weiteren berührt werden kann, während GREGORY 13 für die maximale Zahl hielt. Nach verschiedenen unvollständigen Beweisen im 19.Jahrhundert, konnte das Problem erst 1953 durch SCHÜTTE und van der WAERDEN endgültig entschieden werden, übrigens zugunsten Newtons. Die Anzahl der Kugeln, die in einer Kugelpackung eine ausgewählte Kugel berühren, heißt auch Kontaktzahl. Es ist erstaunlich, daß oberhalb der Dimension 3 die maximalen Kontaktzahlen noch unbekannt sind, mit Ausnahme der Dimensionen 8 und 24. Für diese sind die maximalen Kontaktzahlen 240 bzw. 196560. Im 4-dimensionalen Raum kann diese Zahl höchstens 25 sein. Ein Gitter mit der Kontaktzahl 24 ist bereits bekannt, aber die Zahl 25 konnte noch nicht ausgeschlossen werden (s. [CONW92], S.21 ff.).

Zusammenfassend sehen wir also, speziell an der Grafik (5.4), wie das einfache geometrische Problem der Kugelpackungen in der Folge aller möglichen Raumdimensionen bis etwa 30 zwei kritische Bereiche hervorhebt. Einer liegt um die Dimension 10 und der andere um die Dimension 24. Welche Verbindung zu der 26-dimensionalen Stringtheorie für Bosonenstrings sich dabei auftut, soll jetzt beleuchtet werden.

Die auch für die Kodierungstheorie wichtigen selbstdualen geraden Gitter gibt es, wie schon gesagt, für die euklidischen Räume nur in den Dimensionen 8, 16, 24, 32 usw., und ab der Dimension 32 in sehr großer Anzahl. Für Minkowskiräume, d.h. für Räume mit der Minskowskischen Metrik $x \cdot x = x_1^2 + x_2^2 + \ldots + x_{n-1}^2 - x_n^2$ sieht es anders aus. Da gibt es immer genau ein gerades selbstduales Gitter, wenn n eine der Zahlen 2, 10, 18, 26, ... usw. (durch Addition der 8) ist. Im 26-dimensionalen Minkowskiraum, also im physikalischen Raum der bosonischen Strings, trägt dieses ausgezeichnete und eindeutig bestimmte Gitter die Bezeichnung $II_{25,1}$. Nun nehmen wir den einzigartigen lichtartigen Vektor w = (0,1, ...,24;70) (s. (0.5)) hinzu. Wenn man jetzt alle Punkte des 26-dimensionalen Gitters $II_{25,1}$ durch zwei Gleichungen einschränkt, erhält man ein 24-dimensionales Gitter. Dies ist genau das Leech-Gitter L24 ([CONW92],S.524):

$$(5.7) \qquad \textit{Leech-Gitter}\ \Lambda_{24} = \begin{cases} x \in II_{25,1} \\ x \cdot x = 2,\ x \cdot w = -1\ . \end{cases}$$

Die letzten Beziehungen waren für sich schon interessant, weil die Einzigartigkeit der 26-dimensionalen Stringtheorie in Beziehungen zum ausgezeichneten Charakter des Leech-Gitters und der kritischen Dimension 24 gebracht wird. Damit ist die Geschichte keineswegs erschöpft, sondern wir können sie weiterführen zum offensichtlichen Zusammenhang der Stringtheorie mit der „Monstergruppe", über die DYSON schon in seinem Vortrag [DYSO84] gesprochen hat, ohne daß damals der Zusammenhang zur Stringtheorie schon sichtbar war.

Die Drehungen oder allgemeiner die Bewegungen in einem Raum (beliebiger Dimension) bilden eine Gruppe, d.h., wenn man zwei Drehungen D_1, D_2 hat, so kann man sie hintereinander ausführen $D_1 * D_2 = D_3$ und dies ist wieder eine Drehung. Außerdem gibt es zu jeder Drehung D die inverse Drehung D^{-1}, so daß $D^{-1} * D = E$ das neutrale Element ist, d.h. es wird nichts gedreht. In der 2-dimensionalen Ebene ist jede Drehung eindeutig durch einen Drehwinkel bestimmt und der Multiplikation der Drehungen entspricht die Addition der Winkel. Deshalb gilt in diesem Fall das Kommutativgesetz $D_1 * D_2 = D_2 * D_1$. Aber schon im gewöhnlichen 3-dimensionalen Raum gilt das Kommutativgesetz nicht mehr. Davon überzeugt man sich leicht, indem man zwei Streichholzschachteln vor sich auf den Tisch legt und die eine zuerst nach hinten und dann nach rechts kippt, während man die andere zuerst nach rechts und dann nach hinten kippt. Man kommt zu verschiedenen Ergebnissen. Das Kommutativgesetz gilt also nicht mehr, aber in jedem Fall gilt noch das Assoziativgesetz $D_1 * (D_2 * D_3) = (D_1 * D_2) * D_3$. Nun kann man nach den endlichen Gruppen fragen. z. B. ist die Menge aller Drehungen, die ein regelmäßiges n-Eck in der Ebene invariant lassen, eine endliche Gruppe aus genau n Elementen. Die bekanntesten endlichen Drehgruppen des 3-dimensionalen Raumes sind die Drehgruppen, die eine bestimmte Kristallstruktur invariant lassen.

Hat man mehrere endliche Gruppen, so kann man sie zu einer größeren zusammensetzen. Gruppen, die nicht zusammengesetzt sind, nennt man einfach. Es ist nun gelungen, alle endlichen einfachen Gruppen zu bestimmen! Das Resultat sieht folgendermaßen aus: Es gibt zu jedem Typ

von kontinuierlichen Drehgruppen (aller endlichdimensionalen reellen und komplexen Räume) gewisse Serien endlicher Gruppen, so wie man aus allen Drehungen des 3-dimensionalen Raumes die endlichen Kristallgruppen gewinnt. Außer diesen Serien gibt es noch genau 26 Ausnahmegruppen, sogenannte sporadische Gruppen, die in keine Serie passen. Unter diesen Gruppen ist eine die größte. Diese Gruppe hat absolut genau

$$(5.8)\ N_{Monster} = 2^{46}\cdot 3^{20}\cdot 5^{9}\cdot 7^{6}\cdot 11^{2}\cdot 13^{3}\cdot 17\cdot 19\cdot 23\cdot 29\cdot 31\cdot 41\cdot 47\cdot 59\cdot 71$$
$$= 808\ 017\ 424\ 794\ 512\ 875\ 886\ 459\ 904\ 961\ 710\ 757\ 005\ 754\ 368 \cdot 10^{9}$$

Elemente. Sie trägt die Bezeichnung F_1 nach FISCHER, der sie nach vielen Vorarbeiten im Februar 1981 endgültig konstruierte. Sie wird aber auch die Monstergruppe genannt. Man wird sich fragen, wie man eine Gruppe mit einer solch ungeheuren Zahl von Elementen finden bzw. konstruieren kann. Auch hier führte der Weg über das ausgezeichnete Leech-Gitter. Dieses läßt sich sehr genau beschreiben und ist also ein „24-dimensionaler Kristall". Und so, wie man doch recht komplizierte kristallographische Gruppen bestimmt, kann man nach der Invarianzgruppe des Leech-Gitters fragen. Es ist die sogenannte Conway-Gruppe. Ausgehend von einer gründlichen Untersuchung dieser Gruppe gelang dann die endgültige Konstruktion aller noch nicht bekannten sporadischen Gruppen und auch des Monsters.

Die letzten Resultate zeigen, daß der Zusammenhang zwischen Stringtheorie und Monster mehr als zufällig ist. Ganz im Geiste der Anwendung der Symmetriegruppen in der Elementarteilchenphysik wird aus der Stringtheorie heraus eine Liesche Algebra erzeugt, die zur Monstergruppe gehört, auch wenn noch einige Fragen offen sind ([CONW92], S.568). Auch diese hat schon ihren Namen, natürlich Monster Lie-Algbra! Da also die Monster-Zahl $N_{monster}$ ($\cong 10^{54}$) zu einer Theorie der Elementarteilchenphysik gehört, kann man vermuten, daß sie in Relation zu den großen Zahlen der Physik steht, die wir im zweiten Abschnitt erwähnt hatten. Auch wenn das im Moment noch Spekulation ist, „dämmert" hier zweifellos ein tiefer Zusammenhang herauf. Daß von dieser Monsterzahl eine Verbindung zu den großen Zahlen der Physik zu erwarten ist, ist jedenfalls weniger spekulativ als die Berechnungen EDDINGTONS, die ihn zu seiner berühmten Aussage führten ([EDDI38], S.170):

„I believe there are 15 747 724 136 275 002 577 605 653 961 181 555 468 044 717 914 527 116 709 366 231 425 076 185 631 031 296 protons in the universe, and the same number of electrons".

Literatur

BARR88 Barrow, J.D., F.J. Tipler: The Anthropical Cosmological Principle. Oxford 1988.

CONW92 Conway, J.H., N.J.A. Sloane: Sphere Packings, Lattices and Groups. Springer New-York, Berlin u.a. 1992.

DIEU85 Dieudonné, J.: Geschichte der Mathematik 1700-1900. Vieweg Braunschweig 1985.

DYSO72 Dyson, F.J.: Missed Opportunities. Bull.Amer.Math.Soc.78,5 (1972)635.

DYSO84 Dyson, F.J.: Unfashionable Pursuits. in: I. Bars, A. Chodos, Chia-Hsiung Tze (ed.): Symmetries in Particel Physics. Plenum Press New-York London 1984.

EDDI34 Eddington, A.: New Pathways in Science (Messenger Lectures 1934). Cambridge Univ. Press 1935.

EDDI38 Eddington, A.: The Philosophy of Physical Science (Tarner Lectures 1938). Cambridge Univ. Press 1939.

FALT95 Faltings, G.: Der Beweis der Fermat-Vermutung durch R. Taylor und A. Wiles. DMV Mitteilungen 2(1995)6.

GRIM75 Grimsehl: Lehrbuch der Physik Bd.4. Teubner Leipzig 1975.

JOOS59 Joos, G.: Lehrbuch der Theoretischen Physik. Leipzig 1959.

KAKU93 Kaku, M., J. Trainer.: Jenseits von Einstein. Die Suche nach der Theorie des Universums. Insel Frankfurt 1993.

KARA92 Karatsuba, A.A., S.M. Voronin: The Riemann Zeta-Function. Berlin New-York 1992.

LANI88 Lanius, K.: Mikrokosmos-Makrokosmos. Das Weltbild der Physik. Urania Leipzig 1988.

MINK89 Minkowski, H.: Ausgewählte Arbeiten zur Zahlentheorie und zur Geometrie. Teubner-Archiv zur Mathematik Bd.12. Leipzig 1989.

PLAN99 Planck, M.: S.-B. Preuß. Akad., Juni 1899. Physikalische Abhandlungen und Vorträge Bd. I, Braunschweig 1958.

ROMP88 Rompe, R., H.-J. Treder: Elementarkonstanten und was sie bedeuten. Akademie-Verlag Berlin 1988.

SCHÖ86 Schönfeld, E.: Versuch einer Deutung des Zahlenwertes der Feinstrukturkonstante auf der Basis eines Teilchenmodells. Exp.Technik der Physik 34(1986)433.

SIMO90 Simonyi, K.: Kulturgeschichte der Physik. Urania Leipzig 1990.

SMIT88 Smit, D.-J.: String Theory and Algebraic Geometrie of Moduli Spaces. Comm. Math.Phys.114(1988)545.

WEIN93 Weinberg, S.: Der Traum von der Einheit des Universums. München 1993.

WEYL19 Weyl, H.: Eine neue Erweiterung der Relativitätstheorie. Ann.Phys. 59(1919)129.

WILL95 Wills, J.M.: Kugelpackungen-Altes und Neues. DMV Mitteilungen 4(1995)21.

Hans-Jürgen Treder

Parmenides und die Begründung von Ontologie und Kosmologie*

Motto: *„Die Wissenschaft ist eine Erfindung der Griechen" (Schrödinger)*
„Man kann die Philosophie bis zum heutige Tage als eine immer weiter geführte Interpretation des Parmenides verstehen." (Weizsäcker)

I. Die aktuelle Welt und ihre „möglichen Welten"

Bei Leibniz sind die „Monaden" keine „Atome" (wie bei Demokrit, Epikur und Gassendi) und auch keine „Elementarteilchen" oder „Feldquanten" wie in der Quantenfeldtheorie. Leibniz' Monaden sind vielmehr Entitäten, die nicht geteilt werden können ohne ihr Sein zu verlieren. So sind für Leibniz nicht mehr die Atome, sondern auch die Zellen, die Tiere und Menschen und auch Gott (die „Urmonade") Monaden.

Diese Monaden sind „fensterlos", d. h. sie wirken nicht aufeinander ein, sondern sie stehen zueinander in „praestabilierter Harmonie". (Anschaulicher gesprochen, die Monaden „spiegeln" – trotz ihrer „Fensterlosigkeit" mehr oder weniger vollkommen die „Urmonade" Gott wider).

„Denkmöglich" sind gemäß Leibniz eine Mannigfaltigkeit von „virtuellen Welten". Der zureichende Grund dafür, daß die wirkliche, aktuelle Welt, so wie sie tatsächlich ist, existiert und hier praestabilierte Harmonie zwischen den Monaden besteht, ist nach Leibniz die Güte Gottes. (Alle anderen denkbaren Welten sind „schlechter" als die wirkliche Welt, die Gott deswegen aktualisiert hat, weil ER gütig ist.)

In meinen Vorträgen über Parmenides habe ich ausgeführt, daß in den Ontologien von Aristoteles und Leibniz die reale Existenz einer Entität deren „Möglichkeit" („Denkbarkeit") beweist. Dagegen beweist bei Aristoteles oder Leibniz die „Denkbarkeit" einer Entität noch nicht deren wirkliche Existenz. – Bei Parmenides hingegen (und auch bei Spinoza, aber Spinoza betont mehr das „Sein" und Parmenides das „Denken") ist das „Sein" das „Denken der Gottheit". Die Göttin Aletheia (die „Wahr-

* Kurzfassung des Vortrags, gehalten im Plenum der Leibniz-Sozietät am 20. April 1995

heit"), welche das „Sein denkt" und deren „Denken das Sein ist" offenbarte Parmenides IHR kosmologisches Prinzip: „Der Kosmos existiert als derselbe, durch sich selbst und in sich selbst, eindeutig bestimmt allein durch die Notwendigkeit zu sein."

Gemäß der Offenbarung Aletheias ist alles Denkbare auch aktual wirklich und alles Seiende ist denkbar und wird von den Göttern gedacht. Die Göttin schloß hieraus und offenbarte es Parmenides, daß der „Kosmos an sich" weder räumlich noch zeitlich ist und daß das Sein unveränderlich und unteilbar ist. Aletheia sagt: „Das All-einige Sein ist das alleinige Sein", das „Ein-Ist ist eins".

Im zweiten Teil IHRER Offenbarung konzediert die Göttin dem Parmenides die „trügliche Ordnung" der menschlichen „Scheinmeinungen" als eine Folge der „Doppelköpfigkeit" der Menschen. Der Mensch denkt als „Teil des Seins" über das „einheitliche Sein" nach und die menschlichen „Scheinwahrheiten" erscheinen als endliche Schritte auf dem unendlichen Weg zur Erkenntnis der göttlichen Wahrheit. (Nach späteren Parmenides-Interpretationen ist diese Konzession der Göttin ein Ausdruck IHRER Güte).

Parmenides selbst zeigte (im zweiten, dialektischen, Teil von Platons „Parmenides-Dialog"), daß jede „relative Bewegung" absolute Bewegungen voraussetzt. Er zeigte aber weiter, daß es keine „absoluten Bewegungen geben kann, daß diese Bewegungen undenkbar sind. Der Bewegungsbegriff ist daher selbst antinomisch; er ist eine „Schein-Meinung" der Menschen – Parmenides' Schüler Zenon erläutert dies in seinen berühmten Paradoxien.

Alle physikalischen Bewegungstheorien seit Demokrit, Platon und Aristoteles über Galilei, Descartes, Newton und Leibniz bis zu Mach, Einstein, Minkowski, Weyl und Gödel diskutieren diese Antinomien. – Einsteins Relativitätstheorie beruht auf der Negation der absoluten Bewegung und der Reduzierung der Relationsgeschwindigkeiten auf Winkelfunktionen in der Minkowskischen Raum – Zeit – Welt, die selbst „zeitlos" gegeben ist.

Aber bereits aus Leibniz' Prinzip der besten aller Welten und auf Grund des aus ihm enstandenen physikalischen „Prinzip der kleinsten Wirkung" folgt eine Eliminierung der Zeit-Variable in Jacobis „Prinzip der kürzesten Bahn" (1844) (Jacobi bezog sich dabei auf Leibniz) und Hertz' „Prinzip der geradesten Bahn", die Einsteins „Prinzip der geodätischen Bewegung (1913) in die Allgemeine Relativitätstheorie übernahm. Einstein verlangte

(1954) die Eliminierung des Bewegungsbegriffs aus einer einheitlichen Feldtheorie der Physik. Die Prinzipe der Geometrodynamik (Jacobisches Prinzip von Wheeler und DeWitt) und der „reinaffinen" Feldtheorie von Einstein und Schrödinger erfüllen ein solches Programm. Das „Hertzsche Prinzip" der affinen Feldtheorie besagt: „Der Kosmos ist die geradeste Bahn im Super-Raum des Einstein-Tensors einer affin-zusammenhängenden Mannigfaltigkeit". – Dies ist eine Bestimmung der aktualen Welt, die in ihrem Abstraktionsgrad mehr an das kosmologische Prinzip Aletheias bei Parmenides als an die „beste aller Welten" von Leibniz erinnert.

Die Vielheit der Aspekte und Perspektiven des einheitlichen Seins des Parmenides, der Welt-Substanz Spinozas entspricht den Projektionen der „Uridee" Platons und den Spiegelungen der „Urmonade" in den einzelnen Monaden bei Leibniz. Dies macht Kants „Welt an sich" zu Marx' „Welt für uns". Die „Welt für uns" wird aus der „Welt an sich" durch die Beobachtungen und die Meßprozesse geschaffen (W. Pauli). Kompatibilität und Komplementarität der einzelnen Meßergebnisse entsprechen der von Leibniz formulierten „praestabilierten Harmonie", der Widerspiegelungen der Urmonade in den einzelnen Monaden.

Diese „Geometrisierung" und „Mathematisierung" der Physik als Programm der theoretischen Physik seit Platons Forderung „die Phänomene zu retten, indem man sie als „denknotwendig" erkennt", ergibt sich aus der „Offenbarung Aletheias" und der in ihr enthaltenen Grundthese von Parmenides Ontologie. Alles „Denkbare" ist auch denknotwendig und alles Denknotwendige ist das Seiende. – Ohne diese Begründung des Seins aus seiner Denknotwendigkeit sind die heutigen großen Theorien-Bildungen der Physik und deren Zielstellungen überhaupt nicht zu verstehen. Die Physik wird auf mathematische Symmetrie-Prinzipien zurückgeführt. Das war Platons Programm im „Timaios" und ist die „Vision" sowohl von Einstein wie von Heisenberg.

II. „Eins sind Denken und Sein"

Aletheia leitet aus der transzendenten Einheit von Denken und Sein das Prinzip der Selbstkonsistenz des Kosmos her, das die Wissenschaft ontologisch begründet und auch wissenschaftsgeschichtlich begründet hat. Es

liegt jedem Bemühen um wissenschaftliche Erkenntnis zu Grunde – ich formuliere dieses Prinzip noch einmal in einer besonders knappen englischen Übersetzung: „The cosmos exists as itself, by itself and in itself unequaly determined only by the constraint to be."

Es gibt eine und nur eine eindeutig bestimmte Welt. Hieraus folgerte Parmenides selbst bei seiner Belehrung des Sokrates über das Seiende gemäß Platons „Parmenides"-Dialog: „Die Göttin, die das Sein denkt, beeinflußt das Sein nicht". Ein göttliches Eingreifen in den Kosmos unterstellt der Göttin eine Inkonsistenz IHRES Denkens. Die Behauptung eines göttlichen Einwirkens in den Kosmos ist ontologisch sinnlos und theologisch Asebie. – Aletheia erklärt in IHRER Offenbarung das menschliche „Meinen" zu einer Inkonsistenz oder Kontigenz des Kosmos als Folge der „Doppelkopfigkeit" und „Blödheit" der Menschen. Aletheias „kosmologisches Prinzip" der Selbstkonsistenz und Denknotwendigkeit der aktualen Welt ist die Arbeitshypothese der theoretischen Physik. Sie ist vor allem das Programm und das Ziel aller „unitiven Quanten-Feldtheorien" und der „Quantengravodynamik". Dieses Ziel ist wegen des Gödelschen Unvollständigkeitstheorems niemals erreichbar. Auch die Göttin, die das Sein denkt „erkennt" es nicht, sagte schon Parmenides zu Sokrates. Aber Aletheias Prinzip führt die wissenschaftliche Theoriebildung zu immer tieferliegenden Fragen und zu immer umfassenderen Erkenntnissen, die dann wieder auf neue, vorher nicht vorstellbare Fragen führen.

Im zweiten Teil seines „Parmenides"-Dialoges stellt Platon den ersten Kursus in Dialektik dar, den Parmenides einem Jüngling als „Muster-Diskurs" für dialektisches Denken gibt.[1] Parmenides zeigt hier die Entwicklung der Begriffsbildungen des menschlichen Denkens als den Versuch das „alleinige und All-einige Sein", das die Göttin denkt, in „Worte" zu fassen. Parmenides begründet in Platons „Dialog" die Begriffsdialektik als menschlichen Erkenntnisprozeß. Diese Dialektik ist die Entfaltung des einigen Seins. Wegen der Einheit von Denken und Sein im Denken Aletheias ist diese „Begriffsdialektik" aber auch „Realdialektik". Durch Metastasierung der Begriffsentfaltung in Parmenides' Dialektik-Kursus gelangt Platon im „Timaios" zu einem Mythos über die „Weltschöpfung" und „Weltentwicklung" nach den „Gesetzen der Geometrie". – Platon bemerkte aber im „Thleaitetos" unter Berufung auf Parmenides, daß diese „Kosmogonie" nur eine Modellierung des zeitlosen Denkens der Gottheit

in den „Worten" der Menschen ist. Die Neuplatoniker (Blohm und Proklos in ihren „Parmenides"-Dialogen) setzen die dialektische Begriffsentfaltung der Kosmogenese gleich, die das „Was ist" aus seinem „Entstehungsprozeß" begründet (auf Proklos' Parmenides-Interpretationen fußt J. G. Fichtes „Berliner Wissenschaftslehre").

