SITZUNGSBERICHTE
DER LEIBNIZ-SOZIETÄT
Band 33 • Jahrgang 1999

trafo Verlag Berlin

ISSN 0947-5850 ISBN 3-89626-213-0

Inhalt

Friedhard Klix und Karl Lanius

Wege und Irrwege der Menschenartigen >>>

Karl Lanius

Kosmologie heute - ein Beitrag zum Weltbild >>>

Lothar Kolditz

Informationsverarbeitung in der Wissenschaft Buchdruck und Internet >>>

Wolfgang Müller

Schäden an wertvollen Emailkunstwerken des Grünen Gewölbes Dresden - Ursachen und Abhilfemaßnahmen >>>

Hans-Heinz Emons und Maria Emons

"Cobalt-Blaufarben" >>>

Ursula Calov

Chemische Asbestentsorgung >>>

Wissenschaftliche Mitteilung

Wolfgang Böhme:

Information über die 4. Internationale Konferenz zur Modellierung von globalen Klimaänderungen und globaler Klimavariabilität >>>

Rezensionen

Hans-Jürgen Treder

Wilfried Schröder: Das Polarlicht >>>

Herbert Hörz

Hans Magnus Enzensberger: Mathematik als Kulturleistung >>>

Herbert Hörz

Hans-Jürgen Treder: Philosophie und physikalische Erkenntnis >>>

Heinz Kautzleben

Wilfried Schröder: Emil Wiechert (Physiker - Geophysiker Wissenschaftsorganisator >>>

Claus Grote

Thomas Stange: Die Genese des Instituts für Hochenergiephysik der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (1940-1970) >>>

Friedhart Klix und Karl Lanius

Wege und Irrwege der Menschenartigen*

Mit unserem Buch unternehmen wir – erstmals in der Literatur – den Versuch, über Jahrmillionen das Zusammenwirken physikalischer, biologischer, sozialer und kognitiver Faktoren auf dem Wege der Menschwerdung und in den Übergangsstadien von der Horde zum Stamm, vom Stamm zum Dorf, zur Stadt und schließlich zum Staat darzustellen.**

In den zurückliegenden drei Millionen Jahren entwickelte sich aus einem aufrecht gehenden Affenmenschen eine Spezies, dessen kognitive Fähigkeiten unbegrenzt erscheinen. Alle, unser soziales Verhalten steuernden Emotionen bildeten sich über Tausende Generationen, in denen unsere Vorfahren in kleinen Gruppen sammelnd und jagend die Erde besiedelten. Sie behandelten ihren Lebensraum nicht schonend und lebten nur darum im annähernden Gleichgewicht mit der Natur, weil sie wenige waren. Ein Selektionsdruck, der zu einem umweltschonenden Verhalten geführte hätte, konnte sich nicht entwickeln.

1 Die Voraussetzungen für die Evolution der Menschen

Lebewesen und Umwelt sind untrennbar miteinander verknüpft. Alle Populationen brauchen zum Leben eine Umwelt, in der sie Nahrung finden, sich fortpflanzen, die physikalischen und chemischen Bedingungen nutzen oder ertragen und natürliche Feinde meiden können. Das Klima ist der Umweltfaktor, der einen tiefgreifenden Einfluß auf die Verbreitung der Arten ausübt. So wirken an Land Temperatur und Niederschlag nachhaltig

* Festvortrag im Plenum zum Leibniztag am 1.Juli 1999.

** F. Klix, K. Lanius. Wege und Irrwege der Menschenartigen. Wie wir wurden, wer wir sind. Stuttgart 1999.

auf die Verbreitung der Pflanzenarten ein, die wiederum die Verbreitung der Tierarten beeinflussen.

In seinem Werk „Über die Entstehung der Arten" postuliert Charles Darwin, daß der Mechanismus entwicklungsgeschichtlicher Veränderungen ein Wettstreit der Lebewesen um den größten Fortpflanzungserfolg sei. Wir wissen heute, daß durch diesen Selektionsmechanismus sich Populationen immer besser an bestehende oder allmählich wandelnde Umweltbedingungen anpassen können.

Die natürliche Auslese ist jedoch nicht die einzige Ursache entwicklungsgeschichtlicher Veränderungen. So können gewaltige Katastrophen – verheerende Vulkanausbrüche, Meteoriteneinschläge – Ökosysteme vernichten, ohne daß ein stetiger Anpassungsdruck den geringsten Einfluß hätte. Der Neodarwinismus allein ist nicht in der Lage, den tatsächlichen Verlauf der Entwicklung des Lebens in seiner Komplexität erschöpfend zu beschreiben. Da, wo historische Befunde ausreichen, um die Abfolge der Ereignisse aufzudecken, können wir den geschichtlichen Entwicklungsweg nachzeichnen; aber eine auch nur näherungsweise Vorhersage über künftige Entwicklungen – zum Beispiel die des Klimas – ist unmöglich.

Der Verlauf der Evolution zum *Homo sapiens* ist keine Folge eines stetigen, unaufhaltsamen Fortschritts, keine Abfolge von Anpassungen, bei denen jede die Vorbedingung für den Folgeschritt war, also keine gerichtete Entwicklung. Sie ist das zufällige Ergebnis zahlreicher miteinander verknüpfter Ereignisse, deren jedes auch einen anderen Verlauf hätte nehmen können.

Betrachten wir beispielhaft vier Verzweigungspunkte auf dem Weg zum *Homo sapiens*:

- Als vor 65 Millionen Jahren der Einschlag eines gewaltigen Meteoriten ein Massensterben unter den Tier- und Pflanzenarten zur Folge hatte, endete das Zeitalter der Dinosaurier und das der Säugetiere begann. Säugetiere gab es fast so lange wie Dinosaurier. Als kleine Insektenfresser besetzten sie geeignete Nischenräume. Kleinwüchsigkeit und weite Verbreitung halfen ihnen, das Massensterben zu überstehen. Aus den Insektenfressern entwickelte sich eine Art primitiver Primaten. Hätten sie nicht zufällig die Katastrophe überlebt, hätte es keine Halbaffen, keine Affen und keine Menschen im heutigen Sinne gegeben.
- Im Verlauf des Miozän bewirkten geotektonische Vorgänge die Bildung

des Hochlandes und des Grabenbruchsystems in Ostafrika. Sie führten zu einer Zweiteilung der Vegetationszonen auf dem afrikanischen Kontinent. Während im Westen die dichten, feuchten tropischen Wälder erhalten blieben, entstanden im Osten gemischte Lebensräume aus Wäldern und offenem Savannengelände. Diese Bioregion war ein wichtiger Faktor für die Entstehung der Hominiden vor fünf bis sechs Millionen Jahren.

- Vor rund 2,8 Millionen Jahren begann das noch anhaltende Quartäre Eiszeitalter. Es führte in Ostafrika zu einer Veränderung der Vegetation. Aus einem Mosaik dichter Wälder und lichter Baum- und Buschsavannen entwickelte sich eine Grassavanne mit geringem Bestand an Hölzern. Das Einsetzen des Quartären Eiszeitalters bewirkte eine Zweiteilung der Familie der Hominiden in die Gattungen *Homo* und *Paranthropus*. Letztere ging den Weg der anatomischen Anpassung und endete vor rund einer Million Jahren mit dem Aussterben der Arten *Paranthropus robustus* und *Paranthropus boisei*. Die Gattung *Homo* durchlief eine andere Entwicklung. Sie erweiterte ihren Nahrungsbedarf. Fleisch diente nicht mehr nur als gelegentliche Ergänzung der Nahrung. Es wurde zum wichtigen Nahrungsbestandteil.
- Das Quartäre Eiszeitalter ist durch abrupte Wechsel zwischen kalten und warmen Phasen charakterisiert. Ganze Ökosysteme verschwanden innerhalb weniger Jahrzehnte als Folge von drastischen Temperaturstürzen und Dürreperioden, um genau so plötzlich nach Jahrhunderten oder Jahrtausenden in einer warmen und feuchten Klimaperiode wieder aufzuleben. Auch der Weg von den frühen Vormenschen über den *Homo erectus* zum *Homo sapiens* war kein stetiger Prozeß mit einer allmählichen Umwandlung zu einem größeren Gehirn, einem flacheren Gesicht, zarteren Backenknochen und kleineren Backenzähnen. Es war ein unstetiger Prozeß in Raum und Zeit. Ohne die zahlreichen Klimasprünge des Quartären Eiszeitalters mit ihren drastischen Folgen wäre der *Homo sapiens*, wie wir ihn kennen, so nicht entstanden.

Wir müssen begreifen, daß der Weg der Evolution zum *Homo sapiens* nur eine unter mehreren möglichen Entwicklungen und nicht ein zwangsläufiges Ergebnis dieser Entwicklung bildete. Wir kennen das Endprodukt, aber es ist falsch, die Anfangsbedingungen in Bezug auf das Endprodukt zu definieren. Die Evolution vollzieht sich auf unstetige, langfristig nicht vorher-

sagbare Weise. Sie als einen kontinuierlichen Weg zum Höheren zu sehen, der zum Homo sapiens als dem Beherrscher der Welt führt, ist eine Wunschvorstellung. Wir sind ein Zufallsergebnis der Evolution.

Wie Fossilfunde belegen, nahm die Gattung *Homo* vor rund 2,5 Millionen Jahren in Ostafrika ihren Ausgang. Die Entstehung der Gattung und ihre Entwicklung zum modernen Menschen ist untrennbar mit der Klimaperiode des Quartären Eiszeitalters verbunden.

Gegenwärtig sind im Jahresmittel 16 Millionen Quadratkilometer von Inlandeis und Gletschern bedeckt. Hinzu kommen im Jahresmittel nochmals 26 Millionen Quadratkilometer Meereseis. Wie die zahlreichen noch vorhandenen Spuren des noch anhaltenden Quartären Eiszeitalters belegen, ist diese Klimaepoche eine Folge relativ kalter Perioden, der Kaltzeiten (Glaziale) und relativ warmer Perioden (Interglaziale). Obwohl die Wechsel von Kalt- und Warmzeiten vermutlich auch frühere Eiszeitalter charakterisierte, gelang es bisher nur für das Quartäre Eiszeitalter, die Feinstruktur seines zeitlichen Verlaufs aufzuklären.

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts erforschten Geologen die von den Eismassen vergangener Kaltzeiten hinterlassenen Spuren. Bevorzugte Regionen sind Europa und Nordamerika. Dieselbe Kaltzeit wird je nach Fundort unterschiedlich benannt. So nennt man die letzte Kaltzeit, die vor ungefähr 110 000 Jahren begonnen hat, sich in einem zweiten Schritt vor ca. 75 000 Jahren verstärkte und endgültig vor 11 500 Jahren durch eine noch anhaltende Warmzeit abgelöst wurde, in Norddeutschland „Weichsel-Kaltzeit" in Süddeutschland „Würm-Kaltzeit", in England „Devension", in Rußland „Valdai" und in Nordamerika „Wisconsin".

Innerhalb des Quartären Eiszeitalters hat es in variierenden Abständen Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten gegeben. Den bisher genauesten Aufschluß über den Wechsel verdanken wir Isotopenanalysen von Bohrkernen.* Auf dem Meeresboden abgelagerte Sedimente enthalten Schalen aus Calziumcarbonat ($CaCO_4$) von winzig kleinen Foraminiferen, die als

* In Molekülen des Wasssers baut sich der Atomkern des stabilen Sauerstoffs aus 8 Protonen und 8 Neutronen auf – er hat die Massenzahl 16 (^{16}O). Unter 1000 Wassermolekülen gibt es jedoch einige, die an Stelle von ^{16}O das ebenfalls stabile Sauerstoffisotop ^{18}O enthalten. Sein Atomkern besitzt neben 8 Protonen 10 Neutronen. Verdunstung und Kondensation von Wasser ist für Wassermoleküle, die ^{16}O oder ^{18}O enthalten, unterschiedlich. Aus der Variation des $^{16}O/^{18}O$-Verhältnisses längs eines Bohrkerns läßt sich die Temperatur ermitteln, die während der Zeit der Sedimentation herrschte.

freischwimmende Einzeller einst im Oberflächenwasser der Meere lebten. In diesen Schalen sind die Eigenschaften des Meereswassers, insbesondere das Verhältnis der beiden Sauerstoffisotope konserviert. Hunderte von Bohrkernen aus den Sedimentschichten der Meere wurden untersucht. Mittels Massenspektrometer wurde schichtweise das $^{18}O/^{16}O$ Verhältnis längs der Bohrkerne bestimmt. Das Alter der Sedimentschicht erhielt man aus radiometrischen Messungen. Das Verhältnis der Sauerstoffisotope läßt sich über der so gewonnenen Zeitskala oder über der Länge der Bohrprobe auftragen. In der Regel wird das Verhältnis als Abweichung – dem $\delta^{18}O$-Wert – von einem Meerwasserstandard angegeben. Als Beispiel zeigt Abb. 1. die Variation von $\delta^{18}O$ längs eines Bohrkerns. Die Bohrprobe aus Meeresbodenablagerungen wurde vor der Nordwestküste Afrikas in einer Meerestiefe von mehr als 2000 Metern gewonnen. Einer Länge des Bohrkerns von 100 Metern entspricht ein Zeitraum von 730 000 Jahren. Niedrige $\delta^{18}O$-Werte entsprechen Warmzeiten, höhere Werte Kaltzeiten. Auffällig ist der langsame, immer wieder durch kürzere Erwärmungen unterbrochene Übergang in eine Kaltzeit und der vergleichsweise rasche Wechsel von einer Kalt- in eine Warmzeit.

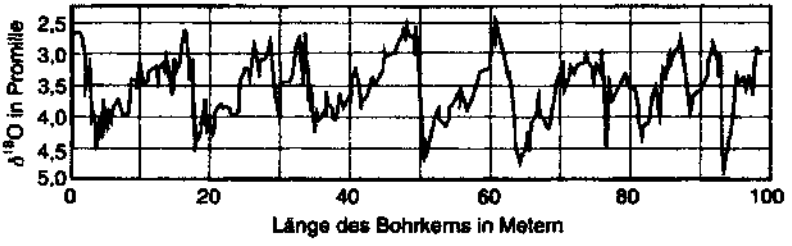


Abb. 1: Variation von $\delta^{18}O$ längs eines Bohrkerns, der vor der Nordwestküste Afrikas in einer Meerestiefe von mehr als 2000 Meter gewonnen wurde. Die Länge des Bohrkerns entspricht einem Zeitraum von 730 000 Jahren. Niedrige $\delta^{18}O$-Werte entsprechen Warmzeiten, höhere Werte Kaltzeiten.

Wie sich aus der zeitlichen Variation des Verhältnisses der Sauerstoffisotope bei zahlreichen Bohrproben erkennen läßt, begann die Vereisung in hohen nördlichen Breiten vor annähernd 2,8 Millionen Jahren. Bis vor einer Million Jahren oszillierte das Klima in höheren Breiten annähernd alle 40 000 Jahre zwischen moderaten Glazialen und Interglazialen. Vor einer

Million Jahren verstärkte sich die Differenz zwischen Glazial und Interglazial deutlich, und der Wechsel erfolgte ungefähr alle 100 000 Jahre.

Um mit einer weitaus höheren zeitlichen Auflösung den Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten aufklären zu können, bedurfte es der Erschließung eines weiteren Klimaarchivs, der Eisschilde Grönlands und der Antarktis. Die in der Kryosphäre archivierten Informationen umfassen mit mehr als 200 000 Jahren die letzten beiden Glazial-Interglazial-Zyklen der Klimageschichte unseres Planeten. Diese Informationen ermöglichen eine vertiefte Einsicht in die Dynamik des Klimasystems, in das komplexe Zusammenspiel seiner physikalischen, chemischen und biologischen Komponenten.

Die Metamorphose von Schnee zu Eis konservierte Klimazeugnisse vergangener Perioden in einer Vielzahl von Spuren: natürliche radioaktive Isotope, stabile Isotope wie die bereits erwähnten beiden Sauerstoffisotope, vulkanischer Staub, Aerosolteilchen und schließlich die Luft mit all ihren Komponenten, also auch die klimarelevanten Spurengase. Mit verfeinerten Meßtechniken in Speziallabors gelang es, die Spuren immer genauer zu identifizieren.

Die übereinstimmenden Resultate der Analysen von Bohrkernen vom Gipfel Grönlands zeigen eine Folge irregulärer Klimasprünge während der letzten Kaltzeit (siehe Abb. 2). Zwischen dem Ende der Eem-Warmzeit vor 114 000 Jahren und dem Beginn der Neo-Warmzeit vor 11 500 Jahren ereigneten sich 23 Wechsel zwischen relativ kalten (Stadialen) und relativ milden Phasen (Interstadialen). Beim Wechsel zwischen Stadial und Interstadial änderte sich die Temperatur um fünf bis sieben Grad Celsius. Die Dauer der Interstadiale variierte zwischen einigen Jahrhunderten und wenigen Jahrtausenden. Besonders bemerkenswert ist der steile Temperaturanstieg beim Übergang von einer kalten zu einer warmen Phase, der nach diesen Messungen stets nur wenige Jahrzehnte dauerte. Die Abkühlung vom Interstadial zum Stadial erfolgte schrittweise über einen längeren Zeitraum. Während eines der Höhepunkte der letzten Kaltzeit vor annähernd 19 000 Jahren lag die Oberflächentemperatur im jährlichen Mittel um rund 10 Grad Celsius niedriger als heute. Die mittlere Wintertemperatur in Nordwesteuropa lag 15–20 Grad unter den gegenwärtigen Werten. Diese starke winterliche Abkühlung war durch die Meeresvereisung bedingt, die sich bis in eine Breite von 45 Grad Nord erstreckte. Die Temperatur des Oberflächenwassers der tropischen Ozeane ging um rund fünf Grad zurück.

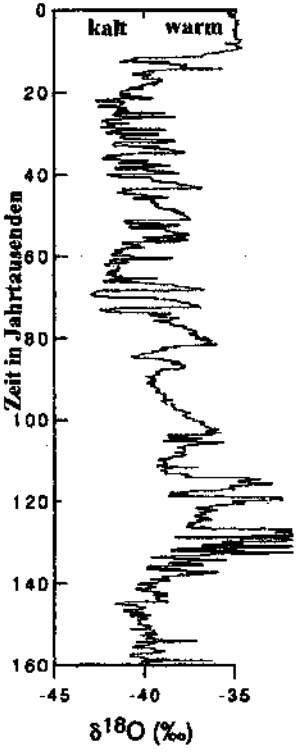


Abb. 2: Klimavariation während der vergangenen 150 000 Jahre. Die Messungen erfolgten längs eines Eisbohrkerns aus dem Zentrum Grönlands.[1]

Mit dem Übergang vom Stadial der jüngeren Dryas zur Präborealen Phase begann vor 11 500 Jahren das Holozän, die Neo-Warmzeit. Im Bereich des Nordatlantiks änderten sich die klimatischen Verhältnisse drastisch innerhalb weniger Jahrzehnte. Die mittlere Temperatur stieg um sieben Grad Celsius. Die Grenze des Wintereises, die während der jüngeren Dryas noch in der Biskaya lag, verschob sich nordwärts in die Norwegensee. Die Übergänge zwischen Stadial und Interstadial und der zur Neo-Warmzeit stellen keine regionalen Ereignisse dar.

Der Beginn des gegenwärtigen Eiszeitalters ist auch in den marinen Sedimenten im Atlantik vor der Westküste der subtropischen Region Afrikas und im Arabischen Meer vor deren Ostküste dokumentiert. Die Variation zwischen kühlem, trockenem und warmem, feuchtem Klima im subtropischen Gürtel Afrikas, in deren Ostteil die Wiege der Menschheit liegt,

wurde durch variierende Staubanteile in den Sedimenten vom Meeresboden gemessen.

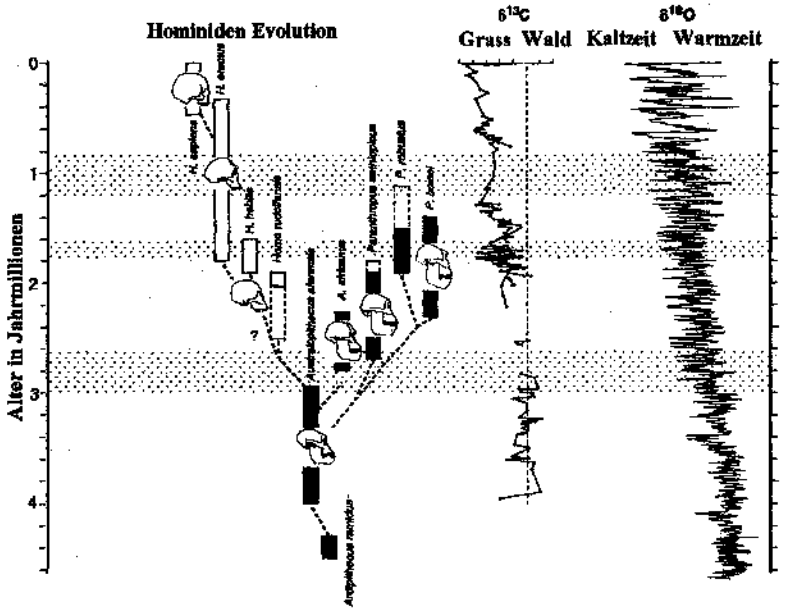


Abb. 3: Gegenüberstellung von Hominidenevolution, Entwicklung der Vegetation Ostafrikas und Klimavariation, gemessen an Eisbohrkernen. Der Wandel der Flora Ostafrikas beruht auf Messungen des Anteils stabiler Kohlenstoffisotope ^{13}C im Erdboden. Die erkennbare Koinzidenz zwischen Klimaverlauf und ostafrikanischer Flora, d. h. der Übergang zu kühleren und trockeneren Bedingungen vor 2,8; 1,7 und 1,0 Millionen Jahren, fällt in Perioden, in denen Übergänge in der Hominidenentwicklung stattfanden.

Längs des subtropischen Gürtels Afrikas wechselten im Rhythmus der Klimaschwankungen feuchte und warme Perioden, in denen der Regenwald weit ausgedehnter war als heute, mit Perioden, in denen sich heute vom Regenwald bedeckte Gebiete Westafrikas in Gras-Baumsavannen verwandelten. Trotz des fragmentarischen Wissens um die zeitliche Entwicklung der Hominiden im Osten Afrikas zeigt eine Gegenüberstellung von Klimaverlauf (gemessen durch die Variation der Sauerstoffisotope), Wandel der

Flora (gemessen durch den Anteil des stabilen Kohlen-stoffisotops ^{13}C im Erdboden) und Entwicklung der Hominiden eine verblüffende Parallelität (siehe Abb. 3).[2]

Vor 3–2,5 Millionen Jahren teilte sich die Familie unserer aufrecht gehenden Vorfahren in mindestens zwei Zweige: die der Gattungen *Homo* und *Paranthropus*. Die Teilung manifestiert zwei Wege der Evolution in Anpassung an ein insgesamt kühleres und trockeneres, häufig wechselndes Klima, das zu einer wachsenden Zahl unterschiedlicher Lebensräume führte. Einerseits den Weg der anatomischen Anpassung zum *Paranthropus robustus* und zum *Paranthropus boisei*, die mit ihren massiven Kauapparaten zu Spezialisten für nährstoffarme, pflanzliche Steppennahrung wurden und andererseits den Weg der Gattung *Homo*. Prägend für sie wurde die Entwicklung eines anderen Organs, des Gehirns, das zum Inbegriff der Menschwerdung wurde. Innerhalb von 3 Millionen Jahren verdreifachte sich das Hirnvolumen. Wir kennen aus der Geschichte der Evolution keine andere Art, bei der in so kurzer Zeit eine derart schnelle Entwicklung des Gehirns – relativ zur Körperentwicklung – stattgefunden hat. Dieser Weg der evolutionären Anpassung ließ den Menschen zum Universalisten werden, der allen klimatischen Veränderungen gewachsen war.

2 Evolutionskräfte

Unsere psychische Verfassung ist eingebunden in Kräfte, deren Ursachen niemand kennt, deren Wirkungen aber jeder erlebt: Die Ekliptik der Erdbahn erzeugt die Jahreszeiten mit Wachstum und Stimmungsänderungen, Wohlbefinden und Depressionen. Weit zurück reichen auch Bedingungen, die unser spezifisches Menschsein geprägt haben. Das geschah vor 4 ½ Millionen Jahren im Süden und Südosten Afrikas. So lassen es uns die frühen Funde der Hominiden erschließen. Die Anfänge des Menschseins begannen mit einem fast noch äffischen Gehirn von 400g und führten zu einem Hirngewicht von 1400–1500g. Es hat nur 2 Prozent des Körpergewichts, aber es verbraucht 20 Prozent der gesamten Energie des Körpers (s. Abb. 4).

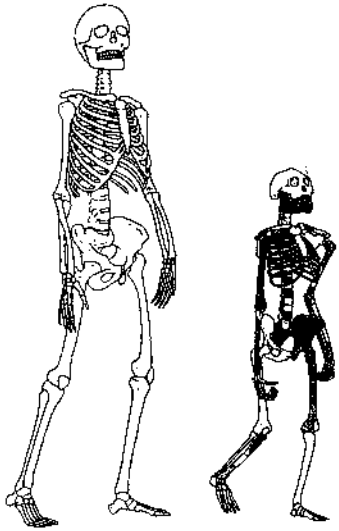


Abb. 4 Frühe Austropithecinen (rechts „Lucy", Alter 18–22 Jahre, Skelett ca. 3,5 Millionen Jahre alt, dunkel: die Fundstücke. Ort: Hadar, Äthiopien. Links: rezenter Mensch.

Die Wege der Hominiden waren nicht mit Rosen bestreut, sondern mit dürrem Savannengras und mageren Buschgruppen bewachsen. Das erschwerte auch die Sicht und erzwang unter Schmerzen den aufrechten Gang. Denn ihre Knie waren angewinkelt und hatten noch keinen Streckschluß. Die Anatomie des Körperbaus wurde umgebildet, damit der zunehmend schwere Kopf auf der Wirbelsäule wie ein Kürbis auf der Spitze eines Stabes in Balance gehalten werden konnte. Eiszeiten und ein hohes Gebirge hatten den Boden im südöstlichen Afrika ausgedörrt. Dürreperioden setzten vor ca. 4 Millionen Jahren ein. Viele Arten sind dabei zugrunde gegangen. Die Überlebenden mußten für ihre Sicherheit in ziehenden Horden oder Gruppen sorgen. Um ausreichend Nahrung zu haben, mußte man weiträumig Routen durchziehen. Dies bedurfte der Kommunikation durch Gesten oder durch Laute; Laute, die die Grenze des Sichtbaren durchdrangen bei Tage wie bei Nacht.

3 Die Stimulierung von Lernleistungen

Aus ernährungsphysiologischen Gründen trat auch ein Mangel an Mineralien ein. Der setzt sich als Hunger durch nach jenen Stoffen, die sie enthalten. In unserem Fall war es im besonderen Hunger nach Phosphor. Der wird gebraucht zum Aufbau von Adenosintriphosphat. ATP ist der Energielieferant für alle Körperzellen. Zu finden war das oft ganz in der Umgebung, in den Knochen und im Hirn der Wirbeltiere. Der Hunger nach Phosphor wurde zum Trieb nach jagdbaren Säugetieren.

Von den zahlreichen Hominidenarten (s. Abb. 5) ist einigen die Sicherung des Überlebens geglückt. Bei den Australopithecinen über das Geschick und die Kraft ihrer Arme und Hände. Aber die Knochen der großen Säuger wie Gazellen, Zebras oder gar Büffel, dafür reichten die puren Körperkräfte nicht. So wurden von den Habilinen an, über *Homo erectus* zum *Homo Heidelbergensis* die Wirkungsverstärkungen der Hände durch Schneidkanten an Steinen zum ersten großen Technologieproblem der Menschhheitsgeschichte; und vom *Homo sapiens* an waren es eigens konstruierte Geräte.

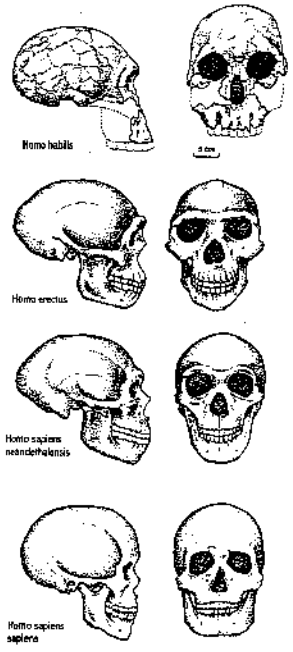


Abb. 5: Schädelformen der Habilinen. Man beachte das starke Hinterhaupt der Neandertaler und das hohe Stirnbein des Neumenschen.

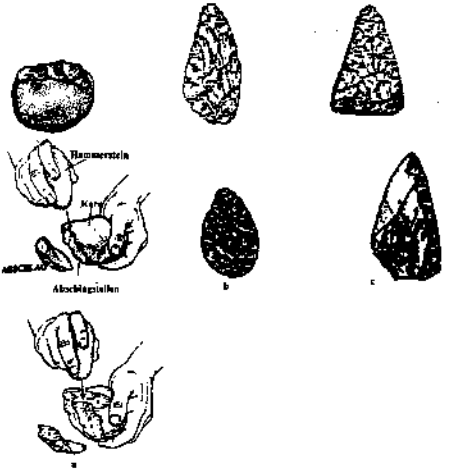


Abb. 6: Drei frühe Technologien der Werkzeugherstellung: a: Oldowan Abschläge, b: Acheuléen, c: Mousterién. b und c-Stücke entstehen durch linear-rekursive Aktionsprogramme, a-Schlag-Schneidkante, noch keine Standardisierung.

Homo erectus war der große Wanderer. Man suchte Eßbares, zog den Herden nach, den Nilufern entlang über Nordägypten bis nach Georgien (vor 1,8 Millionen Jahren), nach China und Nordindien. Man beherrschte die Großwildjagd, trieb Büffel durch Schneisen von Bränden (wie in Bilzingsleben) in Sümpfe. Solche Jagden mußten geplant und mit verteilten Rollen ausgeführt werden. Dazu war Verständigung notwendig. Alte Nervengeflechte hinter dem Innenohr vernetzten sich zur Speicherung von Lautbedeutungen im Planum temporale, dem späteren Epizentrum des Sprachverstehens.[3] Man brauchte Werkzeug, auch für Tricks. Und man nutzte den Acheuléen-Diskus (s. Abb. 6c) zum Absprengen großer Tiere aus der Herde und trieb sie zur Falle hin.[4]

Dennoch: Der Fortschritt in den Werkzeugen war klein. Es war eine linear rekursive Zuschlagtechnik (s. Abb. 6). Schlag für Schlag wurde der Stein geformt. Anfangs zufällig, bis eine Schneidkante entstanden war (s. Abb. 6a). Dann nach dem Bilde des klassischen Faustkeils (s. Abb. 6b). Die Denkarbeit war wohl weniger in die Gestaltung von Werkzeug eingegangen als vielmehr in die Organisation sozialen Verhaltens und sozialer Beziehungen.[5] Wenngleich uns die Analogie zum mentalen Wettrüsten bei Betrugsentlarvungen[6] nicht sehr allgemeingültig scheint, so ist doch wahr: hier halfen keine Instinktmuster mehr. Der ständige Wechsel der Biotope erforderte immer neue Ein- und Umstellungen, er erforderte Lernen und Vergessen, auch bei der Gestaltung kollektiver sozialer Organisationsformen des Gruppenverhaltens.

Wege- oder Routenlernen war eine der folgenreichen Stimuli für kognitive Leistungen. Routenlernen erfordert das Behalten langer Folgen von Wegemarken. Assoziatives Lernen, lange schon verfügbar, mußte unter Selektionsdruck dafür ausgebaut werden. Wegemarken verweisen als Gedächtniseintragungen immer auf die nächste Szene.[7] Aber man muß nach dem Zielerreichen auch zurück zur Lagerstatt. Das war nicht erlernt. Die Umkehrung bzw. Inversion einer erlernten *Folge* (nicht nur einer Paarassoziation, deren schwache Rückwärtskraft aber wohl die Vorbedingung ist), wird zu einer bedeutungsvollen kognitiven Leistung. Vielleicht ist das sogar ein Quellpunkt menschlicher Intelligenz, was sich nach Piaget[8] begründen ließe.

Assoziatives Lernen wird auch sichtbar in den Aktionsschritten bei der linearen und rekursiven Herstellung einfachster Werkzeuge. Unsere Spra-

che hat es bewahrt: Denkschritte werden genauso benannt wie die Einheiten des Gehens. Am Beispiel des „Turmes von Hanoi" haben wir vor Jahren Denkstrategien am Modell untersucht, die unter evolutionspsychologischen Gesichtspunkten interessante Interpretationen für die Wegeoptimierung erfahren könnten, wie z. B. die Verkettung von Teilabschnitten, die Verkürzung oder Verdichtung von Denkwegen.[9] Sozialpsychologische Analysen[10] ergaben dabei, daß Kommunikation über die nächsten Wegschritte zu einer deutlichen Leistungsverbesserung führen kann.

4 Der Weg zum Neumenschen

Am Ende der Erectus- und Bilzingsleben-Zeit hat ein Umbruch in der geistigen Verfassung dieser frühen Menschen stattgefunden. Vier Gerätschaften und vier Grafiken seien als Zeugnisse angeführt (s. Abb. 7 u. 8). In beiden Fällen gibt es Ähnlichkeiten. Zufällige Zuschläge (R. Leakey) der Australopithecinen (7a), rekursiv angebrachte Zuschlagfolgen des *Homo erectus* (7b), des Neandertalers (7c) sowie aus Teilzielen kombinierte Gerätschaften von Cromagnon-Leuten (7d) zeigen große Stufen qualitativer Wandlungen an. Wir sehen sodann (s. Abb. 8) die Zufallsmuster eines (geübten) Schimpansen (8a), dann die einander nebengeordneten Strichfolgen eines Bilzingslebener Künstlers (8b) und darunter zwei kombinierend aufgebaute Grafiken aus dem Neolithikum (Abb. 8c).