Auch die heutige theoretische Kosmologie setzt die theoretische Reduzierung des Einzelnen aus dem allgemeinen Einheitlichen, mit der zeitlichen Entstehung des Kosmos und der Entfaltung der „Hierarchien" der Struktur und Wechselwirkungen in Makro- und Mikrokosmos gleich. Auch die heutige Kosmologie hypothetisiert denknotwendige Zusammenhänge zu einem reinen zeitlichen Geschehen. Damit handelt sie sich die Antinomien und Paradoxien ein, die mit dem Begriff „Zeit" und „Bewegung" verknüpft sind, womit Kurt Gödel unter Berufung auf Parmenides hinwies.

III. Mythos und Aufklärung

In Parmenides' „kosmologischem Prinzip der Aletheia" offenbart die Gottheit selbst, daß der Kosmos aus sich selbst und nur aus sich selbst verstehbar ist. In Platons „Parmenides"-Dialog belehrt Parmenides dementsprechend den jungen Sokrates, daß die Gottheit das Sein nicht beeinflußt. Die Darstellung seiner Ontologie und Kosmologie als Offenbarung der großen Göttin ist ein Mythos, der „Dinge darstellt, die niemals geschehen, weil sie immer sind" (Serenius Sallistios). Sie erscheint als Weg zur Begründung der Wissenschaft aus sich selbst, der allein Zirkelschlüsse vermeidet. Denn bei der transzendenten Göttin – und nur bei IHR – sind „Denken und Sein" dasselbe. Die Behauptung der Selbstkonsistenz des Kosmos, ohne ein Einwirken der Götter, war aber auch nur an der Form der göttlichen Offenbarung möglich und vertragbar.

Die Göttin erklärte die Theologie für „gottlos". – „Aletheia" war ein Name der großen Muttergöttin Demeter, der athenischen Göttin der eleatischen Mysterien. Die Theologie der Muttergottheit stand damals in hoffnungslosem Kampf mit den olympischen Göttern des Patriarchats.[2]

Der erste große Aufklärer, Parmenides' Lehrer Xenophanes, war ein vertriebener Demeterpriester. Parmenides selbst Myste von Elea. Und im

selben Jahr wie Parmenides Poem entstand die „Orestie“ des Aischylos, die den Sieg der olympischen Ordnung über die alten Gottheiten des Mutterrechts verkündet. – Aber die eleatische Demeter wurde als Staatskult rezipiert.[3+4] Daß trotzdem die „Philosophie“ ein gefährliches Unternehmen war, zeigt das Schicksal der Schüler und Interpreten des Parmenides. Zenon wurde zu Tode gemartert, Sokrates wegen Asebie hingerichtet und Anaxagoras entging diesem Schicksal nur durch Flucht.

Eine Interpretation der Lehre des Parmenides war die Atomistik.

Demokrit bezieht seine Begründung der Atome und der „Leere“ direkt auf die Thesen von Parmenides. Demokrits Lehrer Leukipp war noch ein direkter Schüler Zenons. – Der große Aufklärer Epikur betreibt die Philosophie als Lebenshilfe (nicht als Kosmologie und Ontologie). Hierbei fußt Epikur auf Demokrit. Epikurs Hauptwerk heißt „Über die Natur“. Diesen Titel gab man schon früh dem Werk von Parmenides. In seinem Werk über die „Natur“ lehrt Epikur wieder die Wirkungslosigkeit der Götter.

Fußnoten

1. Die Begegnung zwischen dem etwa 70-jährigen Parmenides (geb. nach 520) und dem etwa 20jährigen Sokrates (geb. 469) ist sicher historisch. Parmenides weilte als Myste der eleatischen Mysterien in Athen. Sein ihn begleitender Schüler Zenon war etwa 30 Jahre jünger als Parmenides. – Die Ausführungen des Parmenides in Platons „Parmenides“-Dialog erscheinen mir als grundsätzlich authentisch (wenn natürlich von Platon aus der Überlieferung gestaltet). Der „Parmenides“-Dialog ist wohl mehr Selbstinterpretation des Parmenides als Platons Interpretation von Parmenides' Philosophie.
2. Parmenides nennt im Gefolge der großen Göttin der Wahrheit nur weibliche und nichtolympische Gottheiten: Dike (die Göttin der Gerechtigkeit), Ananke (die Göttin der Notwendigkeit), Pleitho (die Göttin des rechten Weges). – Parmenides geleiteten die Heliaden („Sonnentöchter“) aus dem Kosmos in die Transzendenz Aletheias. – Bei Platon wurde die „Göttin“ zur „Gottheit“ und im „Timaios“ dann zum Demiurgen.
3. Demeter ist die (dreieinige) „Große Mutter“ (Mater, Mutter und Matere haben denselben Wortstamm), deren wahren Namen die eleatischen Mysten nicht aussprechen durften. – Die Neuplatoniker identifizierten Demeter mit der ägyptischen Mutter-Gottheit Isis.
4. Den antiken olympischen Spielen durfte als einzige Frau die dortige Demeter-Priesterin beiwohnen. – Ursprünglich waren die Spiele in Olympia der Demeter geweiht. Dann annektierten sie die „olympischen“ Götter.

Roswitha März

Mathematische Modellierung dynamischer Vorgänge – Gedanken zur Berechenbarkeit und Unberechenbarkeit*

Daß es nützlich ist, Differentialgleichungen zu lösen, erkannte Isaak Newton vor über 300 Jahren. Mit dieser grundlegenden Erkenntnis und mit unserem wachsenden Vermögen, geeignete Differentialgleichungen zu formulieren und zu lösen, sind die faszinierenden Fortschritte in Naturwissenschaften und Technik seit dem 18. Jahrhundert eng verbunden. Dies vor allem hat auch die Mathematisierung der Naturwissenschaften induziert.

Heute wird vielfach suggeriert, alle Informationen der Naturprozesse seien in einigen wenigen mathematischen Gleichungen verschlüsselt. Man brauche diese nur zu finden und zu lösen, um die wirklichen Entwicklungen beherrschen zu können. Und es ist andererseits die Rede davon, daß moderne Hochleistungsrechner Simulationen mit *realitätsgetreuen holistischen Modellen* ermöglichen. Unterstellt wird damit, es könnten alle dynamischen Vorgänge mathematisch erfaßt und berechnet werden.

Ausgehend von den meist einfachen Ansätzen und Annahmen (Proportionalitäten, Erhaltungen, Kompartimentierungen etc.), aus denen mathematische Modelle entwickelt werden, muß deren Gültigkeit relativ bleiben.

Im *Gültigkeitsbereich* können mathematische Modelle zu neuen Einsichten und Hypothesen bis hin zu Entdeckungen führen. Die Simulation am Rechner wird immer mehr zum notwendigen und willkommenen wissenschaftlichen Arbeitsmittel. Sie ermöglicht u.a. Modell-Experimente, die in natura niemals ausgeführt werden könnten.

Die Industrie betreffend ist Mathematik ohne Zweifel Schlüsseltechnologie.

Dennoch ergeben sich ***prinzipielle Barrieren*** für die Relevanz mathe-

* Kurzfassung des Vortrags, gehalten in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 19. Juni 1997

matischer Modelle. Nur wenn man sie in irgendeinem Sinne praktisch auswerten, also „lösen" kann, ist eine mathematische Gleichung ein sinnvolles Modell. Und grundsätzlich kann mathematische Modellierung nur dort greifen, wo eine Anzahl dominanter wirklicher Zusammenhänge (Proportionalitäten etc.) erkennbar ist. An aktuellen Beispielen aus dem Bereich von Technik und Ökologie, wo dies noch relativ einfach ist, wird deutlich gemacht, wie schnell dann auch hier anwachsende Dimension und Komplexität (Nichtlinearitäten, Unstetigkeiten) zu praktischer Unberechenbarkeit führen. Eine wesentliche Rolle spielen dabei Eigenschaften innermathematischer numerischer Modelle und analytische Instabilitäten.

Dieter B. Herrmann

Astrologie – von der Legitimität zur Psychose*

Einleitung

Breite Kreise der Bevölkerung in den modernen Industriestaaten zeigen ein außerordentliches Interesse an Astrologie, den verschiedenen Erscheinungsformen von Esoterik und Okkultismus sowie den teilweise obskuren Sekten. Da die Ausbreitung dieser und anderer Formen des Wunder- und Aberglaubens dem Weltbild der Wissenschaft vollkommen zuwider läuft, entsteht nicht nur die Frage, inwieweit die Weltbilder vieler Menschen tatsächlich irrationalisiert werden, sondern auch, wie sich diese Entwicklung verstehen und erklären läßt und warum die Argumente der Wissenschaft auch in der persönlichen Auseinandersetzung scheinbar völlig wirkungslos bleiben.

1. Astronomie und Astrologie in der Frühzeit

Astronomie und Astrologie stellten in der Frühgeschichte der Wissenschaft eine weitgehende Einheit dar. Diese Auffassung findet ihren nachdrücklichen Niederschlag bei Claudius Ptolemäus (um 100 – um 170), der bekanntlich nicht nur das Standardwerk der antiken Astronomie, den „Almagest" verfaßt hat, sondern zugleich Autor des Hauptwerkes der antiken Astrologie „Tetrabiblos" gewesen ist. Ptolemäus umreißt das antike Verständnis der beiden Disziplinen, indem er sie zugleich in das Aristotelische Klassifikationsschema der Wissenschaften einfügt. Er zählt dabei die Astronomie zu den theoretischen Wissenschaften, die nach Aristoteles von den drei Hauptgattungen Physik, Mathematik und Theologie gebildet werden. Alle diese Hauptgattungen haben nach Aristoteles' Auffassung

* Vortrag, gehalten im Plenum der Leibniz-Sozietät am 17. April 1997

Bezug zur Astronomie. Materie, Form und Bewegung können an keinem Objekt für sich allein *geschaut*, sondern nur gedacht werden. Aber „die erste Ursache der ersten Bewegung des Weltganzen" [1] sei ein unsichtbarer und unbewegter Gott. Die *Theologie* habe diesen zum Gegenstand, indem sie „die Forschung nach diesem Wesen" durchführt, das „nur oben irgendwo in den erhabensten Höhen der Welt, ... ein für allemal geschieden von den sinnlich wahrnehmbaren Dingen, gedacht werden könne" [2].

Die *Physik* hingegen beschäftige sich mit der „Erforschung der Beschaffenheit der in ewiger Bewegung begriffenen Materie". Der ihr zufallende Stoff vollziehe seine Wandlungen „größtenteils in der Welt des Vergänglichen", d. h., der Welt „unter dem Monde", der sublunaren Sphäre.

Die *Mathematik* falle hinsichtlich ihres Gegenstandes in die Mitte zwischen Physik und Theologie. Ihr Gegenstand kann durch die sinnliche Wahrnehmung (wie in der Physik), aber auch ohne sie (wie in der Theologie) erfaßt werden; er komme „sowohl sterblichen wie unsterblichen Wesen" zu und bestünde in der Erfassung der den Ortsveränderungen zugrundeliegenden Ursachen, in den Formen der Gestalt, Qualität, Größe von Raum und Zeit u. ä. In diesem Zusammenhang vertritt Ptolemäus die Auffassung, daß von den drei Hauptgattungen nur die Mathematik „ihren Jüngern ein zuverlässiges und unumstößliches Wissen darbieten" könne [3]. Die Astronomie sei ein Teil vor allem der mathematischen Hauptgattung, weil die ihr zufallende „Erkenntnis der göttlichen und himmlischen Körper" imstande sei, indem sie eine ewig sich gleichbleibende Welt zum Gegenstand hat, sowohl hinsichtlich der von ihr vermittelten Erkenntnis, als auch hinsichtlich ihrer Beteiligung an den anderen Hauptgattungen gleichsam ewige und unbestreitbare Wahrheiten zu verkünden. Sie könne der Theologie helfen, „den Spuren der unbewegten und von der Materie geschiedenen Kraft nachzugehen" (d. h. Gott zu suchen), und der Physik, indem sie die Ortsveränderungen verursachenden Bewegungen beschreibe.

Die *Astrologie* nun erforscht die Veränderungen, die durch die Himmelskörper und deren Bewegungen in den „Erdenkörpern" verursacht werden, d. h., „inwiefern diese Veränderungen in der irdischen Welt den Stellungen der Gestirne entsprechen, wobei wir ... von den natürlichen Eigenschaften der Gestirne auszugehen pflegen" [4].

Die *Astronomie* stellt nach der ausdrücklichen Erklärung des Ptolemäus

das Fundament der Astrologie dar. Die Möglichkeit von Astrologie resultiert für ihn aus der augenscheinlichen Tatsache, daß „Kräfte vom Himmel auf alles Irdische, das den Veränderungen der Allnatur unterworfen ist, niederströmen" [5]. Hier verweist Ptolemäus vor allem auf die unleugbaren Wirkungen der Sonne (Jahreszeiten, Wachstum von Tier- und Pflanzenwelt, Fließen der Gewässer etc.) als vorherrschenden Einfluß sowie auf die Rolle des Mondes bei Ebbe und Flut.

Außerordentlich interessant ist die Bemerkung, daß bei den astrologischen Wirkungen „von den natürlichen Eigenschaften der Gestirne" ausgegangen werde. Hieran wird deutlich, daß die aus dem Wortsinn bereits zu vermutende Zielrichtung der Astrologie, nämlich eine auf das *Wesen* der Gestirne zielende *Lehre* zu sein, nach Ptolemäus' Auffassung tatsächlich besteht, während die Astronomie über das Wesen der Objekte keine Aussagen trifft, sondern lediglich im Sinne eines Bestandteils der mathematischen Wissenschaftsgattung die Ortsveränderungen und die sie bewirkenden Ursachen erkundet.

Retrospektiv erweist sich somit für die Antike eine historisch zwar begrenzte, aber doch mögliche Realisierung von Astronomie im Sinne von Beobachtung und kinematischer Theorie, zugleich aber die Unmöglichkeit von Astrologie.

Dies wird auch deutlich an den von Ptolemäus gegebenen Begründungen für die astrologischen Wirkungen, besonders bei den Planeten und Fixsternen. So heißt es z. B. über Saturn, er wirke „klärend" und „austrocknend", weil er „am weitesten von der Hitze der Sonne ... entfernt sich aufhält", während beim Mars die „ausdörrende Kraft" vorherrsche, „wie auch seine Farbe schon der des Feuers ähnelt, und er eine Verwandtschaft mit der Sonne aufweist, da er als nächster den Kreislauf der Sonne umschließt" [6].

Hier handelt es sich um reine Analogieschlüsse, die keineswegs aus dem „Wesen" der Objekte nach dem Verständnis moderner Wissenschaft hergeleitet sind.

Für jeden, der auch nur halbwegs mit den heute bekannten Fakten über die Planeten vertraut ist, wird deutlich, daß astrologische Vorhersagen, die auf einem solchen Fundament fußen, völlig bedeutungslos sein müssen. Auch die Wirkungen der Fixsterne, die Ptolemäus behauptet, sind illusorisch, denn er hat sie aus der Natur der Sterne abgeleitet, was damals für die Natur dieser Objekte gehalten wurde.

In dieser hier nur an einigen Beispielen belegten Weise kann man das gesamte astrologische Hauptwerk des Ptolemäus analysieren, ohne zu einem anderen Ergebnis zu kommen. Die von Ptolemäus formulierte Aufgabe der Astrologie, aus dem Wesen der Gestirne ihre Wirkungen zu erschließen, ist jedoch aus wissenschaftlicher Sicht völlig legitim, aber zu seiner Zeit undurchführbar gewesen.

Interessant ist, daß Ptolemäus das Schicksal des Menschen nicht allein dem (behaupteten) Einfluß der Sterne zuschreibt. Außer den Sternen, schreibt er, macht „nebenher noch vieles andere seine Wirkung geltend", was die Eigenschaften in der Vermischung verändere: Die „Verschiedenheit des Samens" (modern: genetische Einflüsse), „die verschiedenen Gegenden" (modern: geographische Einflüsse), „Erziehung und Lebensgewohnheit" (modern: Sozialisation) [7].

2. Wissenschaftliche Ergebnisse entziehen der Astrologie die Basis

Die Fortschritte bei der Erkenntnis des Universums haben der Ableitung menschlicher Eigenschaften und Schicksale aus dem Horoskop zunehmend die Grundlage entzogen. Insbesondere die Entdeckung des Heliozentrismus durch Nicolaus Copernicus (1473–1543) nahm dem alten System jede Berechtigung, da es ja auf dem Geozentrismus fußte. Andererseits ist das von Ptolemäus verkündete Programm durchaus verwirklicht worden, indem nämlich die moderne Astrophysik – zumindest mit Bezug auf die Sonne – in der Spezialdisziplin der solarterrestrischen Physik Beziehungen untersucht, bei denen die Auswirkungen tatsächlicher Eigenschaften der Sonne und des interplanetaren Raumes auf die Erde ausgelotet werden.

Das Deutungssystem der Astrologie hingegen ließ sich wissenschaftlich nicht aufrechterhalten. Dennoch ist das astrologische Denken nicht nur nicht verschwunden, sondern hat vielmehr weltweit, besonders in den entwickelten Industrienationen, Heerscharen von Anhängern gefunden und ist gerade gegenwärtig wieder im Ansteigen begriffen. Die Apologeten der Astrologie behaupten, es gäbe einen Entsprechungszusammenhang zwischen der Stellung der Gestirne und irdischen Geschehnissen, insbesondere Charaktere und Schicksale von Menschen. Obgleich

schon der Ausgangspunkt dieser Behauptung und die Geschichte des Phänomens Astrologie die Unsinnigkeit der These erkennen lassen, sind in jüngerer Zeit zahlreiche wissenschaftliche Tests durchgeführt worden, die im wesentlichen negativ für die Astrologie ausgegangen sind [8]. Diese statistischen Einwände und naturwissenschaftlichen Argumente haben aber nichts an der verbreiteten Astrologiegläubigkeit geändert. Es fragt sich daher, welche Ursachen hier wirksam werden und mit welchen Effekten wir es zu tun haben, die diesen scheinbaren Widerspruch zwischen einer vergleichbar hohen Bildung breiter Teile der Bevölkerung und ihrer gleichzeitigen Astrologiegläubigkeit herbeiführen.

3. Eine Umfrage zur Astrologiegläubigkeit in Berlin

Mit der Herstellung der staatlichen Einheit zwischen den beiden deutschen Staaten im Jahre 1990 wurde ein staatliches System mit betont antiastrologischer Haltung und entsprechenden restriktiven Maßnahmen gegen die öffentliche Verbreitung von Astrologie in ein pluralistisches Staatsgebilde transferiert, in dem auch hinsichtlich astrologischer Thesen Meinungsfreiheit herrscht. Diese Tatsache ist insofern von größtem Interesse, als wir in der Geschichte selten die Möglichkeit haben, Experimente unter gewollten Bedingungen durchzuführen. In unserem Falle aber wird die Geschichte selbst zum Laboratorium; nur wer darauf rasch reagiert, hat die Chance zu einmaligen Erkenntnissen. Viele Fragen stellen sich wie von selbst: Wie wirken sich so diametral unterschiedliche staatliche Rahmenbedingungen auf die Überzeugungssysteme der Bürger aus? War es nur das Manko an Angeboten und Informationen sowie das restriktive gesellschaftliche Klima, das letztlich eine signifikant höhere Anzahl antiastrologisch eingestellter Bürger in der DDR zur Folge hatte? Oder spielen bei der Ausprägung von Überzeugungssystemen wie dem der Astrologie auch die Bildungsinhalte von Schulen, etwa der naturwissenschaftliche Unterricht, eine nachweisbare Rolle? Bewirkte möglicherweise der von 1959 bis 1990 erteilte obligatorische Astronomieunterricht an den Schulen der DDR eine nachwirkende Immunisierung gegen Astrologie? Oder kann man vielleicht davon ausgehen, daß Astrologie wie auch andere Erscheinungsformen von Pseudowissenschaften, Esoterik und Okkultismus als

Reflexion auf gesellschaftliche Verhältnisse entstehen und sich dementsprechend mit veränderten Bedingungen ebenfalls verändern? Welche Rolle spielt dann überhaupt die naturwissenschaftliche Bildung bei der Entstehung, aber auch bei der Zurückdrängung oder Förderung von Überzeugungssystemen?

In der Tat wurde die fehlende Meinungsvielfalt in der DDR als ein gravierender Mangel empfunden. Uns Astronomen wurden die antiastrologischen Einschränkungen weniger bewußt, weil wir uns in Ablehnung von Astrologie mit unseren westlichen Kollegen weltweit ohnehin einer Meinung wußten. Nach der Wende, als die ersten astronomischen Bildungsrubriken aus unseren Tageszeitungen verschwanden, während Platz für vulgärastrologische Traktate hinreichend eingeräumt wurde, habe ich deshalb eine Stellungnahme veröffentlicht, die vor der Flut zu erwartender astrologischer Publikationen zu warnen versuchte. Doch in vielen Zuschriften hieß es unumwunden, vierzig Jahre Unterdrückung solcher Meinungen seien genug! [9]. Psychologisch sind solche Äußerungen durchaus verständlich. Nur ändern sie nichts am Wesen der Astrologie. Zwar war die Haltung der DDR gegenüber der Astrologie toleranzlos, jedoch ist dies kein Argument zugunsten der Astrologie.

Wie hat sich nun die Astrologiegläubigkeit in Ost und West nach der Wende entwickelt?

Nirgendwo in Deutschland ist die Aussicht, auf diese und ähnliche Fragen eine verbindliche Antwort zu erhalten, so groß wie in Berlin. Hier vollziehen sich alle mit der Einheit verbundenen Prozesse besonders rasch und heftig. Andererseits wurde im Ostteil der Stadt der obligatorische Astronomieunterricht nach der Wende umgehend abgeschafft, was in den meisten neuen Bundesländern nicht geschehen ist. Was lag also näher, als eine entsprechende Befragung unter den Besuchern des Zeiss-Großplanetariums durchzuführen, das jährlich von mehr als 100 000 Menschen aus dem Ost- und Westteil der Stadt besucht wird. Gleichzeitig erschien es angezeigt, diese Befragung mit möglichst vielen items zu versehen, die auch in anderen professionellen Befragungen – etwa denen von Allensbach oder Emnid – z. T. seit längerem verwendet werden, um die erhaltenen Ergebnisse damit vergleichen zu können.

Der Fragespiegel

In Zusammenarbeit mit dem erfahrenen Soziologen und Umfrageexperten Edgar Wunder entstand dann ein Fragebogen mit folgenden items:

- Das Sternzeichen bzw. das Geburtshoroskop eines Menschen hat einen Einfluß auf den Verlauf seines Lebens.
  („stimmt sicher" bis „kann ich nicht sagen", 1–5)
- Glücksbringer bringen manchmal tatsächlich Glück.
  („stimmt sicher" bis „kann ich nicht sagen", 1–5)
- Es gibt Wahrsager, die die Zukunft wirklich voraussehen können.
  („stimmt sicher" bis „kann ich nicht sagen", 1–5)
- Manche Wunderheiler verfügen tatsächlich über übernatürliche Kräfte.
  („stimmt sicher" bis „kann ich nicht sagen", 1–5)
- Glauben Sie an einen Zusammenhang zwischen dem menschlichen Schicksal und den Sternen?
  („ja" bis „nein", 1–3)
- Glauben Sie an einen Zusammenhang zwischen dem menschlichen Charakter und den Sternen?
  („ja" bis „nein", 1–3)
- Der Polarstern ist der hellste Stern des Himmels.
  („stimme voll zu" bis „lehne entschieden ab", 1–6)
- Kometen sind kleine Gesteinsbrocken, die in der Erdatmosphäre verglühen.
  („stimme voll zu" bis „lehne entschieden ab", 1–6)
- Den Mars kann man von der Erde aus mit bloßem Auge sehen.
  („stimme voll zu" bis „lehne entschieden ab", 1–6)
- Es ist eine wissenschaftliche Tatsache, daß bei Vollmond mehr Kinder geboren werden.
  („stimme voll zu" bis „lehne entschieden ab", 1–6)
- Alle sogenannten UFO's sind entweder ganz natürliche Erscheinungen oder Schwindel.
  („stimme voll zu" bis „lehne entschieden ab", 1–6)
- Es kann als sicher gelten, daß irgendwo im Weltall noch andere hochentwickelte Zivilisationen existieren.
  („stimme voll zu" bis „lehne entschieden ab", 1–6)

- Die Astrologie beschäftigt sich mit den Sternen als Himmelskörper, während die Astronomie Horoskope erstellt.
  („stimme voll zu" bis „lehne entschieden ab", 1–6)
- Wenn man das Horoskop eines fremden Menschen kennt, weiß man viel über seinen Charakter.
  („stimme voll zu" bis „lehne entschieden ab", 1–6)

Bitte geben Sie an, welche der folgenden Aussagen ihren Glauben an Gott am ehesten zum Ausdruck bringt: (bitte nur ein Kästchen ankreuzen)

- Ich glaube nicht an Gott.
- Ich weiß nicht, ob es einen Gott gibt, und ich glaube auch nicht, daß es möglich ist, dies herauszufinden.
- Ich glaube nicht an einen leibhaftigen Gott, aber ich glaube, daß es irgendeine höhere geistige Macht gibt.
- Manchmal glaube ich an Gott, manchmal nicht.
- Obwohl ich Zweifel habe, meine ich, daß ich doch an Gott glaube.
- Ich weiß, daß es Gott wirklich gibt und habe daran keinen Zweifel.

Insgesamt liegen im Ergebnis der mehrere Monate laufenden Umfrage im Zeiss-Großplanetarium Berlin 621 ausgefüllte Fragebogen vor. An der freiwilligen anonymen Befragung beteiligten sich demnach etwa 2 % der Besucher während des Umfragezeitraums. Davon entfielen 393 Personen (= 63,3 %) auf die Rubrik „Ohne Astronomieunterricht in einer allgemeinbildenden Schule der DDR" und 228 Personen (= 36,7 %) auf die Rubrik „Mit". Es wäre nun aber ein Fehlschluß anzunehmen, daß diese beiden Gruppen jeweils sogenannte Ost- bzw. Westbesucher darstellen. Denn für alle unter 22jährigen Berliner gab es einheitlich als „Wendefolge" in Ost und West keinen Astronomieunterricht mehr und das waren immerhin 169 Personen (= 27,2 %) der Befragten. Andererseits waren alle vor 1943 geborenen Personen von den „Ost-Befragten" bei Einführung des Astronomieunterrichts schon zu alt, um noch am Astronomieunterricht teilnehmen zu können.

Ergebnisse [10]

Insgesamt finden wir mit 26 % einen recht hohen Anteil von Personen, die jegliche Form von Astrologieglauben strikt ablehnen. Blindgläubig sind nur 4 % der Befragten. Dazwischen existiert ein breites, kontinuierliches Übergangsfeld.

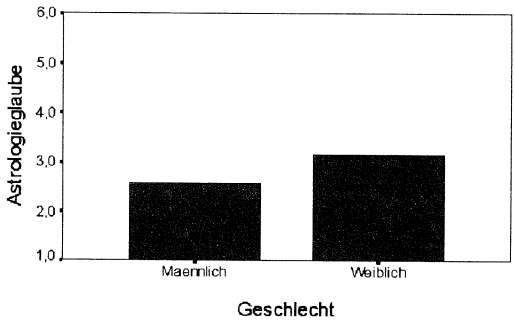


Abb. 1 Die in zahlreichen soziologischen Erhebungen festgestellte stärkere Astrologiegläubigkeit bei Frauen und Mädchen wurde auch durch die vorliegende Untersuchung bestätigt.

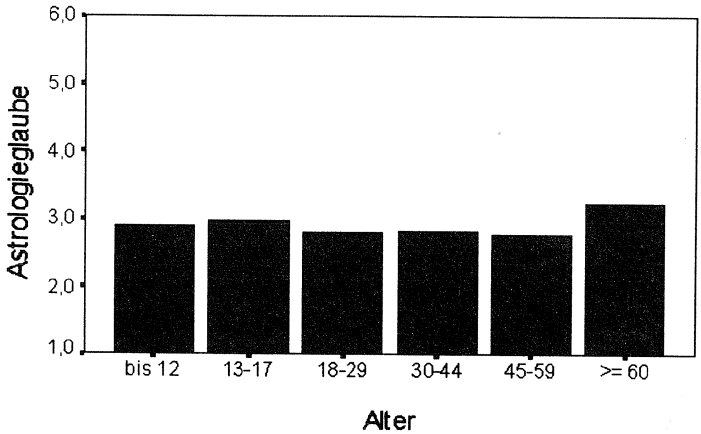


Abb. 2 Astrologiegläubigkeit finden wir in allen Lebensaltern. Die Unterschiede sind nicht signifikant.

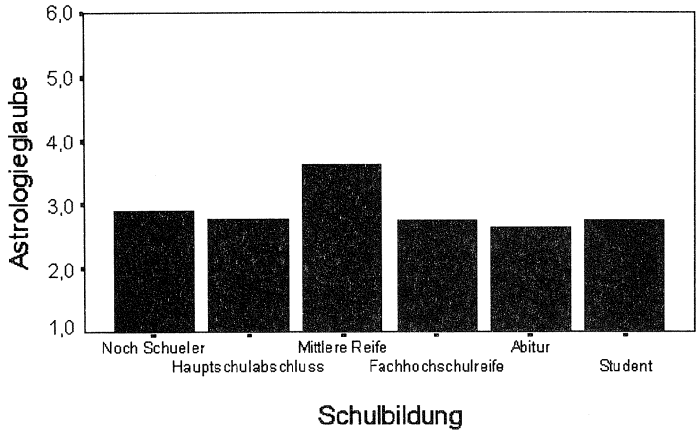


Abb. 3 Die Astrologiegläubigkeit hängt kaum von der Bildung der Befragten ab.

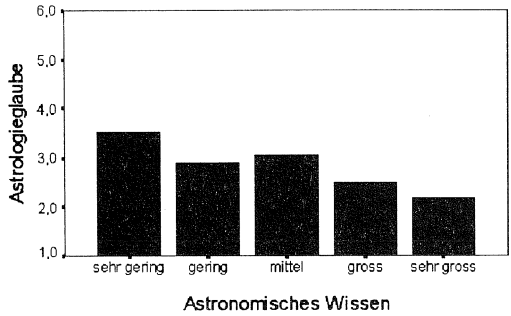


Abb. 4 Besseres astronomisches Wissen korreliert mit kleinerem Astrologieindex. Multivariate Analysen zeigen aber, daß die Stärke des Zusammenhanges nur vorgetäuscht ist.

Interessanterweise besteht keine Identität der Aussagen über astrologische Einflüsse auf den Charakter der Menschen und auf deren Schicksal. Etwa 5 % der Befragten glauben an astrologische Einflüsse auf den Charakter, aber nicht auf das Schicksal, während 2 % astrologische Einflüsse auf das Schicksal, aber nicht auf den Charakter für richtig halten. 40 % lehnen beides ab, 16 % glauben an beides.

Ein wichtiges Ziel der Untersuchung bestand in der Auslotung des Einflusses von astronomischem Wissen auf die Astrologiegläubigkeit. Zu diesem Zweck wurde das astronomische Wissen durch ein Konstrukt von 3 items beschrieben: „Der Polarstern ist der hellste Stern des Himmels“,

„Kometen sind kleine Gesteinsbrocken, die in der Erdatmosphäre verglühen", „Den Mars kann man von der Erde aus mit bloßem Auge sehen". Die Bewertung dieser items mit 'richtig' oder 'falsch' auf einer sechsstufigen Skala läßt unseres Erachtens auch auf Kenntnisse/Nichtkenntnisse in wesentlich größeren Bereichen der Astronomie schließen. Das Ergebnis lautet:

65 Prozent der Befragten glauben (mit unterschiedlichen Sicherheits-

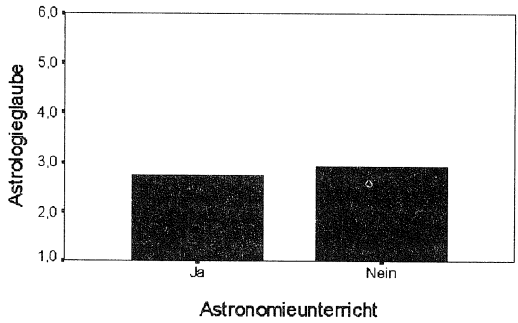


Abb. 5 Der Astrologieindex der Teilnehmer am Astronomieunterricht ist geringfügig kleiner als der der übrigen Befragten.

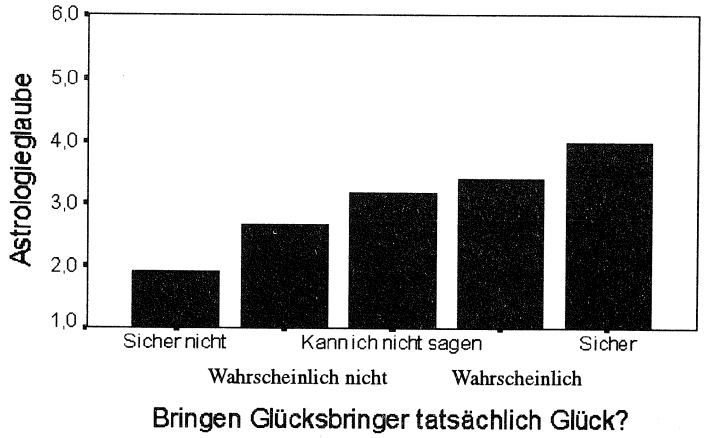


Abb. 6 Der Zusammenhang zwischen „Aberglaube" (item: „Glücksbringer ...") und Astrologiegläubigkeit (Astrologieindex)

graden), daß der Polarstern der hellste Fixstern ist. 64,3 Prozent halten Kometen für Sternschnuppen und weitere 64,3 Prozent waren (wieder mit unterschiedlichen Sicherheitsgraden) der Meinung, daß man den Mars von der Erde aus nicht mit bloßem Auge sehen kann. Unter Verwendung höherer statistischer Verfahren ist aus diesen Antworten ein allgemeiner Index zur Kennzeichnung des astronomischen Wissens von 1 (völlige Ahnungslosigkeit) bis 6 (perfektes astronomisches Wissen) abgeleitet worden. Zu-

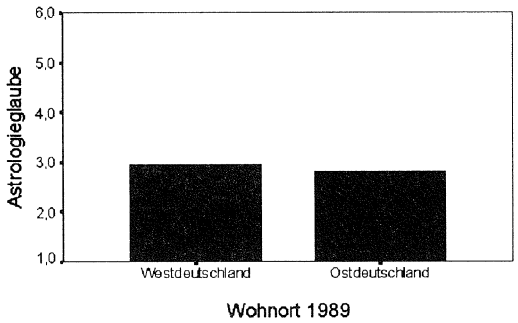


Abb. 7 Zwischen den Befragten mit Wohnort 1989 DDR und denen mit Wohnort 1989 BRD/Westberlin bestehen heute bezüglich des Astrologiegläubigkeit keine nennenswerten Unterschiede mehr.

sätzlich wurde getestet, ob die Befragten die Begriffe Astrologie und Astronomie unterscheiden können. Das war bei rund 74 Prozent der Befragten der Fall. Insgesamt ist das astronomische Wissen der Befragten schlecht, wobei Männer allerdings über hochsignifikant bessere Kenntnisse verfügen als Frauen. Der Unterschied zwischen den Geschlechtern läßt sich aber zum Teil auf die nicht völlig ausgewogene Schulbildung zwischen Männern und Frauen zurückführen. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Befragten mit und ohne Astronomieunterricht ist nicht festzustellen. Selbst wenn nur ehemalige DDR-Bürger betrachtet werden, findet man keinen signifikanten Unterschied zwischen den Befragten mit und ohne Astronomieunterricht. Wählt man zum Vergleich aus den westdeutschen Befragten diejenigen aus, die gemäß ihrem Alter unter DDR-Bedingungen Astronomieunterricht erhalten hätten, so zeigt sich eine geringfügige, jedoch nicht signifikante Erhöhung des astronomischen Wissens gegenüber anderen westdeutschen Geburtsjahrgängen. Daraus folgt, daß der Astronomieunterricht in der DDR jedenfalls keine dauerhafte Erhöhung der astronomischen Kenntnisse der Bevölkerung herbei-

geführt hat. Andererseits sind keine ähnlichen Untersuchungen über andere naturwissenschaftliche Fächer und deren dauerhafte Auswirkungen auf den fachspezifischen Wissensstand bekannt. Es könnte sich also durchaus um ein ganz allgemeines Phänomen der Langzeitwirkung von schulischen Bildungsinhalten handeln.

Die Astrologiegläubigkeit bei Befragten, die 1989 noch in der DDR wohnten, ist zum Zeitpunkt der Umfrage dieselbe wie bei jenen, die 1989 in Westdeutschland oder Westberlin lebten. Das war 1991 noch anders. Danach glaubten in Ostdeutschland nur 20 % der Menschen an einen Zusammenhang zwischen Geburtshoroskop und menschlichem Leben [11]. Interessant ist der Umstand, daß es in den neuen Bundesländern nach wie vor kaum praktizierende Astrologen gibt. Die Ausbreitung der Astrologiegläubigkeit ist also offensichtlich ein durch die Massenmedien ausgelöstes, allerdings nicht durch sie verursachtes Phänomen.

Zwischen der Astrologiegläubigkeit und der Teilnahme am Astronomieunterricht finden sich keine signifikanten Zusammenhänge. Statistisch lassen sich nur 6,5 Prozent des Astrologieglaubens durch mangelndes astronomisches Wissen erklären. Da es jedoch noch andere Störeinflüsse gibt (z. B. religiöse Überzeugungen), ist das mangelnde Astronomiewissen als Ursache für den astrologischen Glauben in Wirklichkeit noch geringer.

Bei der Berliner Studie haben wir auch nach dem Gottesbild gefragt. Es zeigte sich, daß sich 12,7 Prozent der Horoskopgläubigkeit auf den religiösen Faktor zurückführen lassen. Die stärkste Astrologiegläubigkeit findet sich bei Personen, die den Glauben an einen persönlichen Gott im christlichen Sinne aufgegeben haben und nur noch an „höhere geistige Mächte“ glauben. Eine ausgesprochen kritische Haltung gegenüber der Astrologie findet sich bei Personen, die am Gottesglauben zweifeln, jedoch am stärksten bei Atheisten. Hier wird deutlich, daß Wandlungsprozesse der religiösen Kultur den Astrologieglauben stärker dominieren als astronomisches Wissen. Wer vorbehaltlos abergläubisch ist, neigt ebenfalls stärker der Astrologie zu. 25,3 Prozent des Astrologieglaubens können auf allgemeinen Aberglauben zurückgeführt werden.

Die Ergebnisse der Studie machen deutlich, daß tatsächlich soziale Prozesse der Gesellschaft die wesentliche Ursache für die Verbreitung des Astrologieglaubens sind.

Nach Zinser [12] existiert ein ganzes Geflecht von motivierenden Fak-

toren für die Hinwendung der Menschen zu Esoterik, Okkultismus und somit auch Astrologie, von denen folgende m. E. die wichtigsten sind:

1. Die subjektive Erfahrung der sozialen Realität
   „Viele Menschen", heißt es bei Zinser, erfahren diese als „undurchschaubar, unvernünftig und kaum nach den eigenen Wünschen und Vorstellungen gestaltbar"

2. Die Auflösung von sogenannten Bahnungen
   Viele Prozesse – besonders nach dem 2. Weltkrieg – haben dazu geführt, daß Vorgaben individueller Lebenswege, wie sie früher z. T. seit Jahrhunderten vorhanden waren, heute nicht mehr existieren. Der einzelne muß sich sein Leben unter vergleichsweise komplizierten Bedingungen in einem Maße selbst gestalten, das ihn oft überfordert. Das reicht bis in die private Sphäre, wo einstmals Entscheidungen wie Beruf oder Heirat ebenfalls fremdbestimmt waren – mit allen Vor- und Nachteilen solcher Mechanismen.

3. Entwertung von Wissenschaft
   In allen westlichen Gesellschaften gibt es eine weitverbreitete Skepsis gegenüber der Wissenschaft. Dadurch werden magische Systeme aufgewertet.

4. Die Krise sinngebender Systeme
   Christliche Religionen, Philosophie, Ideen des Sozialismus haben in der Vergangenheit vielen Menschen einen Lebenssinn gegeben. Diese Systeme sind entweder zusammengebrochen oder im Begriff, an Überzeugungskraft zu verlieren.

Haben wir hiermit tatsächlich wesentliche Ursachen für die Hinwendung vieler Menschen zu okkulten Praktiken benannt, dann erweisen sich die Ergebnisse unserer Umfrage geradezu als erwartungsgemäß.

Daraus ergibt sich die Frage, wie man als Wissenschaftler mit einer solchen Situation umgehen soll. Zweifellos kann durch eine noch so umfassende wissenschaftliche Bildungsarbeit die gesellschaftliche Situation, die zum Astrologieglauben führt, nicht verändert werden. Das

bedeutet jedoch keineswegs, daß die Popularisierung wissenschaftlicher Kenntnisse, insbesondere auch des astronomischen wissenschaftlichen Weltbildes sinnlos wäre – im Gegenteil. Diese Arbeit verstärkt fortzusetzen bedarf nicht der Astrologie, um sinnvoll zu sein. Auf der anderen Seite sollte Kritik an der Astrologie eher interdisziplinär und nicht nur aus astronomischer Sicht erfolgen. Schließlich ist anzustreben, bei der Öffentlichkeitsarbeit der Verbreitung wissenschaftlicher Ergebnisse nicht nur Fakten zu vermitteln, sondern verstärkt auch die historischen, ökonomischen und methodischen Hintergründe darzustellen, die zu diesem Wissen führten. Dies hat offenbar auch der amerikanische Astrophysiker Carl Sagan gemeint, als er der Frage nachging, wie man Wissenschaft für eine breite Öffentlichkeit aufbereiten solle. Er schreibt: „Falls wir nur die Ergebnisse und Produkte der Wissenschaft lehrend vermitteln – ganz gleich, wie nützlich und sogar inspirierend sie sein mögen –, ohne ihre kritische Methode herauszustellen, wie kann dann der normale Mensch eigentlich Wissenschaft von Pseudowissenschaft unterscheiden? Dann werden nämlich beide als unbewiesene Behauptung präsentiert“ [13], das heißt im Auge des Betrachters gleichgesetzt.

Für alle mit Bildungszielen und Inhalten befaßten Theoretiker und Praktiker eröffnet sich somit ein weites Feld der künftigen Umsetzung eines deutlich höheren Anspruchs an Inhalte und Methoden der Wissensvermittlung, dem ein verändertes Bildungssystem unbedingt Rechnung tragen sollte.

Literatur

[1] *Ptolemäus, Handbuch der Astronomie*, Bd. I, Deutsche Übersetzung und erläuternde Anmerkungen von K. Manitius, Vorwort und Berichtigungen von O. Neugebauer, Leipzig 1963, S. 2

[2] Ebd.

[3] Ebd., S. 3

[4] *Ptolemäus, Tetrabiblos*, Nach der Melanchthon-Ausgabe von 1553. Ins Deutsche übertragen von M. Erich Winkel, Berlin 1923, S. 1

[5] Ebd., S. 3/4

[6] Ebd., S. 23

[7] Ebd., S. 11

[8] *Vgl. E. Wunder*, Von der psychologischen Astrologie zur astrologischen Psychose, In: Astronomie + Raumfahrt 31 (1994) 19 ff. Man beachte insbesondere das 54 Titel umfassende Literaturverzeichnis.

[9] *Berliner Zeitung vom 17./18. 3. 1990*, vgl. auch D. B. Hermann, Astrology in East Germany, In: The Planetarian 19 (1990) 18 f.

[10] *Vgl. auch E. Wunder und D. B. Herrmann*, Astronomisches Wissen und astrologischer Glaube – gibt es Zusammenhänge? In: Sterne und Weltraum 37 (1998) im Druck

[11] *E. Wunder, Wer sind die Skeptiker?* Über widersprüchliche Begriffsverständnisse und die sozialen Determinanten des Unglaubens gegenüber den Paranormalen, In: Skeptiker 9 (1996) 88 ff.

[12] *H. Zinser, Moderner Okkultismus als kulturelles Phänomen unter Schülern und Erwachsenen*, In: Politik und Zeitgeschichte B 41 – 42/93, 8. Okt. 1993, 16 ff.

[13] *C. Sagan, Der Drache in meiner Garage*, Aus dem Amerikanischen von M. Schmidt, München 1997, S. 43

Herrn Edgar Wunder, Heidelberg, gebührt herzlicher Dank des Verfassers für die statistische Auswertung der Berliner Fragebögen und die Erstellung der Abbildungen.