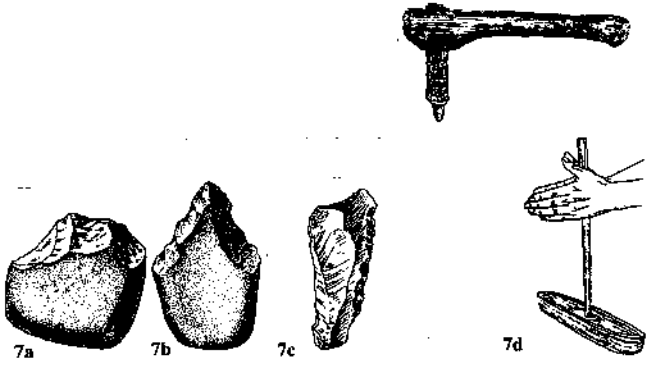


Abb. 7: Erläuterungen im Text.

Was war geschehen? Vor 180 tausend Jahren war eine bittere Kaltzeit zu Ende und in die Eem-Warmzeit umgeschlagen. Wo heute die Sahara liegt, war ein großes Binnenmeer. Auwiesen und Flußniederungen überzogen fruchtbares Land. Nach geraumer Zeit: ein Garten Eden, mit Nahrung überall. Die Tiere blieben und mit ihnen die meisten Menschen. Es begann der Übergang vom Leben in ziehenden Horden zum Leben in Stämmen. Eine rasch zunehmende Bevölkerungsdichte erfordert stets neue Regeln sozialen Zusammenlebens. So auch hier bei dieser Bevölkerungsexplosion (Calvin). Und eine Differenzierung in Rollen, Zuständigkeiten und Befähigungen.

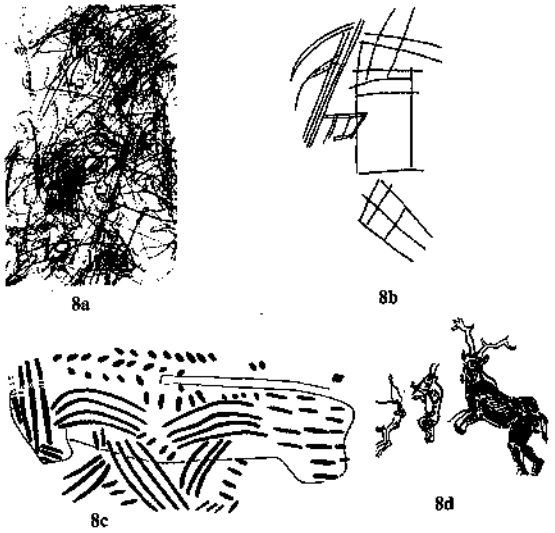


Abb. 8: Erläuterungen im Text.

Woher man das weiß? Man weiß es von den Nachfahren dieser Menschen. Vor 112 000 Jahren setzte eine Kaltzeit ein, von der Antarktis her. Das Land dörrte aus. Die Herden zogen ihrer flüchtigen, pflanzlichen Nahrung nach; die Menschen mußten ihnen folgen, über Oberägypten nach Norden. 98 000–92 000 Jahre alt sind die ersten Neumenschenfunde in Israel und Jordanien (Skhul- und Quafzeh-Funde). Man siedelte in Höhlen Süd- und Südwesteuropas, in Ungarn, Süddeutschland, Südfrankreich, Spanien und Portugal. Es begann die Zeit der neolithischen Kulturen, deren Anfänge zuvor in Nord- und Mittelafrika entstanden waren.

Wir versuchen nun, mit kognitiven Mitteln einen Blick in die mentalen Dispositionen jener frühen Menschen zu tun (ausführlich dargestellt in Klix & Lanius, 1999[11]).

5 Mentale Strukturen beim Neumenschen

Wir haben von Routenlernen und von linearen Aktionsprogrammen gesprochen, mit denen man Ziele erreichen konnte. Seien es Futterquellen durch behaltene Assoziationen von Wegemarken oder Werkzeuge verschiedener Art durch instrumentelles Bedingen. Nach den Zielen kann man Wege und Aktionen klassifizieren. Klassifizieren ist eine uralte Fähigkeit von Nervensystemen, schon der Wirbeltiere.[12] Wenn ein Silbermövenküken etwas länglich Gelbes mit einem roten Punkt darauf sieht, sperrt es den Schnabel auf. Denn so sieht der fütternde Schnabel des Muttertieres aus. Hat der eine Scharte, so wird der zum 'Mutterbilde' assoziiert. Damit wird das Merkmal für Mutter zu einer Art Unterbegriff gegenüber dem Artgenossen. Stirbt die Mutter und füttert ein anderes Tier weiter, verliert die Scharte ihre Funktion als Erkennungsmerkmal. Die Teilklasse Muttertier ist in die Oberklasse Artgenosse gewandelt; in gewissem Sinne also verallgemeinert. Der Philosoph H. Putnam konnte kein Buchen- von einem Ulmenblatt unterscheiden. Als er erfuhr, daß die Ulmenblätter unsymmetrisch am Stiel anwachsen, hatte er die Erkennungsunterscheidung für Ulme und Buche. Ganz elementare Mechanismen des Asoziierens regeln klassifiziertes Erkennen, ganz wie die Aufspaltung zu Unter- und die Vereinigung zu Oberbegriffen.[13]

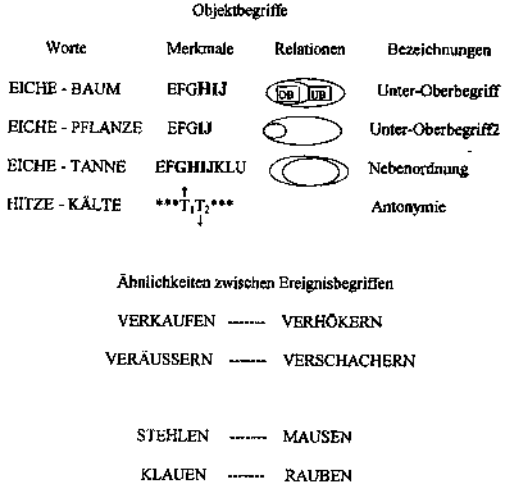


Abb. 9: Verschiedene Arten von Ähnlichkeiten zwischen merkmalsbestimmten Begriffspaaren (oben) und ereignisbestimmten Begriffen. Darüber hinaus wären auch Paare von Ereignisfolgebegriffen wie WERFEN-TREFFEN, ÜBERHOLEN-UNFALL vergleichbar (s. auch Abb. 15).

Wir haben ungezählte Experimente an intelligenten erwachsenen Versuchspersonen durchgeführt und geprüft, wie sie über Merkmale zu Begriffen kommen und wie Beziehungen zwischen Begriffen gebildet werden[14]. Wir fanden, daß es sehr wenige Merkmale sind, die ausreichen, um einen Begriff für eine Objektklasse zu bestimmen, sei es bildlich oder durch benennen der Merkmale: Stamm, Äste, Nadeln gibt schon Nadelbaum; Frucht, länglich-gebogen, gelb und schmackhaft bestimmen eine Banane. Und es sind Merkmals*verhältnisse*, die die *Beziehungen zwischen solchen Objektbegriffen* ausmachen (s. Abb. 9) Nach ihnen regelt sich, ob ein Begriff Unterbegriff ist zu einem anderen, ob er ihm nebengeordnet oder auch gegensätzlich (antonym) bzw. gleichbedeutend ist (synonym). Wobei es in den Über-Unterordnungen wohlbestimmte Hierarchiestufen gibt. Nach einem unbenannten Gesetz muß eine Aussage in der gleichen Hierarchieebene bleiben: Der Jäger schießt einen Fuchs, ist eindeutig, aber nicht, einen Organismus; der Präsident begrüßt ein Lebewesen, ist nicht falsch aber nicht in Gebrauch. Merkmalsverhältnisse bestimmen die Hierarchieebene und mit ihr die Transitivität der Beziehungen: Der Hecht ist ein Fisch, der Fisch ist ein Tier und folglich der Hecht ein Tier. Auf diesen Merkmalsverhältnissen ist die syllogistische Logik und ein Gutteil der formalen Logik aufgebaut. Wesentlicher ist, daß der freie Wechsel der Unter-Oberbegriffsebenen die Anpassungsfähigkeit der Abstraktionsebene an das Denkziel ermöglicht. Vorbereitet wurde dieser Vorgang schon mit den Erkennungsanpassungen in der Art des Silbermövenkükens.

Wir haben derart merkmalsbestimmte Begriffsbeziehungen eingehend analysiert[15] und auch gefunden, daß Derartiges nicht für alle Begriffe gilt. Nur zwei andere Begriffsklassen seien hier erwähnt, die Ereignis- und die Ereignisfolgebegriffe (s. Abb. 10, unten). Ereignisbegriffe klassifizieren Vorgänge (KAUFEN, LEHREN, PFLEGEN, KÄMPFEN). Sie haben einen semantischen Kern (wir nehmen TREFFEN) mit Kernrelationen, die zu Objektbegriffen weisen. Dies mit Rollen als Handlungsträger (Ht), semantischem Kern (Sk) und Rezipient (Rez) sowie Verzweigungen mit Bedeutungsbindungen zu anderen Begriffen (Objekt, Instrument, Location, Finalität). Die Unterschiede zu den Objektbegriffen sind wesentlich: 1. Objektbegriffe haben keine Zeitmarkierungen, Ereignisbegriffe stets. 2. Objektbegriffe in Ereignisklassen sind nicht transitiv: (Ein Sessellift ist ein Sessel, ein Sessel ist ein Möbelstück, ein Sessellift nicht; ein Skalpell ist ein

Messer, ein Messer ist ein Küchengerät, ein Skalpell nicht). Ereignisbegriffe erfordern eine andere Logik, die als Modallogik bekannt ist. 3. Ereignisbegriffe sind nicht propositional aufgebaut. Das hat D. Dörner[16] überzeugend begründet. (Man sieht das auch schon an den (meßbaren) Relationen zwischen den Argumenten nach Abb. 10).

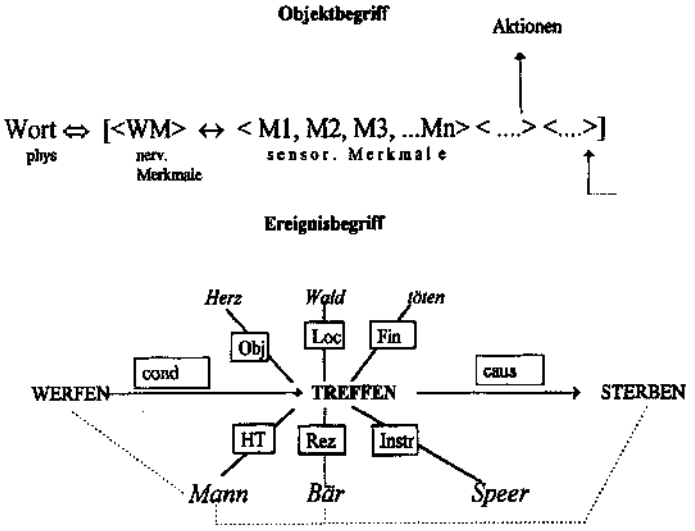


Abb. 10: Merkmalsbestimmte Objektbegriffe vs. Objekt- und relationenbestimmte Ereignisbegriffe. (Experimentell verifizierbare Modellbeschreibung.) Auf den ersteren beruht Syllogistik, auf den letzteren Modallogik, speziell Deontik.

Nach neueren Experimenten (Th. Bachmann[17]) über die Bevorzugung bestimmter Begriffe beim Aufbau von Mitteilungen, haben wir eine als semantische Wurzel Sw für Aussagen eine Dreiersequenz gefunden Sw=(Ht, SK, Rez). Erst danach präzisieren Obj, Instr, Loc und Fin) eine Mitteilung. Ht, Sk, Rez entsprechen im Satzaufbau dem grammatischen Akkord (Subjekt, Prädikat Objekt). Dieser Akkord (S-V-O) ist invariant in allen untersuchten Sprachen. Wir zitieren Pinker[18] S. 122: „Eine der fesselndsten Entdeckungen der modernen Sprachwissenschaft ist die, daß offenbar sämtlichen Phrasen in allen Sprachen der Welt eine gemeinsame

Struktur zugrunde liegt". Es ist dies die S-V-O Wurzel. (Wir schreiben V für Verb und nicht P für Prädikat, weil das doppeldeutig wäre: es gibt ein logisches und ein grammatisches Prädikat.) Die semantischen Relationen sind im sprachlichen Ausdruck Modifikatoren der Aussagen. Ihre begrifflichen Funktionen werden zur Quelleninformation für grammatisch flektierte Sätze. Das wird im Deutschen zumeist in Form von Präpositionen umgesetzt (mit dem Speer, in dem Wald, um zu töten). In der Schriftentwicklung sind sie wie bei der individuellen Sprachentwicklung die spätesten Errungenschaften (M. Pope, W. Stern).

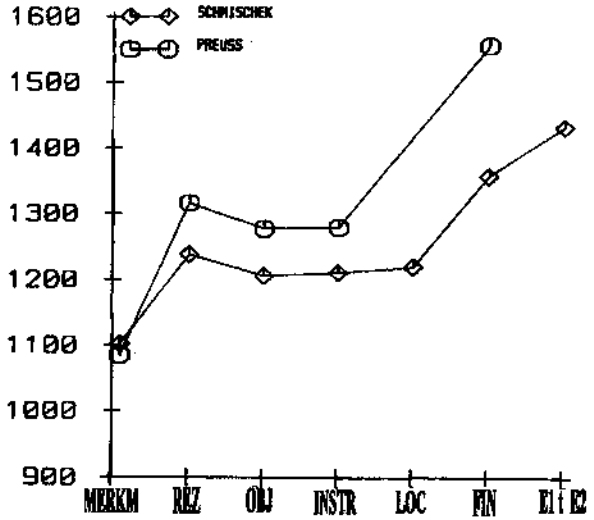


Abb. 11: Unterschiedliche Erkennungszeichen bei verschiedenen begrifflichen Komponenten: ATTR charakteristische Merkmale, REZ=Rezipient, INSTR=Instrument, LOC=Orttsrelation, FIN=Ziel oder Zweck (um...zu), EltE2= als wahr erkannte Relation zwischen Ereignisbegriffen.

Die Ereignisfolgebegriffe betreffen Wirkungen, die zwischen Ereignissen in der Zeit stattfinden: (Temp wie SUCHEN und FINDEN, Cond wie SÄEN und ERNTEN und Caus wie ZIELEN und TREFFEN[19].

Wir haben Analysen der Erkennungszeiten mit diesen Begriffen durchgeführt. (Preuß und Schmiescheck). Dabei zeigt sich, daß es zwischen diesen drei Klassen signifikante Erkennungsunterschiede gibt. Merkmale wer-

den schneller erkannt als verzweigende Relationen und die wieder schneller als Finalität und Ereignisfolgen. Diesen Differenzen entspricht eine sympathicotonische Aktivierung im Erkennungsprozeß, gemessen an der Tendenzstufe zur Pupillenerweiterung (Preuß).

6 Nervale Hintergründe der Spracherkennung und Sprachproduktion

Nervenzellen haben einen Stoffwechsel. Sie brauchen Sauerstoff und Phosphor besonders dann, wenn sie erregt sind und Erkennungs- oder Steuerungsarbeit leisten. Solche Zellen kann man radioaktiv markieren und am Grad ihres Verbrauchs (z. B. an O^{15}) die Erregungsstärke der Nervenzellen sichtbar machen. Beim Sehen von Worten, beim Hören, Beantworten oder Nachsprechen werden verschiedene Areale in der Hirnrinde aktiv. In ihnen liegen Nervennetze, die bei sprachlichen Erkennungs- oder Steuerungsleistungen ansprechen. Das ist kein besonderer Fall in der Architektur der Großhirnrinde. Brodmann hat die Hirnrinde nach Zell- und Lageneigenschaften katalogisiert. Nach neueren Forschungen gibt es unterschiedliche Konnexionen zwischen den Arealen: lokale und weiträumigere. Für die Areale im Wahrnehungssystem ist es so, daß sich in der Evolution Teilsysteme für verschiedene Erkennungen zu einer komplexeren Erkennungsleistung zusammengeschlossen haben. Zum Beispiele die Nervennetze für Formeigenschaften, für Bewegung, Tiefe und Farbe. Ursprünglich getrennt, bilden sie als symbiontisches System eine neue Funktionseigenschaft aus: die Gegenstandswahrnehmung der Säuger.

Bei der Sprache scheint das ähnlich gewesen zu sein. Man unterscheidet arealnahe Vernetzungen zwischen den Zellagen und arealferne. Die einen, so nimmt man an, sind Phonem- und Silbendetektoren bis zur Wortebene, die weiträumigeren Vernetzungen betreffen die Wortverbindungsebene der sogenanten Phrasen (Pulvermüller)[20]. Evozierte Potentiale und bildgebende Verfahren zeigen an, daß auch tiefliegende Regionen mit emotionalen Einschlägen in diese Erkennungsvorgänge eingeschlossen sind.

Man versucht derzeit, sprachliche Leistungen mit evozierten Potentialen zu erfassen. Leider wird dabei zumeist nur von linguistischen Kategorien ausgegangen, nicht aber von den eigentlich bedeutungsstiftenden begriffli-

chen Einheiten. Unterscheidungen wie z. B. semantisch vs. syntaktisch sind zu grobkörnig, um psychologisch relevante Aussagen begründen zu können. Schon die begriffliche Analyse verschiedener Präpositionen zeigt, daß sie sehr verschiedene kognitive Anforderungen und folglich auch Leistungen implizieren, die man begründen und im psychologischen Experiment messen kann21. Dies und vieles andere, Wesentliche geht trotz steigender Meßgenauigkeit der psychophysiologischen Methodik verloren.

Es gibt Erkrankungen, bei denen die Arbeit einzelner Regionen gestört ist. In zwei Fällen zeigen sich deutliche Korrelationen mit unseren Begriffen und ihren Eigenschaften.

Das Worterkennungszentrum (s. Abb. 12) ist ein nach Wernicke benanntes Areal. Bei der einschlägigen Störung ist die Verbindung zwischen der Merkmalscharakteristik eines Begriffs und den zugehörigen Worten gestört. Die Patienten sehen ein Glas Bier, sollen es benennen und sagen: ZUM TRINKEN; sie suchen ein Wort für Palme und sagen EIN SCHMUCKPFLANZE IN ZIMMER; ein Wort für IM KÜHLSCHRANK und sagen IM OFEN. Es wird nach unseren Vorstellungen ein Stück Oberbegriffskodierung angeregt. Die Benennung für einen Teil des gesuchten Begriffs ist verfügbar. Andere Beispiele beziehen sich auf die Nebenordnung. Sie suchen ein Wort für HECHT und sagen KARPFEN, ein Wort für DACKEL und sagen SETTER. Wieder sind die Merkmale für die Oberbegriffe (FISCH, HUND) verfügbar, das also, was HECHT und KARPFEN, DACKEL und SETTER in einer merkmalsreduzierten Oberbegriffsregion gemeinsam haben. Jeweils die spezifizierenden Merkmale fehlen. Die Umkehr von HEIß und KALT betrifft die gleiche Merkmalsdimension. Hier ist die Ausprägungsrichtung vertauscht. Bei erfolgloser Suche kommen Neukonstruktionen vor. Für Kerze sagt ein Patient: Tropfen, die kaputtgehen.

Eine andere aphasische Erkrankung ist nach Broca benannt. Dort bilden die Patienten (nach Kainz und Kleist) „ganz einfache Sätze". Ein Patient beschreibt ein Bild mit einem bettelnden Mann so: DER ... MANN ... BETTLER; ein Bild mit zwei streitenden Männern so: DER MANN ... UND... DER MANN ... SCHREIT AN. Ein anderes Bild so: ZWEI MÄNNER QUATSCHEN ... QUATSCHEN ... HABEN GANZ LAUT SPRECHEN. Es sind bevorzugt S-V-O-Sätze, also Komplexe aus unseren semantischen Wurzeln. Es besteht Unsicherheit, die modifizierenden semantischen Rela-

tionen im Sprachlichen auszudrücken. Wir sagten schon: diese semantischen Relationen sind die wesentliche begriffliche Basis für Flexionen in Wortverbindungen, seien sie syntaktischer oder morphologischer Art. Es werden nicht-lineare Kombinationen von Wortgruppen erzeugt, die durch präpositionale Terme gebunden werden. Dabei ist gleichgültig, ob es für die Relationen spezifische Wortgruppen gibt (wie im Deutschen), oder ob sie mit den Wortstämmen verschmelzen (wie u. a. in uralischen Sprachen, etwa im Estnischen). So zeigt sich im ganzen: „...die Broca-Aphasie ist geprägt durch die Störung der syntaktischen Verarbeitung bei erhaltenem Lexikon, die Wernicke Aphasie durch erhaltene Syntax bei gestörtem Lexikon"* (Höhle[22], S. 12; man vergleiche dazu auch die phänomenologisch mustergültigen Beschreibungen von Kleist, S. 118–199[23]). In unserer Sicht: Die Wernicke-Aphasie betrifft die Interaktionen zwischen den Merkmalssätzen der Objektbegriffe und den zugehörigen Wortmarken mit den merkmalsbestimmten Begriffsbeziehungen, die Broca-Aphasie betrifft die gestörte Umsetzbarkeit der semantischen Relationen von Ereignisbegriffen in die zugehörigen, sogenannten Funktionsworte. Sie bestimmen in starkem Maße die grammatischen Konnexionen in einem Satzaufbau. Beide, Wernicke- und Broca-Areal, sind durch den Fasciculus arcuatus (s. Abb. 12) verbunden, eine angeborene Konnexion, die evolutionsgeschichtlich vermutlich durch Endosymbiose zur Grammatikalität der flektierenden Hochsprachen geführt hat und die im Affenhirn noch nicht aktiv ist. Wohl aber findet man, daß das Planum temporale beim Schimpansen angelegt ist. Das weist auf die freie Assoziabilität von Lautbedeutungen mit Bildeindrücken in einer vormenschlichen Evolutionsperiode hin.

Bleiben die Zeitrelationen für die Motivation (FIN) und für die Konsequenzen (COND oder CAUS). Dazu gibt es neue Daten aus der Neurologie. V. Cramon[24] hat Befunde zusammengestellt, nach denen Zeitrelationen in Strukturen des Frontalhirns registriert werden. (Es sind sogenannte präfrontale Pausenneurone am Sulcus principalis gefunden worden.) Es würde

* Wir behandeln hier die zentralen Grundphänomene der beiden Syndromgruppen. Da die Areale keine geschlossenen Hirngebiete sind, ist der Variantenreichtum der Phänomene besonders groß. Davon zeugen schon die zahlreichen Teilklassen der Aphasien wie amnestische, globale, Leitungs- und transkortikale Aphasien, Dysphasien u. a., die unter sich wiederum nicht scharf abtrennbar sind. Auch bedarf eine kognitive Analyse der Störungen wesentlich feinerer Unterscheidungen als wir hier vorlegen können.

danach nicht verwundern, wenn die re-aktivierbaren Spuren für Zeit und Zeitbeziehungen auch im Frontalbereich lägen. Die signifikanten Zeitverzögerungen bei Finalitätsrelationen könnten das anzeigen (vgl. Abb. 11). Übrigens spielt dieser Bereich bei motivationalen Vorgängen und bei ICH-zentrierten Entscheidungen eine Rolle, u. a. auch bei schizophrenen Erkrankungen.

7 Die Hauptphasen der Sprachevolution

Chomsky hat sich zu dieser Frage kaum dezidiert geäußert. Er schreibt[25]: „Was Systeme wie die Sprache betrifft, ... ist es schon schwierig, sich überhaupt einen Selektionsverlauf vorzustellen, der zu ihrer Entstehung geführt haben könnte." Das wird verständlich, wenn J. Bayer[26] recht hat, der schreibt: „Chomsky meint Grammatik, wenn er Sprache sagt." In der Tat, eine isolierte Selektion grammatischer Strukturen ist, soweit ich sehe, nicht

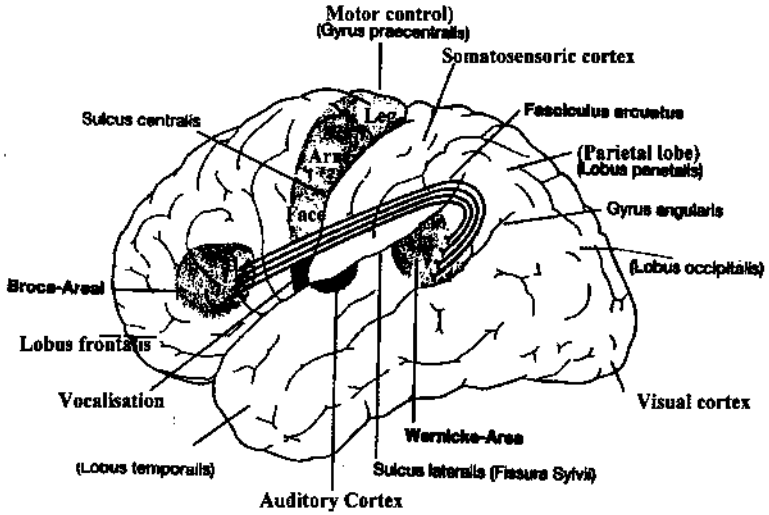


Abb. 12: Die linke Hemisphäre nach Kandel. Man beachte die beiden Sprachareale und Fascicukus arcuatus als Verbindung.

begründbar. Zudem, so ein Makroschritt zur Hochsprache ist aus einer einfachen Mutation schlechtweg nicht ableitbar. Unser Ansatz ist darum ein Versuch zu erklären, wie aus vormenschlichen nervalen Teilsystemen, ausgebildet für unterschiedliche Funktionen, durch deren selektiv erzwungenes Zusammenwirken ein neuer Phänomenkomplex, eben die Sprachstruktur mit ihren Inhalten entstehen konnte. Und das nicht mit einem Schlage. Dabei kann ich hier nur auf die großen Einschnitte in diesem verzweigten Prozeßgeschehen eingehen.

Paläoanthropologen gehen nach den verfügbaren Endokranialausgüssen davon aus, daß erlernte lautliche Verständigung mit den Habilinen eingesetzt hat. Es ist ein wesentlicher Unterschied, ob ein erkennendes Nervennetz mit seinen Funktionen vererbt ist und bei bestimmten Lauten Beute oder Gefahr signalisiert, oder ob die Nervenzellgruppen durch Lernen vernetzt wurden und neu verschaltet werden können. Dies erst macht die Lautbildung adaptiv. Sicher scheint, daß die Vernetzung zwischen Bildern oder Vorstellungen und der Steuerung des Benennens, über den zur Affenzeit noch inaktiven Fasciculus arcuatus erfolgt ist. Das wäre wieder ein Beispiel für Endosymbiose zwischen Nervenzellensembles. Bereits die früheste assoziative Lautbindung an klassifizierte Objektmengen führt zu einem Wortschatz in Begriffen. (Man braucht keinen großen Umfang anzunehmen. Ein australischer Stamm, die Damin, verfügt über 200 Worte und bestreitet damit alle Anforderungen an eine konventionalisierte Umgangssprache.) Die assoziative Anbindung differenzierender, benannter Merkmale an die Wortstämme führt wie durch Affixe zu ihren Unterbegriffen, die Inhibition zu Oberbegriffen. So beginnen mentale Operationen im begrifflichen Wissensbesitz zu arbeiten und mit ihnen das Wechselspiel von Sprechen, Sprache und Denken. Ich werde sogleich begründen, warum wir annehmen müssen, daß die Homo-erectus-Sprache fast grammatikfrei, d.h. eine nicht flektierende, agglutinierende S-V-O-Sprache im Sinne von Pincker und Bickerton und im Sinne der Protosprache von Herrmann und Grabowski[27] war. Die frühesten Grammatikelemente dürften mit den Wortstämmen verschmolzen sein und Information über Numerus, Genus und markante Attribute (die späteren Adjektive) enthalten haben. Die vermutlich älteste lebende, eine Pygmäensprache, hat solche Bildungen. Das Altkoptische und das frühe Sumerische haben diese Modifikatoren im Schriftsprachlichen.

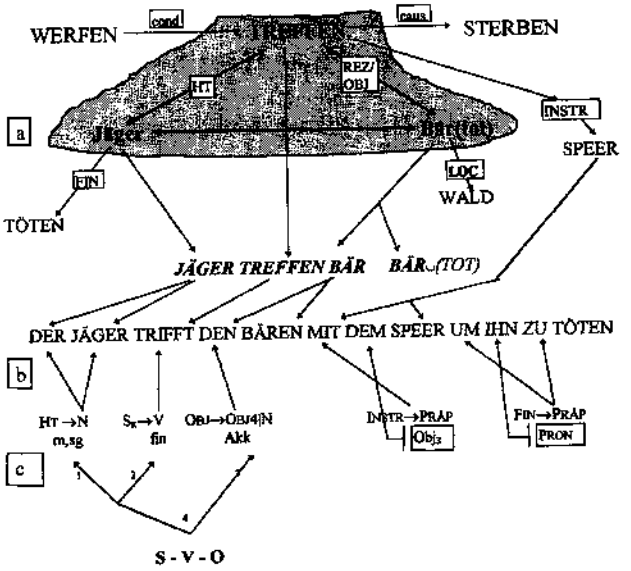


Abb. 13 Versuch einer Erklärung für bestehende Wechselwirkungen zwischen Begriffen, zugehörigen Worten und grammatischen Regeln bei der Erzeugung eines einfachen Satzes. Es ist angenommen, daß mentales Lexikon und grammatische Transformationen unterschiedlichen neuronalen Kompartiments entstammen. Die „semantische Wurzel" der Aussage (a) = S-V-O wird noch ganz ohne grammatische Transformationen verbal kodiert (b). Die werden erst von den modifizierenden semantischen Relationen aus für eine differenziertere Situationsbeschreibung aktiviert. Ebene b: Begriffliche Repräsentation zweier (fast) bedeutungsgleicher Sätze (die Wortbedeutungen sind wahrscheinlich weit gestreut im ZNS). Ebene b, oben: flektionsfreie Umsetzung von HT, SK, REZ/OBJ in eine S-V-O-Form. c und b: Eingreifen grammatischer Transformationen zur Präzisierung der Situationsbeschreibung. (Die caus-Relation des semantischen Kerns (TOT) ist im Satz als Merkmal des Begriffs BÄR (=Attribut) angegeben.) Die Hereinnahme der Finalität ist kein semantischer Verstoß. d: Eine mögliche Erzeugungsstruktur, die genauso auch für das Werkzeug Abb. 7d angesetzt werden kann.

Eine flektierende Hochsprache wurde während der Eem-Warmzeit von

den Neumenschen des Cro-Magnontyps ausgebildet. Die Quellen ihrer Grammatik waren die semantischen Relationen der Ereignisbegriffe. Deren Assoziation mit Lautbildungen eröffnet die Möglichkeit, über lange Vergangenes, über das Unmögliche, über das Übermorgen, über Motive, über das absichtlich vs. unabsichtlich Verursachte mitzuteilen. Konstruktives Denkhandeln am Gerät beinhaltet Wissen um das Vorher und Nachher, um das Wenn-Dann und das Warum, – und darüber, was ICH kann. (Dieses ICH wäre ein Kapitel für sich.)

Wie kann man diese Aussagen begründen?

Wenigstens dreifach, und zwar wie folgt:

1. Sämtliche bekannten Sprachen haben die Ausdrucksfähigkeit einer S-V-O-Kombination (Wer tut Was womit oder mit Wem). Es ist dies eine sprachliche Einkleidung der semantisch kombinierbaren Wurzeln der Ereignisbegriffe. Sie sind auch die Universalien in der unsere Menschheit

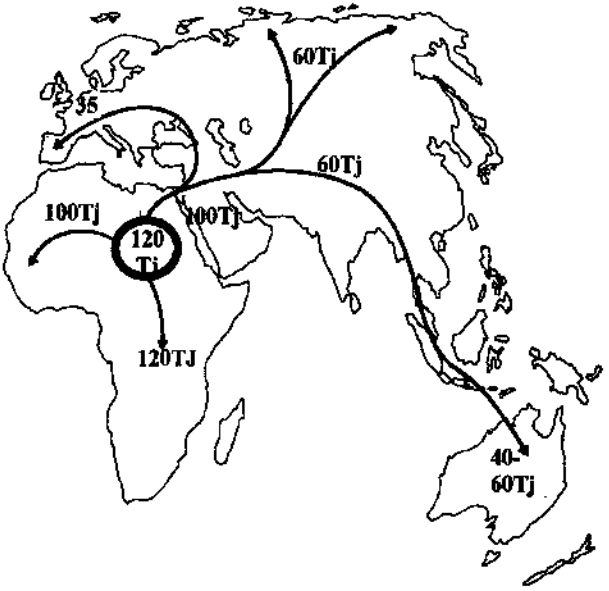


Abb. 14: Zeiträume der Wanderungsbewegungen von Neumenschengruppen. Mit ihnen trennt sich die gemeinsame genetische Ausstattung. (Mitochondrienanalysen). Parallel dazu trennen sich die Phonemgestalten der Wörter.

umgebenden Welt. Es gibt einen Zusammenhang zwischen den Wanderungsbewegungen von Frühmenschengruppen und ihrer genetischen Ausstattung. Spontane Mutationen in der DNS der Mitochondrien gestatten zu ermitteln, in welchen zeitlichen Perioden sich Populationen getrennt haben[28]. Mit diesen Trennungen gingen Gemeinsamkeiten der genetischen Ausstattung verloren, – und auch die Ähnlichkeiten in den lautlichen Benennungen für äquivalente Begriffe in den verschiedenen Sprachen. Die Unterschiede wurden um so größer, je länger die zeitliche Distanz der Trennung wurde. Nach gut übereinstimmenden, genetischen und phonologischen Analysen hat diese Trennung im Zeitraum vor 150 000–120 000 stattgefunden, d. h. während der Eem-Warmzeit, der Zeit der frühen Neumenschen (s. Abb. 14).