Günter von Sengbusch

Kernenergie – eine Technik mit Zukunft ?*

1. Einleitung

Es ist für mich eine große Freude und Herausforderung, vor diesem Kreise zum Thema Kernenergie vortragen zu dürfen. Ich habe das Thema „Kernenergie – eine Technik mit Zukunft" gewählt, da ich als Verantwortlicher für einen Forschungsreaktor selbst von dieser Fragestellung betroffen bin. Außerdem grenzt das Forschungszentrum, das ich leite, an das Gelände des umstrittenen Kernkraftwerkes „KK-Krümmel", mit dessen Problemen bis hin zu Demonstrationen, Belagerungen, Polizeieinsätzen, Leukämiediskussion, Leukämie- und Expertenkommissionen, Castortransporten, Bürgerinitiativen und Bürgerdiskussionsforen ich fast täglich konfrontiert werde. Wie schon in der Einführung erwähnt, habe ich zwar Physik mit Spezialisierung Kernphysik studiert, diesem Feld aber bereits direkt nach dem Diplom den Rücken gekehrt, um mich der Biophysik und später der Biomedizintechnik zuzuwenden. Mit der Übernahme der Leitungsfunktion in der GKSS wurde ich verantwortlich für eine kerntechnische Anlage – daher also mein Interesse und mein Engagement.

Persönliches Empfinden eines unverstandenen Phämonens, politische Wertungen und Nutzung für Wählerstimmen, moralisch-ethische Bewertungen, ideologische Mobilisierung und Meinungsbildung, Freund- und Feindbilder und Umwelt- und Klimafragen beeinflussen heute und werden auch weiterhin die Zukunft der Kerntechnik stärker beeinflussen als technologisch wirtschaftliche Überlegungen. Die Windenergie wird heute bei einem Einspeisepreis von 17 Pfennigen pro kWh mit etwa 400% vom Verbraucher qua Gesetz subventioniert, denn mit Kernenergie oder Gas wird die kWh für weniger als 4 Pfennige hergestellt. Diese gesetzlich ge-

* Vortrag, gehalten im Plenum der Leibniz-Sozietät am 18. Dezember 1997

regelte Subvention ist sogar noch höher als die für die Steinkohle an der Ruhr, die bei einem Weltmarktpreis von ca. DM 90 pro Tonne und einem Produktionspreis in Deutschland ca. DM 270 pro Tonne mit etwa 300% subventioniert wird.

2. Rückblick

Um die Situation, in der wir heute stehen, besser verstehen zu können, ist es ratsam, einen Moment in die Gründerzeit der Kerntechnik zurückzublicken.

Volkswirtschaftlich erfolgreiche Staaten basieren ihr Wirtschaftssystem – zumindest aus der Sicht eines simplen Experimentalphysikers – auf drei Säulen:

- Auf- und Ausbau eines funktionierenden Transportsystems
- Auf- und Ausbau eines flächendeckenden Kommunikationssystems und last but not least
- Verfügbarkeit von Energie als Schlüsselfaktor für die industrielle Entwicklung und den persönlichen Komfort

In den 50-er Jahren war es offensichtlich, daß die Verfügbarkeit von Energie für den rasanten Wiederaufbau der deutschen Wirtschaft nach dem Kriege sich zu einem kritischen Erfolgsfaktor für die langfristige Absicherung der Zukunft des Landes entwickelte.

Niemand wagte damals vorauszusagen, daß wir am Anfang einer jahrzehntelangen Phase eines weltweiten freien Handels standen. Die Eigenversorgung und stärkere Unabhängigkeit vom Weltmarkt war daher ein Gebot der Stunde, denn schon damals war sicher, daß die eigenen Kohle-Reserven langfristig nicht ausreichen würden und Öl und Gas im Lande nicht verfügbar waren.

Die Kernenergie bot sich als Alternative an, auch wenn der Rohstoff Uran selbst in Deutschland nur in der damaligen DDR verfügbar war. Langfristige Verträge mit den USA sicherten den Zugang, und die Option des Brutreaktors vermittelte die Perspektive, in der Energieversorgung unabhängig von externen Faktoren zu werden. Sowohl die Ölkrise in den 70-er Jahren als auch der Krieg um Kuwait und die Situation im vorderen

Orient haben deutlich gezeigt, wie labil die langfristige Energieversorgung der Industriestaaten in der Vergangenheit war und wohl auch weiterhin bleiben wird.

Der Ölschock in den 70-er Jahren rechtfertigte und bestätigte die Weichenstellung in Richtung Kernenergie, die in den 50-er Jahren getroffen worden war, und forcierte und beflügelte die Entwicklung des sogenannten Brutreaktors, der während des Betriebes als Energielieferant gleichzeitig Plutonium als neuen Brennstoff in fast unbegrenzter Menge herstellen konnte. Eine Art Perpetuum Mobile, das allerdings nur gespeist wurde durch die ungeheuren Energiemengen, die bei Kernreaktionen freigesetzt werden und zur Verwertung zur Verfügung stehen. Eine Technologie nicht ohne Aspekte von Gigantomanie, Selbstherrlichkeit und ungebremstem Vertrauen in die Beherrschbarkeit geballter Energie auf kleinstem Raum verbunden mit dem Potential globaler Wirkungen bei Mißbrauch, unkontrollierter Handhabung, krimineller Absicht oder auch einfach menschlichem Versagen.

Wir wissen heute, daß die technologischen Voraussetzungen für den Brutreaktor lösbar sind, wenn auch noch nicht in allen Einzelheiten zufriedenstellend umgesetzt. Kalkar wurde zu einem Symbol für menschlichen Hochmut und Fehleinschätzung der öffentlichen Akzeptanz. Der „unvollendete" Brutreaktor teilt damit das Schicksal manch einer „unvollendeten" Schloßruine vergangener Jahrhunderte, denn noch während der Bauzeit veränderten sich gesellschaftliche, finanzielle und politische Voraussetzungen und den Nachkommen wurde ein Mahnmal der Geschichte hinterlassen, das nach derzeitigen Plänen als Freizeitzentrum genutzt werden soll.

3. Stromerzeugung in Deutschland

Im Jahre 1992 wurden in Deutschland 460 Mrd kWh Strom produziert, davon ca. 1/3, also ca. 150 Mrd kWh, mit Hilfe der Kernenergie. Geht man von einer Verfügbarkeit von Kernkraftwerken von 90% aus, so entspricht dies einer Kraftwerks-Leistung von 19.000 MW oder – anders ausgedrückt – 15 Kraftwerken des Typs „Krümmel", einem Leichtwasserkraftwerk vor den Toren Hamburgs.

Der Investitionswert von 15 Kernkraftwerken, die in der Lage sind, pro Jahr 150 Mrd. kWh zu erzeugen, beträgt etwa 75 Mrd. DM und man kann mit den heutigen Erfahrungen davon ausgehen, daß die Lebensdauer mindestens 35 Jahre beträgt.

150 Mrd. kWh entsprechen aber auch 100.000 Windmühlen mit einer Leistung von je 500 kW, eine realistische Zahl bei der heute verfügbaren Technologie, bei einer Verfügbarkeit von 3.000 Vollaststunden pro Jahr [1], denn Wind weht nicht kontinuierlich und oft nicht dann, wenn die erzeugte Energie gebraucht wird. Daher muß für die Windstille Ersatz aus anderen Energiequellen in gleicher Höhe zur Verfügung stehen, oder aber man müßte auf Produktion, Heizung, Versorgung und persönlichen Komfort in dieser Zeit verzichten. Geht man davon aus, daß eine Windmühle nach heutigem Stand der Technik mit einer Leistung von 500 kW ca. 1 Mio DM kostet, dann beträgt der Investitionswert für 100.000 Windmühlen insgesamt etwa 100 Mrd. DM, also dieselbe Größenordung wie die entsprechende Leistung mit Kernkraftwerken. Ein wesentlicher Unterschied liegt aber darin, daß die Lebensdauer für Windkraftwerke nach dem Stand der Technik nicht 35 Jahre, sondern bestenfalls 8 bis 10 Jahre beträgt, so daß die Investitionskosten für Windenergie mit einem Faktor 3 bis 4 zu multiplizieren sind und damit in 35 Jahren auf weit über 250 Mrd. DM auflaufen dürfte. Hinzu kommen die außerdem bereitzustellende konventionelle Ersatzenergie in Gas- oder Kohlekraftwerken und 100.000 ha Landbedarf entsprechend 1.000 km^2 oder einer Reihe von Windmühlen mit der Länge von 10.000 km bei einem Abstand von 100 Metern.

4. Grundlagen

Da im Rahmen früherer Vorträge bereits mehrfach auf die Grundlagen der Kerntechnik eingegangen wurde [2], möchte ich an dieser Stelle nur kurz auf die in diesem Zusammenhang wichtigen Reaktortypen zu sprechen kommen. Das Prinzip der Kernreaktoren beruht darauf, daß statt konventioneller Energiequellen wie Gas, Öl oder Kohle diejenige Energie verwendet wird, die bei der Kernspaltung von Uran durch den Beschuß mit Neutronen in zwei Kerne mittlerer Massenzahl, z.B. in einen Barium- und einen Kryptonkern freigesetzt wird. Die dabei frei werdende Energie wird

an ein Kühlmedium, meist Wasser oder Helium, abgegeben und steht damit für eine weitere Verwendung zur Verfügung. Die Wärme wird, wie auch in anderen Kraftwerken, direkt oder indirekt zur Dampferzeugung genutzt, um mit dem so erzeugten Dampf leistungsstarke Generatoren zu Herstellung von Strom zu betreiben. Kernreaktoren unterscheiden sich von konventionellen Kraftwerken durch eine sehr hohe potentiell freisetzbare Energiedichte in den Uranbrennstäben und die damit verbundene Gefahr einer unkontrollierten Kettenreaktion bei der Uranspaltung.

In Deutschland wurden im wesentlichen drei verschiedene Reaktortypen entwickelt:

1. Die Anordnung eines Siedewasserreaktors ist vergleichbar mit einem Tauchsieder in einem Dampfdrucktopf. In einem partiell mit Wasser gefüllten Reaktordruckbehälter sind die Uranbrennstäbe unter Wasser liegend angeordnet und geben die bei der Kernspaltung entstehende Wärme an das umliegende Wasser ab. Dabei verdampft das Wasser und mit dem so erzeugten Dampf werden direkt Turbinen für die Stromerzeugung betrieben. Um eine genügend hohe Dampftemperatur zu erreichen, beträgt der Innendruck im Reaktordruckbehälter etwa 60 bar, was dem Druck in 600 Meter Wassertiefe entspricht.
2. Beim Druckwasserreaktor, beträgt der Innendruck des Reaktorbehälters etwa 150 bar, was einem Druck in 1500 Meter Wassertiefe entspricht. Bei diesem Druck und ca. 300°C verdampft das Wasser im Reaktorbehälter nicht, sondern bleibt in der flüssigen Phase. Die Wärme wird über einen Wärmetauscher von einem zweiten Kreislauf übernommen, in dem der Dampf für die Turbinen erzeugt wird. Dieser Reaktortyp unterscheidet sich vom Siedewasserreaktor im wesentlichen durch einen höheren Betriebsdruck und damit eine höhere Betriebstemperatur und damit verbunden einen zweiten Kreislauf zur Dampferzeugung.
3. Der Hochtemperatur- (HTR) oder auch Kugelhaufenreaktor zeichnet sich durch eine grundlegend andere Konstruktion aus. Das Uran ist in Graphitkugeln eingelagert und als Kühlmittel wird nicht Wasser, sondern Heliumgas verwendet. Der Reaktor arbeitet bei einem Betriebsdruck von ca. 50 bar und überträgt die bei der Kernspaltung entstehende Energie auf das Heliumgas, das den Druckbehälter füllt und im sogenannten Primärkreis umgewälzt wird. Über einen Wärmetauscher wird die Energie wie im Druckwasserreaktor an einen zweiten Kreis-

lauf, den Sekundärkreis, übergeben, in dem Wasserdampf für die Stromgeneratoren erzeugt wird.

4. Die Sowjetunion entwickelte einen weiteren Reaktortyp (RBMK), den sogenannten Siedewasser-Druckröhrenreaktor. Die Sowjetunion hatte hierfür zwei Gründe. Einerseits fehlte zunächst eine industrielle Basis für die Technologie großvolumiger Druckbehälter, so daß Alternativlösungen gesucht werden mußten, andererseits hatte man bei dem vorrangig realisierten Atomwaffenprogramm wie in den USA auf wassergekühlte Graphitreaktoren für die Plutoniumproduktion gesetzt. Auch England und Frankreich nutzten ihre Erfahrungen mit allerdings gasgekühlten Graphitreaktoren für die Plutoniumproduktion zur Entwicklung ihrer ersten Generation ziviler Kernkraftwerke. Bei den wassergekühlten RBMK-Reaktoren befinden sich die Uranbrennelemente nicht in einem gemeinsamen Druckgefäß, sondern in wasserdurchströmten Druckrohren, die in den als Moderator dienenden Graphitblock eingelassen sind. Diese Konstruktion ermöglichte durch Vervielfachung der Einzelelemente auf einfache Art große Reaktoren herzustellen. Außerdem war es möglich, bei laufendem Reaktor einzelne Brennelemente auszuwechseln, was insbesondere für die Plutoniumproduktion wichtig war. Aus Sicherheitsgründen wurde diese Konstruktion im Westen für die zivile Nutzung der Kernenergie nicht in Betracht gezogen.

Die in Kernreaktoren konzentrierte, fast unvorstellbare Energiemenge hat bei vielen in der unmittelbaren Nachbarschaft lebenden Menschen schon immer Unbehagen ausgelöst. Diese Bedenken wurden in den 70-er Jahren weder von den beteiligten Wissenschaftlern und Technikern noch von den Politikern ernst genommen und mit dem erforderlichen Verständnis diskutiert. Statt dessen wurden die erreichten Erfolge in den Vordergrund gestellt, die Unabhängigkeit bei der Energieversorgung und das damit verbundene Wirtschaftswachstum bei garantierter Sicherheit, und die Entsorgungsproblematik zurückgestellt. Wie es schon der Name zum Ausdruck bringt, wurde Kerntechnik vorwiegend technologisch wirtschaftlich angegangen. Dies betraf sowohl die Konstruktion und Verfahrenstechnik als auch die Sicherheitstechnik und deutsche Ingenieurkompetenz hat wesentlich dazu beigetragen, daß die 35 in Deutschland gebauten Kernkraftwerke, von denen derzeit noch 19 in Betrieb sind, zu den sichersten der Welt gehören.

5. Unfälle

Erst zwei Unfälle in den 80-er Jahren und der ersten Hälfte der 90-er Jahre und das langsame Bekanntwerden unvorstellbarer Schlampereien in West und in noch viel größerem Ausmaße in Ost beim Umgang mit der Kerntechnik insbesondere im Rahmen der geheimen Kernwaffenprogramme, haben die dringend notwendige Diskussion um Verantwortung und Moral beim Umgang mit Ressourcen, der Umwelt und dem Leben angefacht. Allerdings wird diese Diskussion nicht von einer sachlichen Auseinandersetzung bestimmt, die die Verantwortung im Umgang mit dieser Technologie einfordert, sondern wird statt dessen von Mißtrauen, Emotionen, Ideologie und Demagogie getragen. Zu lange haben sich die Verantwortlichen einer Diskussion entzogen, oder entstehende Diskussionen unterbunden.

Mehrere Unfälle gigantischen Ausmaßes in der damaligen Sowjetunion wurden ebenso vertuscht wie der Reaktorunfall 1959 in England und radioaktive Bodenverseuchungen in amerikanischen Kernwaffenzentren und kamen und kommen nur sehr zeitverzögert an die Öffentlichkeit.

Der erste große Unfall in der zivilen Kerntechnik, der von einer breiten Öffentlichkeit bewußt registriert wurde, ereignete sich in Harrisburg in den USA am 28. März 1979, wo ein Druckwasserreaktor in den Zustand einer partiellen Kernschmelze kam – ein GAU (größter annehmbarer Unfall). Harrisburg war der Anfang der Wende. Die Analyse ist aber aus mehreren Gründen überaus interessant:

- Damals sind radioaktive Gase in größeren Mengen ausgetreten bzw. zur Vorbeugung größerer Schäden bewußt abgeblasen worden,
- diese ausgetretenen Gase haben keine nachhaltigen Schäden in der Umwelt hinterlassen,
- es hat weder innerhalb noch außerhalb des Kernkraftwerks Tote gegeben,
- gesundheitliche Schäden, insbesondere Langzeitschäden sind bisher in der Bevölkerung des Umkreises nicht festgestellt worden und
- der mit der partiellen Kernschmelze verbundene Schaden konnte lokal im Reaktorbehälter begrenzt werden.

Obwohl damals eine Sicherheitsvorkehrung versagte, hat das Druckgefäß die partielle Kernschmelze verkraftet und eine Schadensausbreitung nach

außen konnte weitgehend verhindert werden. Über 4 Stunden hat der angeschlagene Reaktor gedümpelt, bevor die Kernschmelze eingetreten ist. Eine der wichtigen Erkenntnisse dabei ist, daß aktive Sicherheitseinrichtungen, wie z.B. Pumpen, Schieber, Ventile etc. immer ein Restrisiko des Versagens beinhalten, auch wenn sie redundant, d.h. mehrfach ausgelegt sind. Der Druckbehälter mit dem geschmolzenen Urankern wartet allerdings noch heute auf eine gute Idee zur Entsorgung.

Der eigentliche Schock kam mit Tschernobyl und einem Reaktortyp, der in Deutschland nicht genehmigungsfähig war und ist. Man kann nur hoffen, daß die inzwischen mit großer internationaler Unterstützung durchgeführten Maßnahmen zur sicherheitstechnischen Ertüchtigung der noch im Betrieb befindlichen RBMK-Reaktoren einen weiteren Unfall dieser Art verhindern, bis alle RBMK endgültig abgeschaltet werden können.

Über die physikalisch-technischen und menschlich-organisatorischen Ursachen der Tschernobyl-Katastrophe und deren Folgen wurde in diesem Kreise bereits berichtet [3]. Neben dem grundsätzlichen Mangel eines wassergekühlten Graphitreaktors, bei dem eine durch den Void-Effekt (Verdrängung von Wasser durch plötzlich vermehrte Dampfblasenbildung) ausgelöste prompt-kritische nukleare Leistungsexkursion nicht ausgeschlossen werden kann, war das wesentliche auslösende Moment die vollständige Mißachtung der unter diesen Bedingungen besonders zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen durch die Bedienungsmannschaft bei der Durchführung eines schlecht geplanten Experiments. Konkret herbeigeführt wurde die Katastrophe also durch menschliches Versagen, bedingt durch mangelhafte Ausbildung, mangelhafte Qualitätssicherung und mangelhafte Vorkehrungen, mit denen ein offensichtlich unsinniges menschliches Eingreifen in den Betriebszustand hätte verhindert werden können.

Ein solches Szenario ist bei den Druck- und Siedewasserreaktoren, wie sie in Deutschland betrieben werden, – nicht nur wegen der hier wesentlich besseren Sicherheitskultur – nicht möglich. Bei diesen Reaktoren kann eine spontane, zwangsläufig zu einer explosionsartigen Zerstörung des gesamten Reaktors führende prompt-kritische Leistungsexkursion aus physikalischen Gründen ausgeschlossen werden. Das verbleibende Restrisiko bei einem katastrophalen Kühlmittelverlust-Störfall besteht hier

in der Möglichkeit des Schmelzens der nicht mehr gekühlten Brennelemente durch die Zerfallswärme der in ihnen enthaltenen radioaktiven Spaltprodukte, die dadurch aus ihrem festen Einschluß in den Brennelementen freigesetzt werden. Dies ist jedoch ein langsamer Vorgang, so daß es noch viele Möglichkeiten gibt, durch Notfallmaßnahmen das Durchbrechen der übrigen Barrieren (Reaktordruckgefäß und äußeres Containment) und damit eine massive Ausbreitung von Radioaktivität in der Umgebung zu verhindern. Der bisher einzige Unfall dieser Art in Harrisburg hat das bestätigt.

Bei dem Unfall in Harrisburg ist der eigentliche durch den Unfall verursachte Schaden im biologisch-physikalischen Sinne rein lokal begrenzt geblieben. Die psychologische Wirkung hatte globale Züge, blieb aber doch im wesentlichen begrenzt auf Fachdiskussionen und hat im übrigen zu einer Vielzahl von additionellen Sicherheitsmaßnahmen in allen westlichen Reaktoren geführt, ähnlich wie auch in der Luftfahrt Erkenntnisse aus Unfällen zu weltweiten Nachrüstungen führen.

Der durch die Katastrophe in Tschernobyl verursachte biologisch-physikalisch zu messende Schaden ist, wie in einem anderen Vortrag [3] schon diskutiert wurde, regional wirksam geworden mit katastrophalen Auswirkungen für die betroffene Bevölkerung. Zwar ist die dauerhafte Belastung der Bevölkerung außerhalb des direkten Umkreises von 20 km niedriger als befürchtet, dennoch ist die soziale und wirtschaftliche Struktur einer ganzen Region zusammengebrochen und die wichtigste Erwerbsquelle, die Landwirtschaft, bis auf weiteres versiegt. Die Zahl der Schilddrüsentumore aufgrund der initialen Verseuchung mit radioaktivem Jod steigt in einem weiten Umkreis noch kontinuierlich an und liegt heute, je nach Abstand vom Unfallort, bei bis zu 2,3 Fällen auf 10.000 Einwohner.

Der psychologische und wirtschaftliche Schaden hat darüber hinaus eine globale Dimension angenommen und die Kerntechnik als solche in Frage gestellt. Eine Technologie, die vielerorts betrachtet wird wie der wasserholende Besen des Zauberlehrlings in Goethes Gedicht „Der Zauberlehrling", die sich verselbständigt hat und von der wir den Zauberspruch vergessen haben, um ihn wieder in die Ecke zu stellen, wo er hingehört. Eine Technologie, der man vorwirft, sich wie ein Terroristen-Virus aus unserem genetischen Material verselbständigt zu haben und nun den eigenen Organismus zu bedrohen. Eine Technologie, der unterstellt wird,

daß sie wegen ihrer unglaublich hohen lokalen Energiedichte gegen menschliches Versagen und menschliche Kriminalität nicht geschützt werden kann, und damit ein globales Damoklesschwert darstellt.

6. Leukämiediskussion

Im norddeutschen Raum, dem Standort von 4 Kernkraftwerken in Brockdorf, Bruhnsbüttel, Stade und Krümmel, wird die Diskussion um die Kernenergie durch ein weiteres Ereignis tiefgreifend bis hin zu politischen und religiösen Konsequenzen und Entscheidungen bestimmt. Direkt gegenüber dem Kraftwerk Krümmel und der kerntechnischen Anlagen des GKSS Forschungszentrums auf der anderen Seite der Elbe liegt ein sogenanntes Leukämiecluster. In tragischer Weise sind in dieser Gemeinde 7 Leukämien an Kindern seit Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes Krümmel im Jahre 1984 aufgetreten, was den Schluß nahe legt, daß Radioaktivität, von der man weiß, daß sie Leukämien auslösen kann, unerlaubt, eventuell auch unbemerkt, aus den kerntechnischen Anlagen ausgetreten und damit als Verursacher der Erkrankungen zu identifizieren ist.