2. Die Konstruktionspläne für das Werkzeug der Cro-Magnon-Leute, das sind hierarchische, durch Teilziele gegliederte Kombinationen aus Teilprogrammen des Handelns. Das ist ähnlich den Kombinationen aus den „on-line" Klammerungen in einem hierarchisch gegliederten Satzaufbau (s. Abb. 13d). Eine komplizierte Handlungsstruktur wird, so Bühler und Kainz, in aller Regel sprachlich begleitet. Das hat wohl auch mit der Nähe zwischen Broca-Zentrum und der Mund- und

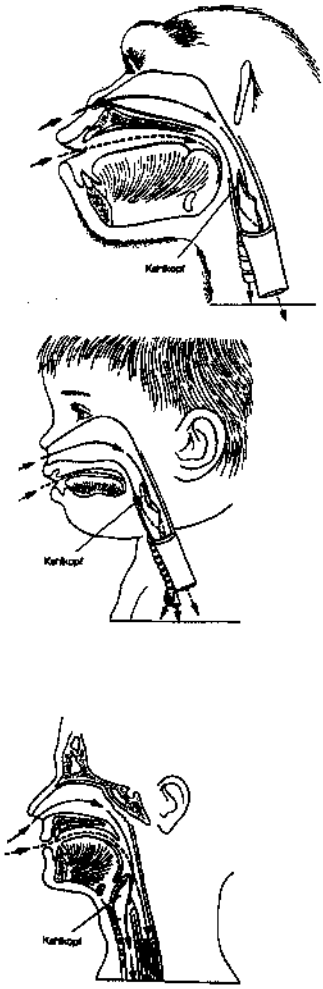


Abb. 15: Zwischen 18. Lebensmonat und 14/15 Lebensjahr senkt sich der Kehlkopf beim Kind, Vokale können feingestuft gebildet werden. Das individuelle Timbre der Lautsprache wird in den sprechmotorischen Steuerungszentren des Kortex fixiert.

Kehlkopfmuskulatur zu tun. Kombinierendes Konstruieren im Denkhandeln verbindet begriffliches Wissen über Ereignisse und Ereignisfolgen, die in den semantischen Relationen der 'behandelten' Begriffe wurzeln. Sie werden zumeist in Form von Präpositionen ausgedrückt, und sie bilden nicht selten den 'Kopf' einer Phrase, die eine semantische Konfiguration bindet. Das ist auch die späteste Errungenschaft in der kindlichen Sprachentwicklung, wie zuerst W. Stern erkannte. Zwischen dem 13. und 15. Lebensjahr ist diese Entwicklung abgeschlossen.

3. Die Ausbildung vokalisch modulierender Sprechweise beginnt im 18. Lebensmonat. Um diese Zeit beginnt der aktive Begriffserwerb und mit ihm die Erkennung der 'Nennfunktion' der Sprache (Bühler). Um diese Zeit beginnt die Senkung des Kehlkopfes beim Kinde (s. Abb. 15). Und mit ihr die variierende Gestaltbarkeit der Vokale. Diese Senkung ist am Ende der Pubertät abgeschlossen. Mit ihr liegt das charakteristische Timbre der individuellen Lautmodellierung beim Sprechen fest. Das Melos der Muttersprache ist für den Rest des Lebens nicht mehr zu verleugnen. In der gleichen Zeit liegt die Schlußphase der Zahnbildung. Mit ihr wird die Gebißform des Homo sapiens sapiens erreicht. Die frühesten Funde dieser Gebisse wurden bei Neumenschen vom Cro-Magnon-Typ gefunden.

So kommen wir zu dem Schluß, daß die Evolution der menschlichen Sprache mit den Lautbildungen für die semantischen Wurzeln beobachtbarer Ereignisse begonnen hat und daß dies eine universelle S-V-O- oder (in unserem Sinne) eine HT, Sk, Obj (bzw. Instr)-Sprache war. Die Erectus-Leute bis hin zum Neandertaler sprachen danach ähnlich wie Broca-Aphatiker, wenn die Störung einigermaßen „rein" und nicht stark von Nebenphänomenen beeinflußt war. Die kognitive Grundlegung der flektierenden Hochsprache war mit den konstruierenden Denkhandlungen der Neumenschen vom Cro-Magnon-Typ verbunden.

Es gibt Evolutionsstränge für den Aufbau kognitiver Strategien für Problemlösen in verschiedenen Kontexten, für mathematische, musikalische und – sehr wahrscheinlich auch – für die Sprachgestaltung in vererbbaren Evolutionsperioden. Die Anfänge liegen in den assoziativen Vernetzungen zwischen Wahrnehmungsdingen großer Ähnlichkeit und benennenden Lautbildungen. Die Kombination von Lautbildungen und ihre freie Verkettung zu Worten ermöglicht die Genese eines frühen Lexikons für Objektbegriffe. Verkettungen von Ereignisbegriffen mit ihren semanti-

schen Relationen führen zu Teilabschnitten (sogenannte Phrasen) der Wortbindungen im Satzaufbau. Semantische Relationen werden oft durch spezifische Partikel, oft sogenannte Funktionsworte kodiert. Sie sind wesentliche Modifikatoren der Bedeutungsbildung in Sätzen.

Die Analogie zum Turmbau zu Babel, mit dem die universelle Sprachwurzel aufgelöst wurde, beginnt in der Eem-Warmzeit, vor 150 000–120 000 Jahren. Sie entsteht mit dem konstruktiven Werkzeugdenken der sapienten Gerätebauer wie mit den Planungsvorhaben der Großwildjäger oder mit den Plänen für die großangelegten Zeichnungen des Jungsteinzeitmenschen. Die Denkstrukturen beim Gerätebau, bei manchen grafischen Gestaltungen wie bei der Konstruktion von Sätzen sind einander zu ähnlich, als daß diese Zusammenhänge zufällig sein könnten.

Wir behandeln hier die zentralen Grundphänomene der beiden Syndromgruppen. Da die Areale keine geschlossenen Hirngebiete sind, ist der Variantenreichtum der Phänomene besonders groß. Davon zeugen schon die zahlreichen Teilklassen der Aphasien wie amnestische, globale, Leitungs- und transkortikale Aphasien, Dysphasien u. a., die unter sich wiederum nicht scharf abtrennbar sind. Auch bedarf eine kognitive Analyse der Störungen wesentlich feinerer Unterscheidungen als wir sie hier vorlegen können.

Literatur

1 Greenland Ice-core Project member, nature 364 (1993), S. 203
2 de Menocal, P. B. Science 270 (1995), S. 53
3 Gannon, J. P. et. al. Asymmetry of Chimpanzee Planum Temporale. Science, Vol. 279, Jan. 1988, pp. 220–221
4 Calvin, W. H. Der Schritt aus der Költe. München 1997
5 Humphrey, N. Consciousness Regained. Oxford, New York 1984
6 Cosmides, L. The Logic of Social Exchange: Has Natural Selection Shaped how Humans Reason? Cognition 31, 1989, pp. 187–276
7 Herrmann, Th. Blickpunkte und Blickpunktsequenzen. Sprache und Kognition 1996, 15, S. 159–177; vgl. dazu auch Wender, K. F. Kontexteffekte und Routenwissen. Kognitionswissenschaft, 1998, H. 2, S. 68–74
8 Piaget, J. Psychologie der Intelligenz. München 1976
9 Goede, K. Analyse des Lösungsprozesses der Scheibenaufgabe, Diplomarbeit, dargestellt in Klix, F. (1971): Information und Verhalten. Berlin 1966
10 Gundlach, W. & Schulz, G. Kognitive und kommunikative Komponenten des problemlö-

severhaltens in kleinen Gruppen. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena 1990
11 Klix, F. & Lanius, K. Wege und Irrwege der Menschenartigen. Stuttgart 1999
12 Klix, F. Erwachendes Denken. Heidelberg 1992
13 Foppa, K. Language Acquisition – a Human Ethotological Problem? In: Social Science Information SAGE, London 1978, pp. 93–105
14 Hoffmann, J. Die Welt der Begriffe. Berlin 1986. Klix, F. Gedächtnis und Wissen. In: mandl, H. und Spada, H. (Hrsg.) Wissenspsychologie. München 1988. Schmieschek, M. Die Strukturbeschreibung von ereignisbestimmten Wissensbesitz. Dissertation Humboldt-Universität, Berlin 1989. Van der Meer, E. Über den anforderungsabhängigen Einsatz von begrifflichen und inferentiellen Wissen. Zeitschr. f. Psychologie, 1985, 193, S. 87–117
15 Klix, F. Die Natur des Verstandes, Göttingen 1992. Van der Meer, E. Wissensdynamik. In: Ber. 37. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie. Göttingen 1990, S. 350–359
16 Dörner, D. Über die Gefahren und die Überflüssigkeit der Annahme eines „propositionalen" Gedächtnisses. In: Lüer, G. und Laß, U. (Hrsg.): Erinnern und Behalten. Göttingen 1997
17 Bachmann, Th. Die Ähnlichkeit von Ereignisbegriffen bei der Analogiebildung. Münster 1998 etc
18 Pinker, St. Der Sprachinstinkt. München 1996
19 Beyer, R., van der Meer, E., Hagendorf, H. Nutzung der zeitlichen Organisation von Wissen beim Verstehen von Sätzen und Texten. Ztschr. f. Psychologie 1998, 206, S. 105–206
20 Pulvermüller, F. et.al. Neurobiological Mechanisms of Language Acquisition. Language Learning, 1994, 44, 4 S. 681–734
21 Ahnert, L. Entwicklungspsychologie Analysen des Verstehens von Präpositionen (Arbeitstitel) 1983
22 Höhle, B. Aphasie und Sprachproduktion. Opladen 1995
23 Kleist, K. Über Leitungsaphasie und grammatische Störungen. Monatsschrift für Psychatrie und Neurologie 1916, 40, S. 118–199
24 Cramon, Y. von, Die Bedeutung der präfrontalen Hirnrinde für das Arbeitsgedächtnis von Primaten. Nova Acta Leopoldina, Bd. 76, No. 303, Heidelberg 1997, S. 265–284
25 Chromsky, N. Language and Problems of Knowlegde. Cambridge 1988
26 Bayer, J. Form und Funktion von Kasus bei Agrammatismus. In: Linguistische Berichte; Grammatik und Kognition, Opladen 1987, S. 81–118
27 Herrmann, Th. & Grabowski, J. Spektrum, Heidelberg 1994
28 Cavalli Sforza, L. L. Genes, Peoples and Laguage. In: Scietific American 1991, 11, S. 72–79

Karl Lanius

Kosmologie heute – ein Beitrag zum Weltbild*

Das grundlegendste und umfassendste Weltbild, d. h. das Bild vom Ursprung, der Natur und der Entwicklung des Weltalls – Kosmos oder Universums –, wird durch die Physik gegeben. Heute verstehen wir unter Kosmos das größte der Beobachtung zugängliche System, in dem die Gravitationswechselwirkung bestimmenden Einfluß besitzt.

Wenn wir das Universum als das nicht erweiterbare Größte, d. h. als einen Grenzbegriff verstehen, so stellt die Kosmologie eine im Laufe der Zeit dem jeweiligen Erkenntnisstand entsprechende Beschreibung eines einmaligen Systems dar.

Soweit die geschriebene Geschichte der Menschheit zurückreicht, haben wir Zeugnisse von Weltbildern. Die ersten uns schriftlich überlieferten Antworten sind die religiösen Mythen, die den Menschen ihrer Zeit ein dem damaligen Stand ihrer gesellschaftlichen Entwicklung adäquates Weltbild gaben. Wie wir heute wissen, waren dies zwar unvollkommene, aber ganzheitliche Antworten, die alle Menschen erreichten. Über zehntausende von Jahren war für unsere Vorfahren die Erde der Mittelpunkt des Universums. Mit der Entwicklung der Wissenschaft lernten wir, daß die Menschheit weder das Zentrum noch der Zweck des Universums ist. Das naturwissenschaftliche Weltbild seit Galilei, Newton und Einstein gestattete uns ein tieferes Eindringen in den Mikro- und Makrokosmos, aber es erreichte nur das Bewußtsein einer kleinen intellektuellen Elite. Eine Massenwirksamkeit erreicht das Weltbild des 20. Jahrhunderts nicht mehr.

In wenigen Wochen endet das 20. Jahrhundert. Gehen wir um hundert Jahre zurück. Astronomen und Physiker bezeichneten auch damals das Universum als ein gravitativ wechselwirkendes System. Aber ihre Beobachtungs- und Meßtechniken endeten an den Grenzen der Milchstraße. Die

* Vortrag, gehalten vor der Klasse für Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 18. November 1999.

Physik wußte zu wenig über die Eigenschaften der Atomkerne und die Äquivalenz von Energie und Masse war unbekannt.

Lassen wir zwei vormalige Akademiemitglieder zu Wort kommen. 1904 schrieb Hugo von Seeliger, Direktor der Münchener Sternwarte an Hermann Vogel, Direktor des Astrophysikalischen Instituts in Potsdam zur Frage, ob Nebelflecke Teil der Milchstraße oder Welteninseln ähnlich der unseren seien: „...bisher ist keine Tatsache bemerkt worden, die dazu zwänge, in einigen der genannten Gebilde etwa Weltensysteme zu erblicken, die als unserem Sternsystem koordiniert angesehen werden müssen."

Obwohl es abweichende Meinungen gab, und einige Astronomen in den am Himmel sichtbaren Spiralnebeln ferne Milchstraßensysteme vermuteten, stellte sich Vogel auf den Standpunkt des beobachtenden Astronomen. Er bemerkte: „Es läßt sich aber noch nicht sagen, ob diese Vermutung richtig ist, da über die Verteilung der Spiralnebel am Himmel aus Mangel an Material noch keine Untersuchungen haben angestellt werden können."

Das Bild des Kosmos vor hundert Jahren beschreibt der amerikanische Astronom Simon Newcomb in seinem Buch *„The Stars. A Study of the Universe"*, London 1902. Am Ende des Buches faßt er seine Schlüsse u. a. in folgenden Sätzen zusammen:
„Soweit wir aus der Abzählung der Sterne in allen Richtungen und aus dem Anblick der Milchstraße schließen können, ist unser Sonnensystem dem Mittelpunkt des Universums nahe... Die Begrenzung unseres Universums ist wahrscheinlich etwas unbestimmt und unregelmäßig... Die Zeit, die das Licht braucht, um die entsprechende Entfernung zu durcheilen, ist größer als dreitausend Jahre." Und schließlich sagt er: „Die Gesamtzahl der Sterne ist nach Hunderten von Millionen zu zählen."

Welches Bild vom Universum haben wir zum Ausgang des 20. Jahrhunderts? Unser Milchstraßensystem ist eine Spiralgalaxis mit vier Spiralarmen. In der nachfolgenden Tabelle sind einige ihrer Daten zusammengestellt.

Durchmesser in der galaktischen Ebene	100 000 Lichtjahre
Dicke im Kernbereich	16 000 Lichtjahre
Dicke in den äußeren Regionen der Scheibe	3 000 Lichtjahre
Durchmesser des galaktischen Halos	160 000 Lichtjahre
Abstand der Sonne vom galaktischen Zentrum	28 000 Lichtjahre
von der galaktischen Ebene	45 Lichtjahre (nördlich)
Gesamtmasse	$1{,}4 \cdot 10^{12}$ Sonnenmassen
Kugelsternhaufen (geschätzte Zahl)	300
offene Sternhaufen (geschätzt)	15 000
Rotationsgeschwindigkeit am Ort der Sonne	220 km/s
Rotationsdauer am Ort der Sonne	$200 \cdot 10^6$ Jahre
Alter der Galaxis	ca. 1010 Jahre

Tabelle. Einige wichtige Daten zum Milchstraßensystem

Die Galaxis gehört zur lokalen Gruppe von Galaxien, zu der auch der Andromedanebel und die beiden Magellanschen Wolken zählen. Die lokale Gruppe, der annähernd 30 Galaxien angehören, hat eine Ausdehnung von einigen Millionen Lichtjahren. Sie liegt am Rande eines Galaxienhaufens, des Virgo-Haufens. Er umfaßt ca. 2000 Galaxien. Sein Zentrum befindet sich in einer Entfernung von rund 50 Millionen Lichtjahren.

Galaxienhaufen sind die größten durch Gravitation zusammengehaltenen Strukturen im Universum. Sie wiederum bilden Superhaufen. Der Virgo-Haufen und, neben zahlreichen anderen, auch unsere lokale Gruppe gehören zum Virgo-Superhaufen.

Superhaufen mit einer Ausdehnung von rund 100 Millionen Lichtjahren bilden langgestreckte netzartige Filaments, die gigantische Leerräume umschließen. Erst weit oberhalb einer Ausdehnung von 100 Millionen Lichtjahren wird die räumliche Verteilung der Galaxien im Universum, von dem wir mehr als 10 Milliarden Lichtjahre überblicken, nahezu gleichförmig.

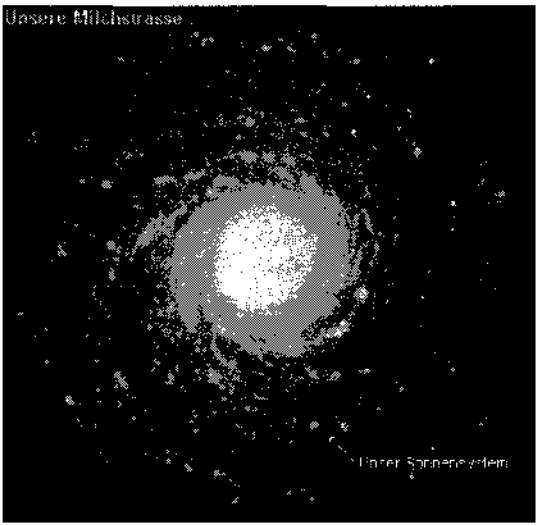


Abb. 1 Bild der Milchstraße

Wie weit haben wir uns vom Mittelpunkt entfernt, in dem der *Homo sapiens sapiens* den weit überwiegenden Teil seiner Existenz zu leben glaubte? Vom Geozentrismus zum Heliozentrismus, von dort in einen der Spiralarme der Milchstraße, in der die Sonne als ein Stern neben 100 Milliarden anderen seit 4,6 Milliarden Jahren ihr Licht aussendet. Das Milchstraßensystem ist eine Spiralgalaxie unter 100 Milliarden anderen. Sie ist angesiedelt in einer der unzähligen lokalen Gruppen am Rande eines Galaxienhaufens. Weder im kosmischen Maßstab noch im irdischen, von einer Sonderstellung des Menschen ist nichts geblieben.

Alle vorstehend skizzierten Einsichten in die Struktur und Ausdehnung des Universums danken wir der Entwicklung neuer Instrumente und neuer Beobachtungs- und Meßtechniken in der Astronomie.

Die Expansion des Universums

Die beiden wichtigsten Schritte zur Erschließung des Universums in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts sind mit den Namen der amerikanischen Astronomen Harlow Shapley und Edwin Hubble verbunden.

Shapley begann 1914 seine Arbeit am Mount-Wilson-Observatorium in

Kalifornien. Das Problem jener Jahre war die Fixierung eines geeigneten Maßstabs zur Vermessung der räumlichen Ausdehnung der Galaxis. Die Astronomen kannten veränderliche Sterne, die Cepheiden, benannt nach dem Stern Delta im Sternbild Cephus, deren Leuchtkraft eindeutig mit der Periode zusammenhängt.* Die Helligkeit des Sterns Delta-Cephei ändert sich periodisch in einem 5,4tägigen Rhythmus. Durch Beobachtung der Helligkeitsänderung solcher Sterne als Funktion der Periode fand man einen linearen Zusammenhang zwischen Leuchtkraft und Periode: Je größer die Periode um so heller der Stern. Da ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Periode und Leuchtkraft besteht, läßt sich aus der Periode die Leuchtkraft ermitteln und aus der scheinbaren Helligkeit des Sterns seine Entfernung. Zur Eichung des Verfahrens muß man jedoch wenigstens die Entfernung eines Delta-Cephei-Sterns kennen. Die Lösung dieses Problems gelang dem jungen Shapley. Damit war den Astronomen eine „Standardkerze" zunächst zur Vermessung der Galaxis und bis in die Gegenwart zur Vermessung entfernterer Galaxien gegeben.

1921 wurde das 2,5m-Spiegelteleskop auf dem Mount Wilson in Betrieb genommen. In den Jahren 1923/24 fand Edwin Hubble in Spiralnebeln 36 Delta-Cephei-Sterne. Mit Hilfe der von Shapley geeichten Periode-Leuchtkraft-Beziehung bestimmte er ihre Entfernungen. Diese übertrafen die Ausdehnung der Galaxis um wenigstens eine Größenordnung. Damit war nach 170 Jahren Kants Weltinsel-Hypothese bewiesen.

Gemessen am Zeitraum der menschlichen Existenz, muten uns astronomische Erscheinungen stationär an. So bemerkt Aristoteles: „In der ganzen vergangenen Zeit hat sich, soweit die Erinnerung reicht, der oberste Himmel weder im Ganzen noch in irgendeinem seiner eigentümlichen Teile verändert."**

Auch die Jahrhunderte währende Entwicklung der Naturwissenschaften seit Galilei und Newton änderte nichts an der tiefen Überzeugung eines statischen Universums. Die im Laufe der Zeit entwickelten Modelle hatten eines gemeinsam: Es waren Modelle, die die Struktur eines stationären Universums beschrieben. Eine Evolution schlossen sie aus.

---

* Die Leuchtkraft ist die sekundlich von der gesamten Oberfläche des Objekts abgestrahlte Energie. Ihre Bestimmung setzt die Kenntnis seiner Entfernung voraus. Was man unmittelbar mißt, ist stets die scheinbare Helligkeit.

** Aristoteles, Vom Himmel, von der Seele, von der Dichtkunst. Zürich 1950.

1916 veröffentlichte Albert Einstein die allgemeine Relativitätstheorie, in der er die enge Verknüpfung der Gravitation mit der Struktur von Raum und Zeit deutlich machte. Da es nahelag, diese moderne Gravitationstheorie auf das Universum anzuwenden, untersuchte Einstein, ob die Bewegungsgleichungen seiner Theorie für diesen Fall stationäre Lösungen besitzen. Durchdrungen von der Überzeugung eines statischen Universums, und damit den konservativen Gedankengängen zu Beginn des 20. Jahrhunderts voll verhaftet, änderte Einstein seine Gleichungen durch Einfügen eines zusätzlichen Gliedes, der kosmologischen Konstante.

Zum Ausgang des 20. Jahrhunderts sind wir von der Idee eines sich entwickelnden Universums überzeugt. Wir wissen heute um die Evolution der Sterne, die vergangenen Generationen in ewigem Gleichmaß zu strahlen schienen. Wir können die Expansion des Universums mit den im Laufe der Jahrmilliarden sich wandelnden Materieformen beschreiben. Seit einigen Monaten verfügen wir über neue Beobachtungsdaten, die es wahrscheinlich erscheinen lassen, daß die Expansion des Kosmos sich im Laufe der Zeit beschleunigt und ewig anhält.

Es bedurfte einiger Jahrzehnte intensiven wissenschaftlichen Meinungsstreits bis sich die Überzeugung von der Evolution des Kosmos durchgesetzt hatte.

Edwin Hubble gelang nicht nur die sichere Identifizierung der Spiralnebel als Galaxien ähnlich dem Milchstraßensystem. Er ermittelte auch einen entscheidenden Zusammenhang zwischen der Galaxienbewegung und ihrer Entfernung, der die Evolution des Universums verständlich machte. 1929 veröffentlichte er eine Arbeit mit dem Titel „Eine Beziehung zwischen Entfernung und Radialgeschwindigkeit bei extragalaktischen Nebeln". Der von ihm entdeckte einfache Zusammenhang zwischen der Fluchtgeschwindigkeit v, mit der sich Galaxien radial von uns fortbewegen, und ihrer Entfernung d lautet:

$$v = H \cdot d$$

Den Proportionalitätsfaktor bezeichnet man als Hubble-Parameter oder Hubble-Zahl. Er gibt an, um welchen Betrag die Fluchtgeschwindigkeit wächst, gemessen in Kilometer pro Sekunde [km s^{-1}], bei einer Zunahme der Entfernung der beobachteten Galaxie um ein Megaparsec [Mpc], d. h. 3,26 Millionen Lichtjahre.

Als Hubble dieses einfache Gesetz formulierte, hatte er von nur 24 Galaxien geschätzte Entfernungen aus der Periode von Delta-Cephei-Sternen. Die Werte der Radialgeschwindigkeiten wurden aus der Rotverschiebung der Spektrallinien in den Spektren der Galaxien bestimmt.

Bereits 1888 hatte Hermann Vogel in Potsdam gezeigt, wie man aus den Sternenspektren auf ihren Bewegungsstand schließen kann. Er beobachtete eine Verschiebung der Linien in den Spektren, deren Ursache die Bewegung des emittierenden Sterns ist. Findet die Bewegung vom Beobachter weg statt, so ist die von ihm gemessene Wellenlänge λ_0 größer als die Wellenlänge λ, die ein ruhendes Objekt emittieren würde. Das Verhältnis

$$\frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda}$$

bezeichnet man als Rotverschiebung. Bewegen sich Quelle und Beobachter aufeinander zu, findet eine Verschiebung hin zu kürzeren Wellenlängen statt.

Das Licht der Spiralnebel ist eine Überlagerung des Lichts der Milliarden eine Galaxie bildender Sterne. Es ist ein glücklicher Umstand für die Beobachtung, daß alle Sterntypen die Frauenhoferschen H- und K-Linien zeigen, und daß sie deshalb auch im integralen Licht einer Galaxie zu sehen sind.

Beim Vergleich der Positionen der dunklen Frauenhoferschen Linien in den Spektren der Galaxien mit den aus der Periode der Delta-Cephei-Veränderlichen ermittelten Entfernung fand Hubble einen linearen Zusammenhang zwischen der Rotverschiebung und der Entfernung der Galaxien

$$z = H \cdot \frac{d}{c}^{*}$$

Er deutete die Ursache der Rotverschiebung als Doppler-Effekt und erhielt den linearen Zusammenhang zwischen Fluchtgeschwindigkeit und Entfernung. Direkt beobachtbar ist jedoch nur der lineare Zusammenhang zwischen z und d.

Das eigentliche Problem bei der Messung von H ist nicht die Messung der Rotverschiebung, sondern die Entfernungsbestimmung von Galaxien. In Galaxien, deren stellarer Inhalt mit den zur Verfügung stehenden astro-

* c bezeichnet die Vacuum-Lichtgeschwindigkeit

nomischen Geräten auflösbar ist, werden geeignete Indikatoren, wie die bereits erwähnten Standardkerzen, die Delta-Cephei-Sterne, aufgesucht und ihre Periodizitäten gemessen.

Die wechselvolle Geschichte der Entfernungsmessungen von Galaxien führte bis in die Mitte der neunziger Jahre zu folgenden Grenzen für die Hubble-Zahl:

$$H = 50 - 100 \text{ km } s^{-1} Mpc^{-1}$$

Erst dank der neuen, im Laufe der neunziger Jahre zum Einsatz gelangten Teleskope, wurde ein Qualitätssprung in der Messung der Hubble-Zahl erreicht. Als Mittelwert unterschiedlicher Messungen wird heute nachstehender Wert angegeben: $H = 65 \pm 7 \; km \; s^{-1} \; Mpc^{-1}$. *

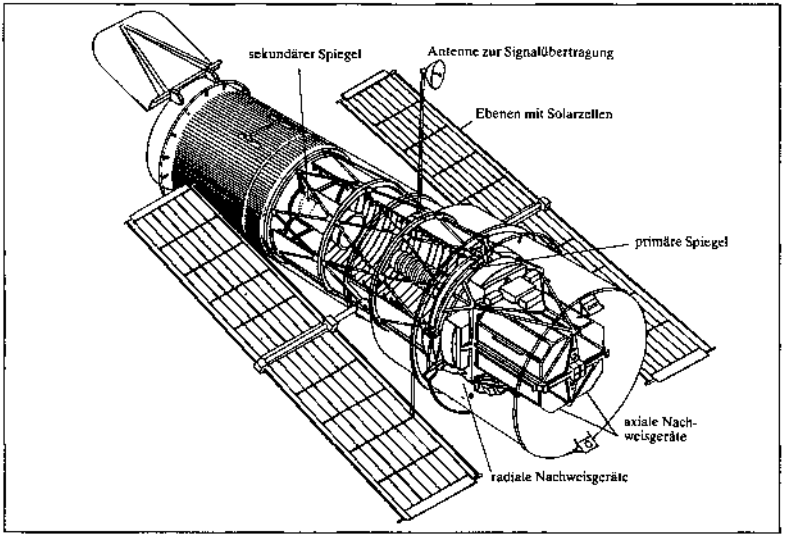


Abb. 2: Das Hubble Weltraum

Den entscheidenden Fortschritt danken wir dem Einsatz des Hubble-Weltraumteleskops, das 1990 auf eine Erdumlaufbahn von rund 600 Kilometern gebracht wurde. Seit seiner Reparatur im All 1993 liefert es hervorragende Beobachtungs- und Meßmöglichkeiten in einem Strahlungsbereich, der

* Giovanelli,R. Nature 400 (1999), S. 111.

vom ultravioletten bis weit in den infraroten Bereich des Spektrums reicht. Durch den Wegfall der atmosphärischen Turbulenzen wurde es möglich, das Auflösungsvermögen um rund eine Größenordnung gegenüber einem entsprechenden Spiegelteleskop auf der Erde zu erhöhen.

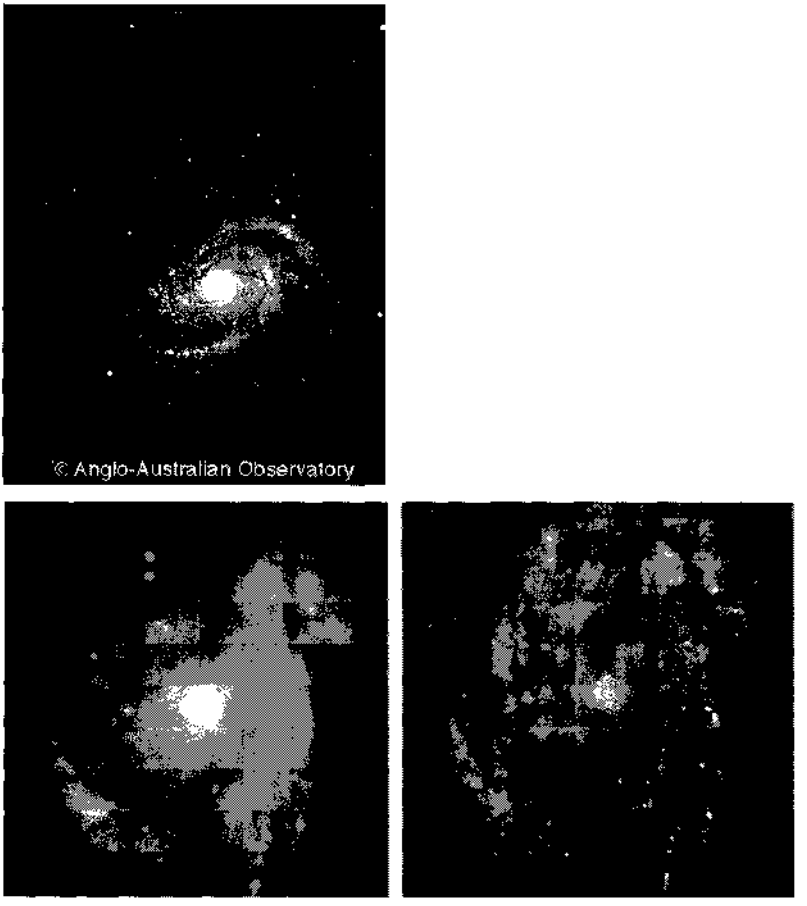


Abb. 3: Fotos der Galaxie M 100

Betrachten wir das Beispiel der Spiralgalaxie M 100 (das hundertste Objekt im Messier-Katalog der nicht stellaren Objekte). Sie liegt im Virgohaufen in einer Entfernung von 56 Millionen Lichtjahren. Abb. 3 zeigt eine Aufnah-

me, die vom 4m-Spiegelteleskops des Englisch-Australischen Observatoriums in Siding Spring (Australien) erhalten wurde (oberes Bild). Die unmittelbar nach der Reparatur des Hubble-Teleskops gewonnenen Fotos des Kerns der Galaxie zeigen die unteren beiden Bilder. Der Qualitätssprung ist offensichtlich. Zahlreiche Sterne werden im Zentrum der Galaxie sichtbar.

In der Galaxie M 100 und mehreren anderen Galaxien des Virgohaufens wurden zahlreiche Delta-Cephei-Sterne mit dem Hubble-Teleskop identifiziert und vermessen. Vor allem diese Messungen führten zu engeren Fehlergrenzen der Hubble-Zahl.

Betrachten wir ein weiteres Beispiel der neuen Generation erdgebundener Teleskope (siehe Abb. 4). In den neunziger Jahren wurden die beiden 10m-Spiegelteleskope in Hawaii in Betrieb genommen. Jeder Spiegel ist aus 36 hexagonalen Segmenten aufgebaut, von denen jedes einen Durchmesser von 1,8 Metern hat. Mittels Rechnersteuerung wird eine nahezu perfekte Reflektionsoberfläche erreicht.

Die Leistungsfähigkeit dieser neuen Keck-Teleskope wird anschaulich in Abb. 5 demonstriert. Sie zeigt eine Aufnahme der Spiralgalaxie NGC 1232, die 65 Millionen Lichtjahren von uns entfernt liegt. Als das Licht emittiert wurde, endete nach dem Einschlag eines gewaltigen Meteoriten auf der Yucatán-Halbinsel das Zeitalter der Dinosaurier und das der Säugetiere begann.

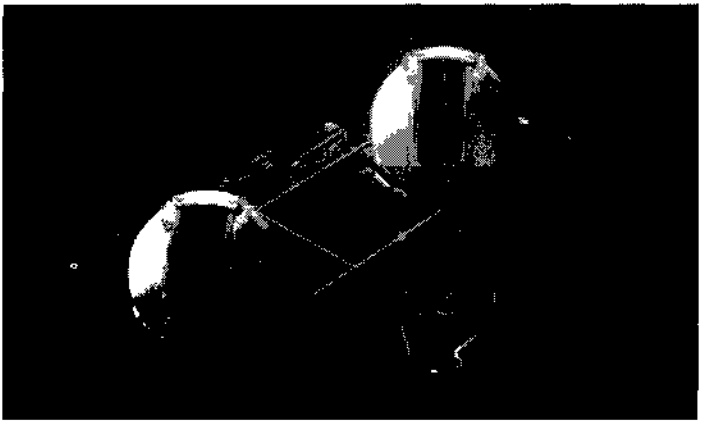


Abb. 4: Die beiden Kuppeln der 10 Meter Spiegelteleskope auf dem Mauna Kea in Haiwaii

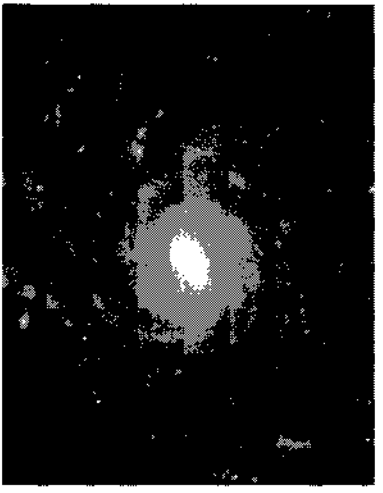


Abb. 5: Foto der Spiralgalaxie NGC 1232

Überlieferte Weltbilder dokumentieren den Glauben der Menschen, sich an einem ausgezeichneten, für sie geschaffenen Platz im Universum zu befinden. Über Jahrzehntausende sahen sie sich im Mittelpunkt des Kosmos. Heute wissen wir, daß sich unser Platz im Universum durch nichts gegenüber anderen Orten auszeichnet. Einstein faßte dieses kosmologische Prinzip im Jahre 1931 in die Worte: „Alle Plätze im Universum sind gleich".

Das kosmologische Prinzip hat einige bemerkenswerte Kosequenzen. Ein irdischer Beobachter, der in beliebige Richtungen des Raumes blickt, nimmt im Umkreis unserer Galaxis, unseres lokalen Haufens bzw. Superhaufens deutlich Inhomoginitäten der Verteilung der sichtbaren Materieformen wahr. Wählt er jedoch einen räumlichen Maßstab, der über die Inhomoginitäten hinausreicht, zeigt sich in allen Richtungen ein ähnliches Bild. Der Raum ist isotrop. Wenn wir keinen ausgezeichneten Standort im Universum einnehmen, muß auch einem Beobachter, der sich an einem beliebigen anderen Standort befindet, der Raum in seiner weiteren Umgebung als isotrop erscheinen. In bestimmten Richtungen schneiden sich die von beiden Beobachtern wahrgenommenen Raumbereiche. Da jeder die gleichen Materieformen wahrnimmt und für beide Isotropie gilt, müssen auch in den sich nicht überschneidenden Raumbereichen gleiche Bedingungen herrschen. Der Raum ist homogen.

Isotropie in Verbindung mit dem kosmologischen Prinzip führt zur Homogenität des Universums. Die astronomischen Beobachtungen der zurückliegenden Jahre widersprechen dem nicht, wenn man den sichtbaren Teil des Universums in Zellen einer Ausdehnung von mehreren hundert Millionen Lichtjahren unterteilt.

Jeder Blick in die Tiefen des Weltalls ist ein Blick zurück in die Vergangenheit des Universums. Physiker und Astronomen gehen davon aus, daß die Naturgesetze in den unserer Beobachtung zugänglichen Zeiträumen keiner Änderung unterlagen.

Grundlage des Versuchs der modellhaften Beschreibung des Universums sind also die Hypothesen:

- In großen Maßstäben ist das Universum isotrop und homogen
- Die physikalischen Naturgesetze sind raum-zeitlich invariant.

Auf der Grundlage der Einsteinschen Gravitationstheorie wurden mathematisch-physikalische Modelle formuliert, die die raum-zeitliche Entwicklung der sich wandelnden Materieformen des Universums beschreiben. Aus einem Vergleich der astronomischen Beobachtungen mit den Modellvorstellungen können wir schließen, daß sich das Universum durch Expansion aus einer heißen und dichten Phase entwickelt hat.

Die 3K-Hintergrundstrahlung

Die Vorstellung eines sich stetig abkühlenden expandierenden Universums wird durch die Beobachtung der 3K-Hintergrundstrahlung überzeugend gestützt.

Ist die sekundlich von der Flächeneinheit eines Körpers abgestrahlte Energie, seine Wärmestrahlung, gleich der vom Körper aufgenommenen Energie, befinden sich Körper und Umgebung im thermischen Gleichgewicht. Sie haben die gleiche Temperatur.

Für diesen Fall läßt sich die je Raumeinheit enthaltene Energie (bzw. die mittlere Photonenzahl) durch eine Formel beschreiben, in der nur die Temperatur T der Strahlung und ihre Wellenlänge λ als Veränderliche auftreten. Die Formulierung dieser Strahlungsformel gelang Max Planck im ersten Jahr des 20. Jahrhunderts. In ihr trat erstmals in der Geschichte der Physik das Plancksche Wirkungsquantum auf, eine den Mikrokosmos beherrschende fundamentale Konstante.

Bei einer Temperatur von 5 800 Kelvin, der Oberflächentemperatur der Sonne, liegt das Maximum der Strahlungsenergie bei einer Wellenlänge von $5 \cdot 10^{-5}$ Zentimetern. Sinkt die Temperatur auf -270 Grad Celsius = 3 Kelvin, liegt das Strahlungsmaximum gemäß der Planckschen Formel bei einer Wellenlänge von rund 2 Millimetern.

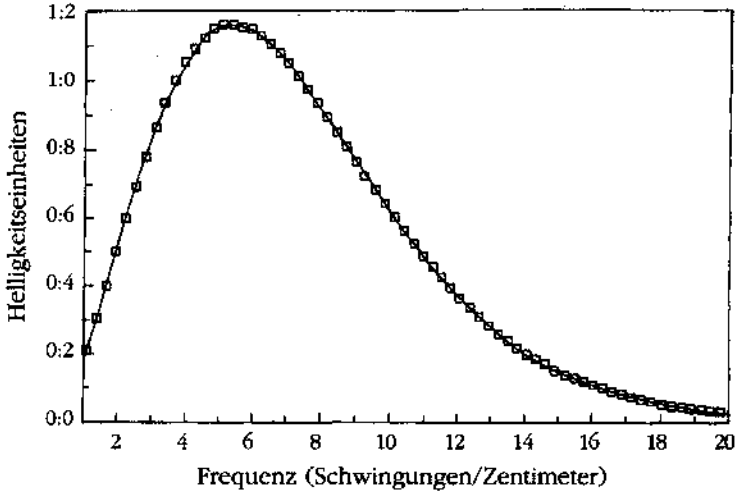


Abb. 6: Die ausgezogene Plancksche Strahlungkurve folgt mit beeindruckender Genauigkeit dem Verlauf der Meßpunkte.

1964 entdeckten Robert Wilson und Arnold Penzias in New Jersey (USA) mit einer Hornantenne eine von der Beobachtungsrichtung im Raum unabhängige Mikrowellenstrahlung bei 7,35 Zentimetern. Sie müßte einer Äquivalenztemperatur von 3,5 Kelvin entsprechen, wenn es sich um einen Meßpunkt auf der Planckschen Strahlungskurve handeln sollte.

Die meisten Messungen der Folgejahre wurden auf der langwelligeren Seite der Strahlungskurve durchgeführt, da die Atmosphäre bei Wellenlängen unterhalb von 2 Millimeter immer undurchlässiger wird. Eine neue Qualität der Messung kosmischer Hintergrundstrahlung wurde mit dem Start des Cosmic Background Explorer (COBE)-Satelliten im November 1989 erreicht. Bereits nach kurzer Betriebsdauer erhielt man Daten, die mit beeindruckender Genauigkeit der Planckschen Strahlungsformel folgten (siehe Abb. 6). Die Äquivalenztemperatur ergibt sich zu 2,728 ± 0,002

Kelvin. Die Messungen bestätigen die Isotropie der Raumes mit Abweichungen von weniger als 0,03 Prozent.

Die Planckschen Strahlungsformel gilt unter Voraussetzung eines thermischen Gleichgewichts zwischen Strahlung und strahlendem Körper. Nur wenn zwischen den Photonen der Strahlung und den Körpern, z. B. den Atomen, sekundlich sehr viele Wechselwirkungen stattfinden, haben Körper und Strahlung die gleiche Temperatur.

Es ist offensichtlich, daß in Gegenwart und „sichtbarer" Vergangenheit ein thermisches Gleichgewicht zwischen Körpern und Strahlung nicht besteht bzw. bestand. Selbst von kosmischen Quellen, die mehr als 10 Milliarden Lichtjahre entfernt sind, erreicht uns das Licht beinahe unbeeinflußt. Der Bereich des Universums, den die Photonen auf ihrem langen Weg von der Quelle zum Beobachter durcheilten, ist offensichtlich so durchlässig, daß sie weder gestreut noch absorbiert wurden.

Aus der Rotverschiebung schlossen wir auf die Expansion des Universums, einen Prozeß, der mit einer stetigen Reduzierung der Substanzdichte einherging. Also muß in der Vergangenheit das Universum dichter gewesen sein.

Die phänomologische Thermodynamik lehrt uns, daß mit einer größeren Dichte auch stets eine höhere Temperatur verbunden ist. Im frühen Universum gab es eine Periode, in der Dichte und Temperatur sehr große Werte hatten. Zwischen Strahlung und substantiellen Materieformen, wie den Elektronen, bestand ein thermisches Gleichgewicht.

In dieser Phase gab es weder Sterne noch Galaxien. Selbst Elektronen und Atomkerne konnten sich nicht zu stabilen Atomen zusammenfügen. Die den Raum homogen erfüllenden, relativ energetischen Photonen zerschlugen sich bildende Atome sofort wieder. Wegen der riesigen Zahl der sekundlich ablaufenden Stoßprozesse zwischen Photonen und Elektronen bestand ein thermischer Gleichgewichtszustand. Mit fortschreitender Expansion nahmen Dichte und Temperatur und folglich die mittlere Energie der Photonen und der Elektronen allmählich ab. Als die Temperatur schließlich rund 3000 Kelvin erreichte, hatten selbst die wenigen Photonen am kurzwelligen Ende der Planckschen Strahlungskurve nur noch Energien von einigen Elektronenvolt. Sie reichten nicht mehr aus, um Elektronen aus sich bildenden Wasserstoff- und Heliumatomen herauszuschlagen, d. h. sie zu ionisieren. Selbst zur Anregung war diese Photonenenergie nicht mehr

ausreichend. Zur Anregung eines Wasserstoffatoms aus dem Grundzustand sind mindestens 10 Elektronenvolt notwendig.

Unter der Wirkung der elektrischen Anziehung zwischen positiv geladenen Atomkernen und negativ geladenen Elektronen hatten sich in dieser Periode neutrale Atome, überwiegend Wasserstoff, gebildet. Daher waren keine freien Elektronen mehr vorhanden, an denen die Photonen gestreut werden konnten. Strahlung und Substanz hatten sich entkoppelt. Die Photonen konnten sich fortan wechselwirkungsfrei durch das expandierende Universum bewegen. So behielt ihre Intensitätsverteilung die Form der Planckschen Strahlungskurve.

Die Wirkung der Expansion des Universums auf die sich ausbreitenden elektromagnetischen Wellen besteht in einem linearen Anwachsen der Wellenlänge, in einer linearen Rotverschiebung. In der Planckschen Strahlungsformel sind Wellenlänge und Temperatur einander umgekehrt proportional.

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{T}{T_0}$$

wobei $T \approx 3000$ Kelvin die Temperatur und λ die Wellenlänge zum Zeitpunkt der Entkopplung und $T_0 = 2{,}73$ Kelvin bzw. λ_0 ihre gegenwärtigen Werte sind. Im Verhältnis $T/T_0 \approx 1000$ ändert auch sich auch die Rotverschiebung. Das früheste Relikt der Entwicklung des Universums, das Astrophysiker bisher entdeckt haben, ist demnach die kosmische Hintergrundstrahlung mit $z \approx 1000$.

Verbinden wir die Beobachtung der Galaxienflucht mit Homogenität und Isotropie des Universums, gesichert durch die Hintergrundstrahlung, werden wir zur „Urknall"-Hypothese geführt. Am Anfang der Evolution fand eine Art Explosion statt, die den gesamten Raum erfaßte. Bei der Explosion drängten nicht sich verändernde Materieformen in einen leeren Raum vor, sondern der Raum mit den sich zeitlich wandelnden Materieformen expandierte.

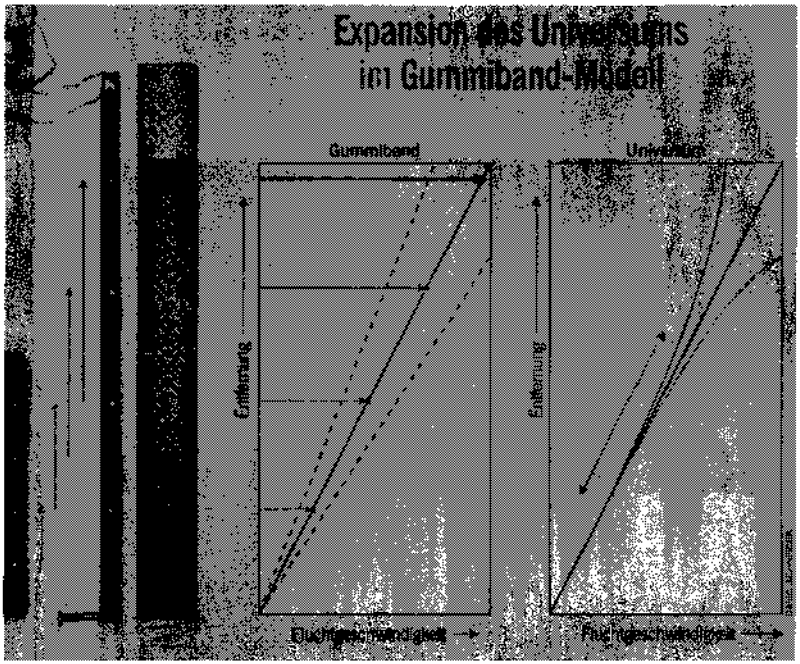


Abb. 7: Veranschaulichung der kosmischen Expansion durch ein Gummiband

Ein homogenes Universum, in dem alle Orte gleichwertig sind, muß in seiner Expansion dem Hubble-Gesetz folgen. Dabei ist zu beachten, daß diese Expansion nicht mehr mit einer Expansion der Galaxien selbst verbunden ist. Sie werden durch die Schwerkraft zusammengehalten. Gleiches gilt für unser Sonnensystem, aber auch für jedes durch elektromagnetische Wechselwirkung zusammengehaltene Atom.

Zur Beschreibung der Expansion wird ein Skalen- oder Meßfaktor R eingeführt. In einem homogenen und isotropen Universum hat er überall den gleichen, mit der Zeit wachsenden Wert. Entfernungen zwischen Galaxien wachsen proportional zu R.

Das Hubble-Gesetz besagt, daß das Licht entfernter Galaxien rot verschoben ist, und diese Rotverschiebung mit wachsendem Galaxienabstand linear wächst. Hubble interpretierte seine Beobachtungen als Doppler-Effekt. So eingängig das damit verbundene Bild von uns wegrasender Gala-

xien auch ist, es ist falsch. Die Rotverschiebung hat ihre Ursache in der Expansion des Raumes selbst.

Licht werde mit einer Wellenlänge λ von einer weit entfernten Galaxie emittiert. Zum Zeitpunkt der Emission hatte das Universum den Meßfaktor R. Nachdem es unter Umständen Jahrmilliarden unterwegs war, wird es mit seiner rotverschobenen Wellenlänge λ_0 von einem irdischen Beobachter empfangen. Zu diesem Zeitpunkt hat das Universum den Meßfaktor R_0. Die Wellenlängen nahmen während der Zeit, die das Licht von der Quelle bis zum Empfänger brauchte, im gleichen Verhältnis zu wie die Meßfaktoren.

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{R_0}{R}$$

Nun ist die Rotverschiebung durch

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_0}{\lambda} - 1$$

definiert. Ersetzt man λ_0/λ durch $z+1$, erhält man:

Wenn also das Universum zwischen Emission und Absorption seine Ausdehnung verdoppelt, R_0/R also den Wert 2 hat, so zeigt das Licht aller Wellenlängen die Rotverschiebung $z = 1$.

Jede Messung der Rotverschiebung einer entfernten Galaxie gestattet uns unmittelbar festzustellen, um das Wievielfache das Universum zwischen Emission und Absorption expandierte. Um aus einer Messung der Rotverschiebung die Entfernung einer Galaxie zu bestimmen, müssen wir die zeitliche Variation von H bzw. die Wachstumsgeschwindigkeit des Meßfaktors kennen.* Wir müssen daher theoretische Annahmen über die Geometrie des Universums machen, um aus den gemessenen Rotverschiebungen auf solche Größen wie Entfernungen, Fluchtgeschwindigkeiten oder das Alter des Universums zu schließen.

* Bisher haben wir die Frage der zeitlichen Konstanz der Hubble-Zahl nicht berührt. Falls es in der Vergangenheit Perioden gab, in denen die Expansion schneller (langsamer) erfolgte, so war die Hubble-Zahl größer (kleiner) als heute. Sollte H einer zeitliche Veränderung unterliegen, müßten sich mit wachsender Entfernung der Galaxien Abweichungen im linearen Zusammenhang des Hubble-Gesetzes zeigen.

Das kosmologische Standardmodell

Mit der allgemeinen Relativitätstheorie formulierte Einstein eine schlüssige, durch unterschiedliche Experimente in den Folgejahren bestätigte Theorie des Raumes, der Zeit und der Gravitation. Sie lehrt uns das Gravitationsfeld als eine Krümmung der vierdimensionalen Raum-Zeit zu begreifen. Unter einer Krümmung ist eine Abweichung der Geometrie von der dreidimensionalen Euklidschen zu verstehen.

Die Geometrie des Euklid ist die Geometrie unseres Anschauungsraumes, die Geometrie unserer täglichen Erfahrung. Dem flachen oder Euklidschen Raum entspricht im Zweidimensionalen die Ebene. Ein wohlbekannter Lehrsatz für die Ebene lautet: Die Summe der Innenwinkel eines Dreiecks beträgt 180°.

Um das Jahr 1830 veröffentlichten der russische Mathematiker Nikolai Lobaschewski und, unabhängig von ihm, der ungarische Mathematiker János Bólay Untersuchungen über die Geometrie eines positiv gekrümmten Raumes. Im Zweidimensionalen entspricht ihm die Oberfläche einer Kugel. Bildet man auf der Kugeloberfläche ein Dreieck, ist die Summe der drei Innenwinkel größer als 180°. 1854 entwickelte der deutsche Mathematiker Bernhard Riemann eine weitere nichteuklidsche Geometrie, die Geometrie eines Raumes mit negativer Krümmung. Als zweidimensionales Analogon läßt sich die Oberfläche eines einachsigen Hyperboloids betrachten. Auf ihr ist die Summe der Innenwinkel eines Dreiecks kleiner als 180°.

Abb. 8: Zweidimensiomale Analoga zur Illustrierung gekrümmter Räume

Welche dieser Geometrien im Universum gelten, ist kein mathematisches, sondern ein physikalisches Problem. Einsteins allgemeine Relativitätstheorie ist eine Theorie der physikalischen Geometrie. Es ist eine Theorie der vierdimensionalen raum-zeitlichen Welt, in der Massenkonzentrationen eine Krümmung der Raum-Zeit hervorrufen. Die Geometrie des dreidimensionalen Raumes ist nicht mehr Euklidisch und die Zeit in verschiedenen Raumpunkten verlaufen unterschiedlich. Ein Beobachter nimmt die Bewegung von Objekten als Bewegung auf gekrümmten Bahnen im dreidimensionalen Raum mit variierenden Geschwindigkeiten wahr.

Unsere heutigen Vorstellungen über die Evolution des Universums, die durch die Beobachtungen von Galaxienflucht und 2,7 K-Hintergrundstrahlung gestützt werden, beruht auf der Annahme eines homogenen und isotropen Universums.

Für diesen Fall wurde erstmalig von dem sowjetischen Mathematiker und Meteorologen Aleksander Friedman eine Lösung der Einsteinschen Feldgleichungen angegeben. Nach einem Briefwechsel mit Einstein veröffentlichte Friedman in der „Zeitschrift für Physik" in den Jahren 1922 und 1924 zwei Arbeiten mit den Titeln „Über die Krümmung des Raumes" und „Über die Möglichkeiten einer Welt mit konstanter negativer Krümmung". Auf der Grundlage der Einsteinschen Gravitationstheorie wurde erstmals ein mathematisch-physikalisches Modell formuliert. Es beschreibt die Dynamik des Universums mit den sie erfüllenden Materieformen. Wechselnde Materieformen befinden sich nach Friedman nicht in Ruhe, wie es noch Einstein bei seiner Anwendung der Feldgleichungen auf den Kosmos annahm.

Die Annahme eines homogenen und isotropen Universums führt zu einer außerordentlichen Vereinfachung der Feldgleichungen. Die Galaxien werden als Massenpunkte betrachtet. Sie sind in einem Koordinatensystem fixiert, das sich mit der Expansion bewegt. Die Änderungen ihres tatsächlichen gegenseitigen Abstands wird durch den universellen, allein von der Zeit abhängigen Meßfaktor $R(t)$ beschrieben. Aus den erstmals von Friedman formulierten Feldgleichungen eines expandierenden Modellkosmos folgt seine zeitliche Variation.

Die Lösung der Friedman-Gleichungen für einen homogenen und isotropen Kosmos, in dem der Druck sich vernachlässigen läßt – eine Annahme, die für die Zeiten $\approx 10^6$ Jahre nach dem Urknall zutrifft – läßt sich wie folgt angeben:

$$H^2 = \left(\frac{\dot{R}(t)}{R(t)} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho(t) + \frac{\Lambda c^2}{3} - \frac{kc^2}{R^2(t)}$$

Dividieren wir beide Seiten der Gleichung durch H^2 und bezeichnen die Gegenwart mit t_0, so wird:

$$1 = \frac{8\pi G}{3H_0^{\,2}} \rho_0(t_0) + \frac{\Lambda c^2}{3H_0^{\,2}} - \frac{kc^2}{R_0^{\,2}(t_0) H_0^{\,2}}$$

Dabei sind G die Gravitationskonstante, $\rho_0(t_0)$ die Dichte, also die Masse (bzw. Energie) pro Raumeinheit, $H_0(t_0)$ die Hubble-Zahl, Λ die von Einstein eingeführte kosmologische Konstante und k der Krümmungsparameter. Für den Ausdruck $3H_0^2/8\pi G$ führt man die Abkürzung ρ_c ein. Man bezeichnet sie als kritische Dichte.

Führt man folgende häufig benutzte Abkürzungen ein:

$$\Omega_m = \frac{\rho_0(t_0)}{\rho_c}; \quad \Omega_\lambda = \frac{\Lambda c^2}{3H_0^2}; \quad \Omega_k = -\frac{kc^2}{R_0^2(t) H_0^2}$$

erhält man folgende Beziehung:

$$1 = \Omega_m + \Omega_\lambda + \Omega_k$$

Diese einfache Form der Gleichung enthält drei Parameter:

- die Hubble-Zahl $H_0(t_0)$, die die gegenwärtige Expansionsrate beschreibt
- den Dichteparameter $\Omega_m = \frac{\rho_0(t_0)}{\rho_c}$, der sowohl die Wirkung der Gravitation als auch die Geometrie beschreibt.

- für $\Omega_m=1$ d. h. $\rho_0=\rho_c$ ist $k=0$ (flacher Raum)
- für $\Omega_m>1$ d. h. $\rho_0>\rho_c$ ist $k=+1$ (sphärischer Raum)
- für $\Omega_m<1$ d. h. $\rho_0<\rho_c$ ist $k=-1$ (hyperbolischer Raum)

· und schließlich Ω_λ. Wenn dem Vakuum eine Energie innewohnt, also die kosmologische Konstante von Null verschieden ist, muß auch $\Omega_\lambda \neq 0$ sein.

Die drei Größen H_0, Ω_m, und Ω_λ sind Modellparameter, die Größe, Alter,

Geometrie und Expansionsrate des Universums bestimmen. Diese Parameter sind jedoch nicht berechenbar, da wir die Anfangsbedingungen eines Universums für den Zeitpunkt $t=0$, den sogenannten Urknall, nicht angeben können. Wenn wir uns dem Zeitpunkt $t=0$ nähern, strebt der Meßfaktor $R(t)$ gegen Null, während Hubble-Zahl und Dichte unendlich groß werden. Der Modellkosmos beginnt mit einer unendlich großen Dichte und Temperatur, einer Singularität, die wir aus den physikalischen Beobachtungen auszuschließen haben.

Die Nukleonensynthese

Ausgehend vom kosmologischen Prinzip, der Expansion des Universums und dem Nachweis der isotropen Hintergrundstrahlung gewann das Friedmann-Modell wachsende Bedeutung für unser Verständnis der Evolution des Universums. Das kosmologische Standardmodell eines homogenen, isotrop expandierenden Kosmos, der sich aus einer heißen und dichten Frühphase entwickelt hatte, führt auf einfache Zusammenhänge zwischen der Evolutionszeit und den damit verbundenen Werten von Dichte und Temperatur. So ergibt sich die Dichte ρ, gemessen in Gramm je Kubikzentimeter, als umgekehrt proportional zum Quadrat aus der Evolutionszeit t, gemessen in Sekunden:

$$\rho \approx \frac{10^6}{t^2}$$

Die Temperatur T, gemessen in Kelvin, ist umgekehrt proportional zur Quadratwurzel aus der in Sekunden gemessenen Evolutionszeit:

$$T \approx \frac{10^{10}}{\sqrt{t}}$$

Unser experimentell gesichertes Wissen über Elementarteilchen und den zwischen ihnen wirkenden Kräften reicht gegenwärtig bis zu Teilchenenergien von 10^{11} Elektronenvolt. In Kelvin entspricht diese Energie einer Temperatur von 10^{15} Grad. Im Friedmanschen Modellkosmos wurde diese Temperatur rund 10^{-10} Sekunden nach dem Urknall erreicht.

Beim Versuch, die Evolution des Universums zu erkennen und modellhaft abzubilden, müssen wir auf unser Wissen über den Mikrokosmos zu-

rückgreifen. In den zurückliegenden Jahrzehnten entstand dabei eine sich stetig verstärkende Verknüpfung zwischen der Physik des Mikrokosmos und des Makrokosmos.

Der bisher größte Erfolg des Standardmodells ist die Vorhersage von Häufigkeiten der leichten Atomkerne im Kosmos wie Wasserstoff H, schwerer Wasserstoff oder Deuterium D und der Isotope des Heliums.

Etwa eine hunderstel Sekunde nach dem Urknall sollte nach dem Friedman-Modell das plasmaartige Teilchengemisch eine Temperatur von 10^{11} Kelvin entsprechend einer Teilchenenergie von 10 Millionen Elektronenvolt haben. Das Plasma bestand aus Photonen, Leptonen, wie Elektronen (e^-), Neutrinos (ν_e) und Antileptonen, wie Positronen (e^+) und Antineutrinos ($\bar{\nu}_e$).* Dabei entfielen auf rund 10^9 Photonen nur ein Nukleon, d. h. ein Proton oder ein Neutron. Durch Prozesse wie beispielsweise

$$\bar{\nu}_e + n \Longleftrightarrow e^- + p$$

$$\bar{\nu}_e + p \Longleftrightarrow e^+ + n$$

fand ein ständiger Austausch zwischen Protonen und Neutronen statt. Im thermischen Gleichgewicht entstanden und vergingen gleich viele Protonen und Neutronen. Eine Vereinigung beider, z. B. zu Deuteronen konnte nur außerordentlich kurzzeitig erfolgen. Jeder gebildete Atomkern wurde genauso schnell wieder zerstört, wie er enstanden war.

Nach einer zehntel Sekunde war die mittlere Energie der Teilchen auf rund 3 Millionen Elektronenvolt gesunken. Die qualitative Zusammensetzung des Universums blieb unverändert. Elektronen, Positronen, Neutrinos, Antineutrinos und Photonen waren jeweils in anähernd gleicher Konzentration vorhanden. Zwischen allen Teilchen herrschte thermisches Gleichgewicht. Da Neutronen jedoch eine etwas größere Ruhemasse besitzen als Protonen, wurde mit sinkender Temperatur die Umwandlung von Neutronen in Protonen wahrscheinlicher als der umgekehrte Prozeß. Entsprechend verschob sich das Verhältnis zwischen Protonen und Neutronen zugunsten ersterer.

Die Geschwindigkeit, mit der die beiden obigen Prozesse ablaufen,

* Als Leptonen bezeichnet man alle Teilchen, die nur der schwachen Wechselwirkung unterliegen. Zu ihnen zählen die Elektronen, die Myonen, die τ-Leptonen, die entsprechenden Neutrinos und die zugehörigen Antiteilchen.

hängt sehr empfindlich von der nach dem Standardmodell berechenbaren zeitlichen Änderung der Temperatur ab. Mit sinkender Temperatur verlangsamt sich drastisch der Ablauf der Reaktion. Unterschreitet die Reaktionsgeschwindigkeit einen Grenzwert, der durch die Expansionsgeschwindigkeit bestimmt wird, so verlieren die beiden Reaktionen effektiv ihre Wirksamkeit. Etwa eine Sekunde nach dem Urknall sind nur noch 24 Prozent aller Nukleonen Neutronen.

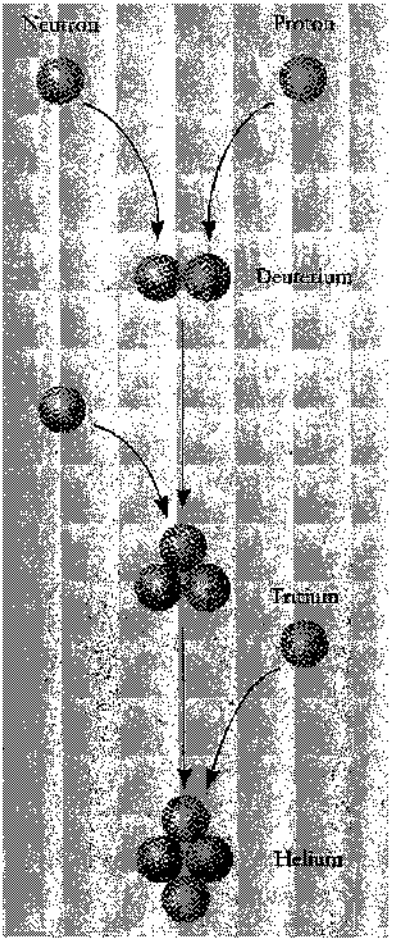


Abb. 9: Die Nukleonensynthese

Der Anteil der Neutronen sinkt jedoch weiter, da freie Neutronen mit einer Halbwertszeit von (887 ± 2) Sekunden zerfallen:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

Nach etwa vier Minuten waren nur noch 12 Prozent aller Nukleonen Neutronen. Zu dieser Zeit ist die Temperatur auf $0{,}9 \cdot 10^9$ Kelvin gesunken. Damit war die mittlere Energie der Photonen so weit gefallen, daß sie nicht mehr ausreichte, um Deuteriumkerne wieder zu zertrümmern, die sich durch Verschmelzung von Neutronen und Protonen ständig bildeten.

Nach Ablauf einer Folge von Fusionsprozessen (siehe Abb. 9) sind alle freien Neutronen verschwunden.

Der Anteil der Neutronen zum Beginn der Synthese bestimmt den Anteil des Heliums. Die Vorhersage des Standardmodells für den Helium-Gewichtsanteil unter allen aus Nukleonen bestehenden Materieformen im Universum beträgt (24,0 ± 0,5) Prozent.

Neben dem dominierenden Protonenanteil und dem im ^{4}He gebundenen Nukleonen verbleibt auch ein vergleichsweise geringer Gewichtsanteil in Deuterium und 3He-Kernen (siehe Abb. 10). Hinzu kommt ein sehr kleiner Anteil an Li-Kernen.

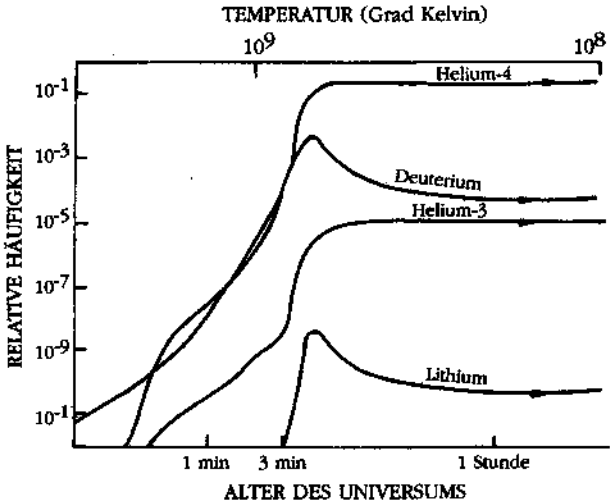


Abb. 10: Erzeugung der leichtesten Elemente aus Protonen und Neutronen in den ersten drei Minuten

Vergleicht man diese Vorhersagen des Standardmodells mit den im Universum gemessenen Gewichtsanteilen von Wasserstoff, Deuterium, den Heliumisotopen und Lithium, findet man eine erstaunlich gute Übereinstimmung.

Die Inflation

Die korrekte Vorhersage der Häufigkeiten leichter Atomkerne im Kosmos war der größte Erfolg des Urknallmodells. Er stimulierte die Kosmologen, sich stärker mit den Erkenntnissen der Hochenergiephysik zu beschäftigen bzw. die theoretischen Hochenergiephysiker, das frühe Universum als ein

Testfeld ihrer Überlegungen zu betrachten. Auf ihm wurden Energien wirksam, die weit über alles hinausgingen, was jemals ein irdischer Teilchenbeschleuniger erreichen kann.