Aus jeder kerntechnischen Anlage tritt in geringem Umfang Radioaktivität aus. Dieses ist genehmigt und wird meßtechnisch mit großer Genauigkeit im Umfeld flächendeckend überwacht. Die zulässigen Emissionen sind so klein, daß dies auch für die Bevölkerung in direkter Nachbarschaft weniger als 1/1000 der natürlichen Radioaktivität in der Luft, der Nahrung, den Baumaterialien und den natürlichen Radionukleiden im Körper ausmacht.

In der fraglichen Zeit hat nun keine einzige Messung im Überwachungssystem der Umgebung jemals darauf hingewiesen, daß erhöhte Radioaktivität im erforderlichen Umfang aus den Anlagen ausgetreten ist, wie es für die Entstehung der Leukämien notwendig gewesen wäre.

Ein umfangreiches Untersuchungs-Programm wurde in Gang gesetzt, um die Ursache dieses Leukämieclusters zu ergründen.

- Das Ökoinstitut Darmstadt, bekannt für seine Anti-Kernkraft-Haltung, hat im Auftrage des Landes Schleswig Holstein sowohl das Kernkraftwerk Krümmel als auch den Forschungsreaktor des GKSS For-

schungszentrums eingehend untersucht und keine Hinweise auf unerlaubte oder unbemerkte Freisetzung von Radioaktivität gefunden.

- Seit Jahren gibt es in Schleswig Holstein eine Kommission, die mit der Untersuchung der Vorgänge beauftragt wurde. Einige Mitglieder dieser Kommission versorgen seitdem ihre eigenen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen mit Geld, das sie sich selbst in der Kommission bewilligen – wissenschaftlich unseriös, aber geduldet vom Auftraggeber. Andere Kommisionsmitglieder sind bereits aus diesem und anderen, die Seriosität der Wissenschaft bedrohenden Gründen, aus der Kommission ausgetreten. Das Protokoll der letzten Sitzung vom 2./3. Dezember 1997 gipfelt darin, daß diejenigen, die auf wissenschaftlicher Seriosität bestehen, in einem Minderheitenvotum [4] folgendes äußerten:

  „Schwerwiegender für uns als Wissenschaftler ist jedoch die Unhaltbarkeit und Dürftigkeit vieler aufgeführter Thesen. Der Verfasser und die Mitunterzeichner (des Mehrheitsvotums) ignorieren nicht nur die wissenschaftlichen Erkenntnisse anderer, sondern sie leugnen oder übergehen auch die Ergebnisse von Studien, welche die Kommission selbst angeregt und in vielen Sitzungen ausführlich diskutiert hat. Die Art der Beweisführung liegt daher auf der Methode des „Selektiven Verschweigens", die als unwissenschaftlich beurteilt werden muß und auch intellektuell nicht zu rechtfertigen ist. ... Weder der Landesregierung noch dem Steuerzahler ist mit diesem Mangel an Wissenschaftlichkeit gedient."

„Wissenschaftlichkeit" für ideologische Argumentationen heranzuziehen, fällt aus wissenschaftlich ethischer Sicht unter Mißbrauch und würde vor ein Ehrengericht gehören, wenn es das für Naturwissenschaftler gäbe.

Zu den ignorierten wissenschaftlichen Fakten gehören auch die Ergebnisse von Gassmann [5]. Er hat retrospektiv Leukämieerkrankungen an Kindern untersucht, die im Zusammenhang mit Diagnose und Therapie Strahlendosen ausgesetzt waren, die Leukämien tatsächlich auslösen und der Strahlenbelastung entsprechen, die 1,5 km vom Ort der Explosion der Atombomben in Hiroshima und Nagasaki aufgetreten ist. Hierzu gehören

- Kinder mit Herzfehlern und Tuberkulose Patienten
- Patienten mit Strahlenbehandlung (weiche Streustrahlung löst Leukämien aus)

- Thorotrast- und Radium-224-Patienten mit langdauernder niedrigdosierter Bestrahlung, durch die u.a. im Knochen angereicherte radioaktive Substanz
- Arbeiter in Kernkraftwerken
- Überlebende von Hiroshima und Nagasaki

Man unterscheidet bei den Leukämien im wesentlichen 4 verschieden Gruppen:

1. Erkrankungen des Lymphatischen Systems (akute und chronische lymphatische Leukämien) und
2. Erkrankungen der Blutbildung (Akute und chronische myeloische Leukämien)

Wesentlichstes Ergebnis der Untersuchungen von Gassmann ist, daß nach Strahlenexposition gehäuft Erkrankungen der Blutbildung, d. h. akute myeliosche Leukämien und Dysplasien und mit hohen statistischen Unsicherheiten auch chronisch myeloische Leukämien auftreten. Bei Strahlendosen bis zu Werten, die der Strahlung in 1,5 km Abstand der Atombomben von Hiroshima und Nagasaki entsprechen, treten Erkrankungen des lymphatischen Systems nur in seltenen Fällen und nicht gehäuft auf.

Trotz aller Tragik für die betroffenen Eltern und dem Wunsch, einen Schuldigen für das Leukämie-Cluster in Sichtweite der kerntechnischen Anlagen von Krümmel und GKSS zu finden, ist nur einer der 7 aufgetretenen Fälle eine myeloische Leukämie der Blutbildung und dies entspricht für die Bevölkerung auch dem statistischen Erwartungswert. Die 6 anderen Erkrankungen des lymphatischen Systems bleiben ungeklärt und müssen einer anderen Ursache zugeschrieben werden.

Die Fakten sind schwer zu verkraften, sie sind schwer zu akzeptieren, wenn man betroffen ist, aber sie berechtigen nicht dazu, daß sich Fachleute anschreien, weil nicht wahr sein kann, was nicht wahr sein darf und daß die protestantische Kirche den Widerstand gegen die Kernkraft in ihre Zielsetzungen offiziell aufnimmt, wie im Landkreis Lüneburg geschehen. Quo vadis Wissenschaft? Quo vadis Religion? Quo vadis wissenschaftliche Seriosität und Moral in der Diskussion um die Zukunft der Kerntechnik?

7. Situation heute

Welche Lehren könnte man heute aus den Ereignissen ziehen, welche werden gezogen und was sind die Notwendigkeiten in der Zukunft?

Wir leben in einer Zeit, in der die modernen Technologien sich schneller entwickeln, als Bildung und Ausbildung und damit das Verständnis für das, was uns umgibt, folgen kann. Wissenschaft und Technologie, integraler Bestandteil unseres Kulturerbes, werden mit so hohem Tempo komplexer, daß die Einheit von Wissenschaft, Kunst und Kultur im Sinne von Leibniz für immer weniger Menschen zugänglich bleibt. Sprachen zwischen den Menschen haben sich ebenso auseinander entwickelt wie die Sprachen der verschiedenen wissenschaftlichen und technologischen Disziplinen. Jede einzelne Wissenschaft oder Technik hat eine eigene Sprache entwickelt, die kaum noch von denen verstanden wird, denen man es auf Grund ihrer Ausbildung zutraut. Wer soll sie noch verstehen, die Physiker, die von Quarks und Charm reden, oder die Biochemiker, die von IGG's und IGM's reden, geschweige denn die Informatiker, die sich nur noch in bits und bytes verständigen können. Wer schützt uns vor einer Flut von Verwirrungen mit rem, Becquerels, Grays und Sieverts. Es ist zwar eine der höchsten Auszeichnungen für einen Wissenschaftler, daß eine meßtechnische Einheit nach ihm benannt wird, dies trägt aber leider auch nicht dazu bei, die Verständlichkeit der benannten Größe zu fördern. Als ich Physik studierte war eine der ersten Aussagen meines Professors, daß man die wenigsten Maßeinheiten mit Erfahrungen des täglichen Lebens korrelieren kann – und wie recht hatte er. Längen verstehen wir – 1 m, oder 1 km, Zeit auch: Ihnen wird die Zeit in diesem Vortrag lang, mir ist sie zu kurz. Bei der Kraft fängt es schon an, schwer vorstellbar zu werden: Können Sie sich unter einem Newton oder einem dyn tatsächlich etwas vorstellen? Woher nehmen wir Wissenschaftler den Hochmut, von der Öffentlichkeit zu erwarten, daß sie etwas mit Sievert, Gray und den anderen Hieroglyphen anfangen kann. Sind 10.000 Becquerel viel (In den Wänden eines jeden Wohnraum gibt es etwa 3.000 Bq = Zerfälle/s) und 100 mSievert (100 mSievert = 10 rem sind schon mehr, als für strahlenexponierte Personen auf Jahresbasis zugelassen sind) wenig? Beide sind nur zu vergleichen wie Äpfel und Birnen, aber wer – außer den Spezialisten – kann das begreifen und welcher Journalist ist sich dessen bewußt, wenn er

mit 10.000 Becquerel oder einem knackenden Geiger-Müller-Zähler auf höchster Empfindlichkeitsstufe Ängste erzeugt?

Es darf uns also nicht wundern, daß Sachargumente es immer schwerer haben, Gehör zu finden. Vielfältige Gründe haben dazu geführt. Dazu gehören:

- Wissenschaft und Technik haben es über Jahrzehnte versäumt, den Dialog mit der Öffentlichkeit ernst zu nehmen. Schon der Ausdruck „Populärwissenschaftliche Darstellung" ist eine Herabsetzung derer, die sich dafür interessieren. Vor einigen Wochen hat hier ganz in der Nähe die Verleihung des Wissenschaftsjournalisten-Preises im Palais stattgefunden. Eine kleine Gruppe aufrechter und begeisterter Journalisten, die von den Medien eher geduldet als geliebt werden und die sich selbst als Außenseiter ihrer Zunft betrachten. Mit Quoten können sie nicht aufwarten. Am GKSS Forschungszentrum haben wir einen Preis „Verständliche Wissenschaft" für Doktoranden eingeführt. Wir hoffen, daß dies Schule machen wird.
- Wissenschaft und Technik hat sich teilweise selbst ins Abseits gestellt. War Wissenschaft und Forschung einst verbunden mit der Hoffnung auf eine Verbesserung der Lebensqualität, so ist sie heute in den Geruch geraten, Lebensqualität, Sicherheit und die Natur mit ihren Auswirkungen und Risiken zu bedrohen. Das bedeutet nicht, daß es früher nicht auch so war, aber heute erfolgt die Debatte auf einer sehr hohen Komfortebene derer, die sie führen, und die Bedrohungen werden in der Tat zunehmend globaler. In dieser Debatte findet man darüber hinaus für jede noch so unsinnige Behauptung genügend „Professoren", die für die nötige wissenschaftliche Unterlegung sorgen – bis hin zu Mißbrauch, Betrug in der Wissenschaft, zu Paramedizin und Psi.
- Grobfahrlässige Fehlinfomationen und Fehleinschätzungen von Experten und Gutachtern – auch und insbesondere im Fall Tschernobyl – haben nicht dazu beigetragen, die Glaubwürdigkeit von Wissenschaft und Technik in der Öffentlichkeit zu fördern.
- Medien suchen und propagieren charismatisch emotionalisierende Berichte und Reportagen, ohne die Verantwortung für daraus entstehende Schäden zu übernehmen – sie gesellen sich damit zu den opportunistischen Politikern, den korrupten Wissenschaftlern und Technikern. Sie haben aber die stärkste meinungsbildende Macht in unserem Land.

- Viele Menschen suchen Feind- oder Freundbilder, für die sie kämpfen können. Wer die Diskussionen um das geplante Endlager in Gorleben verfolgt, kann dies direkt beobachten.

8. Technologische Optionen

Wir haben in Form des HTR-(Kugelhaufen-)Reaktors seit 25 Jahren die Option für inhärent sichere Kernkraftwerke, von denen der Betriebsleiter sogar behauptet, daß das Abschalten der Primärkühlung die sicherste Abschaltmethode für diesen Reaktortyp sei. Ein Abschalten der Primärkühlung führt in wenigen Sekunden zu einem völligen Zusammenbruch der Kettenreaktion und damit zu einem Abbruch der Energieproduktion. Es dauert Stunden, bis die Restwärme die Temperatur im Reaktor sehr langsam wieder ansteigen läßt. Auch ohne weitere Kühlmaßnahmen besteht dabei keinerlei Gefährdung einer Überhitzung, sofern die Gesamtleistung des Reaktors unter 250 MW liegt. Kugelhaufenreaktoren eignen sich besonders für kleine Kraftwerke im Bereich 100 MW und darunter und wären damit besonders für dezentralen Einsatz geeignet, insbesondere auch in Entwicklungsländern, da ein Mißbrauch für Kernwaffen bei dieser Technologie de facto ausgeschlossen ist.

In eine ähnliche Richtung wie der HTR-Reaktor gehen heute auch die Weiterentwicklungen der Wasserreaktoren, die aber immer ein Restrisiko für eine Überhitzung und damit eine Kernschmelze behalten werden. Mit den weiteren Entwicklungen wird aber sichergestellt, daß die Gutmütigkeit der Reaktoren auf über 72 Stunden ausgedehnt wird und daß die Auswirkungen von Unfällen im Fall einer Kernschmelze lokal im Reaktor selbst begrenzt bleiben. Erreicht werden soll ein derart gutmütiges Verhalten der neuen Reaktoren, indem aktive Systeme weitest möglich durch passive Systeme ersetzt werden sollen, also die physikalischer Gesetzmäßigkeiten selbst direkter genutzt werden sollen, um die Sicherheit zu erhöhen, z.B. mit hochgelegenen Wasserpools und der ziehenden Wirkung von kondensierendem Dampf statt Pumpen, konvektiver Wasserkühlung und vorgespannten Federn statt Antriebsmotore, Batterien statt zentraler Stromversorgung für Steuerung und Leittechnik.

9. Ausblick

Wir müssen heute konstatieren, daß die Weiterentwicklung der Kerntechnik ausschließlich im Ausland stattfindet. Selbst das Forschungszentrum Jülich hat in seiner 40 Jahrfeier im Jahr 1997 in Anwesenheit des Bundeskanzlers verschämt verschwiegen, daß dieses Zentrum den inhärent sicheren HTR-Reaktor entwickelt hat.

Andere Länder sehen in der Kernenergie eine der wichtigen Säulen bei der Energieversorgung auch und insbesondere in der Zukunft. Die Klimakonferenz in Kyoto Ende des Jahres 1997 hat erneut gezeigt, daß der Weltenergieverbrauch weiter steigen wird. Die Entwicklungsländer werden nicht auf das verzichten, was uns so angenehm ist. Es ist deutlich geworden, daß die Windenergie eine Alibienergiequelle ist, die ohne Großspeicher nur mit doppelten Reserveinvestitionen in konventionelle Energiequellen zu nutzen ist, da der Energieverbrauch nicht danach fragt, ob zufällig Wind herrscht. Energie aus Wasserkraftwerken ist eine wichtige Alternative für viele Länder. Brasilien baut derzeit ein Wasserkraftwerk, das die Energie von 10 Kernkraftwerken erzeugen soll. China plant ein gigantisches Wasserkraftwerk am Jangtze, das etwa 1/10 des chinesischen Strombedarfes abdecken und die Leistung von etwa 18 Kernkraftwerken mit je 1 Gigawatt elektrischer Leistung erreichen soll. China ist aber auch ein gutes Beispiel dafür, daß selbst derart gigantische Wasserkraftwerke mit unabsehbaren Eingriffen in die Landschaften und Flußläufe den tatsächlichen Strombedarf bei weitem nicht abdecken können, weder in Bezug auf die absolute Menge, noch in Bezug auf die Verfügbarkeit an der Stelle, wo die Energie tatsächlich benötigt wird. China wird additionell Kernkraftwerke benötigen und Amerika hat in den ersten Tagen des Jahres 1998 entschieden, die Lieferung entsprechender kerntechnischer Anlagen an China freizugeben.

Sonnenenergie ist noch weit entfernt von der Nutzung zur großtechnischen Stromerzeugung. Sie ist geeignet für Spezialanwendungen, die höhere Investitionskosten erlauben, und wird in diesem Bereich in wenigen Jahren einen Milliardenmarkt erschließen. Deutschland liegt an der Spitze, was aber nicht darüber hinwegtäuschen darf, daß auch in absehbarer Zeit mit der Sonnenenergie nicht Milliarden von kWh an elektrischer Leistung erzeugt werden.

Die fossilen Brennstoffe Öl, Kohle und Gas belasten die Atmosphäre mit CO_2 und mit noch ungewissen Konsequenzen, die mit der kontinuierlich fortschreitenden Anreicherung des CO_2 in der Atmosphäre verbunden sind. Im Schnitt verursacht jeder Erdenbürger 4,5 Tonnen CO_2 pro Jahr, jeder Deutsche 12 und jeder Amerikaner fast 20 Tonnen. Soll die CO_2-Emission in die Atmosphäre wirklich wirksam stabilisiert werden, so muß bei steigendem Energiebedarf in den Entwicklungsländern und steigender Weltbevölkerung die CO_2-Emission in den Industrienationen überproportional reduziert und pro Kopf und Jahr der Weltbevölkerung auf ein bis zwei Tonnen begrenzt werden. Längerfristig bedeutet dies die Einführung einer weitgehend CO_2-freien Energiewirtschaft, und dies wird in den kommenden 50 Jahren nicht zu erreichen sein, wenn wir auf die Kernenergie verzichten [6,7,8].

Auch die Brennstoffzellen helfen hier nicht weiter, denn sie basieren entweder auf Wasserstoff, der auch auf absehbare Zeit entweder mit Kernenergie oder aber mit klimawirksamen fossilen Brennstoffen hergestellt werden muß, oder auf Methan, einem anderen CO_2 Lieferanten und Treibhausgas.

Die Fusion ist über viele Jahrzehnte noch keine Alternative, auch wenn jetzt auf der Basis des Tokamak-Prinzips im Rahmen des internationalen ITER-Projekts der Bau eines ersten tatsächlich Energie liefernden Versuchsreaktors vorbereitet wird und in Greifswald mit dem Stellarator-Experiment ein anderer erfolgversprechender Weg zur Beherrschung der Kernfusion erprobt werden soll. In diesem Punkt sind alle, die sich mit Energiefragen beschäftigen, mehr oder weniger einig. Unterschiedlich sind die Konsequenzen, die gezogen werden.

Kerntechnik ist eine junge Technologie und ein Reaktor im Jahre 2050 würde sich von den heutigen sicher so unterscheiden, wie eine Super Constellation aus den 50-er Jahren von einem heutigen Airbus. Zwei Sicherheitsaspekte stünden bei der Weiterentwicklung des Leichtwasserreaktors im Vordergrund:

- Verhinderung der Kernschmelze durch passive Schutzelemente
- Beherrschung der Kernschmelze durch Corecatcher

Forscher des Forschungszentrum Karlsruhe haben schon heute ein Konzept für einen Corecatcher im Visier, offiziell schweigt man aber auch hier verschämt zu diesem Thema.

Andere Länder gehen voran. Frankreich und die USA setzen auf Wasserreaktoren, China wird die HTR Technologie weiterentwickeln, nachdem alle Grundlagen dazu frei Haus von Deutschland geliefert wurden. Zusammen mit Südafrika ist China dabei, Kleinkraftwerke im Bereich von 10 bis 100 MW zu entwickeln und vielleicht kaufen wir eines Tages dort die HTR Module, die auf Pontons in unseren Häfen angelandet werden.

Die Kerntechnik ist noch lange nicht am Ende, hier in Deutschland gibt es jedoch Bestrebungen, eine Endmarke für die Nutzung dieser Technologie in unserem Lande zu setzen. Schon jetzt stehen wir vor der Konsequenz, daß an den Hochschulen nicht mehr genügend Nachwuchs ausgebildet wird. Junge Menschen wollen begeistert werden, sie wollen mit ihrer Arbeit willkommen sein. Wer studiert unter den heutigen Randbedingungen noch Kerntechnik. Wir fördern ein Negativimage an den Ausbildungsstätten und werden bereits in wenigen Jahren Schwierigkeiten haben, die notwendigen Nachbesetzungen in den vorhandenen Anlagen vornehmen zu können. Selbst die Fortbildung für Fachpersonal wird langsam mangels Nachfrage eingestellt. Die Menschen, die an unserem Reaktor arbeiten, stoßen bei den Nachbarn auf Ablehnung, weil sie diese Teufelstechnologie nicht boykottieren. Umbesetzungen werden verhindert, nicht weil die Mitarbeiter nicht im Reaktorbereich arbeiten wollten, sondern weil sie gesellschaftliche Konsequenzen in ihrem Umfeld fürchten.

Wir haben hier eine ähnliche Situation wie in der Gentechnologie, wo erst ganz langsam Studenten sich wieder öffentlich dazu bekennen können, mit Genen zu experimentieren.

Wenn die Beteiligten und umso mehr der Nachwuchs nicht mehr stolz sein kann auf die eigene geleistete Arbeit, dann ist der Ausstieg eingeläutet, bevor er beschlossen ist. Wir müssen uns auch darüber klar sein, daß mit einer fehlenden Ausbildung ganze Bereiche der Grundlagenforschung und Technologie, die sich um die Kerntechnik und den Umgang mit der Radioaktivität ranken, nachhaltig geschädigt werden. Durchbrüche lassen sich nicht vorhersagen, aber Inaktivität ist ein sicheres Mittel, Erfolge und die Zukunft anderen zu überlassen.

Betrachtet man die Aktivitäten in den Schwellenländern wie Südafrika und China, dann können wir sicher sein, daß andere das Geschäft machen werden, so wie heute auch andere das Geschäft mit der Biotechnologie

machen. Wir können nur hoffen, daß unsere Multis, unsere Großkonzerne, die über unsere Grenzen hinaus global operieren, dann doch noch über die Technologien verfügen, so wie Bayer seine Gentechnologie in Berkeley aufgebaut hat und trotz Behinderung in Deutschland noch immer führend auf diesem Gebiet ist und Siemens zusammen mit dem Ausland die Kerntechnik noch nicht aufgegeben hat.

Ob wir wollen oder nicht, die Kerntechnik wird sich nach einem schweren Rückschlag weiter entwickeln und erneut Fuß fassen, zumindest in den kommenden 50 Jahren. Wie wir in unserem Land damit umgehen wird darüber entscheiden, ob unsere Kinder eines Tages selbst noch immer Technologie gestalten und führen oder aber geführt werden.