Bereits zum Ende der sechziger Jahre wurde in der Elementarteilchenphysik eine Theorie formuliert, die elektromagnetische und schwache Wechselwirkungen miteinander vereinte. Sie erfuhr im Jahre 1983 im CERN eine glänzende Bestätigung durch den experimentellen Nachweis zweier Teilchen, die die elektroschwache Theorie vorhergesagt hatte.*

Seit den siebziger Jahren stand im Mittelpunkt des Interesses der theoretischen Hochenergiephysiker die Suche nach einer einheitlichen Theorie der elektroschwachen und der starken Wechselwirkungen. Die in Aussicht genommenen theoretischen Ansätze sagten eine annähernd gleiche Stärke der elektroschwachen und der starken Kraft voraus, bei Energien von 10^{15} Gigaelektronenvolt, entsprechend einer Temperatur von 10^{28} Kelvin. Diese Temperatur sollte 10^{-35} Sekunden nach dem Urknall, dem scheinbaren Anfang im Universum geherrscht haben.

Die theoretischen Ansätze fordern, daß sich alle Teilchen einer einheitlichen Theorie der elektroschwachen und starken Kräfte ineinander umwandelten. Das setzt die Existenz zweier neuer Teilchen sehr großer Masse voraus. Eines dieser Teilchen, das instabile X-Teilchen sollte den Übergang zwischen Teilchen in Antiteilchen im Kosmos erklären. Magnetische Monopole sind eine andere Art schwerer Teilchen. Als stabile Teilchen sollten sie den Kosmos bis in die Gegenwart erfüllen. Trotz jahrelanger Suche konnten die Physiker keinen einzigen magnetischen Monopol entdecken.

Kein bisheriger Versuch, keine große einheitliche Theorie erscheint überzeugend und, was schwerer wiegt, keine der in Verbindung damit vorhergesagten experimentell überprüfbaren Konsequenzen, wie beispielsweise die Instabilität des Protons, konnte nachgewiesen werden.

Ein weiteres Problem, das die Kosmologen beschäftigte, war die Homogenität und Isotropie im Universum, dessen uns sichtbare Ausdehnung weit größer ist als die Distanz, die das Licht seit dem Urknall vor ca. 13 Milliarden Jahren zurücklegen konnte.

---

* Die Eichbosonen $W^{\pm}$ und Z^0, deren Massen bei 80- bzw. 90fachen der Protonenmasse liegen.

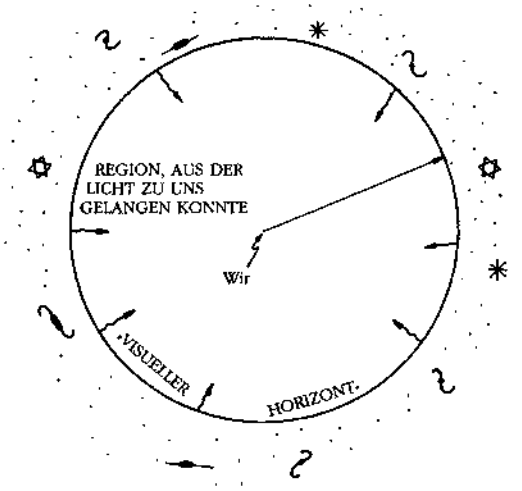


Abb. 11: Das sichtbare Universum, aus dem seit Beginn der Expansion Licht zu uns gelangen konnte. Der Radius der Kugel beträgt heute ca. 13 Milliarden Lichtjahre

Beide Probleme, die Allgegenwart der Monopole und die Regelmäßigkeit im Universum, fanden zum Anfang der achtziger Jahre eine Erklärung im Konzept des „inflationären Universums". Es postuliert eine exponentielle Expansion des Universums im Zeitintervall zwischen 10^{-35} und 10^{-33} Sekunden nach dem Urknall. Eine 100e-fache Vergrößerung bedeutet eine $e^{100}=3\cdot10^{43}$fache Vergrößerung des Universums. Seine heutige Größe sollte daher mindestens 10^{16} Lichtjahre betragen. Der sichtbare Teil des Universums hat aber nur eine Ausdehnung von rund 10^{10} Lichtjahren. Das hat zur Folge, daß der vergleichsweise kleine für uns sichtbare Teil des Universums in guter Näherung eine Euklidsche Geometrie besitzt, d. h. der Raum flach ist.

Falls die stark beschleunigte Expansion stattgefunden hat, kann unser sichtbares Universum aus einer begrenzten Region hervorgegangen sein. Sie war am Anfang so klein, daß sie nur wenige Monopole enthielt, und das Licht sie durchqueren konnte. Es würde das Fehlen der Monopole und die Homogenität wie auch die Isotropie verständlich machen.

Das für zahlreiche Kosmologen attraktive Bild eines inflationären Uni-

versums bewirkt ein flaches sichtbares Universum. Seine Dichte sollte daher gleich der kritischen Dichte sein.

In den achtziger und neunziger Jahren war der Traum vieler Kosmologen ein Friedman-Universum mit $\Omega_\lambda=0$ und $\Omega_m=1$. Die meßbare Dichte der selbstleuchtenden Materie ist jedoch ca. hundertmal geringer als die kritische Dichte. Nach dem inflationären Modell muß also der weit überwiegende Teil der Dichte in Form kalter Dunkelmaterie vorhanden sein, d. h. als massive, überwiegend exotische Teilchen aus der Frühphase des Universums mit kleinen thermischen Geschwindigkeiten, die nur eine gravitative Wechselwirkung haben.

Die Suche der Hochenergiephysiker und Astronomen nach exotischen Teilchen war bisher erfolglos. Kein Experiment an den neuen Superbeschleunigern konnte Neues über die Standardtheorie hinausweisendes entdecken. Alle Messungen bestätigen mit wachsender Präzision die elektroschwache Theorie und die Theorie der starken Wechselwirkungen, die Quantenchromodynamik.

Kosmologie in Perioden vor der Nukleonensynthese ist Spekulation. Hier ist es schwer, Fakten von Fiktion und Glaube von Phantasie zu trennen, da alle Schlußfolgerungen noch weit vom Gültigkeitsbereich einer experimentell überprüfbaren Physik entfernt sind.

Es sind die Beobachtungen der letzten Jahre mit den neuen Hochleistungsteleskopen auf der Erde und im Raum, die uns zu einer kritischen Wertung des bisher Erreichten zwingen.

Die Dunkelmaterie

Seit Jahrzehnten bemühen sich die Astronomen um die Messung der Massendichte ρ_0 im Universum. Aus dem Verhältnis zur kritischen Dichte ρ_c erhält man Aufschluß über seine Geometrie. Der Zahlenwert des Dichteparameters Ω_m bestimmt das Vorzeichen des Parameters k, der die Krümmung des Raumes charakterisiert.

Eine erste Näherung erhält man durch Zählung der Galaxien in einem genügend großen Raumbereich, durch Multiplikation der Anzahl mit den Massen und durch Division durch das Volumen. Nimmt man an, daß der überwiegende Teil der Masse in den selbstleuchtenden Materieformen einer

Galaxie vorhanden ist, läßt sich aus ihrer Leuchtkraft ihre Masse bestimmen. Alle Messungen ergaben letztlich, daß weniger als ein Prozent der kritischen Masse in selbstleuchtenden Materieformen vorhanden ist.

Eine weitere Methode der Massenbestimmung ist die Untersuchung des Rotationsverhaltens von Spiralgalaxien. Mit hochauflösenden Teleskopen und leistungsfähigen Spektrographen wurden die Rotationsgeschwindigkeiten zahlreicher Spiralgalaxien durch Messung des Dopplereffekts ermittelt. Alle Messungen zeigen im Zentrum der Galaxie einen steilen Anstieg der Rotationsgeschwindigkeit. Sie fällt zum Rand jedoch nicht ab, sondern verläuft annähernd horizontal weiter. Die Gültigkeit des Gravitationsgesetzes vorausgesetzt, folgt daraus ein lineares Anwachsen der Gesamtmasse einer Spiralgalaxie vom Zentrum zum sichtbaren Rand.

Aufschluß über den Anteil der Dunkelmaterie gibt uns eine andere Methode. Sie beruht auf der Messung der Relativbewegungen einzelner Galaxien bzw. Galaxiengruppen in Haufen. Diese Art der Massenbestimmung setzt ein dynamisches Gleichgewicht zwischen den betrachteten Komponenten im Haufen sowie eine räumliche Verteilung der Dunkelmaterie ähnlich der des jeweils betrachteten Galaxienkomplexes voraus.

Abb. 12: Der Coma-Haufen aufgenommen im sichtbaren Licht (links) und im Röntgenbereich

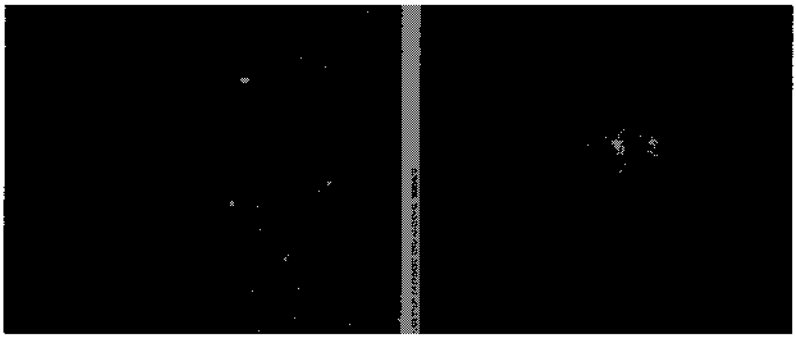


Abb. 12 zeigt eine Fotografie des Coma-Haufens, ein in rund 350 Millionen Lichtjahren von uns entfernter Haufen, der mehr als 1000 Galaxien umfaßt. Während er auf der Fotografie wie einer Ansammlung von Stern-

systemen erscheint, zeigt eine Aufnahme des gleichen Gebiets mit einem Röntgensatelliten eine gewaltige kugelförmige Gaswolke mit einem Durchmesser von rund fünf Millionen Lichtjahren, in die die Galaxien des Haufens eingebettet sind.

Quelle der Röntgenstahlung ist ein dünnes ca. 25 Millionen Grad heißes Gas, das den Raum des Haufens erfüllt. Da die gemessene Temperatur ein Maß für die gravitative Anziehungskraft des Haufens ist, wenn sich dieser im Gleichgewichtszustand befindet, läßt sich daraus die Masse bestimmen.

Aus dem Rotationsverhalten von Spiralgalaxien und aus der Analyse von Galaxienhaufen ergaben sich einander ähnelnde Werte, die einem Dichteparameter von $\Omega_m < 0{,}2$ entsprechen. Vergleicht man diesen Wert mit dem aus selbstleuchtenden Materieformen, überwiegt die Dunkelmaterie im Universum bei weitem.

Eine weitere Methode, die uns Aufschluß über die gesamte Masse gibt, die in Protonen, Neutronen und den aus ihnen gebildeten Atomkernen vorhanden ist, beruht auf einem Vergleich der vorhergesagten Häufigkeiten leichter Atomkerne mit den entsprechenden Beobachtungsdaten.

Wie wir sahen, hängen die genauen Häufigkeitsverhältnisse von Deuterium, Helium und Lithium von der anfänglichen Häufigkeit der Protonen und Neutronen ab, die man häufig als Nukleonen oder Baryonen bezeichnet.

Man bezieht diese auf die Häufigkeit der masselosen Photonen. Dieses als h bezeichnete Verhältnis bleibt während der Evolution des Universums im wesentlichen kostant. Die gegenwärtige Photonendichte hat aus der Messung der kosmischen Hintergrundstrahlung einen sehr genau bekannten Wert von 411 Photonen pro Kubikzentimeter.

Wäre es möglich, beispielsweise die Dichte der Deuteronen im frühen, noch nicht durch Sternbildung beeinflußten Kosmos zu messen, ließe sich mit ihren bekannten Häufigkeitsverhältnissen zu den anderen leichten Kernen das Verhältnis h und damit die Baryonendichte im Universum ermitteln. Dabei ist es gleichgültig, in welchen Himmelskörpern sich die Baryonen gegenwärtig befinden.

Rund 10 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt gibt es in vielen Raumbereichen noch ursprüngliche nicht leuchtende Gaswolken. Liegt, von uns aus gesehen, hinter einer solchen Gaswolke ein Quasar, d. h. eine sehr junge Galaxie, in deren Kerngebiet eine gewaltige Strahlung erzeugt

wird, so entsteht beim Durchlaufen des Quasarlichts durch die Gaswolke ein charakteristisches Muster von Absorptionslinien. Aus der Analyse der im Quasarspektrum dunkel erscheinenden Absorptionslinien läßt sich die kosmische Häufigkeit des Deuteriums ermitteln.

Mit dem 10 Meter Keck-Teleskop auf dem Mauna Kea Vulkan wurde erstmals Ende 1993 das hochaufgelöste Spektrum eines fernen Quasars aufgenommen. Aus solchen Messungen erhielt man für den Parameter des Baryon-Photon-Verhältnisses den Wert

$$\eta = (1{,}5 - 6{,}3) \cdot 10^{-10}$$

Daraus ergibt sich die gesamte Baryonendichte im Universum zu $\rho_B = (1{,}0 - 4{,}3) \cdot 10^{-31}$ Gramm pro Kubikzentimeter. Setzen wir diesen Wert ins Verhältnis zur kritischen Dichte ρ_c, ergibt sich der Baryonenanteil am Dichteparameter Ω_m zu

$$0{,}012 < \Omega_B < 0{,}057$$

(Dabei wurde für die Hubble-Zahl der Wert $H_0 = 65\ km\ s^{-1}$ Mpc^{-1} gewählt)

Wenn man überzeugt davon ist, daß das Universum flach, also $\Omega_m = 1$ ist, kann man sicher die Suche nach der Dunkelmaterie zur Lebensaufgabe weiterer Wissenschaftlergenerationen gestalten. Man kann jedoch auch nach vielen Jahren intensiver Suche den Fakt akzeptieren, daß $\rho_0 < \rho_c$ ist.

Alle bisherigen Untersuchungen zusammenfassend, ergibt sich für den Dichteparameter der Wert*

$$\Omega_m = \rho_0/\rho_c = 0{,}23 \pm 0{,}08.$$

Die Expansionsbeschleunigung

Die US-Zeitschrift „Science" erklärte im Dezember 1988 die Entdeckung der Expansionsbeschleunigung des Universums zum „Durchbruch des Jahres".

Für nahegelegene Standardkerzen, beispielsweise Delta-Cephei-Sterne gilt in guter Näherung $z = H_0\, d$, wenn die Rotverschiebung $z \leq 0{,}1$ ist. Bei großen z-Werten sollten jedoch Nichtlinearitäten bemerkbar werden, da sich die Expansion des Universums im Verlauf der Jahrmiliarden verzögert oder beschleunigt haben kann. Hinzu kommt eine mögliche Verzerrung der

* Lineweaver, C. H. Science 248 (1999), S. 1503.

Entfernungsskala durch eine Krümmung der Raum-Zeit.

Die neuen Beobachtungs- und Meßtechniken, die den Astronomen in den neunziger Jahren zur Verfügung stehen, ermöglichten erstmals die Bestimmung der Leuchtkraft an geeigneten Objekten, deren Rotverschiebung zwischen $z=0,3$ und $0,9$ liegt.

Dazu waren Standardkerzen erforderlich, die noch in Entfernungen von vier bis neun Milliarden Lichtjahren nachweisbar sind. Als geeignete Standardkerzen erwiesen sich Supernovae des Typs Ia.

Supernovae dieses Typs explodieren nur in Doppelssternen: Ihr Vorgänger ist ein normaler Stern, ähnlich der Sonne, in dessen Inneren durch Kernfusion Wasserstoff in Helium, Kohlen- und Sauerstoff sowie Neon und andere Elemente umgewandelt wurde. Nach dem Ende dieser Folge von Fusionsprozessen schrumpft der ausgebrannte Kern des Sterns zu einer extrem heißen Kugel von Erdgröße mit einer millionenfachen höheren Dichte als gewöhnliche Materie. Der heiße Zentralkörper bläst die umgebende Gashülle fort und ein kompakter Weißer Zwerg entsteht. Die weit überwiegende Zahl aller Weißen Zwerge wird im Laufe der folgenden Jahrmilliarden kühler und lichtschwächer.

Befindet sich jedoch in der Nachbarschaft des Weißen Zwergs ein relativ massenarmer Riesenstern, kann von diesem Materie überströmen. Erreicht die Masse des Weißen Zwergs einen kritischen Wert von 1,4 Sonnenmassen, explodiert der Stern, eine Supernova des Typs Ia bildet sich, die letztlich in einem Neutronenstern endet.

Die Leuchtkraft der thermonuklearen Explosion wächst in den ersten drei Wochen, um nach Überschreiten eines Maximums in den folgenden Monaten exponentiell zu fallen. Für kurze Zeit strahlt die Supernova heller als eine Galaxie.

Der Theorie zufolge ist die freigesetzte Energie in allen Typ Ia-Supernovae nahezu gleich, da die Explosion stets bei der kritischen Masse einsetzt. Sie sollten annähernd die gleiche Lichtkurve zeigen (siehe Abb. 13).

Genaue Vermessungen benachbarter Ia-Supernovae in den zurückliegenden zehn Jahren erlaubten die Bestimmung der Leuchtkraft bis auf 12 Prozent genau. Damit standen den Astronomen zuverlässige kosmologische Standardkerzen über sehr große Distanzen zur Verfügung. 1997 und 1998 suchten zwei Forschungsgruppen nach Ia-Supernovae mit Rotverschiebungen zwischen $z=0,3$ und $0,9$. Das „hig-z-team", das Brian P.

Schmidt vom australischen Siding Spring Observatory gründete, und das „Supernova Cosmology Project" unter der Leitung von Saul Perlmutter vom Lawrence Berkeley National Laboratory in Kalifornien. Die beiden unabhängig voneinander arbeitenden Gruppen beobachteten rund 50 weit entfernte Kernexplosionen des gesuchten Typs. Übereinstimmend war der überraschende Befund: Die Helligkeit der Ia-Supernovae lag im Mittel um 25 Prozent unter den erwarteten Werten. Ein Meßresultat, das das kosmologische Standardmodell in Frage stellt.

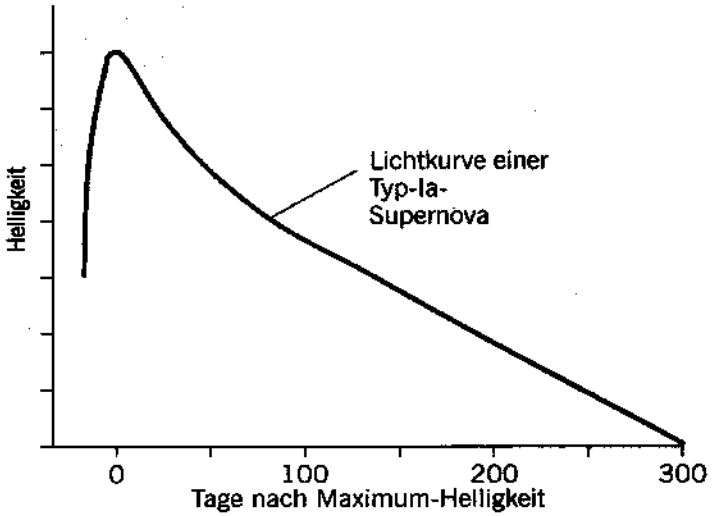


Abb. 13: Helligkeitsänderung der Supernovae des Typs Ia

Bevor die beiden Gruppen dramatische Schlußfolgerungen zogen, überprüften sie andere einfachere Erklärungsmöglichkeiten, beispielsweise die Frage, ob Staub längs des Lichtweges die Strahlung geschwächt haben könnte. Diese und andere Erklärungsmöglichkeiten konnten ausgeschlossen werden.

Als Konsequenz der Beobachtungen bleibt, daß die Struktur des Universums, seine Raum-Zeit, die unerwartet geringe Helligkeit ferner Supernovae bewirkt. Dabei können zwei Eigenschaften von Raum und Zeit wirksam sein:

Erstens könnte der Raum hyperbolisch sein und damit der Krümmungsparameter $k=-1$ und der Dichteparameter $\Omega_m<1$. Ein Lichtblitz aus der Frühzeit des Universums würde sich auf einer Kugel mit einer größeren Fläche verteilen als im Euklidschen Raum, uns also weniger hell erscheinen.

Zweitens könnte es aber auch sein, daß die Supernovae weiter von uns entfernt sind als es ihre Rotverschiebungen vermuten lassen. Das Licht mußte einen größeren Weg zurücklegen, um uns zu erreichen. Die Expansionsgeschwindigkeit in der Frühzeit des Universums war also kleiner als heute.

Vergleichen wir die Meßdaten mit den Vorhersagen des Friedman-Modells. Abb. 14 zeigt im logarithmischen Maßstab die gemessene Helligkeit jeder Supernova als Funktion ihrer Rotverschiebung.

Die drei ausgezogenen Linien entsprechen folgenden Varianten des Modells:

- Die unterste Linie ist die Vorhersage eines Friedman-Universums mit den Parametern $\Omega_m = 1$ und $\Omega_\lambda = \Omega_k=0$ ($H_0 = 50$ km s^{-1} Mpc^{-1}). Die Meßwerte weichen deutlich von dieser Modellvariante ab, die unter Einschluß der Inflation von der Mehrzahl der Kosmologen in den zurückliegenden 20 Jahren favorisiert wurde.
- Die mittlere Linie ist die Vorhersage eines Friedman-Universums mit den Parametern $\Omega_m = 0{,}3$, $\Omega_\lambda = 0$ und $\Omega_k = 2/3$ ($H_0 = 65$ km s^{-1} Mpc^{-1}). Selbst wenn man annimmt, daß das Universum nahezu materiefrei ($\Omega_m = 0$) ist, zeigt sich eine kaum bessere Übereinstimmung mit den Meßdaten.
- Die obere Linie ist die Vorhersage eines Friedman-Universums, das sich bei einigen Theoretikern wachsender Beliebtheit erfreut, mit den Parametern $\Omega_m = 0{,}3$, $\Omega_\lambda = 0{,}7$ und $\Omega_k = 0$ ($H_0 = 65$ km s^{-1} Mpc^{-1}).

Die beste Übereinstimmung mit den Meßdaten zeigt die letzte Modellvariante. Sie erlaubt zwar, an der Inflationshypothese festzuhalten, läßt aber die Frage offen nach der Bedeutung von $\Omega_\lambda = 0{,}7$, d. h. einer von Null verschiedenen Einsteinschen kosmologischen Konstanten.

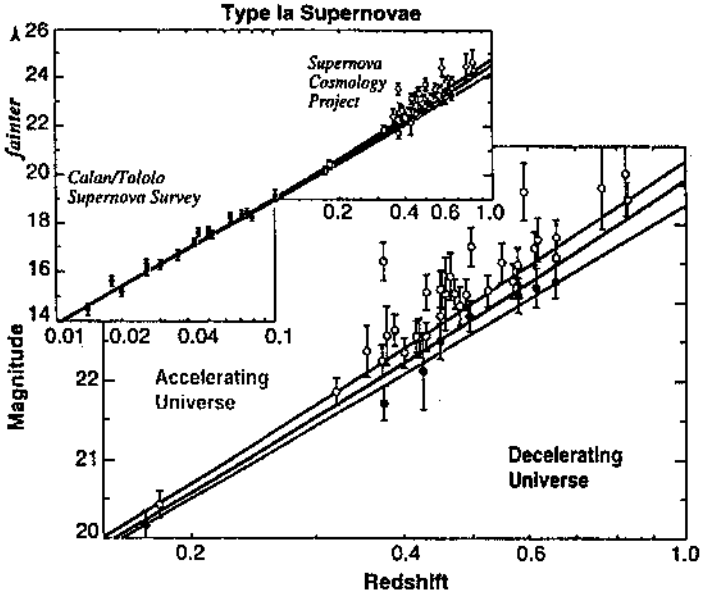


Abb. 14: Die Helligkeit von Typ Ia-Supernovae als Funktion der Rotverschiebung

Im Universum müßte eine Energie wirken, die nicht an Massen gebunden ist und die Expansion des Universums im Laufe der Zeit beschleunigt, also eine das gesamte Universum erfüllende, zeitlich unveränderliche Vakuumenergie, eine Art Antigravitation.

Die Frage nach dieser Vakuumenergie geht an die Teilchenphysiker. Bisherige Berechnungen der Vakuumenergie mittels der Quantenfeldtheorie ergaben einen Wert, der 120 Größenordnungen über dem Wert liegt, den man bei $\Omega_\lambda = 0{,}7$ erwarten sollte.

In einem bemerkenswerten Denkansatz betrachten einige Theoretiker eine zeitlich veränderliche Form der Vakuumenergie.* Diese dynamische Form einer inhomogenen Dunkelenergie trägt den bezeichnenden Namen „Quintessence".

* Caldwell, R. R.; Dave, R.; Steinhardt, P. J. Phys. Rev. Lett. 80 (1998), S. 1582.

Damit schließt sich ein Kreis über mehr als 2000 Jahre. In der Naturphilosophie des Aristoteles erfüllten den irdischen Raum die vier Grundelemente Erde, Wasser, Luft und Feuer, während den himmlischen Raum ein fünftes Grundelement, der Äther, – die Quintessence erfüllte.

Der Rückgriff auf das Ätherbild zeigt deutlich, daß wir trotz aller Fortschritte im 20. Jahrhundert noch weit von einer Theorie des Universums entfernt sind. Alle Versuche, am Friedman-Modell im flachen Raum festzuhalten, erinnern an die Versuche, das Weltbild des Ptolomäus durch zusätzliche Epiziklen zu retten, um besseren Meß- und Beobachtungsdaten zu genügen. Im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts werden wir eine Flut neuer Daten erleben. Die in den neunziger Jahren bereits zum Einsatz gekommenen und die noch in der Entwicklung befindlichen neuen Teleskope werden die Fehlergrenzen der Parameter des Modelluniversums deutlich reduzieren. Ob z. B. der Parameter Ω_λ von Null verschieden ist, läßt sich erst sicherstellen, wenn eine größere Zahl von Ia-Suopernovae mit Rotverschiebungen oberhalb $z = 0{,}9$ vermessen wird.

Eine weitere Frage, auf die wir bisher keine schlüssige Antwort besitzen, ist die nach den winzigen Irregularitäten aus der Frühzeit des Universums, die zu Galaxien, Haufen und Superhaufen führten. 1992 wurden mit Hilfe der COBE-Satelliten sehr kleine winkelabhängige Temperaturanomalien entdeckt. Die bisherigen Messungen reichten jedoch nicht aus, um quantitative Aussagen über die Abweichungen von der Isotropie des Raumes machen zu können. Hinzu kommt eine empfindliche Abhängigkeit der Entwicklung der Strukturen im Universum von der Größe des Dichteparameters. Je größer ρ_0 ist um so schneller wachsen die anfangs vorhandenen Inhomogenitäten.

Ob eine der Varianten des Modelluniversums die neue Datenflut überleben wird, ist offen. Vielleicht stehen wir vor einem Umbruch der Physik vergleichbar dem am Beginn des 20. Jahrhunderts.

Lothar Kolditz

Informationsverarbeitung in der Wissenschaft – Buchdruck und Internet

1. Daten- und Informationsfülle

Informationen ergeben sich aus Daten, die in einem bestimmten Zusammenhang stehen, und Wissen folgt aus der Kenntnis von zusammenhängenden Informationen. Alle Wissenschaftsdisziplinen sind mit einer ständig ansteigenden Informationsflut konfrontiert, so daß der aktuelle Überblick selbst über Teilgebiete zunehmend schwerer zu erreichen ist. Besonders die experimentellen Wissenschaftsbereiche haben mit einer Datenfülle zu kämpfen, die ohne bilanzierende und zusammenfassende Bearbeitung nur ungenügend erschlossen werden kann.

Das soll am Beispiel der Chemie demonstriert werden. Allein in der anorganischen Chemie werden jährlich mehr als 500000 neue Verbindungen synthetisiert [1] und in nahezu ebenso vielen Veröffentlichungen beschrieben. Hinzu kommen Messungen an neuen und alten Verbindungen, die bei den heutigen durchweg computergestützten Geräten lawinenartig anwachsen, was besonders bei Verbindungen der Fall ist, die in anwendungstechnisches Interesse rücken. Es handelt sich dabei nicht nur um Verbindungen, die unter normalen Bedingungen stabil sind. So wurde z. B. die lange bekannte Verbindung Phosphormonofluorid, die in einem Gasgleichgewicht existiert und aus einem Phosphor- und einem Fluoratom besteht, spektroskopisch ausführlich untersucht und thermodynamisch charakterisiert, und zwar zeitlich wenig versetzt von amerikanischen, russischen und chinesischen Forschergruppen. Der Grund war die mögliche Eignung der Verbindung als aktives Medium zur Herstellung leistungsstarker Laser. Die Meßdaten wurden dann freigegeben, weil offensichtlich in diesem System Anwendungsprobleme auftraten.

Die Literaturflut der Veröffentlichungen in Zeitschriften wird noch durch Beschreibungen von Festkörpersystemen mit variabler Zusammensetzung

verstärkt, die nicht mehr dem klassischen Verbindungstyp mit wohldefinierter Formel entsprechen, sondern Systemcharakter haben und spezifische Materialeigenschaften für die verschiedensten Anwendungsgebiete aufweisen. In diesem Zusammenhang zu nennen ist die Hochleistungskeramik, ohne die z. B. die Raumfahrt nicht zu realisieren wäre. Die gesamte Mikroelektronik basiert auf komplizierten Festkörpersystemen mit Dotierungen, das sind gezielte Verunreinigungen, die die gewünschten Effekte erst hervorrufen.

Festkörpersysteme weisen auch nicht mehr in jedem Fall die vom klassischen Chemiker stets angestrebte kristalline Ordnung auf. Sie können amorphe Bestandteile enthalten oder durchweg amorphen Aufbau haben wie die Gläser [2]. Die Beschreibung von Festkörpersystemen ist so in der Regel mit einer noch größeren Datenfülle verbunden als diejenige von Einzelverbindungen.

Die mit der anorganischen und physikalischen Chemie direkt und indirekt verbundene Datenmenge wird um ein Vielfaches übertroffen durch die praktisch nicht mehr zählbaren organischen Verbindungen, die vorrangig die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel enthalten. Ihre Kombinationen mit anderen Elementen des Periodensystems, die elementorganischen Verbindungen, vergrößern die Anzahl beträchtlich, und ein Großteil davon ist wiederum Anlaß zu physikalisch-chemischen Messungen mit entsprechender Datenproduktion. Schließlich soll nur noch ein Hinweis gegeben werden auf die Datensturzflut, die aus der Genforschung in der Biochemie und entsprechenden Projekten entspringt. Verstärkt wird das Ganze noch durch die Patentliteratur.

Die genannten Beispiele aus der Chemie haben Analogien in allen Experimentalwissenschaften und messenden Wissenschaften sowie in der Medizin.

Statistischen Erhebungen liegt die gezielte Auswahl von Daten zu Grunde, mit deren Bearbeitung Zustände festgestellt, Tendenzen beschrieben und Prognosen abgeleitet werden. Aus einfachen Daten entstehen komplexe oder zusammengefaßte Daten. Bei sozial- und geisteswissenschaftlichen Ergebnissen wird in der Regel von komplexen oder partiell zusammengefaßten Daten ausgegangen, die in allgemeine Zusammenhänge gestellt werden. Arbeiten philosophischen Charakters haben *a priori* zusammengefaßte Daten zum Inhalt. Das gilt auch für die theoretischen Zweige der Expe-

rimentalwissenschaften und natürlich für die Mathematik. Die Ergebnisse der reinen Mathematik beziehen sich nicht auf Einzeldaten, sondern sind von vornherein auf gedankliche Zusammenhänge ausgerichtet.

Der Anstieg an Wissen erzeugt in allen Wissenschaftszweigen einen exponentiellen Zuwachs an zusammengefaßten Daten, deren Bewältigung auch mit modernen Methoden noch keineswegs beherrscht wird. *Stewart Brand*, Mitglied der Gruppe *The Clock of the Long Now*, prognostiziert durch Extrapolation etwa für das Jahr 2030 eine Singularität der Information, gewissermaßen ein Schwarzes Loch der Information, das bisher geläufige Schlussfolgerungen und Voraussagen nicht mehr gestattet [3].

Zur weiteren Beleuchtung der Problematik soll zunächst auf die Entwicklung der Daten- und Informationsregistrierung ab Mitte des 17. Jahrhunderts eingegangen werden, wobei wiederum das Beispiel Chemie als Leitfaden gewählt wird. Seit dieser Zeit ist ein deutlicher Anstieg in der wissenschaftlichen Informationsregistrierung festzustellen.

2. Daten- und Informationsregistrierung

Die industrielle Revolution ab Mitte des 18. Jh. wirkte sich auf eine verstärkte Entwicklung der Wissenschaften, besonders der Natur- und Technikwissenschaften aus, deren Ansehen durch offensichtliche Erfolge beträchtlich wuchs. Die Mystik der Alchimie wurde überwunden. In der Chemie häuften sich Berichte aus verschiedenen Laboratorien, die neue Reaktionen beschrieben und die Entdeckung von chemischen Elementen anzeigten. *Scheele* in Schweden (1742–1786), *Cavendish* in England (1731–1810), *Lavoisier* in Frankreich (1743–1794), *Klaproth* in Deutschland (1743–1817), *Gadolin* in Finnland (1760–1852) traten besonders hervor.

Für Informationsverbreitung sorgten im 18. Jh. und verstärkt zu Anfang des 19. Jh. gegenseitige Besuche der Forscher in den Laboratorien mit Durchführung gemeinsamer Arbeiten, die eine Förderung von den Regierungen erfuhren, weil ein Wirtschaftsaufschwung davon erwartet wurde, was auch eintrat, und das nicht nur in technischer Hinsicht. *Georg Christoph Lichtenberg* (1742–1799) regte z. B. nach seiner Englandreise an, in Deutschland das Bäderwesen zu entwickeln. Obwohl er die Nordsee empfahl, entstand 1793 als erstes das Ostseebad Heiligendamm.

Im Laboratorium von *Jöns Jacob Berzelius* (1779–1848) in Stockholm studierten u. a. seine Schüler *Eilhard Mitscherlich* (1794–1863), *Heinrich Rose* (1795–1864), *Friedrich Wöhler* (1800–1882) und *Gustav Magnus* (1802–1870).

Berzelius unternahm Reisen nach Frankreich und England zu *Gay-Lussac* (1778–1850), *Thenard* (1777–1857), *Dulong* (1785–1838), *Wollaston* (1766–1828) und zu *Davy* (1778–1829), der sich wiederum zur Diskussion mit *Berzelius* in Schweden traf. *Berzelius* berichtete über 7 Reisen zwischen 1819 und 1845 nach Deutschland [4]. Er besuchte nicht nur Laboratorien, sondern reiste auch nach Karlsbad und Eger, wo er sich mit *Goethe* (1749–1832) traf, um Mineralien zu sammeln. Er zeigte *Goethe* die Mineralienanalyse mittels Lötrohr und korrigierte eine fehlerhafte Bestimmung *Goethes*, worauf dieser herzlich bedauerte, daß seine Jahre – er war 72 – ihn hinderten, die Handhabung des Lötrohres zu erlernen. Mineralogie, Kristallographie und Chemie waren damals eng miteinander verbunden, vorrangiger Untersuchungsgegenstand der Chemiker waren die Mineralien.

Als Informationsquellen in jener Zeit dienten Tagungsbesuche, Reiseberichte und der Briefwechsel der Gelehrten, aus denen auch das gesellschaftliche Leben hervorging. Die erste Seite einer Unterschriftenliste von der Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Berlin im September 1828 enthält die Namen von *Alexander von Humboldt* (1769–1859), *Berzelius, Ørsted* (1777–1851), *Gauß* (1777–1855), *Tiedemann* (1781–1861), *Leopold Gmelin* (1788–1853) und *Hufeland* (1762–1836) [1].

Die Arbeiten der Forscher wurden in Zeitschriften niedergelegt, die sich nicht nur auf die Chemie bezogen. Zu den ältesten noch heute herausgegebenen wissenschaftlichen Zeitschriften zählen die *Phylosophical Transactions of the Royal Society of London*, die seit 1665 erscheinen. Die Veröffentlichungen der Akademien waren auf die Wissenschaft allgemein ausgerichtet mit steigender Tendenz zu Naturwissenschaften. Dazu gehört das *Journal des Savants der Académie des Sciences* ab 1792, dessen Vorläufer seit 1665 in Paris erschienen war. Die erste deutsche Chemiezeitschrift, das *Chemische Journal für die Freunde der Naturlehre, Arzneygelahrtheit, Haushaltungskunst und Manufacturen* wurde 1778 gegründet, 1789 folgten die französischen *Annales de Chimie*. Die heute noch zum Teil nach Ver-

einigung mit anderen Journalen herausgegebenen Zeitschriften *Journal für Praktische Chemie* erscheinen seit 1834 (Vorläuferzeitschriften ab 1798 [5]). *Liebigs Annalen der Chemie* seit 1873/74 hervorgegangen aus 1832 gegründeten Zeitschriften, und die französischen, das ganze Wissenschaftsgebiet umfassenden *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences* seit 1835.

Die in Zeitschriften veröffentlichten Arbeiten wurden so zahlreich, daß die Notwendigkeit regelmäßiger kurzer Zusammenfassungen erkannt wurde. Der Leipziger Psychologe und Physiker *Gustav Theodor Fechner* (1801–1887) begründete das *Pharmaceutische Central-Blatt* im Jahre 1830 mit einer auf Inhaltsangaben von Veröffentlichungen gerichteten Zielstellung, die er klar im Herausgebervorwort umriß. Durch den Namen des Zentralblattes wird nunmehr auch die Rolle der Pharmazie als Quelle der Chemie angesprochen, was *Liebig* (1803–1873) mit den Worten charakterisierte: „Die Chemie war die Dienerin des Arztes, dem sie Purganzen und Brechmittel bereitete".

Das *Pharmaceutische Central-Blatt* wurde 1850 in *Chemisch-Pharmaceutisches Central-Blatt* und 1856 in *Chemisches Zentralblatt* umbenannt. Insgesamt erlebte das Zentralblatt 140 Jahrgänge, es wurde 1969 eingestellt. Die 1907 in den USA gegründeten *Chemical Abstracts* hatten dem *Chemischen Zentralblatt* endgültig den Rang abgelaufen und sind nun das führende Registerblatt chemischer Arbeiten der ganzen Welt, von denen schätzungsweise etwa 80% in den Abstracts erfaßt werden.

Das *Chemische Zentralblatt* brachte und die *Chemical Abstracts* bringen kurze Zusammenfassungen der Arbeiten, geordnet nach Sachgebieten. Bilanzierung und Bewertung werden nicht vorgenommen.

Neben der Registrierung von Arbeiten in kurzen Zusammenfassungen war bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Notwendigkeit bewertender Zusammenfassungen erkannt worden. *Berzelius* nahm in seinen Schriften eine Einschätzung vor allem der chemischen Ergebnisse vor, wozu ihm als Grundlage seine Jahresberichte an die Schwedische Akademie dienten, aus denen er jeweils am Högtitstag der Akademie im März einen Auszug vortrug. Seit 1821 erschienen die *Jahresberichte über die Fortschritte der Physischen Wissenschaften, der Chemie und der Mineralogie von Berzelius*, ab 1842 umbenannt in *Jahresberichte über Fortschritte der Chemie und Mineralogie*. Sie wurden 1850 eingestellt.

Leopold Gmelin, aus einer Familie stammend, die bedeutende Vertreter der verschiedensten Wissenschaften, insbesondere aber der Naturwissenschaften hervorgebracht hatte, gab 1817 bis 1819 ein *Handbuch der theoretischen Chemie* heraus, das als Lehrbuch gedacht war und wegen des Erfolges in den nächsten Jahrzehnten in mehreren Neuauflagen herauskam. Dabei änderte sich der Charakter des Buches, es wurde zum Nachschlagewerk, zu einem Handbuch im heutigen Sinn. Vier Auflagen wurden von *Gmelin* selbst bearbeitet und behandelten die gesamte Chemie, während Bearbeitung und Herausgabe von der 5. Auflage an in fremden Händen lag. Ab der 5. Auflage war der im Handbuch verarbeitete Stoff auf die anorganische Chemie beschränkt. Die 1924 begonnene 8. Auflage wurde zum umfassenden Handbuch der anorganischen, metallorganischen und physikalischen Chemie ausgebaut. In 965 Bänden und Ergänzungsbänden sind die diesbezüglichen Forschungsarbeiten über Verbindungen aller Elemente des Periodensystems wissenschaftlich vollständig und bilanziert bis zu dem jeweils angegebenen Literaturschlußdatum zusammengefaßt. Neben dem Handbuch existiert die Registerdatenbank *(Gmelin Formula Index)* und die Gmelin-Faktendatenbank, die in elektronischer Ausgabe verfügbar ist. Seit 1982 wurden alle Handbuchbände des *Gmelin* in englischer Sprache herausgegeben. Der Informationswert des *Gmelin* übersteigt denjenigen des besten Referateorgans *Chemical Abstracts* beträchtlich, da als Grundlage die Originalarbeiten bewertet und durch Kreuzvergleiche auch sämtliche Literaturzitate der Originalarbeiten erfaßt wurden, so daß auch Arbeiten Berücksichtigung fanden, die in den *Chemical Abstracts* fehlen, abgesehen davon, daß das Referateorgan lediglich Zusammenfassungen der einzelnen Originalarbeiten veröffentlicht ohne deren Bilanzierung. Die vergleichende Bewertung der Veröffentlichungen im *Gmelin* deckte auch Fehler und Widersprüche auf, die korrigiert wurden. Die Arbeit am *Gmelin* wurde von zahlreichen Fachautoren außerhalb des Gmelin-Instituts geleistet und von Fachredakteuren im Gmelin-Institut in Frankfurt am Main bis zur Druckreife geführt. Auf diese Weise war ein Optimum an Zuverlässigkeit der Texte gewährleistet. Der Senat der Max-Planck-Gesellschaft beschloß am 14. November 1997, aus ökonomischen Gründen die Handbuchproduktion des *Gmelin* einzustellen und das Gmelin-Institut aufzulösen. Proteste zahlreicher Wissenschaftler, die sogar bis zur UNESCO eingereicht wurden, waren zwecklos. Die Einstellung der traditionsreichen Handbuchproduk-

tion des *Gmelin* bedeutet den Abbruch einer Informationskultur in der Chemie, vergleichbar wäre eine Einstellung der Arbeiten zum *Thesaurus Linguae Latinae* oder dem *Handbuch der Altertumswissenschaften*. Die Weiterentwicklung und Fortführung der begonnenen Modernisierung des Gmelin unter Online-Einbeziehung wäre der richtige und auch ökonomisch vertretbare Weg gewesen.

3. Literaturkategorien in der Wissenschaft

Die Erfolge jeder Forschung sowohl in Grundlagen als auch in Anwendung sind ohne ausreichende Information, die durch ständige Kommunikation ergänzt werden muß, stark beeinträchtigt. Die Gefahr der Doppelarbeit wächst, und die Ergiebigkeit sinkt wegen fehlender Anregung und Impulse. Andererseits ist zu viel Einzelinformation ohne Entschlüsselung der Zusammenhänge für die Weiterentwicklung auch nicht von Nutzen. Vor lauter Bäumen wird der Wald nicht erkannt.

Die Registrierung von Daten und zusammengefaßten wissenschaftlichen Ergebnissen hat sich in allen Disziplinen geprägt durch die Datenart und den Charakter der Informationen entwickelt. In Fachzeitschriften überstreichen Originalarbeiten als aktuelle wissenschaftliche Basisinformation das gesamte Einzugsgebiet der betreffenden Zeitschrift und sind in der Regel nicht vorgeordnet. Eine gewisse Sortierung kommt zustande, wenn in Sonderheften die Vorträge von Tagungen wiedergegeben werden, wodurch der Stand des Gebietes weiter verbreitet wird, als es durch Tagungsbände allein möglich ist. Zeitschriften, die außerdem zusammenfassende Übersichten bringen, helfen dem Spezialisten, Informationen über angrenzende oder ihn interessierende Gebiete zu erlangen ohne ein zeitaufwendiges Studium vieler Einzelarbeiten. Die Übersichten beleuchten Teile von Gebieten, eine vollständige allumfassende Information kann damit natürlich nicht erreicht werden.

Referateorgane wie die bereits genannten *Chemical Abstracts* bringen zwar eine aktuelle Sammlung von Veröffentlichungen, aber eben ohne Bilanzierung und Bewertung, was bei ständig steigendem Angebot den Überblick zunehmend erschwert. Analoges gilt für Sammlungen, die in mehreren Ausgaben das gesamte Wissensgebiet zu überstreichen versuchen wie die *Current Contents*, eine Titelsammlung, herausgegeben vom Institute for

Scientific Information in Philadelphia.

Der Überblick über ein größeres Gebiet wird dem Forscher am ehesten durch Handbücher erschlossen. Solche Werke, die in bilanzierten Berichten Informationen über ganze Wissenschaftszweige im Zusammenhang darstellen und Vollständigkeit anstreben, liegen im aktuellen Stand wegen der notwendigen Bearbeitung etwas zurück, auch Datenbanken von elektronischen Ausgaben der Handbücher erfordern Bearbeitungszeit. Monographien behandeln enger begrenzte Gebiete, können dadurch aktueller sein, erreichen aber wiederum den neuesten Stand in Zeitschriften naturgemäß nicht.

In den experimentellen Naturwissenschaften gibt es außer den Handbüchern Tabellenwerke, die unter Beteiligung internationaler Gesellschaften ständig auf neuesten Stand gebracht werden. Die Handbücher der reinen Naturwissenschaften werden ergänzt durch spezifisch ausgerichtete Werke, z. B. Handbücher der technischen Chemie.

Das Lehrbuch schließlich dient als Basisinformation, spezifische neueste Einzelinformationen sind darin nicht enthalten.

Der bisherige hauptsächliche Wissensspeicher, die gedruckte Information, wird zunehmend ergänzt durch die großen Kapazitäten der elektronischen Speicherung, über die auch Zeitschriften und andere gedruckte Informationen ohne direkte Nutzung von Bibliotheken zugänglich sind. Praktisch alle relevanten naturwissenschaftlichen Zeitschriften sind online verfügbar. Naturwissenschaftliche elektronische Datenbanken vermitteln darüber hinaus Informationen, die ständig ausgebaut werden. Daß die elektronischen Möglichkeiten eine Beherrschung der Datenflut allein noch nicht gewährleisten, wurde bereits erwähnt. Es soll nun die Frage untersucht werden, ob nicht das Handbuch im Verein mit den elektronischen Verfahren die Situation verbessern hilft.

4. Handbücher in verschiedenen Disziplinen

Ein hohes Aufkommen an Information führt zwangsläufig zur Spezialisierung der damit verbundenen Wissenschaftler. Dies geht deutlich aus der Entwicklung des Gmelin vom Gesamtgebiet der Chemie zur anorganischen Chemie hervor. Das Wissen eines Spezialisten bezieht sich auf Informa-

tionszusammenhänge in stark eingeengten Gebieten und birgt die Gefahr der Isolierung in sich. Handbücher sind eine Möglichkeit, dieser Gefahr zu begegnen. Der Spezialist kann sich mit relativ geringer Mühe, die vom Aufbereitungsgrad des Handbuches abhängt, über angrenzende bzw. interessierende Gebiete informieren. Handbücher gehen in der Regel über den Lehrbuchcharakter hinaus, sie sind Nachschlagewerke vor allem für die Forschung, und in diesem Sinne soll der Begriff Handbuch hier verstanden werden.

Dabei ist der ökonomische Nutzen nicht in einfacher Weise einzuschätzen. Der Aufschwung in der chemischen Industrie Deutschlands in der 2. Hälfte des 19. Jh. und danach wurde wesentlich durch vorbildliche Informationsaufbereitung gefördert. Das dem oben beschriebenen *Gmelin* entsprechende Handbuch der organischen Chemie ist der *Beilstein*, dessen 1. Auflage 1880/82 erschien. Das Werk wurde begründet von *Friedrich Konrad Beilstein* (1838–1906). Seit 1918 ist die 4. Auflage in Bearbeitung, 530 Bände und Ergänzungsbände wurden herausgegeben. Der *Beilstein* ist auch online verfügbar.

Wohl durch das Beispiel des *Gmelin* war die Handbuchproduktion in der Chemie sehr hoch entwickelt. Handbücher in anderen Gebieten weichen in der Anlage naturgemäß von den chemischen Handbüchern ab, haben aber analoge Funktionen.

In der Mathematik wurde das weltweite Forschungsprojekt QED *(quod erat demonstrandum)* als den Handbüchern analoge Zusammenfassung in Angriff genommen, das eine elektronische Registrierung aller mathematischen Beweise und Erkenntnisse anstrebt. Auch in der Medizin sind analoge Bestrebungen z. B. innerhalb der *Cochanan Library* in der Entwicklung.

In die Handbuchkategorie ist auch die bereits 1768/71 in erster Auflage erschienene und heute umfassend ausgebaute *Encyclopedia Britannica* einzuordnen. In Zukunft erscheint die *Encyclopedia Britannica* nicht mehr in gedruckter Form, sondern ist als CD-Rom erhältlich und im Internet abrufbar, was auch die Verfügbarkeit von Überarbeitungen erleichtert. Das *Grimmsche Deutsche Wörterbuch* und auch der *Thesaurus Linguae Latinae* sind Enzyklopädien mit spezifischer Ausrichtung.

Das *Historische Wörterbuch der Philosophie* von *Ritter* und *Gründer* umfaßt 12 Bände und einen Registerband. In Fortsetzungsreihen existieren Handbücher zur Geschichte der Philosophie mit den *Instrumenta Philoso-*

phica. Das *Handbuch Philosophie* besteht aus zahlreichen Bänden verschiedener Autoren zum Gesamtgebiet der Philosophie. Im umfangreichen Fortsetzungswerk *Handbuch der Altertumswissenschaften* wird die Geschichte der Philosophie, die Geschichte der Mathematik und Naturwissenschaften, die Religionsgeschichte und die Literaturgeschichte bezogen auf Zeitepochen und geographische Abgrenzungen behandelt.

Umfangreiche Handbücher zur Kunstwissenschaft stehen in der Reihe *The Pelican History of Art* und mit dem Titel *Propyläen Kunstgeschichte* (Kurt Bittel u. a.) zur Verfügung.

Einen anderen Charakter hat das *Handbuch der historischen Buchbestände*, das von der Volkswagenstiftung im Rahmen ihrer Schwerpunktförderung „Beispiele kulturwissenschaftlicher Dokumentation" gefördert wird und drei Abteilungen aufweist, die die historischen Buchbestände in Deutschland, in Österreich und im übrigen Europa erfassen. Die Bände Berlin (14–15), Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg (16), Sachsen (17–18), Thüringen und Sachsen-Anhalt (19–20) wurden von *Friedhilde Krause* herausgegeben. Das Handbuch ist als Inventar zu dem vom Beginn des Buchdruckes bis zum Ausgang des 19. Jh. erschienenen Schrifttums konzipiert und erfaßt in Übersichten Bestandskomplexe der einzelnen Bibliotheken in bibliothekshistorischer und bibliothekssystematischer Hinsicht. Es richtet sich damit nicht wie Verzeichnisse und Kataloge auf den einzelnen Titel, sondern auf Bestandsgruppen, die eine Bibliothek charakterisieren und ihre spezielle Leistungsfähigkeit ausweisen. Die wissenschaftliche und bibliothekarische Arbeit wird durch dieses Handbuch erheblich erleichtert [6].

Durch die behandelten Beispiele wird deutlich, daß Handbücher als Zusammenfassung erarbeiteten Wissens nicht der Vergangenheit angehören, sondern als Orientierung in der Informationsflut dienen können.

5. Buchdruck und Internet

Mit dem Internet steht heute eine globale Daten- und Informationsfülle zur Verfügung, die eine Revolution in der Informationsvermittlung hervorgerufen hat, wie sie wohl nur mit der Gutenbergschen Erfindung der Buchdruckerkunst vergleichbar ist.

Der gewaltige Anstieg an Information durch den Buchdruck hat aus-

schlaggebend zum Ende des Mittelalters beigetragen. In seiner Denkschrift über die Errichtung einer Akademie zur Förderung der Künste und Wissenschaften in Deutschland nennt *Gottfried Wilhelm Leibniz* (1646–1716) bei der Würdigung von Erfindungen den Buchdruck zuerst, vor der Erfindung des Schießpulvers, den Errungenschaften des Bergbaus, den Erkenntnissen der Chemie und der Mechanik, der Konstruktion der Uhr, den Ingenieurleistungen in den Wasserkünsten, den Arbeiten der Gold- und Zirkelschmiede. Von *Georg Christoph Lichtenberg* stammt die Einschätzung, daß das Blei mehr als das Gold die Welt verändert hat und mehr als das Blei in der Flinte das Blei im Druckkasten.

Aber wie alle Erfindungen brachte der Buchdruck auch Schattenseiten hervor. Nach der Hexenbulle von *Papst Innozenz VIII.* (Summis desiderantes, 3. Dezember 1484) fand der *Hexenhammer*, verfaßt von den Inquisitoren *Heinrich Institoris* und *Jakob Sprenger* (Malleus maleficarum, Straßburg 1487), als Unterweisung in dem henkermäßigen Verfahren gegen vermeintliche Hexen gerade durch den Druck eine große Verbreitung und löste eine ungeheure Verfolgungswelle aus. In der Schweiz erfolgte die letzte bekannte Hinrichtung 1782. Der letzte der offiziellen Hexenprozesse in Deutschland fand 1793 in Posen statt. Gedrucktes vermag eben nicht nur zu bilden und aufzuklären, es kann auch mißbraucht werden, in die Irre führen und verdrehen. Mit dem Anstieg an Information entwickelt sich Positives und Negatives, die wissenschaftliche Literatur ist dabei nicht ausgenommen. Mit wissenschaftlicher Aufklärung kann aber der Fehlinformation und dem Informationsmißbrauch zumindest begegnet werden.

Kant (1724–1804) hat in seinem Artikel „Was ist Aufklärung" in der *Berlinischen Monatsschrift* vom Dezember 1784 auf einen besonderen Aspekt hingewiesen. Er schreibt: „Aufklärung ist der Ausgang des Menschen aus seiner selbstverschuldeten Unmündigkeit.... Es ist so bequem, unmündig zu sein. Habe ich ein Buch, das für mich Verstand hat, einen Seelsorger, der für mich Gewissen hat, einen Arzt, der für mich die Diät beurteilt usw., so brauche ich mich ja nicht selbst zu bemühen. Ich habe nicht nötig zu denken, wenn ich nur bezahlen kann."

Im Internet ist nun eine schier unermeßliche Informationsquelle erschlossen. Der Quantitätssprung ist aber wohl noch nicht so klar in das allgemeine Bewußtsein gedrungen angesichts der Überfülle an gedruckter und audiovisueller Information, die uns allenthalben zur Verfügung steht.

Das Grundkonzept des Internet ist eine Erfindung des Militärs. Ende der 60er Jahre wurde von einer Forschungsentwicklungsgruppe des Pentagon mit Namen ARPA *(Advanced Research Projects Agency)* ein Auftrag zur Entwicklung einer Technologie erteilt, die alle militärischen Computer so miteinander vernetzt, daß auch bei thermonuklearen Angriffen und Naturkatastrophen die Funktionsfähigkeit erhalten bleibt. Das in diesem Zusammenhang geschaffene ARPAnet verwendete keinen Zentralrechner, von dem aus die Daten an die anderen Rechner geschickt wurden. Die Daten wurden vielmehr in kleine Pakete aufgeteilt, die einzeln auf verschiedenen Wegen über das Netz liefen und beim Empfänger wieder zusammengesetzt wurden. Zunächst waren bestimmte Rechner der Universitäten von Kalifornien und Utah sowie die Rechner der NASA zusammen geschaltet, wodurch ein Vorgänger des Internet entstanden war.

Mit Beginn der 80er Jahre wurden an wissenschaftlichen Einrichtungen vernetzte Arbeitsplatzrechner eingeführt, die den Wandel des ARPAnet von einem militärischen Forschungsnetz zu einem Arbeitsmedium der gesamten Forschung, dem Internet, einleiteten. Der Betrieb des Netzes ging von der militärischen Organisation auf die *National Science Foundation* der USA über, was den Anschluß anderer Länder an das Internet ermöglichte und in exponentiellem Anstieg zur heutigen weltweiten Vernetzung führte. Die ungeheuren Vorteile des Internet wurden sofort vom Kommerz erkannt und in voller Breite wahrgenommen. Aus dem ursprünglichen Forschungsnetz ist ein globales Kommunikations- und Informationssystem hervorgegangen, das alle menschlichen Ambitionen erfaßt. Der in unserer Zeit ablaufende Prozeß der Globalisierung erhält dadurch entscheidende Impulse und erfährt eine Beschleunigung.

Daß sich die Menschen damit näherkommen, gilt aber wohl nur bedingt. Bei aller berechtigten Begeisterung für das neue Medium sollte bedacht werden, daß eine Zurückdrängung des persönlichen Gesprächs zu einer Verkürzung in der direkten Kommunikation führt und im Extremfall, trotz weltweiter Verbindung, eine Verarmung und Entfremdung menschlicher Beziehungen hervorrufen kann. Die weitere Entwicklung sollte in dieser Hinsicht ebenso aufmerksam verfolgt werden wie der technische Fortschritt. Vor allem die Psychologie erhält damit eine wichtige Aufgabenerweiterung. Eine kreative Atmosphäre verlangt auch die direkte persönliche Unterhaltung. Tagungen, Institutskolloquien und Gespräche am

Arbeitsplatz in den Instituten behalten nach wie vor ihre Bedeutung.

In wissenschaftlicher Hinsicht bietet das Internet die Möglichkeit, über Suchmaschinen und Meta-Suchmaschinen das globale elektronisch dokumentierte Wissen zu erreichen. Freilich bewältigen selbst schnelle Suchmaschinen die Datenflut nicht vollständig. Die Suchstrategie ist entscheidend für den Erfolg. Eine zu allgemeine Stichworteingabe liefert viel zu zahlreiche, nicht verwertbare Treffer und eine zu spezielle Eingabe führt zu Fehlmeldung. An Verbesserungen im Suchmechanismus wird ständig gearbeitet. Eine thesaurusbasierte Erschließung von Fachinformationen erscheint als eine geeignete Strategie, bei der Ober- und Unterbegriffe, Schwesterbegriffe, d. h. Begriffe mit gemeinsamem Oberbegriff, Synonyme und verwandte Begriffe automatisch in die Suche einbezogen werden. Erforderlich dazu ist natürlich die Entwicklung entsprechender Thesauri [7].

Zeitschriften sind online lesbar. Bibliotheken, Universitäten, Akademien, wissenschaftliche Gesellschaften sind angeschlossen und bieten umfangreiches Informationsmaterial. Die Leibniz-Sozietät ist über http://www2.hu-berlin.de/leibniz-sozietät zu erreichen. Vernetzungen gleichgearteter Einrichtungen, z. B. der Kataloge von Bibliotheken, erleichtern den Zugriff, wobei an weiteren Rationalisierungen ständig gearbeitet wird [8]. Der Zugang zu Enzyklopädien und Datenbanken ist gewährleistet. Es werden elektronische internationale Foren veranstaltet, in *Newsgroups* laufen Diskussionen zu Problemen, die von Teilnehmern formuliert werden. Es gibt Zeitschriften, die nur online erscheinen. Das Internet ist Publikationsmedium für Diplom- und Doktorarbeiten. Konferenzen werden im Internet veranstaltet. Im *Peer Review* hat der Herausgeber einer Fachzeitschrift die Möglichkeit, zur Veröffentlichung vorgesehene Artikel Fachgutachtern zukommen zu lassen, nach deren Urteil über die Publikation entschieden wird. Dieses Vorhaben wird durch Nutzung der elektronischen Weiterleitung über E-Mail erheblich erleichtert. Ein Artikel kann auch außerhalb des *Peer Review* entsprechend gekennzeichnet im Internet zur Diskussion gestellt werden. Jeder Fachkollege ist dann in der Lage, z. B. über E-Mail seine Meinung zu äußern.

Die unmittelbare Kommunikationsmöglichkeit im Internet ist eine neue Qualität, die mit dem Buchdruck in diesem Maße nicht erreicht wird. Auswertungen von Fremdergebnissen und Vergleiche mit eigenen Messungen,

z. B. Spektrenvergleiche unter Verwendung definierter Auswerteprogramme, sind direkt möglich. In Lexika und Büchern werden auch Internetadressen zur Weiterführung und Vertiefung der vorgestellten Problematik angegeben, wobei allerdings das Buch durch seine Fixierung als Dokument der leichten Änderungsmöglichkeit der Internettexte gegenübersteht. Es kann dadurch im Laufe der Zeit zu Inkonsistenzen kommen, wenn nicht Archivierungen von Internettexten, die gedruckte Ausführungen ergänzen, vorgesehen werden. Die Sicherung von Urheberrechten muß gleichermaßen Beachtung finden.

Globale Unternehmen, die im Wettbewerb zu immer diffizileren Methoden greifen, sind zum Wissensmanagement übergegangen. Es wird nicht mehr den einzelnen Forschungsabteilungen oder gar dem einzelnen Wissenschaftler allein überlassen, welche Zusammenarbeit von Gruppen und Wissenschaftlern erfolgt. Das Wissensmanagement stellt sich die Aufgabe, im Wissensdschungel Orientierungen zu finden. Es hat die Aufgabe, Wissen in den Köpfen zu identifizieren, Ideen, Geistesblitze, Talente und Kenntnisse aufzuspüren, die kreativen Kräfte zu mobilisieren und so einen höheren Nutzeffekt zu erreichen. Daß hierbei immer das Urheberrecht geschützt bleibt, wenn Ökonomie und Ruhm dahinterstehen, ist kaum anzunehmen. Das Spannungsfeld ist vorhanden, und je höher der Wert oder die Bedeutung, desto größer ist auch die damit verbundene Gefahr des Betrugs, der sich sowohl als Plagiat als auch als grobe Fälschung und Erfindung von Ergebnissen äußern kann. Berichte darüber häufen sich. Ein skandalöses Beispiel in der Krebsforschung ist nur wenige Jahre alt.

Das Patentwesen bietet auch keinen vollständigen Schutz, seine mißbräuchliche Nutzung ist nicht auszuschließen. Hinzu kommen die Möglichkeiten der Forschungs- und Wirtschaftsspionage durch Eindringen von Hackern in geheime Dateien unter Überwindung von Sicherheitssperren (z. B. Firewall) und Entschlüsselung von über das Netz laufenden Passwörtern und Geheimzahlen. Dahinter steckt kriminelle Energie zur Beschaffung von finanziellen Vorteilen und unter Umständen auch zunächst die intellektuelle Befriedigung durch Lösung komplizierter Aufgaben und Erzielen weitreichender Effekte.

Die Produktion von Computerviren und Trojanischen Pferden ist in diesem Zusammenhang zu nennen. Computerviren verbreiten sich über das Netz, sie können auch durch illegale Kopien eingeschleust werden, veran-

lassen eine sinnlose Datenzerstörung im Computer und/oder eine lawinenartige Weitersendung von Nachrichten an Internetteilnehmer mit Lahmlegen von Netzwerken durch Überschwemmung. Trojanische Pferde verwenden ähnliche Techniken wie Computerviren. Sie sind Eindringlinge, die unbemerkt von legitimen Internetteilnehmern beim Herunterladen von Daten installiert werden, die durch den Eindringling modifiziert wurden. Zerstörung oder Lahmlegen ist nicht ihr Ziel, sondern Einsichtnahme in Dateien [9].

Die Abwehr erfordert Gegenmaßnahmen mit Antivirenprogrammen, die selbst auch wieder überwunden werden können, wie es analog bei biologischen Viren geschieht. In der Internetnutzung muss man damit leben und kann sich nur durch ständige Gegenwehr schützen. Das Strafrecht ist zur Verfolgung dieser Straftaten bereits wirksam angewendet worden, eine internationale Weiterentwicklung ist aber erforderlich.

Nachrichten werden im Internet verschlüsselt weitergegeben, der Empfänger decodiert die Verschlüsselung. Bei der Entwicklung der geheimen Verschlüsselung von Nachrichten treten Interessenkonflikte auf. Geheimdienste sind an umfangreicher Entschlüsselung von Nachrichten interessiert, deshalb wehren sie sich gegen hochgradig wirksame Systeme und ihre Verbreitung. Auch in der Kriminalitätsbekämpfung besteht Interesse an der Entschlüsselung von Nachrichten. Jede Entschärfung und Beschränkung von Verschlüsselungssystemen eröffnet aber auch für die Gegenseite Möglichkeiten.

6. Kultur der Kritik des Wissens

Der Zugang zum Internet ist unkontrolliert, der Wert von wissenschaftlichen Darstellungen ist damit naturgemäß sehr unterschiedlich, wie das auch von wissenschaftlichen Mitteilungen in Zeitungen her bekannt ist. Der Fachmann bemerkt fehlerhafte Ausführungen, die dem Laien verborgen bleiben. Die Verpflichtung des Fachmanns, auf Ungenauigkeiten hinzuweisen, wird zwar wahrgenommen, aber bei der Informationsfülle bleibt doch viel Fehlerhaftes bestehen. In diesem Zusammenhang sei der Hinweis gestattet, daß es sich bei unserer Betrachtung um seriöse Wissenschaft handelt. Der sich leider ausbreitende Irrationalismus, wie Parapsychologie,

astrologische Wahrsagerei, Verkünden von Wundersensationen, das Aufblühen des Sektenunwesens gerade im Hinblick auf das neue Jahrtausend ist ein anderes Feld, dem von wissenschaftlichen Gesellschaften und Einrichtungen, aber auch von jeder Wissenschaftlerin und jedem Wissenschaftler entgegengetreten werden muß. Die Gefahr des Abgleitens der Gesellschaft in Wissenschaftsfeindlichkeit und andere Irrwege ist groß. Darauf hat Präsident *Rapoport* bereits in seiner Leibniz-Rede 1995 hingewiesen [10].

Im Internet ist wegen fehlender Redigierung mit Ausnahme der Online-Zeitschriften die Fehlerbreite von wissenschaftlichen Ausführungen noch umfangreicher als in den gedruckten Medien. Eine seriöse wissenschaftliche Nutzung des Internet verlangt daher eine viel höhere Aufmerksamkeit bei der Beachtung der Zuverlässigkeit von Quellen, als es früher der Fall war. Viel Spreu liegt zwischen dem Weizen. Durch eigenes Nachdenken wird erst die Aufklärung wirksam und ein Überwinden der Unmündigkeit möglich, um den *Kant*schen Begriff zu gebrauchen.

Angesichts des enormen Anstiegs an Informationsangebot ist es wohl an der Zeit, daß die bisherige wissenschaftliche Erziehung an Universitäten und Institutionen ergänzt werden muß durch die Einrichtung spezifischer Unterrichtsfächer zur Informationsbewertung in den einzelnen Wissenschaftsdisziplinen. Besonders zu beachten sind solche Mitteilungen, die über nicht begutachtete Artikel verbreitet werden. Methoden zur Erkennung von Fälschungen und unhaltbaren Ergebnissen sollten gelehrt werden, damit vor allem der angehende Wissenschaftler besser in die Lage versetzt wird, Wertvolles von Wertlosem zu unterscheiden. Das ist nicht allein Gegenstand der Informatik, weil es hierbei nicht nur um Informationen geht, sondern um die Wahrheitsfindung in der Wissenschaft. Allgemeine Prinzipien der Beweisführung und der Ergebnisüberprüfung sollten in ihrer Spezifik bei den Wissenschaftsgebieten weiterentwickelt werden. Eine eindeutige Entscheidung ist nicht immer leicht zu finden. Der Nachweis von Widersprüchen und logischen Fehlern erfordert in der Regel eine tiefgründige Analyse. In messenden Wissenschaften muß unter Umständen die Wiederholung des Experiments als letzte Instanz herangezogen werden. Die Deutung von Informationen kann besonders in allgemeinen Betrachtungen durch unterschiedliche Interessenlagen oder auch Lebenserfahrung beeinflußt werden.

Die neue Quantität der Informationsvermittlung erfordert eine neue Qualität ihrer Verarbeitung und Bewertung. So kann auch der Gefahr der Wissensüberflutung begegnet werden.