Literatur

[1] *Kleemann, M. und Meliß, M.*, Regenerative Energiequellen, Springer Verlag, 2. Aufl. (1993)

[2] *Radioaktivität von Becquerel bis Tschernobyl*, Fortschritte – Risiken –Fehlbeurteilungen, Teile I und II, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, (1997), Bände 16 und 17

[3] *Alexander, K. F.*, Die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl – Bilanz nach 10 Jahren, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät (1997) Band 17, Heft 2, 5–21

[4] *Harder, D. und Kiefer, J.*, Sondervotum zur „Erklärung zum bisherigen Ergebnis der Kommissionsarbeit" anläßlich der Sitzung der schleswig-holsteinischen Fachkommission Leukämie am 3.12.1997 in Kiel

[5] *Gassmann, W.*, Leukämien und verwandte Krebs-Erkrankungen nach Strahlenbelastung unter besonderer Berücksichtigung der Diskussion um die Häufigkeit kindlicher Leukämien in der Nähe des Kernkraftwerkes Krümmel
Deutsches Atomforum Bonn, Juli 1997

[6] *Schwarz, D.*, Warum Kernenergie? Nichtklimatische Risiken
Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät (1997) Band 17, Heft 2, 49–67

[7] *Kugeler, K.*, Hat Kernenergie eine Chance?, Spektrum der Wissenschaft, (1997) Dossier 1, 106–109

[8] *Heinloth, K.*, Die Energiefrage – Bedarf und Potentiale, Nutzen , Risiken und Kosten
Vieweg Verlag (1997)

Rezension

Erträgliche Bilanz

Anmerkungen zu „Wissenschaft und Wiedervereinigung. Disziplinen im Umbruch", herausgegeben von Jürgen Kocka und Renate Mayntz, Akademie Verlag Berlin 1998.

„Je besser ein Staat ist", wußte schon Johann Gottfried Herder, „desto angelegentlicher und glücklicher wird in ihm die Humanität gepflegt". Und diese Humanität war für ihn auch in dunklen Zeiten ein „ernster und schöner Zweck, den die Wissenschaften befördern sollten". Ein Gradmesser zur Beurteilung von Wissenschaftssystemen auch heute? Es ist vermessen, so etwas zu erwarten, stünde dann doch ein ganzes Selbstverständnis, eine historische Periode eigenständiger Entwicklung und Entfaltung, aber auch mannigfach Verworfenes zu Betrachtung an; ein philosophischer Blick also auf ein großes Stück nach Verständnis heischender Geschichte. Glückliche Zeiten, als Herder dies einforderte. Heute sind es andere, vordergründigere Gesichtspunkte, die eine Analyse bewegen – sie heißen Effizienz und Sich-Rechnen-Müssen, Erkenntniskonkurrenz und kreativer Wettlauf. Selbstredend ist damit die Humanität nicht verabschiedet, aber sie nimmt sich doch merkwürdig fremd aus in den kalten Labors, sie begegnet ganz frontal dem, was Herder die „gefühllose, stolze Härte" genannt hat. Das westeuropäisch-nordamerikanische System der Wissenschaftsorganisation bildet die Meßlatte, mit der in dem vorliegenden Buch der Interdisziplinären Arbeitsgruppe „Wissenschaft und Wiedervereinigung" an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften die Wissenschaft der DDR abgeprüft wird. Ein eigenes Werteverständnis, das in dieser Wissenschaft Platz gefunden haben mag, wird nicht erfragt. Es steht nicht zur Debatte. Doch halt – wäre das Urteil nicht viel tiefgreifender negativ, würde man eine derartige Analyse vornehmen? Sollten diejenigen, die mit Stolz auf die Wissenschaft der DDR zurückblicken, nicht geradezu froh sein über die Tatsache, daß der Effizienzvergleich im Vordergrund steht? Eine Antwort auf diese schwierige Frage ist – man sollte es frei heraus bekennen – nicht möglich ohne ein gerüttelt Maß an historischer Betrachtung und Wertung.

Was in so mancher aktuellen Darstellung des Verhältnisses von Wissenschaft und Politik in der DDR als Ausdruck eines Unterdrückungsmechanismus vorgestellt wird, hat in der historischen Perspektive der Herausbildung der marxistisch intendierten Arbeiterbewegung einen gänzlich anderen Sinn. Das Wort vom Bündnis zwischen Arbeiterklasse und Wissenschaft, mit dem Marx die Hoffnung verband, daß auf diesem unseren Erdball dereinst auch für Millionen Entrechteter und Unterdrückter ein menschenwürdiges Dasein wirklich werden könne, steht an der Wiege einer Verbindung, die schließlich und endlich zu Bevormundung und Mißtrauen, zu Gängelei und – das Schlimmste für die davon betroffenen Wissenschaften – zu einem politisch verwalteten Wahrheitsmonopol geführt hat. Das Resultat ist zerknirschend genug für diejenigen, die den langen Weg der auf den Sozialismus eingeschworenen Wissenschaft mitgegangen sind. Doch ist dieser Weg etwa nicht nachvollziehbar? Und stempelt er die Akteure, die von diesem Stück Geschichte berührt waren, nun zu den „Unberührbaren", wie ich mit Schrecken in Dieter Simons Beitrag gelesen habe? Wo also anfangen, wenn man das Wissenschaftssystem der DDR betrachten und gerecht beurteilen will? Bei der Vorgeschichte, beim Selbstverständnis der Akteure, oder bei dem, was aus den kognitiven Bemühungen trotz aller politischen und ideologischen Aberrationen herausgekommen ist? In dem hier zur Rede stehenden Buche werden zwei Wege beschritten. Einmal wird schlichtweg analysiert, welchen Kriterien konkrete Wissenschaftseinheiten in der DDR folgten, was also an kognitivem Ertrag resultierte. Der andere Weg betrachtet die Endgestalt der spezifisch realsozialistischen Einheit von Wissenschaft, Ideologie und Politik. Der erste Weg beschert dem Leser mannigfachen Gewinn; der letztere führt ihn in die Problemwelt, jedoch auch in bekannte Denk- und Interpretationsmuster. Darauf ist gleich zurückzukommen.

Was mit „Wissenschaft und Wiedervereinigung" recht neutral überschrieben ist, hat einen historisch einmaligen Vorgang zum Gegenstand. Es ist kein Randgeschehen, dem sich die Autoren zugewandt haben, und es ist auch keineswegs – wie der Untertitel suggeriert – ein wissenschaftstheoretisches Problem, das hier zur Verhandlung ansteht. Sondern es geht um die Dimensionen eines politisch inaugurierten Umgangs mit einem nationalen Wissenschaftssystem, um dessen großflächige Abwicklung und teilweise Neugestaltung, insgesamt um den Ausschluß von schätzungs-

weise 80.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern (manche Angaben liegen noch höher; die Zahl derer, die wieder in die Wissenschaft zurückgefunden haben, ist unbekannt) aus ihrem Tätigkeitsbereich, eine Zahl, die noch wächst, da etliche der Auffanginstitutionen nicht wie erhofft funktioniert haben. Vor rund acht Jahren fiel mit dem Einigungsvertrag der Startschuß für diesen Vorgang, der, hätte es sich um andere Berufsgruppen gehandelt, sicher ein weitaus größeres Aufsehen erregt hätte – man denke nur an die Vorgänge um die Schließung der Kaliproduktion in Bischofferode. Zudem fiel die Abwicklung des Wissenschaftssystems der DDR in eine Zeit, da andere Veränderungen eines ganzen sozialen und ökonomischen wie geistig-kulturellen Lebensprozesses die Aufmerksamkeit der Medien fesselten; und wie stets, wenn es um die Wissenschaft geht, war die Anteilnahme der großen Mehrheit der Bevölkerung so überwältigend nicht. Und dann war dieser Vorgang relativ langwierig, geprägt von diversen retardierenden Momenten, war auch mit Trostpflästerchern gepflastert, für manche gar mit lukrativen neuen Stellenangeboten. Dem Abwicklungsbeschluß folgte seine teilweise Zurücknahme durch den Urteilsspruch des Bundesverfassungsgerichtes quasi auf dem Fuße; und die ersten Entlassungswellen hatten Tausende von Prozessen vor den Arbeitsgerichten provoziert, die zum übergroßen Teil im Sinne der Betroffenen ausgingen. Kein Ökonom hat bislang die Kosten ermittelt für die Abfindungen, für die eingeklagten Wiedereinstellungen ohne das Recht der Wiedereingestellten auf gleichberechtigte Teilnahme am Lehr- und Forschungsprozeß, für die Zuwendungen für zum Teil selbsternannte Beurteiler aus dem Westen Deutschlands, die an den Universitäten und Hochschulen der DDR bzw. der neuen Länder eintrafen und die DDR-Hochschullehrer nicht selten wie Wissenschaftler der dritten Klasse behandelten, um dann, was vorgekommen ist, gar noch im gesegneten Wissenschaftsalter von über sechzig Jahren eine honorige C 4-Professur zu ergattern.

Die Aufkündigung des Wissenschaftssystems der DDR war natürlich auch begleitet von vielen guten Argumenten, die sich weitgehend mit der Selbstkritik aus den Reihen dieses Wissenschaftssystems trafen, die Jahre vorher schon den Verantwortlichen der DDR die Ohren dröhnen ließen. Die mangelhafte Ausstattung mit modernen Apparaturen, eine unbefriedigende Literatur-Situation, kein freier Gedankenaustausch zumindest dort,

wo es sich nicht um militärisch-strategische Forschungen handelte, vielfältige Reisebeschränkungen und nicht wenige unsinnige, aber dieser selbst organisierten Not geschuldete Forschungsprogramme, die auf ein Nacherfinden von andernorts längst vorliegenden und praktizierten Techniken hinausliefen – all das hat für die Wissenschaft in der DDR, selbstredend von Disziplin zu Disziplin unterschiedlich, den Todesstoß vorbereitet. Es ist also weniger das inhaltliche Problem insgesamt, an dem sich die Geister scheiden, also die Frage nach der Leistung und der Leistungsfähigkeit der DDR-Wissenschaft. Sondern die Meinungsunterschiede beginnen dort, wo undifferenzierte Urteile abgegeben werden; Pauschalisierungen auch, die längere Zeit gang und gäbe waren wie die Ansicht, daß es an den DDR-Universitäten so gut wie keine Forschung gegeben habe. Dies wird in diesem Buche zurückgenommen – man kann nur hoffen, daß es auch bemerkt wird. Dazu gehören auch zumindest ungenaue Interpretationen der Statistiken; so z.B., daß das Verhältnis von Wissenschaftlern pro Bevölkerungszahl in der DDR unverhältnismäßig hoch gelegen habe. Längst ist klar, daß diese Zahl in beiden deutschen Staaten etwa gleich groß war. Doch die DDR-Wissenschaft hatte in wichtigen Bereichen knallharte Anschlußprobleme an das in der DDR so vielzitierte Weltniveau. Doch was ist zu tun, wenn man einem solchen Wissenschaftssystem beizuspringen hat? Nach Stärken suchen? Gewiß! Den Wissenschaftlern selbst auf die Finger schauen? Vor allem das! Und das Ergebnis? Es gehört zu den am meisten heruntergespielten Resultaten der vom Wissenschaftsrat initiierten Evaluierungen der wissenschaftlichen Einrichtungen der Akademie der Wissenschaften der DDR (an den anderen Wissenschaftseinrichtungen der DDR wurde höchst unterschiedlich, teilweise nicht evaluiert), daß die Ergebnisse wohl die mißliche materielle und Literaturausstattung sowie Defizite des mangelnden Informationsaustauschs registrierten, jedoch, mit wenigen Ausnahmen, die wissenschaftliche Prägnanz und Leistungsfähigkeit der Wissenschaftler der DDR hervorgehoben haben. Die Evaluierung hatte gänzlich andere Resultate, als sie nach der (in den meisten Fällen sicher auch ideologisch geprägten) Vorerwartung hätten ausfallen müssen. Die signifikanten Mängel betrafen das System, nicht aber die Wissenschaftler. Das festzustellen ist so einfach nicht, wenn man nicht über die einschlägigen Untersuchungen verfügt; nach der Lektüre des Buches „Wissenschaft und Wiedervereinigung" aber

weiß man, daß es so ist. Und es ist zu hoffen, daß diese Botschaft in die Geschichtsbücher eingehen wird. Mehr ist natürlich nicht drin, denn die wesentlichen Personalentscheidungen sind längst schon gefallen.

Doch genug der larmoyanten Reminiszenz. Man darf endlich hoffen, daß die Zeit der hämischen Abrechnungen ebenso vorüber ist wie die der Klagen; und daß die Rechtfertigungen von beiden Seiten – die der Abwickler und die der Abgewickelten – durch die Reorganisierung eines arbeitsfördernden Klimas abgelöst, Geschehenes zu Geschichte wird. Fraglos will die umfangreiche Schrift der neuen Akademie dazu einen Beitrag leisten; und wenn die allerdings keineswegs unumstrittene Zeit der Versöhnung tatsächlich angesagt ist, dann braucht es dazu mutiger Ansätze. Solche eben, in denen die Kritik nicht mehr einäugig ist, wo allgemeine Verdächtigungen durch sachliche Betrachtungen abgelöst werden, wo ein allgemeines, durchgängiges Mißtrauen durch die gegenseitige Achtung der Akteure ersetzt ist. Daß gerade in diesen Punkten mit dem vorliegenden Buche ein entscheidender Durchbruch erzielt wurde, soll zuallererst und nachdrücklich festgestellt werden.

Schaut man nun genauer hin, gibt es nicht wenige zum förderlichen Disput, aber auch zum Widerspruch anregende Ausführungen. Das beginnt gleich mit dem ersten Satz in Jürgen Kockas Einleitung, wonach die „Vereinigung der beiden deutschen Wissenschaftssysteme" als einigermaßen abgeschlossen angesehen werden könne (S.7). Von einer Vereinigung der beiden deutschen Wissenschaftssysteme, so möchte ich dagegenhalten, kann doch wohl keine Rede sein. Es war, man sollte es klar an den Anfang stellen, der Zusammenbruch eines von seinen politischen, sozialen und ökonomischen Trägern bereits verabschiedeten Systems; und der logische Umgang mit diesem Systembruch durch das andere, in jeder Beziehung als überlegen geltende. Das ist keine Streitsüchtelei, wenn man das feststellt, sondern die nüchterne Bilanz der Ausgangslage. Alles folgende erklärt sich – von den Feinheiten abgesehen – aus dieser Situation. So war auch die ursprüngliche Ansicht des Wissenschaftsrates, daß es zu einer Fusion der beiden deutschen Wissenschaftssysteme kommen könne, eine pure Illusion. Nein, es war ein in vielerlei Hinsicht verunsichertes Konglomerat, das sich zur Vereinigung und Neugestaltung anbot, das wohl noch funktionsfähig war, aber keine Funktion im wahren Wortessinne mehr hatte. Während die Akademie der Wissenschaften der DDR durch

den Einigungsvertrag gewissermaßen hingerichtet wurde, standen die Hochschulen und Universitäten ohne den durchaus verinnerlichten Bildungsauftrag vor einem durchgreifenden Perspektivenwechsel. Von der Industrieforschung ganz zu schweigen, die ohne ihre Bindung an die volkseigene Wirtschaft plötzlich ins Bodenlose fiel. Da die Wissenschaft der DDR an das staatliche System der DDR gebunden war, ist mit dessen Fall auch das Wissenschaftssystem zerbrochen. Jede andere Interpretation trifft den tatsächlichen Sachverhalt nicht! Vor dieser Folie aber erscheint das Problem des Umgangs des westdeutschen Wissenschaftssystems – besser seiner Protagonisten, weniger seiner kulturministeriellen Hintermänner – mit diesem Konglomerat als eine Frage der wissenschaftlichen Kultur, der Weisheit; dargestellt aber hat es sich als scharfes politisches Kalkül, das eine Augenblicksentscheidung zu treffen hatte. Beides steht gegenwärtig noch – jenseits aller Kritiken, Ressentiments und Rechtfertigungen – im Mittelpunkt der Rückblicke; doch es könnte sich späterhin zeigen, daß nicht mehr die politischen Motive des ganzen Vorgangs die Betrachtungen dominieren werden, sondern die an diesen Vorgängen konzeptionell beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sich fragen müssen, wie sie ihrer Verantwortung nachgekommen sind. Das gilt natürlich für beide Seiten. Und das wäre die zweite Hervorhebung des konzeptionellen Anliegens dieses Buches, daß auf den ja recht einfachen Verweis, es ist alles eh Sache der Politik gewesen, eben nicht ausgewichen wird, sondern die interne Dimension des „Umbruchs" – wiewohl ich diesen Terminus unpassend finde, denn ein solcher hat für das westdeutsche Wissenschaftssystem in keiner Beziehung stattgefunden – im Vordergrund der Betrachtungen steht.

Nun ist ja zur DDR-Wissenschaft in den zurückliegenden Jahren eine Menge geschrieben worden wie generell die DDR zur Zeit noch ein profitables Forschungsfeld für rund 500 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist. Da liegt es nahe, nach den neuen Einsichten zu fragen, die hier vorgelegt werden. Allgemein geantwortet betreffen sie die Reflexionen zum Gesamtthema Wissenschaft und Politik (Jürgen Kocka, Renate Mayntz, Manfred Bierwisch, Dieter Simon) sowie die Analysen der Genesis von sieben Disziplinen im System der DDR-Wissenschaft (Wolf-Hagen Krauth zu den Asien- und Afrikawissenschaften, Heinz Bielka und Rainer Hohlfeld zur Biomedizin, Helmut Koch zur Mathematik, Sonja

Ginnow zur Rechtswissenschaft, Jürgen Kaube zur Soziologie, Wolfgang Fratzscher und Klaus-Peter Meinicke zur Verfahrenstechnik, Wolfram Fischer und Frank Zschaler zur Wirtschafts- und Sozialgeschichte). Auf die analytischen Beiträge kann an dieser Stelle nur summarisch eingegangen werden; den jeweiligen Fachvertretern seien sie zur kritischen Lektüre wärmstens empfohlen. Es zeigt sich erwartungsgemäß, daß die hier betrachteten sozialwissenschaftlichen Disziplinen weitgehend in politisch-ideologische Wirkungskonzeptionen eingebunden waren, wobei im Forschungsprozeß durchaus international übliche methodische Standards dominierten, während die Souveränität bei der Erfassung von Gegenständen in den jeweiligen Disziplinen von den ideologischen Prämissen unterschiedlich berührt worden ist. Also – auch über die Gesellschaftswissenschaften der DDR sollten keine Pauschalurteile abgegeben werden. Völlig anders und auch hier nicht überraschend war die Situation in der Mathematik und in den Natur- und Technikwissenschaften, wo es zwar ausgiebige politisch intendierte Forschungserwartungen und Projektanträge gab, jedoch in der Wissenschaft selbst eine weitgehende kognitive Selbständigkeit vorherrschend blieb. Diese Disziplinen waren voll an den internationalen Standards orientiert. Durchweg problematisch (mit Ausnahme der Mathematik) waren hier das Ausstattungs- und Literaturniveau sowie die internationalen Kommunikationsmöglichkeiten. Daß sich überall wissenschaftsleitende Funktionen mit mehr oder weniger ausgeprägten Kontakten zu politischen Leitungsorganen herausbildeten, lag an der Organisationsstruktur der Wissenschaften der DDR (System der Räte, Planung, Praxisverbindungen etc.). Hier hat sich ein weites Feld für die Arbeit der sog. Ehrenkommissionen ausgebreitet – ein Thema, das in dem Buch allerdings relativ kurz wegkommt. Daß die Entscheidungen dieser Kommissionen – fielen sie negativ aus – in der Regel die Resultate der Evaluierungen unterlaufen haben, wird nicht sichtbar. Überhaupt kommt die ganze Praxis des konkreten Transformationsgeschehen viel zu kurz, werden keinerlei Präzedenzfälle vorgeführt. So verschwindet das reale Leben, das sich ja in oft dramatischer Weise an den abzuwickelnden, aber auch an den anderen entlassungsintensiven Institutionen abgespielt hat, unter einer Vielzahl von ausgewerteten Führungspapieren, Einschätzungen, Statistiken und Ergebnisvergleichen.

Störend finde ich einige schlecht recherchierte Angaben im Kapitel

über die Biotechnik; wobei ich die Autoren um Nachsicht bitte, daß ich ausgerechnet dieses Kapitel schärfer unter die Lupe nehme und der Eindruck entstehen könnte, es handle sich hier um eine besonders kritikwürdige Darstellung. Das ist keineswegs der Fall; und nicht nur die gewiß mit großer Mühe zusammengetragenen Bilanzen machen dieses Kapitel wirklich lesenswert. Doch gerade da fallen unrichtige Angaben besonders störend ins Gewicht. Wenn man über ein angebliches Theorieverbot in Lehre und Forschung aus der Lyssenko-Ära als Alptraum der DDR-Genetik spricht (S.108), sollte man doch ein paar Belege für ein solches Verbot vorweisen. Gerade diese Passage ist bei vielen Biowissenschaftlern, mit denen ich sprach, auf Unverständnis und Ablehnung gestoßen. An anderer Stelle wird ganz simpel behauptet, daß „die marxistisch-leninistische Philosophie und Ideologie mit dem Anspruch der Vorgabe richtiger Kategorien" (was wären denn falsche?) „und Methodologien für alle naturwissenschaftlichen Bereiche" aufgetreten sei (S.106). Dabei bezieht man sich auf eine Schrift von Loren Graham aus dem Jahr 1972, in der er sich überhaupt nicht zur DDR äußert. Wieso es aber bereits seit 1970 zum auch von den Autoren Bielka und Hohlfeld referierten Dialog zwischen diesen Philosophen und den Naturwissenschaftlern kam, zu einem „Bemühen um gleichberechtigte, auch kontroverse Diskussionsformen über gesellschaftliche und erkenntnistheoretische Probleme der modernen Biologie" (S.108), bleibt ja dann irgendwie rätselhaft. Daß die Veranstaltungen in Kühlungsborn, an denen sich Naturwissenschaftler, Schriftsteller, bildende Künstler und Philosophen beteiligten und wo es um aktuelle wissenschaftsethische Probleme ging, auf eugenische und fortschrittsoptimistische Phantasien hinausgelaufen sind, kann ich einfach nicht nachvollziehen. Es wird ein einziges Zitat als Beleg angeführt; und es ist mit Sicherheit das einzige Zitat mit einer derartigen Tendenz, das man aus den Kühlungsborner Materialien herausholen kann – eine Textstelle übrigens, die auch schon zu DDR-Zeiten umstritten war. Die Autoren sollten aus eigener Anschauung und gelegentlicher Mitwirkung in Kühlungsborn beurteilen können, daß die Kühlungsborner Veranstaltungen in der Tendenz auf das ganze Gegenteil einer solchen Darstellung hinausliefen. Ähnliche fragliche Feststellungen gibt es leider mehrere. Mit gemischten Gefühlen liest man auch Verallgemeinerungen wie die, daß die Praxisorientierung der Wissenschaft in der DDR „zu einer zunehmenden Verarmung geistig-

kreativer und verantwortungsfreudiger Forscherpersönlichkeiten" geführt habe (S.96). Daß die Parole von 1958 „Überholen ohne Einzuholen" von den Autoren in die siebziger Jahre verpflanzt wird, mag da noch ein entschuldbarer Irrtum sein, denn das wollte die DDR ja auch ohne diese Losung in der Tat bis zuletzt. Und in einem Punkte trügt mich wohl mein Erinnerungsvermögen. Die Autoren schreiben, daß die Deutsche Akademie der Wissenschaften im Jahre 1946 gegründet worden sei. Man wünschte sich, daß solche Fakten und Vorgänge genauer und sensibler diskutiert werden; die Überzeugungskraft einer analytischen Abhandlung erhält ihr Gewicht – man weiß es ja längst – vor allem durch die Stimmigkeit des Details.