Diese Gefahr wird weder durch Ablehnung des neuen Mediums noch durch Systeme zur Informationsreduzierung gebannt, wie sie *Neil Postman*, Professor für Medienökologie an der New York University, fordert [11].

Der Philosoph *Walther Zimmerli*, Präsident der Privatuniversität Witten-Herdecke, warnt vor den Langzeitfolgen des Internet, die sich nach seiner Einschätzung zu einem gravierenden Wissensverlust der Menschen entwickeln, da benötigtes Wissen in den Datenmengen nicht mehr gefunden werde [12].

Es ist zwar richtig, auf Gefahren hinzuweisen, damit ihnen begegnet werden kann, neue Erkenntnisse haben sich aber immer Bahn gebrochen, weil ihre Vorteile unübersehbar sind. Warnungen vor Nachteilen nützen dabei nichts, was als Urerfahrung bereits in der Geschichte von der Vertreibung des Menschen aus dem Paradies zum Ausdruck kommt. Es wird sich vielmehr eine neue Kultur der Kritik des Wissens entwickeln müssen.

7. Ethik der Anwendung des Wissens

Durch das Internet ist mit der Verfügbarkeit auch die Anwendung von Wissen in eine neue Dimension getreten. Die Verlockung zum Plagiat ist gestiegen, die Wissensquellen haben sich ungeheuer vergrößert, um so sorgfältiger muß auf die Quellenangabe geachtet werden. Aber auch die Gefahr der mißbräuchlichen Anwendung erkundeten Wissens steigt mit dem Anwachsen des Wissensfundus. Es sei nur auf die spektakulären Möglichkeiten der Gentechnik hingewiesen. Die Wissensanwendung ist mit neuen Herausforderungen verbunden, und ethische Leitlinien müssen den neuen Gegebenheiten entsprechend weiterentwickelt werden.

Die geforderten Unterrichtsfächer zur Informationsverarbeitung und -bewertung oder zur Kritik des Wissens in den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen sollten ergänzt werden durch eine intensive Beschäftigung mit der Anwendung des Wissens. Was in dieser Hinsicht bisher bereits gepflegt wurde, reicht angesichts der neuen Quantität an Informationen nicht

aus. Bei den erforderlichen verstärkten Bemühungen sind sowohl Betrachtungen zur Erschließung neuer Möglichkeiten der Anwendung als auch die Erörterung nützlicher und schädlicher Auswirkungen erforderlich.

Außer dem Aufbau einer neuen Kultur der Kritik des Wissens wird so auch die Weiterentwicklung einer Ethik der Anwendung des Wissens erforderlich. Ein Mißbrauch von Wissen wird niemals vollständig auszuschließen sein, die neue Ethik der Anwendung des Wissens sollte aber den Mißbrauch erschweren.

Zeitungen, Hörfunk und Fernsehen beteiligen sich auch an der wissenschaftlichen Informationsvermittlung, allerdings entsprechend der großen Verbreitung nicht mit gehobenen Ansprüchen, sondern mehr in allgemeinverständlicher Art. In diesem Medienbereich ist aber die größere Gefahr der ungenügenden Recherchierung, des Einflusses von Interessenverbänden und der damit verbundenen Fehlinformation oder der Verbreitung von Halbwissen nicht zu leugnen, was besonders in sensiblen Gebieten wie Umweltproblemen viel Verwirrung stiften kann. Das unterstreicht die Forderung nach einer neuen Kultur der Kritik des Wissens und nach einer weiterentwickelten Ethik der Anwendung des Wissens.

8. Medienvielfalt und Archivierung

Jedes Medium, der Druck, der Hörfunk, Fernsehen und das Internet hat seine Spezifik. Deshalb ist keines der vorgenannten durch das folgende ersetzt, sondern stets nur ergänzt worden. Das Internet wird auch das Buch nicht verdrängen, das schon in der Archivierung seine Bedeutung behalten wird. Die Nachrichten auf elektronischen Speichermedien weisen in der Regel eine geringere Beständigkeit auf, als es bei gedruckten Aufzeichnungen oder auch Fotomaterialien der Fall ist. Bücher aus hochwertigem Papier sind jedenfalls der gegenwärtigen digitalen Speicherung in der Beständigkeit hoch überlegen.

Um dem Verlust an Information zu begegnen, sind Bestrebungen im Gange, alle Online-Zeitschriften als Belegexemplare zu drucken und so zu archivieren. Bücher sind durch die ISBN-Kennzeichnung weltweit registriert, Zeitschriften und ähnliche Publikationen durch ISSN. Für digitale Texte wurde von der *Association of American Publishers* (AAP), der *Inter-*

nationalen Verlegerunion (IVU) und der *International Association of Scientific Technical and Medical Publishers* (STM) die DOI-Nummer entwickelt (Digital Object Identifier), mit deren Hilfe die Urfassungen der Online-Texte abrufbar sind. Der wissenschaftliche Springer Verlag stellt Artikel aus etwa 360 Zeitschriften im Online-First Service bereits Monate vor der Drucklegung ins Netz. Durch eine DOI-Nummer sind diese Arbeiten voll zitierfähig und dürfen nicht mehr abgeändert werden. Korrekturen bedürfen einer weiteren Veröffentlichung [13].

Die stürmische Entwicklung der elektronischen Speicherung verursacht ein schnelles Veralten der verwendeten Geräte, wobei 10 Jahre schon eine relativ große Zeitspanne bedeuten. Um abgelegte, noch nicht ausgewertete Daten von veralteten Datenträgern noch lesen zu können, bedarf es der Einrichtung eines Geräteparkes unter Einbeziehung der relevanten Software. Es kann sich dabei z. B. um wichtige wissenschaftliche Daten handeln, die von Satelliten übermittelt wurden oder um geophysikalische Messungen auf der Erde. Bei der großen Datenfülle ist eine unmittelbare vollständige Auswertung nicht immer gewährleistet.

9. Ausblick

Der Buchdruck hat nicht nur die Neuzeit eingeleitet, sondern auch mit zur klassischen Aufklärung beigetragen. Der Informationszuwachs war offensichtlich eine entscheidende Triebkraft. Im globalen Wandel wirkt das Internet gleichermaßen als Katalysator und wird durch seinen Informationsschub einer neuen Aufklärung den Weg mit bereiten. Die wissenschaftliche Information liefert dabei einen wesentlichen Impuls (vgl. dazu Herbert Hörz [14]).

Literatur und Anmerkungen:

[1] Max-Planck-Gesellschaft. Berichte und Mitteilungen 3/88, herausgegeben von der Max-Planck-Gesellschaft München 1988, Gmelin-Institut für Anorganische Chemie und Grenzgebiete, ISSN 0341-7778.

[2] Exakt werden solche Systeme als nahgeordnet bezeichnet. Eine in den Substanzen wiederkehrende Ordnung ist nur in Mikrobezirken vorhanden, die nicht gegeneinander aus-

gerichtet sind. Sie haben keine Fernordnung wie die kristallinen Körper.
[3] Stewart Brand. The Clock of the Long Now, Basic Books 1999, S. 19–23, ISBN 0-465-04512-X.

[4] Jacob Berzelius. Reiseerinnerungen aus Deutschland, Verlag Chemie GmbH Weinheim/ Bergstraße und Berlin 1948.
[5] Georg Schwedt. Goethe als Chemiker, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1998, S. 122/3, ISBN 3-540-64354-0.
[6] Friedhilde Krause. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 29, Jahrgang 1999, Heft 2, S. 99–106. ISSN 0947-5850, ISBN 3-89626-209-2.
[7] Vgl. z. B. Wolf-Fritz Riekert u. Gerd Klingler. Ordnung schaffen im World Wide Web. Thesaurus basierte Erschließung von Fachinformationen im Internet.
FH Stuttgart, Hochschule für Bibliotheks- und Informationswesen. HBI aktuell, Ausgabe 1/99, S. 32–34. ISSN 0949-1961.
[8] Der Kooperative Bibliotheksverbund Berlin-Brandenburg (KOBV) verbindet elektronische Kataloge der Bibliotheken von Universitäten, Hochschulen und Fachhochschulen beider Länder, sowie der Berliner Staatsbibliothek und der Stadt- und Landesbibliothek Potsdam.
[9] Rumen Stainow. Internet und www, VDE Verlag GmbH Berlin und Offenbach 1997, S. 99–117. ISBN 3-8007-2172-4, CD-ROM 1997.
[10] Samuel Mitja Rapoport. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 6, Jahrgang 1995, Heft 6, S. 91-101. ISSN 0947-5850, ISBN 3-89597-262-2.
[11] Wir informieren uns zu Tode, Interview mit Neill Postman von Stefan Kornelius. FUTURE, das Hoechst Magazin 1/99, S. 18–22.
[12] Warnung vor den Langzeitfolgen des Internet (dpa), Berliner Zeitung Nr. 304, 29. Dezember 1999, S. 16.
[13] Nähere Erläuterungen unter http://www.mpg.de/pri99/springer.htm.
[14] Herbert Hörz. Wissenschaft als Aufklärung? – Von der Postmoderne zur Neomoderne. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 28, Jahrgang 1999, Heft 1, S. 5–86. ISSN 0947-5850, ISBN 3-89626-208-4.

Hans-Heinz Emons und Maria Emons

„Cobalt-Blaufarben“*

Lothar Kolditz zum 70. Geburtstag in freundschaftlicher Verbundenheit gewidmet

Übersicht

Lange vor der Entdeckung des Elementes Cobalt (1735) waren den Menschen Cobalterze und -produkte bekannt, wie uns die blauen Gläser und Keramiken aus vielen Ländern der Erde bestätigen. In der letzten Phase des Mittelalters kristallisierte sich das sächsische Erzgebirge als Zentrum für die Produktion von Cobalterzeugnissen heraus. Auch im Harz entstanden in der Folgezeit bescheidene Kapazitäten, die unter wesentlich schwierigeren Bedingungen existieren mußten..

Die seit 1772 in Norwegen abgebauten Cobalterze stellten die Basis für die Gründung einer Blaufarbenfabrik in der Nähe von Modum dar, deren Geschichte eng mit dem Wirken deutscher, vorwiegend sächsischer Fachleute verbunden war.

Im folgenden Beitrag sollen diese Aspekte in der gebotenen Kürze und daher Unvollkommenheit dargelegt werden.

Einleitung

Mehr als 4000 Jahre vor der Entdeckung des Elementes Cobalts** 1735 durch den schwedischen Chemiker G. BRANDT aus arsenhaltigen Wismuterzen waren Cobalterze und -verbindungen und ihre Nutzung bekannt. So finden wir in den Kulturen des Altertums die blaue Farbe in Gläsern und Keramiken in Ägypten etwa seit der 5. Dynastie (~ 2600 v.Chr.), in Persien

* Überarbeitete Fassung eines Vortrages, gehalten vor der Klasse für Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 21.10.1999.

** Für die Schreibweise der Elemente und Verbindungen wird zeitlich bezogen nicht immer die IUPAC-Nomenklatur verwendet.

(2250 v. Chr.), Babylonien, Assyrien und China (~ 1500 v. Chr., Färbung von Porzellan).

Mit dem Niedergang der antiken Kulturen scheint diese Technik – wie vieles andere – weitgehend verloren gegangen zu sein, begegnen wir dem Blaufärben des Glases doch erst wieder im Mittelalter bei den Glasmachern Venedigs.

Mit Ausgang des Mittelalters entwickelte sich Sachsen, speziell das Erzgebirge zum bedeutendsten Produzenten von Blaufarben, nicht nur in Europa. Die Basis bildeten die reichen Erzvorkommen, eine kluge Wirtschaftspolitik und die Ausbildung qualifizierter Mitarbeiter von den Bergmännern über die Hüttenleute bis zum Führungspersonal (Bergakademie Freiberg und Vorläufer).

Weitere wichtige Cobalterzvorkommen waren die sogenannten Kobaltrücken des Richelsdorfer Gebirges, des Vorspessarts (Bieber) und des Thüringer Waldes sowie die Gänge des Siegerlandes.

Die Zunahme des Bedarfes an Cobaltfarben einerseits durch die aufblühende Produktion von blauen Glaswaren und Keramikerzeugnissen – Steingut, Majolika, Fayence, Porzellan (ab ~1710), andererseits durch den Einsatz großer Mengen minderwertiger blaßblauer Farbpulver als „optische Aufheller" in Verbindung mit Stärke für Leinen- und Baumwollstoffe aber auch für Papier, Gips und Kalk, förderte das Bestreben weiterer Länder, eigene Blaufarbenwerke zu betreiben, um von Sachsen unabhängig zu werden. Einen Überblick über die wichtigsten europäischen Betriebe gibt die von W. LIESSMANN [1] zusammengestellte Tab. 1.

Zahlreiche der bis Ende des 18. Jahrhunderts gegründeten, meist fiskalischen Blaufarbenmanufakturen existierten nur kurzzeitig, produzierten unter großen Verlusten. Die Ursachen basierten vorwiegend auf zwei Gründen:

1. der oft schlechten Qualität der Erze (u. a. Gehalt an Eisen, Nickel, Arsen),
2. dem fehlenden erfahrenen Personal sowohl hinsichtlich der Gewinnung der Erze als auch der Farbenproduktion (Farbmeister).

Sachsen führte ein strenges Regime zur Wahrung der Betriebsgeheimnisse oft bis zur Geheimniskrämerei, und die abkehrenden Farbmeister und Arbeiter waren in der Regel nicht die besten. Die folgenden Ausführungen werden diese Aussagen bestätigen.

Tab.1: Verzeichnis der wichtigsten europäischen Blaufarbenwerke [1]

	Werk, Lage	Hoheitsgebiet	Betriebszeit	Wirtsch. Bedeutung
1	Sehma, südlich von Annaberg	Königreich Sachsen	1644–1687	*
2	Oberschlema, bei Schneeberg („Doppelwerk“, später Metallhütte)	Königreich Sachsen	1644–heute	***
3	Bockau bei Aue	Königreich Sachsen	Anf. 17. Jh.	*
4	Niederpfannenstiel bei Aue (später Metallhütte)	Königreich Sachsen	1635–1900	****
5	Zschopauthal nördlich Zschopau	Königreich Sachsen	~1710–1851	***
6	Jugel südwestl. Johanngeorgenstadt	Königreich Sachsen	1640–1677	*
7	Schindlerswek bei Albernau (später Ultramarinfabrik)	Königreich Sachsen	1649–1855	***
8	Buzzisches Werk bei Joachimsthal	Königreich Böhmen	~1550–18. Jh.	*
9	Bernersches und Myselsches Werk bei Platten (Horni Blatná)	Königreich Böhmen	vor 1622–1837	**
10	Werk Silberbach bei Graslitz	Königreich Böhmen	vor 1622—1840	*
11	Christophhammer bei Platten	Königreich Böhmen	1622–~1810	*
12	Eulenhütte bei Neudeck (Nejdek)	Königreich Böhmen	um 1540–~1600	*
13	Sankt Andreasberg im Mittelharz	Königreich Hannover	1729–1739	*
14	Braunlage im Mittelharz (1796 zusammengelegt mit Nr. 15)	Herzogtum Braunschweig	1756–1859	*
15	Hasserode bei Wernigerode	Königreich Preußen	vor 1683–1859	***
16	Saalfeld am Thüringer Wald (Werk I und II)	Fürstentum Saalfeld	I ~1600-1834 II ~1704-1764	***
17	Piesau bei Schmiedefeld	Herzogtum Meiningen	1664–1719	*
18	Marktgölitz bei Saalfeld	Fürstentum Saalfeld	~1666–nach 1769	+*
19	Glücksbrunn bei Schweina	Herzogtum Meiningen	~ 1714–nach 1813	**
20	Sophienau an der Werra	Herzogtum Meiningen	vor 1722–1851	**
21	Sitzendorf	Fürstentum Rudolstadt	1727– ~1812	*
22	Grünau	Fürstentum Schwarzburg	1760–1839	*
23	Stettfeld bei Eisenach	Herzogtum Eisenach	1745–1746	*
24	Schauberg	Markgrafschaft Bayreuth	1712– ~1813	*
25	Schwarzfels, Bad Brückenau/Rhön	Landgrafschaft Hessen-Kassel	1731–1871	***
26	Karlshafen an der Weser	Landgrafschaft Hessen-Kassel	1726–1815	*
27	Horst bei Steele, Ruhrgebiet	Königreich Preußen	1818–1857	**
28	Heidhausen bei Werden, Westf.	Königreich Preußen	~1803–1854	**
29	Wittichen im Schwarzwald	Fürstentum Fürstenberg/ Baden	1702–1835	**
30	Alpirsbach im Schwarzwald	Herzogtum Württemberg	vor 1727–1845	*
31	Nordrach im Schwarzwald	Markgrafschaft Baden	1750–1822	*
32	Echéry bei St. Marie aux Mines	Königreich Frankreich	1. Hälfte d. 18.Jh.	*
33	Daint Mamet und Juset	Königreich Frankreich	vor 1785	*
34	Querbach bei Hirschberg	Schlesien/Königreich Preußen	1774–1852	**

* niedrig, **** sehr hoch

Das Sächsische Blaufarbenwesen

Mit dem ausgehenden Mittelalter – etwa ab 1470 – war das sächsische Erzgebirge, speziell das Montangebiet Schneeberg der bedeutendste Kobalt-

erzlieferant nicht nur für Europa. Während der Blütezeit des Silberbergbaues am Schneeberg im Erzgebirge und um Annaberg störten die vergesellschaftet auftretenden Cobalterze den Verhüttungsprozeß und wurden deshalb größtenteils aufgehaldet. Von hier scheinen Proben nach Venedig gelangt zu sein. Jedenfalls lernte man im Schneeberger Gebiet aus dem ungeliebten „Kobolt" selbst blaue Farben zu erzeugen und schaffte sich einen neuen Produktionszweig in der Zeit des abklingenden Silber-„Booms".

Schon A. LANGE [2] konnte belegen, daß vor der Erfindung, besser wohl Entwicklung der Blauglasherstellung um 1540 durch Chr. SCHÜRER aus Platten, der die Eulenhütte in Neudeck am südlichen Gebirgshang betrieb [3,4], schon P. WEIDENKAMMER weit früher als 1520 Farben herstellte und bis Venedig verkaufte [5,6]. SCHÜRERs entscheidende Verbesserung war der Zusatz von Pottasche (Kaliumcarbonat) zum Schmelzfluß, die die Färbung im Gegensatz zu den Natriumsalzen kaum beeinträchtigte.

Der Zwischenhandel ging in dieser Zeit sukzessive von den fränkischen auf die holländischen Kaufleute über, die acht Farbwerke im eigenen Land zur Verarbeitung der sächsischen Vorprodukte einrichteten. Die Gewinne waren enorm, kostete doch die Fertigware das 8–10 fache der Schneeberger Produkte.

Die erste komplette Farbenfabrik in Sachsen wurde 1558 durch den Schneeberger Chr. STAHL gegründet, die aber bereits 15 Jahre später durch Hochwasser einschließlich beachtlicher Mengen an Zwischen- und Fertigprodukten vernichtet wurde. Generell ist festzustellen – ohne auf weitere Details einzugehen – daß die Macht der ausländischen Händler in dieser Zeit eine progressive Entwicklung der Organisations- und Produktionsformen im Erzgebirge be- ja verhinderte, um die eigenen hohen Gewinne zu sichern. So blieb es noch jahrzehntelang beim Verkauf der durch Abrösten der Co-Erze erzeugten Vorprodukte für die Glasherstellung.

Auch die chronische Geldnot des sächsischen Hofes wurde mit Hilfe der Kobalt- und Farbenproduktion gemildert. Schon 1602 hatten die Werke den „Zwanzigsten" abzuführen. Später wurde der gesamte Verkauf landesherrschaftliches Privileg. Erst nach 1625 erfolgte die Freigabe des Verkaufs an die Besitzer, allerdings verbunden mit beträchtlichen Abgabenerhöhungen. Dennoch nahmen die Gewinnung und Produktion nach Überwindung der Auswirkungen des 30jährigen Krieges durch geregelte Abnahme der Erze und das gute Farbengeschäft sowie die damit verbundenen Neugründungen

von Werken bzw. von Farbmühlen – 1635 SCHNORR am Pfannenstiel bei Aue, 1644 BURKHARDT in Oberschlema, 1644 ÖHME in Sehma bei Annaberg, 1649 SCHINDLER an der Zwickauer Mulde in Albernau bei Aue – erheblich zu.

Erasmus SCHINDLER erhielt mit der Genehmigung des sächsischen Kurfürsten zum Bau des Blaufarbenwerkes am 4. Mai 1649 weitere Privilegien wie Holzzuweisung, Schlachten, Backen, Bierausschank und niedere Gerichtsbarkeit. So entstand der zunächst selbständige Ort „Schindlerswerk" mit Fabrik, Arbeiterhäusern und Villen sowie einer zwischen 50 und 100 Personen wechselnden Einwohnerschaft. Später erfolgte die Eingemeindung nach Albernau.

SCHINDLERs Erben arbeiteten mit wechselnden Faktoren (Betriebsleitern). Um 1700 begann der stete Ärger um die Holzzufuhr auf Grund der massiven Abholzungen im Erzgebirge. Eine positive Entwicklung ergab sich ab 1724 unter der Macht AUGUST des STARKEN. Die Kuxe gingen immer mehr in fremde Hände über – auch des Königs [33].

1654 förderten 34 Gruben 264,6 t Erz im Wert von 20.513 Holländischen Gulden. 1651 wurde auch das Königshaus durch Erbschaft des BURKHARDT'schen Werkes in Oberschlema Produzent und wir registrieren von diesem Zeitpunkt an das Nebeneinanderbestehen privater und fiskalischer Blaufarbenwerke. Zur gleichen Zeit begann auch die zunehmende Monopolisierung in Verbindung mit der durch die Besitzer gebildeten „Blaufarbenkompagnie", was seinen Ausdruck in der Vereinbarung von Festpreisen und der Gründung gemeinsamer Vertriebslager, der Quotierung von Roh- und Hilfsstoffen bis zur Gütekontrolle der Erzlieferungen durch einen Kobaltinspektor (Sitz Schneeberg) fand.

Konform mit dieser Monopolisierung stiegen die Geschäftsgewinne der Unternehmer. Um 1720 erhielt der dem Geld wohlgewogene AUGUST der STARKE Informationen über bedenkenlose Ausbeutungen in Oberschlema und finanzielle Manipulationen durch Privatwerke. Die Eigner bezahlten daraufhin zusätzlich zur jährlichen Pachtsumme für Oberschlema 13.000 Taler sowie die Abfindung von 150.000 Taler an den Sächsischen Hof, die von den drei Privatwerken anscheinend problemlos aufgebracht wurden. Demgegenüber stand die wöchentliche Lohnsumme in Niederpfannenstiel (~ 1730) für etwa 22 Arbeiter und Meister mit 23 Talern und 14 Groschen.

Trotz des beträchtlichen Geschäftes blieben Apparatetechnik und Ver-

fahrenstechnologie auf einem bescheidenen Stand. Die relativ geringen Belegschaften bewegten sich im 18. und 19. Jahrhundert um 40–60 Beschäftigte/Werk. Der stoffliche Produktionsablauf läßt sich aus dem in Abb. 1 dargestellten Schema ableiten.

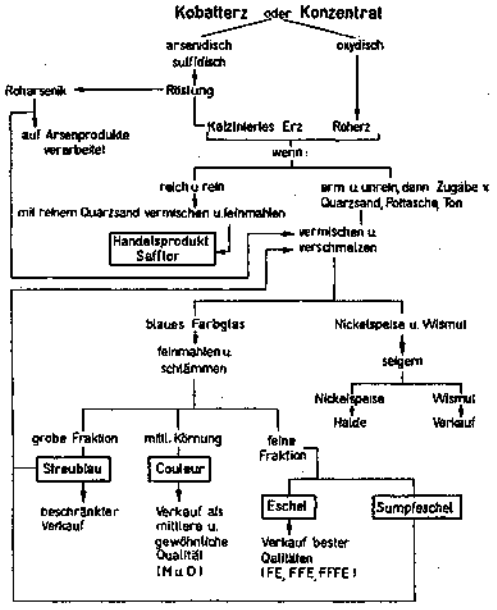


Abb. 1: Stammbaum der Kobaltfarbenherstellung

Die Cobalterze sind einzuteilen in:

- sulfidische: Kobaltkies (Co_mS_n)
- arsenidische: Speiskobalt oder Smaltin (CoAs2) sowie Kobaltglanz oder Kobaltin (CoAsS)
- oxidische: Verwitterungsprodukte der primären Erze wie schwarzer Erzkobalt oder Asbolan, wasserhaltiges Co-Mn-Oxid, Kobaltblüte oder Erythrin $Co_3(AsO_4)2{\cdot}8H2O$, Kobaltvitriol oder Biberit $CoSO_4{\cdot}7H_2O$.

Aus der Vielzahl der Modifikationen und durch Ersatz des Co durch Fe, Ni, Cu, Mn ergeben sich die komplizierten Verfahrensbedingungen, die beachtliche individuelle Erfahrungen und zur Produktion hochwertiger Farben großes handwerkliches Können und scharfe Beobachtungsgabe voraussetzen.

Die Hauptprodukte der Blaufarbenwerke waren *Safflore:* – Cobaltoxide mit unterschiedlicher Farbe –, *Smalte:* – Mischungen von 2–18% Cobaltoxiden, ~70% Siliciumdioxid, Alkali-, Erdalkali- sowie Mangan-, Eisen, Kupfer- und Nickelverbindungen –, und als Nebenprodukte Wismut und Arsenik (Giftmehl, As_2O_3) sowie ab 1850 Nickel.

Mit Rückgang der eigenen Erze begann Mitte des 19. Jahrhunderts im Erzgebirge die Verarbeitung ausländischer Erze aus Norwegen, Italien, Ungarn u. a. deutschen Staaten. Eine beeindruckende Vorstellung vor allem der *Smalte*-Produktion übermitteln die 19 künstlerischen Bilder von A. F. WINKLER, Student der Bergakademie Freiberg (Matrikel-Nummer 293) ab 1787, über das sächsische Blaufarbenwesen um 1790 [7] mit dem ausführlichen Textteil von A. LANGE für die Neuveröffentlichung 1959, dem hier weitgehend gefolgt wird (siehe Abb. 2).

Abb. 2: Titelblatt zu den Bildern A. F. Winkler's [7]

Bei der *Smalte*-Produktion besitzt die Qualität der Rohstoffe eine entscheidende Bedeutung. Als Mischungskomponente kommt möglichst eisenfreier, weißer Quarz zum Einsatz. Der erzgebirgische Feuerstein wurde „mürbe gebrannt“, sofort mit kaltem Wasser abgeschreckt und im Naßpochwerk zerkleinert (Abb. 3).

Abb. 3: Brennen des erzgebirgischen Feuersteins

Abb. 4: Flammofen zum Trocknen und Abrösten

Abb. 5: Vergleich der Probeschmelzen mit Normalproben

Das Trocknen, in anderen Fällen auch Abrösten zur Entfernung von Arsen und Schwefel, erfolgte in einem Flammofen, in dem auch vorhandenes Eisen zu Eisen(III)-oxid oxydiert wurde, welches die Farbe wenig beeinflußte (Abb. 4). Der Ofen wurde mit den heißen Abgasen (900–1000°C) des Glasschmelzofens geheizt. Nach der Siebklassierung war der Quarzsand für die Gemengebereitung aufgearbeitet.

Schwieriger, weil entscheidend für das Endprodukt, gestaltete sich die Vorbereitung der Cobalterze. Prüfschmelzen eines jeden Erzes lieferten das Material für das „Sortieren" unter Vorsitz des Farbenmeisters im Vergleich mit sogenannten Normalproben (Abb. 5).

Die Ergebnisse dieser subjektiven Methode stellten die Basis für das Mischen dar. Das Farb-geschäft basierte also maßgeblich auf Erfahrung, woraus die scharfen Geheimhaltungsvorschriften durch Staat und Betriebe verständlich werden.

In der anschließenden Calcinationsstufe wurden in einem holzgefeuerten Fortschauflerofen bei 600–900°C Arsen und Schwefel als Oxide abgetrieben und die Schwermetalle in Oxide überführt (Abb. 6).

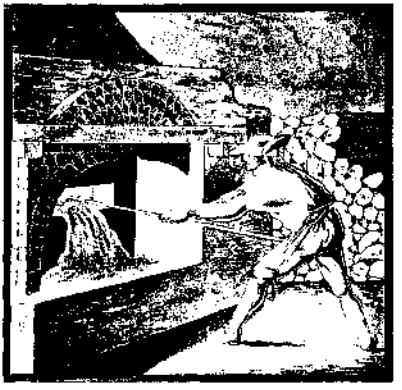


Abb. 6: Calcination im Fortschauflerofen

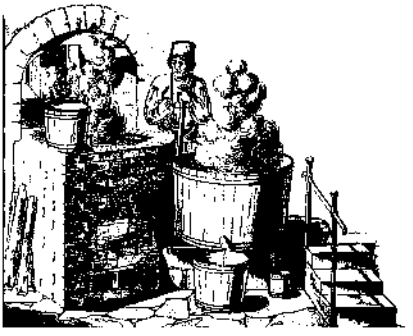


Abb. 7: Pottaschegewinnung

Abb. 8: Glasofen

Eine restlose Arsenentfernung war nicht erwünscht, um das Nickel vollständig als Speise binden und vom Glasfluß trennen zu können. Gegebenenfalls mußte Wismut vorher ausgesaigert werden. Das Arsentrioxid wurde kondensiert und größtenteils den privilegierten „Gifthütten“ zur weiteren Verarbeitung – Reinarsenik, Arsenverbindungen – verkauft.

Die benötigte Pottasche wurde zugekauft oder teilweise aus der eigenen Holzasche durch Auslaugung gewonnen (Abb. 7).

Jetzt erfolgte nach den Rezepturen des Farbenmeisters das Mischen und Vermengen des aufbereiteten Erzes und Quarzes mit Pottasche, Zuschlägen wie Arsenmehl, Tonerde und eigenem Farbglasrücklauf. Das Schmelzen der Smalten geschah in Töpfen oder Häfen aus Ton – im eigenen Betrieb hergestellt – (Abb. 8), die in den Flammofen mit einer Arbeitstemperatur von 1100–1250°C, erzeugt durch Holzfeuerung, eingesetzt wurden. Der Prozeß dauerte nach Schließen der Arbeitsöffnung 8–12 Stunden und ergab einen dünnen Glasfluß unter dem sich die Nickelspeise und das metallische Wismut absetzten, pro Topf oder Hafen ~ 50 kg Glas/Einsatz (Abb. 9).

Abb. 9: Ausschöpfen und Neubeschickung des Glasofens

Abb. 10: Halde für Rückstände einschließlich Nickelspeise (bis etwa 1850)

Ausschöpfen und Neubeschikkung beendeten diesen Vorgang. Die Glasschmelze wurde in Wasser abgeschreckt und dabei granuliert, der Bodensatz in die Form von sogenannten Broten gegossen, aus denen das Wismut in einfachen Saigeröfen als dünnflüssiges Metall (Fp=271°C) abgezogen wurde. Die Nickelspeise gelangte bis Mitte des 19. Jahrhunderts auf die Halde, ehe eine Gewinnung des Metalls begann (Abb. 10).

Das granulierte Schmelzglas wurde vorzerkleinert, naßmechanisch aufgemahlen, in die einzelnen Korn- und Qualitätsklassen klassiert, getrocknet und verkaufsfähig vermischt.

Die Familie des Malers dieser Bilder nahm über lange Zeit eine wichtige Position in der sächsischen Blaufarbenindustrie ein. August Fürchtegott WINKLER, unser Bildautor, war der Großvater von Clemens WINKLER, dem weltbekannten Chemiker und Professor der Bergakademie Freiberg, der mit der Entdeckung des Germaniums den ersten experimentellen Beweis der Richtigkeit und Nützlichkeit des Periodensystems der Elemente von MENDELEJEV erbrachte und selbst mit der Blaufarbenindustrie verbunden war. So resultieren seine bekannten Arbeiten zur Verarbeitung von Rauchgasen auf Schwefelsäure auf den besonderen Schwierigkeiten des SCHINDLERschen Werkes mit dem Schwefel bei der späteren Ultramarinproduktion. Das entsprechende Patent erhielt Cl. WINKLER 1878. Der Urgroßvater Clemens WINKLERS, Christian Heinrich, war Faktor (Direktor) des Blaufarbenwerkes Zschopenthal, wie auch der Großvater August Fürchte-

gott. Der Vater Kurt Alexander WINKLER hatte die Funktion des Hütteninspektors (Generaldirektor) der sächsischen privaten Blaufarbenwerke inne und war Mitte des 19. Jahrhunderts maßgeblich an der Modernisierung der Technik und Technologie, von Apparaten und Öfen sowie der Einführung neuer Produkte – reine Cobaltoxide, Nickel und Ni-Legierungen – beteiligt, in einer Zeit, in der die sächsische Blaufarbenindustrie großen Schwierigkeiten, nicht nur wegen des Vormarsches cobaltfreier Blaufarben, ausgesetzt war.

Um 1825 war es dem Franzosen GUIMET gelungen, Ultramarin zu synthetisieren. Die rasche Ausbreitung dieser Erfindung auf der Basis preiswerter Ausgangsstoffe wie Kaolin, Soda, Schwefel, Natriumsulfat und Kohle machte den teureren Cobaltfarben in der Zukunft empfindlichen Abbruch.

Hervorgehoben seien hier auch die Verdienste des Oberberghauptmanns S. FREIHERR VON HERDER als Deputatus bei den Blaufarbenwerken Anfang des 19. Jahrhunderts und das Wirken von W. A. LAMPADIUS als Gutachter für die Farbqualität und insbesondere als Professor der Bergakademie Freiberg und Lehrer des Nachwuchses für diesen Industriezweig [8–10].

Von 1830 bis 1837 erzeugten die 20 Blaufarbenwerke auf dem europäischen Kontinent *1852,65 t Blaufarbe (Smalte)* und *170,0 t Safflor*, davon die 5 sächsischen Betriebe 575,65 t (~ 31%) bzw. 123,5 t (~ 73%).