Sämtliche der als eine Art Problemdiskussion angefügten vier Beiträge verdienten eine ausführliche Betrachtung und kritische Diskussion; ich beschränke mich auf einige kommentierende Bemerkungen. Von großem Interesse ist der Beitrag Jürgen Kockas zum Problemkomplex „Wissenschaft und Politik in der DDR", der diesem sozialtheoretischen Grundproblem insofern ein Glanzlicht aufsetzt, als er eben nicht bei verbalen Betrachtungen der gegenseitigen Durchdringung von Wissenschaft und Politik stehenbleibt, sondern aus der funktionalen Gesamtheit der realsozialistischen Gesellschaft den Grad der gegenseitigen Bindung wie der relativen Selbständigkeit beider ableitet. Nur so kann man den historischen Differenzierungen dieses Verhältnisses auf die Spur kommen. Auch etikettierende theoretische Versatzstücke – Kocka prüft den vielverwendeten Begriff der „durchherrschten Gesellschaft" auf seine Leistungsfähigkeit zur Beschreibung der Funktionsgesamtheit DDR – bleiben auf der Strecke, wenn die sozialgeschichtliche Konkretion, die tatsächlichen Vorgänge der Steuerung und Kontrolle in den Blick genommen werden. So greife dieser Begriff zu kurz, weil eine totale Instrumentalisierung keinerlei kognitives Klima erlauben würde, damit die Absicht der Instrumentalisierung – die ja auf Systemstabilisierung hinauslaufen muß – in ihr Gegenteil verkehrt wird. Insofern gab es in der Mathematik sowie in den Natur- und Technikwissenschaften „viel Raum zur relativ autonomen Selbststeuerung der Wissenschaftler" (S.455). An zwei Punkten kann ich Kocka allerdings nicht folgen. Das ist zum einen dort, wo er sich „seinen" Kontrahenten polemisch zurechtstellt. Die Parteiführung habe die Differenz zwischen Wissenschaft und Politik zwar „nicht völlig geleug-

net" (S.439), aber eine weitgehende Durchdringung propagiert. In der „marxistisch-leninistischen Identitätsphilosophie" sei gar von einer weitgehenden Identität von Wissenschaft und Politik die Rede gewesen. Das ist in meinen Augen eine horrende Übertreibung! Kocka versucht nun, den tatsächlichen Effekt dieser propagierten und politisch durchgesetzten Identität nachzuweisen, und zwar über folgende Ebenen: Bei „der Definition wissenschaftlicher Aufgaben; in bezug auf die institutionelle Ordnung und die Mechanismen der Planung und Steuerung von Wissenschaft, in bezug auf die Grenzen wissenschaftlicher Kritik; für die Rekrutierung und Plazierung des wissenschaftlichen Personals; und hinsichtlich der Kontrolle wissenschaftlicher Kommunikation." (Ebd.) Das müßte man nun Punkt für Punkt auseinandernehmen, aber es fällt sogleich auf, daß drei der aufgezählten Aspekte auf die in jedem politischen System vorliegende Abhängigkeit des *sozialen Systems* Wissenschaft von den herrschenden gesellschaftlichen Verhältnissen bezogen sind. Eine Definition wissenschaftlicher Aufgaben durch die Politik gibt für meine Begriffe nur dann einen Sinn, wenn man darunter die allgemeinen Zielstellungen versteht, die auf politische Prioritäten verweisen; also Atomenergie vorrangig zu entwickeln oder nicht, Weltraumforschung zu fördern oder nicht etc. Alles andere gibt keinen Sinn, vor allem, wenn man es auf die Natur- und Technikwissenschaften bezieht. Kocka kann also nur die Geisteswissenschaften meinen, wenn er zu einer solchen Charakterisierung anhebt. Mißverständlich ist auch der andere strittige Punkt in der Aufzählung Kockas, die Kontrolle der wissenschaftlichen Kommunikation. Was gemeint sein könnte, weiß jeder, der in der DDR gelebt und wissenschaftlich gearbeitet hat. Es war die versuchte Abschirmung von einer anderen philosophischen und politischen wie – hier allerdings mit Einschränkungen – geistig-kulturellen Denkwelt, das verfluchte Diktat und Monopol einer einzig wahren Lehre, egal, ob sie direkt oder nur indirekt auf bestimmte wissenschaftliche Gegenstände anzuwenden war. Und es war die restriktive Reisepolitik der SED. Kocka bezeichnet diese Politik als dysfunktionalste Form der politischen Steuerung, die einmal zu „einer unguten Hierarchisierung des wissenschaftlichen Personals" führte (S.447), zum anderen professionelle Kommunikationsnetze zerstörte, was letztlich für die DDR existentielle Folgen hatte. Doch wissenschaftliche Kommunikation als tägliches Lebensgesetz der Wissenschaft hat auch Dimensionen, die sie

für den Politiker prinzipiell unzugänglich macht. Das Fachgespräch steht prinzipiell außerhalb von Politik. Selbst das philosophische Seminar über Entfremdung informiert über den Sachverhalt *und* über die zur Zeit geltende Deutung! Die von Kocka hervorgehobene Kontrolle der wissenschaftlichen Kommunikation unterstellt einen prinzipiellen Abbau der wissenschaftlichen Tradition, die Ersetzung von Diskurs durch Schulung. Ein Narr, wer das ganze Ausmaß an Gefährdung leugnen wollte, das in der DDR gerade auch hier gegeben war. Aber welche Verzeichnung, wenn die Gefahr zum Sachverhalt erklärt wird!

Renate Mayntz widmet sich der interessanten Frage, ob es in der DDR-Wissenschaft kognitive Besonderheiten gegeben habe. Da ihr Artikel mit „Die Folgen der Politik für die Wissenschaft in der DDR" überschrieben ist, vermutet man auch hier eine funktionelle Zuordnung der Politik zum Erkenntnisvermögen der in ihrem Umkreis betriebenen Wissenschaft und wird nicht enttäuscht. Von Interesse ist ihr Versuch, den kognitiven Kernbereich der Wissenschaften in seiner ideologischen Bindung an den Marxismus-Leninismus in den Vordergrund zu stellen, denn in der vorliegenden Literatur dominieren nach wie vor pauschale Betrachtungen gerade zu dieser Frage. Für die Naturwissenschaft vermag sie dabei nur in das ältere Raritätenkabinett zu greifen (Lyssenko, Kybernetik-Verdikt); die Bindung der Philosophie wie der anderen Geisteswissenschaften, der Soziologie, der Staats-, Rechts- und Wirtschaftswissenschaften und der Geschichte an die theoretischen Vorgaben des Marxismus bzw. Marxismus-Leninismus (dieser in der DDR-Gesellschaftswissenschaft gleichwohl beachtete feine Unterschied wird von Renate Mayntz nicht vermerkt) steht außer Frage. Das entscheidende Problem aber in dieser Relation – das Für und Wider zum Theoriecharakter des Marxismus – wird im Grunde genommen nicht geradlinig diskutiert; ihre Schlußfolgerungen sind wohl auch deswegen nicht überzeugend. Sie lehnt es zwar ab, ihn im Sinne der Totalitarismustheorie als Rechtfertigungsideologie zu bezeichnen (S.463, Anm.), interpretiert ihn dafür im Sinne Theodor Geigers als „Schein-Theorie". Die älteren Debatten gerade um Geigers Sichtweise, wonach jede (sozial relevante) Theorie außerwissenschaftlich immunisiert werden kann, was aber durchaus nicht den Wissenschaftscharakter dieser Theorie infrage stellen muß, werden leider ausgespart. Es wäre aber gerade im Zusammenhang mit ihrer Fragestellung, inwieweit

die DDR-Gesellschaftswissenschaft durch die Bindung an den Marxismus sich aus der Wissenschaft katapultiert hat oder aber im Ensemble konkurrierender Gesellschaftstheorien diskursfähig geblieben war (und ist), förderlich gewesen, gerade darauf einzugehen. So bleiben die Schlußfolgerungen über den Wissenschaftscharakter des Marxismus unklar. Ein solcher wird zunächst abgelehnt. Im Fazit allerdings räumt sie ein, daß es sich beim Marxismus-Leninismus um eine Geschichts- und Gesellschaftstheorie (hier also keine „Schein-Theorie"!) handelt, die mit absoluter Wahrheitsgeltung auftreten würde. Die Kernfrage aber ist wohl doch, wer dieser Theorie diesen Charakter zuschreibt – kommt es aus dieser Theorie oder ist es Konstrukt als Folge ihres politischen Gebrauchswertes? Ich denke schon, daß Renate Mayntz hier etlichen Sprengstoff für künftige Debatten eingebracht hat. Nichts anfangen kann ich hingegen mit der lapidaren Gegenüberstellung von „verordneten" und „tabuisierten" Themen zu den Nischenthemen (das waren ihrer Meinung nach die Editionen – als ob es nicht gerade auch um Editionen heiße politische Debatten gegeben hätte!). Das ist mir zu glatt; ich kann sie auch, biographisch gewendet, nicht nachvollziehen.

Den Einfluß des Marxismus-Leninismus auf die Naturwissenschaften einschließlich der Mathematik erblickt sie in der Praxisorientierung, was letztlich auch die kognitive Besonderheit der DDR-Wissenschaften ausmache. Nun, das ist ein mildes Urteil; und anregend ist diese Orientierung zudem, sicherlich über den DDR-Alltag hinaus. Aber diese Frage, was aus dem Wissenschaftssytem der DDR bewahrenswert war, aber nicht bewahrt worden ist, wird im vorliegenden Buch oft genug umgangen.

Auf die internen Notwendigkeiten der Neugestaltung der DDR-Institutionen sowohl von wissenschaftsorganisatorischer als auch politischer Hinsicht macht Manfred Bierwisch aufmerksam (Wissenschaften im Vereinigungsprozeß. Versuch einer Bilanz). Das Ausscheiden eines Teils des Führungspersonals der Akademie der Wissenschaften sei kein „Oktroi westdeutscher Wissenschaftspolitik", sondern eine Forderung der Mitarbeiter gewesen (S.492). Die Betrachtungen zu der systemspezifisch verhinderten Autonomie der Wissenschaften, zur Gängelung und Überfremdung der Wissenschaften, der Bevormundung durch die wissenschaftsleitenden Organe in der DDR rechtfertigen nach Ansicht von Bierwisch keineswegs, die Normen und Forschungsstandards der in der DDR-betriebe-

nen Wissenschaft (vor allem bezogen auf die linguistischen Disziplinen) in Frage zu stellen. Dort allerdings, wo die direkten Einflußbereiche des Marxismus-Leninismus, wo „doktrinierte Politikabhängigkeit" und „bornierte Voreingenommenheit" (S.500) an der Tagesordnung waren, sei die Abwicklung der betreffenden Arbeitsrichtungen (und wohl auch Personen) keineswegs als Verlust zu bilanzieren. Marx müsse, so Bierwisch, von seinen falschen Freunden befreit werden – man kann nur hoffen, daß das auch geschieht und von dort kommt, wo noch seriöse akademische Forschung betrieben werden kann! Vielleicht könnte man das dann auch zu dem hinzurechnen, was Bierwisch ausblickend als den „moderaten Gewinn von deutlich konservativem Charakter" und damit als Positivum des ganzen Prozesses hervorhebt (S.505).

Scharf ins Gericht geht schließlich – den Ausblick dominierend – Dieter Simon mit den politisierten und ideologisierten Surrogaten der DDR-Wissenschaft (Lehren aus der Zeitgeschichte der Wissenschaft). Marxismus-Leninismus, Relativierung der Grundlagenforschung, einschränkende Schwerpunktbildung, die Versklavung der Naturwissenschaften als Garanten für die Lösung der philosophischen Grundfrage – diese und andere Sünden kamen nicht aus irgendwelchen außerwissenschaftlichen Richtungen, sondern waren das Werk der „Berührten", die heute die „Unberührbaren" sind (S.517). Eine für meine Begriffe – ich hatte es bereits hervorgehoben – schockierende Zuordnung: ich hatte Simons jüngere Artikel im Gedächtnis, als ich das las, und glaubte, dort als Hauptwort auf die „Versöhnung" gestoßen zu sein. Habe ich mich geirrt? Immerhin ruft er dazu auf, das „erforderliche Toleranzminimum" aufzubringen, um die entstandene wissenschaftliche Kulturdifferenz zu überwinden. Was er in dieser anderen Kultur aufblitzen sah, entbehrt allerdings nicht einer gewissen Ironie – es war die transdisziplinäre Erforschung der „sozialistischen Lebensweise". Allen Ernstes, dachte ich schon, aber dann las ich seine Hauptkritik am Marxismus-Leninismus, die krampfhaft-kämpferische Art, das Superernste, als wolle man mit dem harten Wort schon die Welt verändern. Kein Hauch von Besinnung, keine ironische Distanz, statt dessen fortwährende Belehrung. Ja, das muß ich zugeben, diese Belehrungsattitüde ist eines der schlimmsten Erinnerungsstücke an die marxistische Wissenschaftsideologie aus der DDR-Zeit. Deshalb wohl der Überdruß daran.

Rezension

Gedanken beim Lesen der Studien und Materialien der Arbeitsgruppe „Wissenschaft und Wiedervereinigung" der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

Ende des 19. Jahrhunderts setzte ein stürmisches Wachstum der chemischen Industrie ein. Die Massenproduktion von Schwefel- und Salpetersäure, von Soda und Natronlauge und die Ammoniak-Synthese leiteten eine Phase der Entwicklung ein, die schließlich in der chemischen Verarbeitung von Millionen Tonnen Erdöl pro Jahr gipfelte. Die chemischen Reaktionen, die bisher im Laboratorium untersucht wurden, hatten großtechnische Ausmaße erreicht. Noch aber hinkte die technische Seite der Verfahren dem chemischen Erkenntnisstand hinterher. Es galt, riesige Stoffströme zu bewältigen, den Energiehaushalt der Systeme zu berechnen, die Temperatur von Katalysatorschichten auf wenige Grade exakt einzustellen und Gasströme unter Hochdruck sicher zu beherrschen. Die Durchsätze einzelner Rektifikationsanlagen stiegen auf das Hundertfache an. Die Entwicklung schrie förmlich nach einem wissenschaftlichen Konzept für eine Verfahrenstechnik. Wie K. Krug in seiner verdienstvollen Abhandlung „Die Entwicklung der Verfahrenstechnik zur wissenschaftlichen Disziplin" aufzeigt, hatten in Deutschland der hohe Stand der Physikalischen Chemie und des Maschinenbaus wichtige Voraussetzungen für technische Lösungen der chemischen Großindustrie geschaffen, aber noch fehlte eine Synthese zwischen der Chemie und den Ingenieurwissenschaften. Diesen Schritt zu tun blieb USA-Wissenschaftlern vorbehalten. Das MIT in Boston wurde zur Wiege des Studienfaches Chemical Engineering, in dem Physikalische Chemie und Apparatebau zu einem Lehrgang zusammengezogen wurden. Dabei war das 1915 von A. D.Little geschaffene Konzept der „unit operations" höchst geeignet, der neuen Ingenieurwissenschaft zu einem stoffunabhängigen Profil zu verhelfen und damit auch die in Deutschland übliche beschreibende Darstellung technologischer Verfahren als veraltet abzutun. Wie zählebig Traditionen sein können, beweist die Haltung Carl Duisbergs, der 1925, trotz Kenntnis der

guten amerikanischen Erfahrungen, in Deutschland die traditionell gute Ausbildung von Chemikern und Maschinenbauingenieuren nicht angetastet sehen wollte und deshalb für die Betriebe der IG Farben als Strukturprinzip die gleichrangige Stellung von Chemikern und Ingenieuren durchsetzte. Praktisch liefen Leitungsstränge erst beim technischen und chemischen Direktor des Unternehmens zusammen. Als ich 1953 die Leitung des Leuna-Werkes übernahm, fand ich dieses Strukturprinzip vor, und es funktionierte. Daß es an eine bestimmte Betriebsatmosphäre und an die im Studium vermittelte Bereitschaft zur Zusammenarbeit geknüpft war, haben spätere Bestrebungen, die Einzelverantwortung in den Betrieben der chemischen Industrie einzuführen, hinlänglich bewiesen.

Es ist schon richtig: Die Schaffung neuer Wissenschaftsdisziplinen muß, wie die Autoren darlegen, mit Bedacht und Umsicht betrieben werden. Zunächst einmal schreien die Vertreter neuer Disziplinen nach Abgrenzung. Man darf ihnen das nicht verübeln: schließlich muß jeder Wissenschaftler eine exakte Übersicht über seine Disziplin haben. Aber da heute die Entwicklung eines modernen Produktionsverfahrens der Chemie das Ergebnis der kollektiven Anstrengungen vieler Wissenschaftler ist, bedarf es neben einer Abgrenzung, gewissermaßen als dialektischem Impuls, stets der Fähigkeit zur Zusammenarbeit über das eigene Fachgebiet hinaus. Das setzt natürlich bei allen Beteiligten eine hohe Allgemeinbildung und die Überzeugung voraus, daß sich das eigene Spezialwissen größeren Zusammenhängen unterordnen muß. Wer einmal in einem größeren Institut die Zusammenarbeit organisieren wollte, der weiß, wie schwierig das ist. Das Prinzip der Konkurrenz fördert eben auch das isolierte Arbeiten.

Ich sehe die hier zu besprechende Schrift als eine der Grundlagen für das Buch von J. KOCKA und R. MAYNTZ „Wissenschaft und Wiedervereinigung" (Akademie Verlag Berlin 1998, ISBN 3-05-003270-7) an, so daß ich mich gelegentlich auch auf dieses Werk beziehen möchte. Ich werde Zitate daraus mit WW kennzeichnen.

Hier geht es in erster Linie um die weitere Entwicklung einer technischen Disziplin, nachdem die Vereinigung beider deutscher Staaten 1990 einen breiteren Wirkungsrahmen eröffnet hatte. Daß W. FRATZSCHER und K. P. MEINICKE auf S.304 ff. ausdrücklich feststellen, „daß die Verfahrenstechnik in keinem politischen System eine staatsnahe Wissenschaft"

sei, erscheint mir zunächst überflüssig. Seit wann nehmen technische Disziplinen auf den Staat Einfluß? Aber vielleicht ist gar nicht die Disziplin selbst, sondern sind ihre Träger gemeint? So stellt Fratzscher auf S.7 fest: „... daß die Vereinigungskrise zum Anlaß genommen werden sollte, über die Weiterentwicklung des verbesserungsbedürftigen deutschen Wissenschaftssystems nachzudenken. Im Zuge der Übertragung westdeutscher Struktur- und Organisationsmuster ist im Osten vieles abgebrochen. Dies war teils notwendig oder erwünscht, teils jedoch vermeidbar und unbeabsichtigt." Die Art der Übertragung, gelegentlich auch Überstülpung genannt, ging nicht von den Fachwissenschaftlern aus, sondern wurde von Politikern inszeniert. Viele DDR-Wissenschaftler sehen sich einem Rechtfertigungsdruck ausgesetzt, warum sie in der DDR gelehrt und geforscht haben.

Von der Abwicklung der Akademie-Institute der Chemie wurden, entgegen dem Ergebnis der Evaluation durch den Wissenschaftsrat, auch solche Themen betroffen, die als „wertvoll" eingestuft waren. Mir sind Dutzende von Fällen bekannt, daß die Wissenschaftler, die so ihre Stellung verloren, ins Ausland gingen, wo sie auf Grund ihres guten wissenschaftlichen Rufes Anstellung fanden. Nachdem Ostdeutschland schon zu DDR-Zeiten wegen „Republikflucht" viele gute Wissenschaftler verloren hatte, hätte dieser erneute Aderlaß unbedingt vermieden werden müssen, zumal die Bundesregierung nach der Wende immer wieder auf die Bedeutung des Faktors Wissenschaft für den Industriestandort Deutschland hinwies. Die Aussagen zweier Wissenschaftsminister (Riesenhuber und Rüttgers) zum Wissenschaftsstandort Adlershof wurden in bezug auf die Chemieinstitute in ihr Gegenteil verkehrt.

Natürlich ist nichts gegen einen internationalen Erfahrungs- und damit verbunden auch Personenaustausch einzuwenden, nur sollten es sich die Politiker doch zur Aufgabe machen, Bedingungen zu schaffen, die nicht die geistige Elite einer ganzen Region ins Ausland treibt. Auf diese Fragen hingewiesen zu haben, ist das Verdienst der Autoren.

Solange nicht wieder sachliche und objektive Beziehungen möglich sind, wird ein wissenschaftlich orientierter Vergleich der verfahrenstechnischen Konzeptionen in beiden deutschen Staaten nicht zustande kommen. Es ist für die zukünftige Entwicklung von großer Bedeutung, daß K.-P. MEINICKE, K. STEPHAN und R. KUNZE in ihren Beiträgen wertvolles kon-

kretes Material über den Inhalt von Studium und Forschung in der DDR gesammelt und aufbereitet haben, und daß die Ausbildung von Verfahrensingenieuren in der Europäischen Union am Beispiel der Länder Deutschland, Frankreich und Großbritannien verglichen werden kann. Die Unterschiede in der Ausbildung sind sehr groß, auch was die Tätigkeit in der Praxis angeht. Man wird also im einigen Europa beim Studium der Verfahrenstechnik die Qual der Wahl haben.

Nun aber zu den Unterschieden in der Entwicklung der Verfahrenstechnik in den beiden deutschen Staaten. 1928 war in Karlsruhe der erste Lehrstuhl für Verfahrenstechnik in Deutschland gegründet worden. Er löste aber keine weitere Entwicklung aus, so stark hemmte die Tradition der IG Farben die Herausbildung eines modernen chemical engineering. In der DDR, wo es diese Traditionen nicht mehr gab, wurde im Jahre 1952 der erste Lehrstuhl für Verfahrenstechnik an der TU Dresden eingerichtet und mit J.Boesler besetzt. Von dieser Institution ging eine Signalwirkung aus. Vor allem waren es gleichgesinnte Ingenieure, die über ausreichende Erfahrung in der betrieblichen Praxis verfügten, wie C.-J. Heckmann, W. Blauhut, G. Riedel und G. Adolphi, die im Zusammenhang mit den Hochschul-Neugründungen in den Jahren 1953 und 1954 für eine energische Förderung des Faches Verfahrenstechnik sorgten. Mit großer Sorgfalt zeichnet Meinicke diese Entwicklung nach, wobei er zunächst die Institutionen, dann auch schließlich die Lehrinhalte behandelt.

In der DDR war die Verfahrenstechnik spezifisch technologisch orientiert. Das hatte Vorteile für die Reaktionstechnik und für die Umwelttechnik (abproduktarme Verfahren), die sich ohne Schwierigkeiten in den Lehrstoff eingliedern ließen, beförderte aber auch die Systemverfahrenstechnik zu einer selbständigen Teildisziplin (K. HARTMANN, S.171, und W. FRATZSCHER, S.306 ff.). Als ich in den Jahren1984–1990 am IIASA, dem Internationalen Institut für Angewandte Systemanalyse in Österreich zu tun hatte, wurde ich mir der Bedeutung der Systemverfahrenstechnik erst voll bewußt. Die von Meinicke gebotenen Übersichten über die Studienpläne (S.52–58) geben jede Möglichkeit zur subtileren Auswertung. Sie widerlegen einmal die Auffassung, daß Studienpläne in der DDR uniform gestaltet wurden, zum anderen das Gerücht, daß an den Hochschulen der DDR nicht geforscht wurde. Zahlreiche Verfahrensentwicklungen der DDR verdanken ihre Existenz der aktiven Forschungsarbeit an den Hochschulen.

Der Beitrag von R. KUNZE behandelt nicht nur die Haltung der Chemieindustrie der DDR zur Verfahrenstechnik, sondern auch die Entwicklung dieses Industriezweiges überhaupt. Es mußten ja nicht nur Kriegsschäden überwunden werden, sondern anstelle von Anlagen der Kriegsproduktion mußten völlig neue Chemieanlagen errichtet werden. Mit Hilfe dieser Produkte konnte 1954 im wesentlichen der Produktionsumfang des Jahres 1936 wieder erreicht werden. Ich habe diese Zeit der Rekonstruktion in chemischen Großbetrieben erlebt. Bei Arbeitern und Ingenieuren war eine optimistische Grundstimmung vorhanden, die eine kluge politische Führung hätte erhalten müssen, anstatt sie durch Normenexperimente zu gefährden. Der 17. Juni 1953 stellte auch in dieser Hinsicht eine Zäsur für einen naiven Fortschrittsglauben dar. Die von Kunze auf S.117 unter Leuna genannten Produkte HD-Polyethylen und Aceton gehören einer späteren Phase der Entwicklung an (nach 1960). Aceton war Nebenprodukt der Cumol-Synthese von Phenol und als solches höchst unerwünscht. Tatsächlich führte die Chemiekonferenz im Jahre 1958 zu einer wesentlichen Aktivierung des Chemieanlagenbaus. Aber auch der zentralen Planung waren enge Grenzen gesetzt. Die auf S.123 genannten Betriebe waren teilweise veraltet, sie stellten ein Sammelsurium von Produktionseinrichtungen dar, das sich in keiner Weise mit den Betrieben von Uhde oder Degussa messen konnte. Es gelang, auf diese Weise rund 30.000 Mitarbeiter zusammenzubringen, die zu den 320.000 in der chemischen Industrie Beschäftigten in krassem Mißverhältnis standen. In modernen Volkswirtschaften liegt dieses Verhältnis etwa bei 1 : 2. So bestimmte die mangelnde Leistungsfähigkeit des Chemieanlagenbaus der DDR auch die Entwicklung der chemischen Industrie. Natürlich war das nur die Folge nicht ausreichender Investitionsmittel. Seit etwa 1965 konnte von einer „proportionalen Entwicklung der sozialistischen Volkswirtschaft", einem Prinzip, das wir einmal als unabdingbar angesehen hatten, nicht mehr die Rede sein.

Der Beitrag von K. WINTERMANTEL „Zum Verhältnis von chemischer Industrie und Verfahrenstechnik" soll die chemische Großindustrie, hier die BASF Ludwigshafen, zu Wort kommen lassen. Die Ausgangsthese, daß „der Markt bestimmt, ... welche Produkte wie hergestellt werden", kann ich in dieser allgemeinen Aussage nicht gelten lassen. Der Markt legt in einer bestimmten Etappe der Entwicklung fest, welche Kosten vorge-

geben werden können, welche Qualitäten das Produkt haben soll, in welchem Umfang es am Ort des Verbrauchs anzubieten ist, aber nach welcher Technologie es erzeugt wurde, interessiert den Markt nicht. Schwefelsäure kann z.B. nach dem Bleikammerverfahren und nach der katalytischen SO_2 – Oxidation hergestellt werden. Beide Verfahren bestanden längere Zeit nebeneinander, bis in die jüngste Vergangenheit liefen Versuche, das technisch veraltete Bleikammerverfahren „aufzupäppeln". Ob Sauerstoff nach einer Variante des Linde-Verfahrens oder mittels Selektivadsorption an Zeolithen gewonnen wird, interessiert den Markt nicht. Das letztgenannte Verfahren verdankt seine Entwicklung ausschließlich den Fortschritten der Zeolithforschung und der sicheren Beherrschung der Adsorptions- und Desorptionsprozesse.

Wintermantel gibt auf S.101 ein hervorragendes Beispiel für den Erfolg der Zusammenarbeit zwischen Industrie und Hochschule. Er nennt die Namen von 18 international bekannten Wissenschaftlern, die nach einer mehrjährigen Tätigkeit in der Verfahrenstechnik der BASF an Lehrstühle von Hochschulen und Universitäten wechselten. Diese Praxis sollte auch in Zukunft beibehalten werden. Der Beitrag enthält die Zwischenüberschrift „Künftige Herausforderungen". Die hier genannten Probleme sind sicherlich sehr wichtig, sie reichen aber für eine allgemeine Prognose nicht aus. Die Elementarvorgänge der Komplexanalyse, die Nanotechniken, die moderne Werkstofforschung, die selektive Auswahl einzelner Reaktionsabläufe, die Umweltforschung, die abproduktarme Technologien fordert, sind einzubeziehen. Eine allgemeine Prognose ist dringend erwünscht. Sie kann jedoch nur das Werk eines Teams entsprechender Fachkollegen sein.

Auf S. 99 findet sich der Ausdruck „in keinster Weise". Mir ist die gelegentliche Anwendung dieser Verballhornung bekannt. „Kein" ist kein steigerungsfähiges Adjektiv, weniger als „kein" ist nicht möglich. Wir sollten doch auch als Naturwissenschaftler auf unsere Sprache achten.

G. KREYSA und Chr. HIRCHE behandeln die Dechema als Bindeglied zwischen Chemietechnik, Verfahrenstechnik und Biotechnologie. Die Betonung des hohen Wertes wissenschaftlicher Gemeinschaftsarbeit macht die Tätigkeit von Dechema und Achema so wichtig. Wir haben uns stets gern an den Tagungen der Achema beteiligt, soweit wir dazu in der Lage waren. Allerdings hätten wir uns im Osten in den letzten Jahren von der

„im Spannungsfeld von Wissenschaft, Wirtschaft und Staat" (S. 133) stehenden Dechema etwas mehr Unterstützung gegen die Abwicklungstendenzen des Staates gewünscht. Aber diese Hilfe wurde uns leider nicht zuteil.

In Zukunft wird die Biotechnologie noch eine bedeutende Rolle spielen. Mögliche Stoffwandlungen sind bis heute erst zum Teil erkannt und bekannt. Bekanntlich unterhielt die AdW der DDR in Leipzig ein großes Forschungsinstitut für biotechnologische Prozesse, und die Zusammenarbeit mit der Verfahrenstechnik klappte hervorragend. Um Biotechnologie anwenden zu können, braucht man also nicht erst neue ingenieurtechnische Disziplinen zu schaffen.

Die Autoren machen es sich mit dem „brain drain", der Abwanderung von DDR-Wissenschaftlern in den Westen (S.141) etwas zu leicht, wenn sie das allein auf die politischen Faktoren Diktatur und Freiheit der Wissenschaft zurückführen. Dieses Problem ist so vielschichtig, daß es mit wenigen Sätzen nicht dargestellt werden kann. Der Freiheit der Wissenschaft sollte doch wenigstens die Freiheit, im erlernten Beruf einen Arbeitsplatz zu finden, entsprechen. Im achten Jahr nach der „Überwindung der Diktatur" hat der brain drain noch kein Ende gefunden. Demgegenüber standen die Berufungen von Fachkollegen aus den alten Bundesländern auf die durch die Abwicklungen freigewordenen Positionen durchaus nicht immer auf dem erwarteten hohen Niveau.

Der Sammelband wird durch folgende Beiträge ergänzt:

- H. Cremer, VDI und Verfahrenstechnik;
- H. Hoffmann, Zum Verhältnis von Verfahrenstechnik, Chemie-Ingenieurwesen und technischer Chemie;
- K.-E. Militzer, Die Entwicklung der Verfahrenstechnik an der Technischen Universität Dresden;
- E. Klose, Die Entwicklung der Verfahrenstechnik an der Bergakademie Freiberg.

Diese spezielleren Beiträge runden das Themenspektrum ab.
W. Fratzscher schließt sein Vorwort mit folgenden Worten (S.12): „Es bleibt zu hoffen, daß die Beiträge dieses Bandes den Diskussionen zu

Stellung und Entwicklung der Verfahrenstechnik in der Bundesrepublik Deutschland und darüber hinaus neue Impulse verleihen können." Ich möchte hinzufügen: Nicht nur Diskussionen sollten angeregt werden, sondern auch neue Lehrpläne, Forschungskonzepte, Gemeinschaftsarbeiten und neue Vorlesungen. Ich kann dieses Werk allen an der Entwicklung der Verfahrenstechnik interessierten Fachkollegen, aber auch den Studenten wärmstens empfehlen.

Wolfgang Fratzscher, Klaus-Peter Meinicke (Herausgeber), Verfahrenstechnik und Wiedervereinigung, Akademie-Verlag Berlin 1997, ISBN 3-05-501759-5

Wolfgang Schirmer, Berlin

Bei anderen gelesen

Helmut Steiner

Die Tränen der Sieger
Wissenschaft und Wiedervereinigung – eine kritische Bilanz[1]

Der Anspruch ist groß. Es sollen „Voraussetzungen und Folgen, eigene Erfahrungen und Grenzen der Vereinigung der Wissenschaftler" aufgespürt werden, wie die Herausgeber ankündigen. Das Buch ist Ergebnis mehrjähriger Untersuchungen (1994–1997) einer an der Berlin Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW) tätigen interdisziplinären Arbeitsgruppe. Also kein Titel aus dem reichhaltigen Discount-Angebot deutsch-deutscher Beziehungen, sondern eine aufwendig vorbereitete Publikation.

„Wissenschaftliches und administratives Personal strömte aus dem Westen in den Osten und rückte dort z. T. an die Stelle von ostdeutschen Kräften, die in der Konkurrenz um die neu definierten Stellen in den rasch umstrukturierten Hochschulen und anderen wissenschaftlichen Einrichtungen den kürzeren zogen", stellt gleich eingangs Jürgen Kocka, Leiter der Arbeitsgruppe, fest. Auch im Wissenschaftsbereich habe die deutsche Vereinigung zu „krisenhaften Störungen im Osten geführt". Kocka schließt hier die Frage an, was an Inhalten, Methoden und Organisationsformen in Ostdeutschland abgebrochen wurde und warum und ob dies „notwendige Bereinigung oder Verlust" gewesen sei. Habe es nicht auch in einzelnen DDR- Wissenschaftsdisziplinen „spezifische Stärken" gegeben, die man hätte aufnehmen und weiterentwickeln können? Und was könne man aus den „Erfolgen und Mißerfolgen des wissenschaftlichen Vereinigungsprozesses" lernen? Dieser Einstieg verheißt Spannung, doch die Lektüre des Bandes hinterläßt einen zwiespältigen Eindruck.

Da ist zum einen die Auswahl der analysierten Wissenschaftsdisziplinen, begründet mit dem Hinweis, es sollten mehr oder weniger ideologiebelastete, starke und schwache Wissenschaftszweige untersucht werden. Es scheint indes, daß die Auswahl eher zufällig erfolgte, entsprechend der Zusammensetzung der Mitglieder der Arbeitsgruppe: Asien-

und – Afrikawissenschaften (Wolf Hagen Krauth), Biowissenschaften und Medizin (Heinz Bielka und Rainer Hohlfeld), Mathematik (Helmut Koch), Rechtswissenschaft (Sonja Ginnow), Soziologie (Jürgen Kaube), Verfahrenstechnik (Wolfgang Fratzscher und Klaus-Peter Meinicke), Wirtschafts- und Sozialgeschichte (Wolfram Fischer und Frank Zschaler).Obwohl allen beteiligten Autoren ein gemeinsames Frageraster vorlag, so wirken sich unterschiedliche Intimkenntnis sowie verschieden geprägte Sicht auf die DDR auf die einzelnen Beiträge aus, lassen Differenzen sichtbar werden. Die Untersuchung der Wissenschaftsdisziplinen erstreckt sich über 400 Seiten, das eigentliche Substrat des Bandes bilden die vier bilanzierten Aufsätze. Jürgen Kocka schrieb über „Wissenschaft und Politik in der DDR", Renate Mayntz über „Die Folgen der Politik für die Wissenschaft in der DDR", Manfred Bierwisch über „Wissenschaft im Vereinigungsprozeß" und Dieter Simon über „Lehren aus der Zeitgeschichte der Wissenschaft". Die Beiträge reflektieren und bewerten, regen zum Widerspruch bzw. zum Nachdenken an. So sucht Dieter Simon im Praxis-Verständnis der DDR-Wissenschaft, in der öffentlichen Popularisierung wissenschaftlicher Ergebnisse wie auch im Verhältnis von Natur- und Gesellschaftswissenschaften und der Beziehung zwischen Akademie und den Universitäten in der DDR nach Ansatzpunkten für das heutige gesamtdeutsche Wissenschaftssystem. Manfred Bierwisch hingegen ist einzig bemüht, die Prozesse nach 1990 zu rechtfertigen und zu entschuldigen auch dort, wo Mitautoren des Bandes ehrenwerterweise Verluste und Fehlentscheidungen einräumen.

Allerdings, die „Tränen der Sieger" wirken auch nicht recht überzeugend, und so respektabel die kritische Selbstbestimmung von einigen an der Abwicklung beteiligten Akteuren ist, so ist doch die vorgebrachte Entschuldigung – Unkenntnis der DDR-Wissenschaften – recht dürftig. Die deutsch-deutschen Beziehungen waren auch im Wissenschaftsbereich nicht vergleichbar mit denen zwischen Nord- und Südkorea. Oder sollte man in der westdeutschen Zunft tatsächlich nicht die Arbeit der Kollegen im Osten mit zumindest gewisser Neugier verfolgt haben? Unbefriedigend sind auch die im Anschluß an die Selbstkritik artikulierten Folgerungen: Was, Wie und mit wem will ich die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften noch nachträglich etwas von der DDR-Wissenschaft retten bzw. reaktivieren? Ein Hinweis: Soll verlorengeglaubtes wissen-

schaftliches Personal tatsächlich reaktiviert werden, dann wäre mittlerweise entstandene Wissenschaftskultur zu beachten, die von Abgewickelten und Ausgegrenzten durch ehrenamtliche Tätigkeit für diverse Vereine getragen wird. Die Diskussion jedenfalls lohnt sich. Schade nur, daß dieses Buch, das hierfür einen Anstoß bietet, für Zehntausende betroffende DDR-Wissenschaftler zu teuer sein dürfte.

1 Jürgen Kocka/Renate Mayntz (Hg.): Wissenschaft und Wiedervereinigung. Disziplinen im Umbruch. Akademie-Verlag, Berlin. 540 Seiten, geb., 98 DM. Gelesen in: „Neues Deutschland" vom 27. März 1998.

Bei anderen gelesen

Nicht so gewollt
Jürgen Kocka/Renate Mayntz (Hrsg.)
Wissenschaft und Wiedervereinigung – Disziplinen im Umbruch[1]

Sofern man unter Wissenschaft – nach herrschender und trotzdem richtiger Meinung – eine auf Erkenntnisgewinn mit Wahrheitsanspruch gerichtete Forschungstätigkeit samt deren Ergebnis und Weitergabe versteht, ist der Titel des Bandes ein Euphemismus ohnegleichen. Auch, was sein hier zu erörterndes, von *Sonja Ginnow* stammendes Rechtswissenschaft-Kapitel anlangt, immerhin 80 Seiten Text.

Wie es sich am 3.10.1990 null Uhr nicht um eine Wiedervereinigung der beiden nach dem Zweiten Weltkrieg im deutschen Leben- und Sprachraum entstandenen Staaten gehandelt hat, so sind auch weder zu diesem Zeitpunkt noch in den Jahren danach die in den beiden deutschen Staaten vorhandenen Jurisprudenz-Institutionen mit ihren Problemen, Überzeugungen, Methoden, Strukturen und ihrem Personal vereinigt worden. Das schlichte Ergebnis war vielmehr, die durch BRD-Instanzen bewirkte Abwicklung der in der weiland DDR betriebenen Rechtswissenschaft in Gestalt ihrer Forschung- und Lehrinhalte wie ihrer Akteure von Professoren bis zu Assistenten einerseits, und andererseits die dadurch ermöglichte Ausweitung in der BRD betriebenen Rechtswissenschaft einschließlich ihres Personals auf das Beitritts- alias Anschlußgebiet (vgl. etwa: Th. Raiser, Schicksalsjahre einer Universität. Die strukturelle und personelle Neuordnung der Humboldt-Universität zu Berlin 1989–1994, Berlin/Baden-Baden 1998; Jahrbuch 1990/1991 der Akademie der Wissenschaften der DDR und der Koordinierungs- und Abwicklungsstelle für die Institute und Einrichtungen der ehemaligen Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin 1994). – Es sei dies hier ohne Wertung, als pure Tatsachenfeststellung gesagt.

Es habe sich nicht um die Vereinigung zweier Wissenschaftssysteme,

---

1 Abdruck aus: Neue Justiz 8/98, mit freundlicher Genehmigung der Redaktion

sondern um den Transfer des einen Systems durch deren Matadore in das Gebiet des einst anderen Systems samt einer „nahezu perfekten personellen Auslöschung einer Wissenschaftsdisziplin" gehandelt – so bilanziert es die Autorin (S. 224). Demzufolge geht sie asymetrisch vor: Auf eine Darstellung oder gar Bewertung der altbundesdeutschen Rechtswissenschaft wird verzichtet. Behandelt wird ausschließlich die DDR-Rechtswissenschaft. Dabei wird, gestützt auch auf Archivstudien, das Selbstverständnis dieser Wissenschaftsdisziplin, ihre Steuerung, ihr Themenprofil und Anwendungsbezug erörtert. Verzichtet wurde leider auf die Entwicklungsprobleme eines immerhin 40 Jahre währenden Vorgangs und vor allem auf die Beschreibung und Bewertung der Inhalte von Forschung und Lehre, obwohl gerade die erzielten (oder verfehlten) Erkenntnisse das entscheidende Kriterium bei der Einschätzung von Wissenschaft ist (vgl. wenigstens ansatzweise: U.-J. Heuer [Hrsg.], Die Rechtsordnung der DDR, Baden-Baden 1995, S. 549 ff. [D. Joseph]; H.-A. Schönfeldt, „ Zur Geschichte der Rechtswissenschsft in der SBZ/DDR von 1945–1960", in: Veröffentlichungen des Max-Planck-Instituts für Europäische Rechtsgeschichte, Ius commune, Sonderh. 94: Normdurchsetzung in osteuropäischen Nachkriegsgesellschaften. Bd. 1, Frankfurt/M. 1997, S. 189 ff.)

Der als „Neustrukturierung der DDR-Rechtswissenschaft nach der Wende" (5.235) bezeichnete Liquidationsvorgang wird auf acht Seiten abgehandelt, viel zu kurz also, um dessen Hintergründe und Steuerungen darstellen zu können, zumal die dafür erforderlichen Archivstudien wohl nicht zugelassen worden sind: (Der von Ch. Rennig u. D. Strempel hrsg. Band „Justiz im Umbruch. Rechtstatsächliche Studien zum Aufbau der Rechtspflege in den neuen Bundesländern", Köln 1996, spart die Rechtswissenschaft ebenso aus wie die von H. Rottleuthner hrsg. Monographie „Steuerung der Justiz in der DDR", Köln 1994.) Auch der Datenschutz wird ungleich gewährt im nunmehr vereinigtem Deutschland.

In dem von *Jürgen Kocka* ein- und von *Dieter Simon* ausgeleiteten Band – beide waren maßgeblich an der „Übertragung des westdeutschen Wissenschaftsmodells auf den Osten unter westdeutscher Regie" (S. 7), an der „aufschäumenden Immigrationswelle von westlichen Professoren in die ehemaligen DDR-Standorte" (S. 510) beteiligt – spürt man gelegentlich auch ein Stückchen schlechtes Gewissen, ein: So habe man es nicht gewollt, oder jedenfalls nicht ganz so. Es wäre nicht das erste Mal in der

Wissenschafts- wie in der Kriegsgeschichte, daß von denen, die das Geschehen geschehen machten, keiner es eigentlich so gewollt hat.

„Tränen der Sieger" wurden den Verantwortlichen der hier zu besprechenden Forschungsmonographie bereits zugebilligt. Sagen wir es, mit *Nietzsche*, schärfer: Der Gewissensbiß ist ein Zeichen, daß der Charakter der Tat nicht gewachsen ist.

Akademie-Verlag, Berlin 1998, Interdisziplinäre Arbeitsgruppen. Forschungsberichte. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Bd. 6, 540 Seiten, brosch., 98 DM

Prof. Dr. Hermann Klenner