Mit der Entwicklung neuer Hüttenprozesse insbesondere auch chemischer Technologien und dem allmählichen Übergang zur Großindustrie Mitte des 19. Jahrhunderts, der damit verbundenen Konkurrenz synthetischer organischer und anorganischer Farben veränderte sich die Situation systematisch zu Ungunsten der Blaufarbenwerke und führte auch in Sachsen zu entscheidenden Veränderungen. SCHINDLERs Werk in Albernau nahm 1855 die Ultramarinproduktion auf und behielt sie bis in unsere Tage bei. So war SCHINDLERs Werk der einzige Ultramarinbetrieb der DDR. Heute produziert die Ultramarinfabrik „Schindlerswerk“-Sächsische Blaufarbenwerk GmbH Anorganische und Organische Pigmente (Dispersionsfarben), Holzanstriche, Leime, Grundierungen und Putze und erhält damit eine Jahrhunderte alte Tradition.Die beiden verbliebenen Blaufarbenwerke in Pfannenstiel und Oberschlema entwickelten sich zu Hüttenwerken mit Weltgeltung unter deren Verkaufsprodukten Cobaltfarben in ihrer Bedeutung stark und ständig zurückgingen.

Norwegens Beitrag zur Blaufarbenherstellung [1, 11]

Wegen der engen wirtschaftlichen und personellen Beziehungen der norwegischen und sächsischen Blaufarbenindustrie sei kurz darauf eingegangen, da ausführliche Darlegungen dieser Wechselbeziehung von uns schon erfolgt sind [12].

Das Skuteruder Grubenrevier in der Nähe von Modum – 60 km westlich von Oslo – gehört zu den größten Cobalt–Konzentrationen in Europa. Dominierende Co-Träger sind Co-Glanz, Co-reicher Arsenkies *(Glaukodit)* und Co-Arsenid *(Skuterudit)*. 1772 wurde der Erzabbau aufgenommen, da die Skuteruder Erze trotz generell niedriger Metallgehalte auf Grund der geringen Nickel- und Eisenanteile (Co/N7 = 4–6) einen günstigen Qualitätsfaktor besaßen und für die Erzeugung von Blaufarben sehr geeignet waren.

In Verbindung mit der massiven Erhöhung der jährlichen Förderleistungen – 1830 ~200.000 t Roherz – erfolgte der Übergang zum Tiefbau unter Anwendung des aus dem sächsischen Erzge-birge bekannten Feuersetzens. 1840 resultierten aus ca. 200.000 t Roherz mit Gehalten von 0,02–0,07% Co etwa 6.000 t Pocherz mit 0,6% Co, aus 1 t Pocherz nach der naßmechanischen Aufbereitung etwa 20 kg „Kobaltschlieg" mit 30% Co. Daraus leitet sich bezogen auf Kobalt eine Jahresproduktion von 20–30 t ab.

Während der intensivsten Produktionszeit (1830–50) waren in den Gruben und Pochwerken ca. 1200 Mann angelegt.

Das eigentliche Blaufarbenwerk entstand nach königlicher Order vom 03.04.1776 am Haugfossen, wo der Fluß Simoa 38m in die Tiefe stürzt (Abb. 11).

Eine Übersicht über die Entwicklung des Modumer Blaufarbenwerkes gibt uns die Tab. 2.

Modum gehörte Mitte des 19. Jahrhunderts zu den technisch fortgeschrittensten Betrieben.In den 111 Betriebsjahren wurden etwa 10 Mio t Erze gefördert und ca. 2000 t Kobalt in Form der verschiedenen Produkte hergestellt. Die Bedeutung des Einsatzes deutscher Fachleute in Modum sowie den engen Zusammenhang mit der sächsischen Blaufarbenindustrie und speziell mit der Bergakademie Freiberg verdeutlicht Tab. 3 (siehe auch [13]).

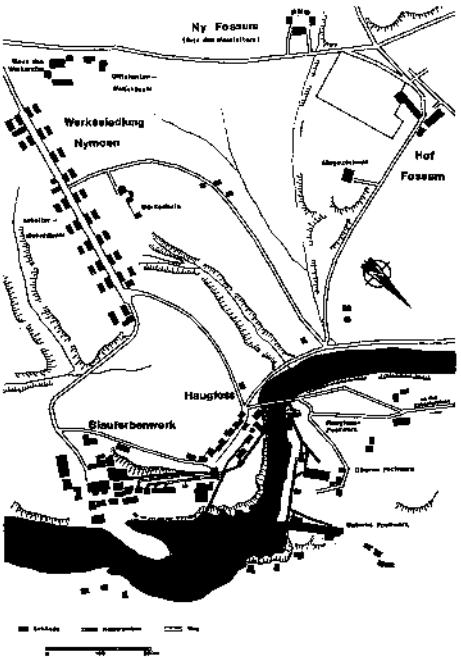


Abb. 11: Grundriß des Modumer Blaufarbenwewrkes [1]

Tab. 2: Det Kongelige Modumske Blaafarvevaerket

1770	Entdeckung der Co-Erze im Skuteruder Revier
1771	Beginn des Bergbaus
1776 (3.4.)	Königliche Order - CHRISTIAN VII. - zur Gründung der Blaufarbenfabrik und Übergabe des ausschließlichen Monopols für Dänemark und Norwegen
1783	Beginn der Blaufarbenproduktion
1793	Brand der großen Glashütte, Produktionsausfall, kostspieliger Wiederaufbau
1805–14	Auswirkungen der Napoleonischen Kriege einschließlich der Seeblockade Englands, Krieg mit Schweden, das Werk arbeitet unter größten Schwierigkeiten
1813	Der sich abzeichnende Staatsbankrott zwingt den König zur Verpfändung des Werkes – FREDRIK VI.
1822	Verkauf an KONSUL ERNST RHODE, Christiania (Oslo)
1823	Umwandlung in eine Aktiengesellschaft
1824	Hauptaktionäre: BARON W.C. BENECKE, Berlin und REEDER B. WEGNER, Königsberg
1825	Konkurs, Versteigerung, Erwerb durch das englische Handelshaus GOODHALL AND REEVES
1856	Übernahme durch den SÄCHSISCHEN PRIVAT-BLAUFARBENWERK-VEREIN SCHNEEBERG, Einstellung der Smalteproduktion, Herstellung von Safflor und reinem Co- Oxid
1869	Einstellung der Produktion, die weiterhin geförderten Erze werden u.a. nach Sachsen exportiert
1894	Einstellung des Grubenbetriebes
Seit 1971	Stiftung „Modums Blaafarvevaerket“, initiiert durch Kjell und Tone STEINSVIK, Freiluftmuseum mit über 40 Gebäuden, montanhistorisches Denkmal, Kulturzentrum
Seit 1993	Kobalt-Bergbau-Museum unter Schirmherrschaft des norwegischen Königs

Tab. 3: Deutsche Fachleute in Modum- Skuterud

WAITZ, C.E.	Hessen – Kassel	Inspektor d. Manufaktur	1781–83
TRAUTEWETTER, C.F.	Sachsen	Blaufarbenmeister	1781–?
BERNSTEIN, G.Chr.	Karlshafen, Hessen	Oberinspektor	1783– ?
BÖBERT, C.F.	Hettstedt	Bergwerksdirektor	1827–39
ROSCHER, F.	BAF 1810 , Nr. 728	Farbenmeister	1827– ? † vor 1866
SCHEERER, C.J.A.Th.	BAF, Berlin 1830–33, BAF, Prof. d. Chemie 1848	Hüttenmeister	1833–39
VOIGT, C.H.	BAF 1850, Nr. 1711	Direktor	1857–90
GOTTSCHALK, B.	BAF 1876, Nr. 2890	Direktor	1890–94?

Kurzzeitige Tätigkeiten in Modum, z. Z. des Sächsischen-Privat-Blaufarbenwerk-Vereins

SCHMIDHUBER, H.	BAF 1827, Nr. 1150	Oberleitung für d. Gruben nach 1843 neben Tätigkeit in Schneeberg	
OE(H)LSCHLÄGEL, F. G.	BAF 1804, Nr. 624	Betriebsführung	1855–56
GRAFF, J.M.	BAF 1841, Nr. 1495	Bergverwalter	ab 1856
FRITSCHE, F.W.	BAF 1829, Nr. 1206	Betriebsführung, Prof., BAF	1856
LOHSE, Chr.F.	BAF 1824, Nr. 1040	Betriebsführung Münwardein, Freiberg	ab 1856
SICKEL, C.A.	BAF 1858, Nr. 2047	Bergverwalter (nach Graff?)	
EDELMANN, C.A.	BAF 1859, Nr. 2110	Hüttenchemiker, Direktor Kgl. Blaufarbenwerk Oberschlema, Geh. Bergrat	?– 1873
MÜLLER, C.H. (Gangmüller)	BAF 1841, Nr. 1477	Berater, Geh. Bergrat, Dr. Ing. Eh. BAF	ab 1857

BAF = Bergakademie Feiberg
Nr. = Matrikelnummer

12: Kobalt-Bergbau-Museum, Glashütte – heute mit Konzertsaal [19]

Die Stiftung „Modums Blaafarvevaerket" (gegründet 1971) erwarb auf Initiative und bis heute unter ständiger Leitung von Kjell und Tone STEINSVIK etwa 800 ha Land und gestaltete in jahrzehntelangem Bemühen mit großem Engagement das heutige unter Schirmherrschaft des norwegischen Königs stehende Kobalt-Bergbau-Museum mit über 40 historischen Gebäuden und den wieder zugängig gemachten Bergbauanlagen (Abb. 12), [14].

Mit ihm besitzt Norwegen ein international bedeutendes technisches und montanhistorisches Denkmal in Einheit mit einem weit über die Landesgrenzen bekannten Kulturzentrum.

Die Blaufarbenproduktion im Harz

Neben der beherrschenden Stellung des sächsischen Blaufarbenwesens, die über Jahrhunderte andauerte, nehmen sich die Aktivitäten im über 1000 Jahre alten wirtschaftlich wie technisch-technologisch so bedeutsamen Harzer Bergbau hinsichtlich der Kobalterzgewinnung und der Blaufarbenproduktion recht bescheiden aus. Aus der Gegenüberstellung der geschätzten Fördermengen einiger wichtiger deutscher Co-Erzreviere im 18. und frühen 19. Jahrhundert [15] läßt sich ableiten, daß im Harz nur etwa 5,5% der sächsischen Fördermengen gewonnen wurden.

Nach nicht belegbaren Aussagen soll die Gewinnung von Kobalterzen im Harz bereits um 1550 betrieben worden sein. Urkundlich festgehalten ist ein solcher Abbau erst ab 1664 am Thumkuhlenkopf in der Nähe von Hasserode (Wernigerode) in der „Dumkuhlengrube“ später „Das aufgeklärte Glück“ genannt [16,17]. Eine Farbmühle wird erstmals 1683 erwähnt.

Die wirtschaftliche Ausnutzung von Kobalterzen, die beim Silbererzbau um St Andreasberg zeitweilig gesammelt und deponiert wurden, wird durch ein Bergamtsprotokoll von 1685 [27] bestätigt. Die Eigenproduktion von Blaufarben begann 1729.

Die dritte Harzer Blaufarbenmanufaktur wurde 1756 nahe der Grube „Ludwig Rudolph“ im Brunnenbachtal bei Braunlage als gewerkschaftliches Werk gegründet.

Auf die Geschichte dieser drei Betriebe sei im folgenden kurz eingegangen. Auf ausführliche Darlegungen sei hier hingewiesen [15–21], stellten sie doch neben eigenen Archivarbeiten das wesentliche Informationsmaterial dar.

Die Blaufarbenwerke Hasserode-Braunlage

Die Gründung des Hasseröder Blaufarbenwerkes geht auf die Kobalterzfunde im sogenannten Hasseröder Bergrevier am Ostrand des Brockenmas-

sivs zurück. Die Farbmühle wie auch die folgenden Betriebe wurden am Zusammenfluß von Holtemme und Drängetalsbach aufgebaut. Da die Anbrüche gering und die Erze von minderwertiger Beschaffenheit waren, forderte der Betrieb von Grube und Farbmühle hohe Zubußen, was zu häufigen Einstellungen der Arbeit, zu stetigen Wechseln der Gewerke und zu gerichtlichen Auseinandersetzungen führte. Die verworrene rechtliche Situation wurde 1714 durch einen Vergleich zwischen dem preußischen König FRIEDRICH WILHELM I. und dem Grafen von STOLLBERG-WERNIGERODE beigelegt.

Doch auch die folgenden Aktivitäten wie der Bau eines neuen Blaufarbenbetriebes durch den Kaufmann Chr. A. DINGELSTEDT (1737), der Antrag des Farbenmeisters Chr. GRAUPNER (früher in St. Andreasberg tätig) zur Wiederaufnahme des Betriebes (1753), die Wiederinbetriebsetzung (1763) und die Aufnahme der Smalteproduktion (1770) blieben erfolglos.

Mit der Übernahme des Farbenwerkes durch die Familie WAITZ von ESCHEN (1777), exakt der Kammerrätin WAITZ von ESCHEN, der Ehefrau des damaligen preußischen Handelsministers, die im Siegerland eigene Kobaltgruben besaß und daher qualitativ wertvolle Erze zum Einsatz bringen konnte, begann die Entwicklung des Hasseröder Werkes zur bedeutendsten Harzer Blaufarbenproduktionsstätte.

Regelmäßiger Betrieb, guter Absatz und namhafte Gewinne bestimmten die folgenden Jahrzehnte. Die engen Verbindungen zum preußischen Hof wie das Bestreben des Landes eine eigene Blaufarbenherstellung aufzubauen, führten zu Privilegien bei den Steuern, der Holzbeschaffung und dem Import von Erzen und Pottasche. Allerdings wurde diese Situation von den Besitzern – seit 1783 die Söhne der Kammerrätin (Hessen-Kasseler Minister und Hessen-Kasseler Geheimer Rat) – weidlich strapaziert, wie der langjährige Streit mit dem preußischen König und seiner Regierung sowie den Bergämtern belegt [22]. Die Besitzer brauchten zwar keinen Zehnten für das Farbwerk abzugeben, hatten aber die landesherrschaftlichen Abgaben zu entrichten, was sie jedoch nicht taten. Auch die 1795 vom König auferlegte Strafe beendete das „Hick-Hack" über die Höhe der Recognitionsgelder und den Zahlungszeitraum nicht.

Die damalige Produktion [23] variierte um 100 t/Jahr, bei einem Angebot von etwa 10 Sorten meist mittlerer Qualität. Aus dem „Magdeburgeer-

Intelligenz-Zettel" vom 01.01.1788 [24] sei zu den Preisen auszugsweise zitiert:

AVERTISSEMENTS
Da die Hasseroder blaue Farbenfabrique veranlaßt worden, sämtliche dortige nach Sächsischen Normalmustern gefertigte Farben um den nemlichen Preis nach Magdeburg zu liefern, ... so wird dem commercirenden Publico hierdurch bekannt gemacht, daß gedachte Fabrique die dortigen Farbmuster franco Magdeburg liefert in Courant für nachstehende Preise verkaufen will; als

I.) Den Centner F.F.F.C. ad 112 Pfund für 38 Thlr. 20 Gr.;
3.) den Centner F.C: ad 112 Pfund für 22 Thlr. ;
5.) den Centner O.C: ad 112 Pfund für 14 Thlr. 4Gr.;
6.) den Centner F.F.F.E. ad 112 Pfund für 42 Thlr. 12 Gr.;
10.) den Centner O.E: ad 112 Pfund für 16 Thlr. 20Gr.;
und vorerst diese Preise auf 4 Jahre gelten und feststehen sollen
Signum Magdeburg, den 21. December 1787

Königl. Preuß. Krieges- und Domainencammer des Herzogthums Magdeburg

Doch bei aller positiven Entwicklung gab es auch Querelen hinsichtlich der Qualität der Farben (Smalte), wie die Klage des Magdeburger Strumpffabrikanten HAASE mit der Forderung auf Importgenehmigung für Blaufarben aus Sachsen (15.10.1795) zeigt [22]. Eine Überprüfung bestätigt die Aussage HAASEs und befürwortet den Import. Dies brachte die Angelegenheit vor den König, der eine weitere genaue Prüfung veranlaßte (08.05. 1798). Das Werk wollte den Fuhrleuten die Schuld zuschieben – unsachlicher Umgang mit den Gebinden, aufkehren herausgefallener Farben usw. – was als unglaubwürdig zurückgewiesen wurde und zu verschärften Auflagen führte. HAASE erhielt die Genehmigung für einen begrenzten Import sächsischer Farben, um seine Ware im Wert von über 30.000 Talern nicht verderben zu lassen.

Die nächsten Klagen ließen nicht auf sich warten, so die der schlesischen Leinwand-Fabrikanten beim König, was zu schärferen Qualitätskontrollen an Hand sächsischer Normalproben führte.

1796 wurde das marode private Blaufarbenwerk in Braunlage von der

Hasseröder Fabrik aufgekauft, daher vor einigen technisch-technologischen Aussagen ein kurzer Überblick über die Braunlager Einrichtungen [17].

Etwa um 1756 entstand auf braunschweigischem Territorium in der Nähe von Braunlage unmittelbar am Stollenmundloch der Grube „Ludwig-Rudolph" an der Straße nach St. Andreasberg ein Blaufarbenwerk, dessen Hauptgewerke H. Chr. von BROCK und der Faktor C. L. WESTERHAUSEN waren. Als Rohstoffe dienten bevorzugt Erze der benachbarten Gruben. Unbefriedigende Ergebnisse zwangen schon nach 8 Jahren zur Aufgabe. Weitere Versuche neuer Eigner mißlangen, so daß die Anlagen an den Geh.Rat WAITZ von ESCHEN verkauft wurden.

Die Zusammenführung der beiden Betriebe ermöglichte wesentliche Rationalisierungen. So konnte der Holzmangel der Hasseröder Anlage behoben werden. In Braunlage erfolgte die energieaufwändige Herstellung des Safflors, in Hasserode die Weiterverarbeitung zu Smalte. 1830 kostete ein Klafter Kiefernholz in Hasserode 5 Thlr. 4 Gr., in Braunlage nur 1 Thlr. 21 Gr. Die Transportkosten beliefen sich nur auf 6 Gr. je Zentner Safflor.

Der Technische Bericht des Blaufarbenwerkskontrolleurs A. WILLE aus Schwarzenfels vom Herbst 1830 schildert die damalige Situation recht instruktiv [25].

Betriebsteil Braunlage:

Die Kobalterze wurden aus dem Siegerland, aus Richelsdorf und aus Ungarn bezogen, Andreasberger Erze fanden nur einen geringen Einsatz. Die ungarischen Erze besaßen einen hohen Spießgehalt von ~ 20%, was einerseits beim Calcinieren Abgänge von ~ 33% bedingte, andererseits zu besseren Farben als bei den Richelsdorfern führte.

Technik und Technologie der Glasherstellung entsprachen weitgehend denen der sächsischen Werke. Der benötigte Sand war derber Quarz bzw. körniger Quarz aus dem Tertiärgebirge bei Blankenburg. Die Pottasche wurde aus Rußland und aus Freudenthal bezogen, wobei letztere etwas alaunhaltig war. Als Zuschläge dienten Abfälle der Glasherstellung, z. T. schlechte Eschelsorten und etwas Arsenik für die Speiseherstellung. Die Gemengeherstellung erfolgte nach Probeschmelzen entsprechend den Vorgaben des Farbmeisters.

Der Schmelzprozeß wurde nach Weisung der Besitzer von dem Faktor

JORDAN über 7 Jahre an den runden Hafenöfen umfangreich untersucht. Feuerbeständigkeit des Materials – Schornsteinanordnung – Wärmeführung waren maßgebliche Fragestellungen, deren Lösungen zu einer um 5% höheren Farbfähigkeit der Schmelze, zur Senkung der Pottascheverluste, zur Erhöhung des Schmelzertrages u.a. von 16 auf 18–18,5 Centner bei sog. hohen Gläsern führte.

Betriebsteil Hasserode:

Die Aufbereitung des Glases und die Farbenproduktion in Hasserode begann mit der Zerkleinerung in einem dreistempligen Pochwerk mit nachfolgender Siebung. Waschen, Schlämmen sowie Sortierung des gereinigten Glases schlossen sich an. Die Mühlen liefen 7 Tage/Woche. Nach der Trennung in die einzelnen Qualitäten wurden die Farben auf Herdplatten (Holzfeuerung) getrocknet.

WILLE schätzte die Produktion auf 1500–1800 Ctr. Smalte/Jahr, 2/3 als Eschel, 1/3 als Farbe, hier wiederum 2/3 als mittlere und niedrige Sorten, 1/3 als hohe Sorten. Die Qualität entsprach zwar nicht – wie schon dargestellt – den sächsischen Farben, dennoch fanden die Erzeugnisse guten Absatz, so über Magdeburg in Holland und die hohen Sorten selbst in Sachsen.

In den 40 Produktionsjahren hatten sich Technologie und Produkte stabilisiert und ständig verbessert. Die früheren Muster waren wesentlich schlechter, ihnen fehlte es an blauer Farbkraft, sie hatten einen Stich ins Violette und die Preise lagen daher recht niedrig.

Während 1801 als Belegschaft 31 Männer, dazu 25 Weiber, 56 Kinder, 6 Knechte, 6 Mägde als 124 Personen geführt wurden – hinzu kamen Fuhrleute mit wenig Fuhren/Jahr (ca. 120 Seelen mit Familien), die zusammen ca. 3000 Taler verdienten [26], – waren 1830 in Hasserode 17 Leute und in Braunlage bei Ofenbetrieb 10–12, sonst 3 Leute beschäftigt [17].

Der allgemeine Niedergang der Kobaltfarbenindustrie traf auch das einzige produzierende Harzer Werk. Man versuchte zwar den Ruin, der sich Anfang der 40er Jahre abzeichnete, durch Aufnahme der Ultramarinproduktion (1843) aufzuhalten, doch die Manufakturen waren gegenüber der sich im rasanten Aufbau befindlichen Chemischen Industrie nicht konkurrenzfähig. 1849 wurde der Braunlager Teil abgeworfen und abgerissen. 1859 endete der Betrieb auch in Hasserode. Auf dem Gelände wurde später ein Sägewerk errichtet.

Die Gesamtproduktion des Hasseröder Blaufarbenwerkes dürfte bei ca. 3500 t Farbenprodukte gelegen haben.

Das Blaufarbenwerk bei St. Andreasberg [15, 17]:
Im St. Andreasberger Bergrevier treten arsenidische Nickel- und Kobaltminerale als Begleiter von Silberreicherzen auf. Etwa 165 Jahre nach Beginn der Silbergewinnung (um 1520) fanden sich erste Hinweise auf eine mögliche wirtschaftliche Nutzung der Kobalterze. 1695 legte eine sächsische Gewerkschaft erstmals auch auf Kobalt Mutung ein. Der Antrag wurde jedoch wegen Kapitalmangel abgelehnt. In der Zwischenzeit wurde der Staat – das Kurfürstentum Hannover – aktiv, veranlaßte das Sammeln der mitgeförderten Kobalterze bzw. ließ in der alten Grube „Drei Jungfern" – später Kobaltgrube – am Großen Oderberg mehrere Zentner Kobalterze pochen. Versuche zum Herstellen und Verwenden von Kobaltfarben unter Anleitung der sächsischen Farbenmeister A. UNGER und C. SONTAG führten zu keinen erfolgversprechenden Ergebnissen.

Ab 1707 verzeichnen wir einen regelmäßigeren Grubenbetrieb mit wenigen Bergleuten, der jedoch nur unter zahlreichen Schwierigkeiten und durch beachtliche Unterstützungen aus der Zehntkasse aufrechterhalten werden konnte. Da mittlerweile um 700 Zentner Erze gefördert worden waren und sich entsprechende Erze auch in anderen Gruben fanden, lebte die Diskussion über ein eigenes Farbenwerk wieder auf [27] (siehe Abb. 13).

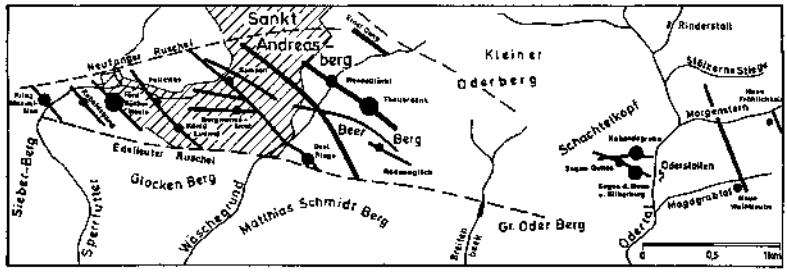


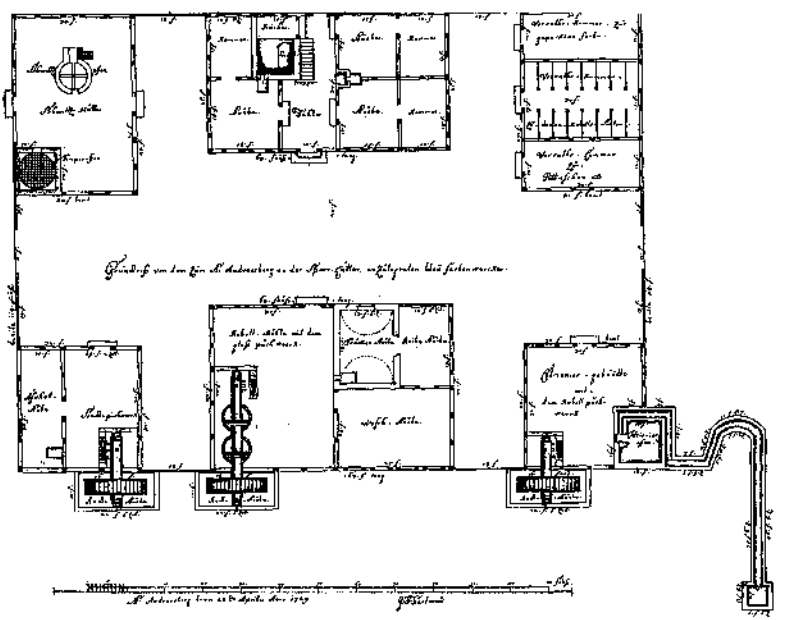
Abb. 13: Die Kobalterzvorkommen innerhalb des St. Andreasberger Reviers [15]

Die Bergbehörde schickte den Bergmeister HARTZIG mit dem Bergsekretär SCHLEMM nach Sachsen, um die Schneebergen Gruben zu befah-

ren und auch die wirtschaftlichen Aspekte – Preise, Produktpalette, Abgaben an die Herrschaft – zu erkunden. Da trotz des Versuches der Geheimhaltung des Reisehintergrundes dieser in Sachsen bekannt war, gab es in Schneeberg einen zwar freundlichen Empfang aber insgesamt einen wenig informativen Besuch einzelner Einrichtungen sowie prinzipiell keine Gespräche mit Fachleuten [27]. 1729 wurde endlich die Genehmigung zum Bau eines kleinen Farbenbetriebes im Sperrluttertal unterhalb der Silberhütte vor dem Großen Kobaltstal mit einer vorgesehenen Verarbeitungskapazität von jährlich etwa 700 Zentnern Kobalterz erteilt, dessen Einrichtung Ende des gleichen Jahres beendet werden konnte. Damit erledigten sich auch die Standortdiskussionen um St. Andreasberg oder Lauterberg [28].

Die Gesamtanlage (siehe Abb. 14) entsprach dem damals üblichen, sächsisch geprägten Standard, so daß auf ausführliche Darlegungen verzichtet sei.

Abb. 14: Grundriß des St. Andreasberger-Blaufarbenwerkes 1729 [15]



Spezifische Aktivitäten, die einen Beitrag zur Weiterentwicklung von Technologie und Apparaten belegen, lassen sich nicht nachweisen.

Die wesentlichen Fabrikanlagen waren:

- Calciniergebäude mit Erzpochwerk und Calcinierofen zur Herstellung von Safflor
- Kanal und Kamin für die Arsenikabscheidung
- Gebäude zur Aufbereitung des Quarzes, Sandpochwerk
- Schmelzhütte mit Glasschmelzofen und Temperofen für die Tonhäfen
- Mühlengebäude mit Glaspochwerk und Scheibenmühlen
- Magazingebäude
- Wohnhaus für Faktor und Farbenmeister sowie Hüttenschenke.

Der Kostenanschlag für das Blaufarbenwerk betrug 51.000 Taler [29].

Organisatorisch unterstand das fiskalische Werk dem Clausthaler Bergamt. Nach großen Anlaufschwierigkeiten gelang es dem Faktor HEINEMANN, dem Farbenmeister GRAUPNER und den 10 Hüttenleuten zwar Smalte herzustellen, doch in so schlechter Qualität, daß ein Verkauf unmöglich war. Der Farbenmeister wurde abgelöst, J. G. BAUMANN, der 12 Jahre in Pfannenstiel gearbeitet hatte, eingesetzt. Er erkannte sehr schnell, daß nur mit einheimischen Erzen keine Qualitätsfarben herstellbar waren und riet zum Ankauf fremder Kobalterze. Die erfolglosen Reisen des Faktors HEINEMANN zur Kundenwerbung nach Sachsen und Schlesien einschließlich der Kontaktaufnahme nach Holland 1731–1732 bestätigten letztendlich die Aussage. Die Andreasberger Farben konnten hinsichtlich Struktur (sehr sandkörnig), ihrer Schwere und in der Lieblichkeit der Farbe nicht konkurrieren [29].

Trotz der finanziellen Belastung beschließt man hessische Erze zu kaufen, obwohl dies auf Grund der eigenen hessischen Interessen (Aufbau eigener Farbwerke) nur eine zeitweilige Lösung sein konnte. Hinzu kam, daß BAUMANN wegen Unterschlagungen vor Gericht gestellt wurde, sich kein neuer Farbenmeister fand und HEINEMANN auch diese Funktion wahrnehmen mußte. Bei seinen Tod 1737 stellte sich heraus, daß Bücher und Abrechnungen schlecht geführt waren. Unter Aufsicht seines Sohnes wurden die vorhandenen 400 Ctr. Schmelzglas aufgearbeitet.

Das Ergebnis der 7 Produktionsjahre spiegelt sich in folgenden Zahlen wider:

- Erzförderung 1018 Ctr. (Summe der einzelnen Gruben),

– Farben ~ 2150 Ctr.,
– Absatz ~ 1480 Ctr.

Die Verluste betrugen über 14.600 Taler.

Dieses Resultat sowie der immer stärker auftretende Holzmangel im Oberharz, damit verbunden die Verteuerung der energieintensiven Produktionsstufen Calcination und Schmelzen aber auch der Pottasche führten 1739 zur Stillegung des Werkes.

Der letzte Abschnitt [30] wird bestimmt durch wenig glückliche Verpachtungsversuche, ständig wechselnde Pächter, laufende Geldstreitigkeiten um Gebühren, Holzpreise, Reparaturen usw. Letztlich wurde das Werk 1748/49 endgültig stillgelegt und 1750 abgerissen. Spuren gibt es heute keine mehr.

Kobaltblau heute

Cobaltverbindungen gehören sowohl zu den wichtigsten Chromophoren für die Produktion ionengefärbter Gläser als auch zu den anorganischen Pigmenten. So zeigt z. B. ein Na_2O-B_2O_3-CoO-Glas mit wenig CoO und einem Na_2O-Gehalt <25% eine rein blaue Farbe bedingt durch den $[Co^{II}O_4]$-Komplex, wie auch ein SiO_2-Glas mit Co^{2+} dotiert. Eine Veränderung der Koordinationszahl auf 6 z. B. in P_2O_5-Gläsern oder bei höheren Na_2O-Gehalten führt zu Farbänderungen. Rohstoffe sind bevorzugt Cobaltoxide und Cobaltcarbonat.

Bei den synthetischen anorganischen Pigmenten gehören Cobaltverbindungen u. a. zu den Mischphasenpigmenten, die sich durch eine hohe chemische und thermische Resistenz, hohe Deckkraft und toxikologische Unbedenklichkeit auszeichnen. Am längsten bekannt sind Spinellfarbkörper wie Cobaltblau $CoAl_2O_4$, die durch Festphasenreaktion der Oxidkomponenten (unter Mineralisatorzusatz) bei 800–1400°C entstehen. Die farbgebenden Übergangsmetallionen werden in das oxidische Wirtsgitter eingebaut (siehe Abb. 15). Cobaltaluminiumspinell erzeugt ein rotstichiges Blau, bei zusätzlichem Einbau von Chrom resultiert ein grünstichiges Blau.

Das „Blaufärben“ wirft auch nach Jahrtausenden stets neue wissenschaftliche Fragen auf, wie die interessanten Arbeiten u. a. von P. Hellmold

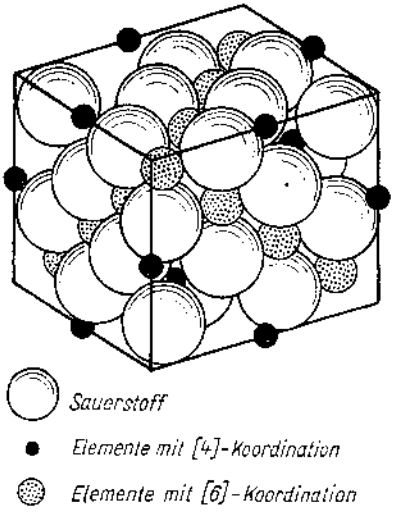


Abb. 15: Strukturmodell der Spinelle [32]

und seinen Mitarbeitern in Merseburg und Clausthal z. B. über das Anlösen der Spinelle in Emails und Keramiken zeigen [31].

Wir können davon ausgehen, daß das „Echt Kobaltblau" auch weiterhin eine Qualitätsaussage bei Glas- und Keramikerzeugnissen beinhaltet.

Bei der Durchführung unserer Arbeiten wurden wir in vielfältiger Weise unterstützt. Wir möchten daher auch an dieser Stelle danken dem Oberbergamt Clausthal-Zellerfeld, der Hochschulbibliothek der TU Clausthal-Zellerfeld, der Außenstelle des Landesarchivs Magdeburg in Wernigerode sowie besonders Frau Dr. H. Voigt, Freiberg und Herrn. Dr. W. Ließmann, Göttingen.

Literatur

[1] LIEßMANN, W.: Emser Hefte 15, Nr. 4, Bode-Verlag, Haltern 1994
[2] LANGE, A.: Freiberger Forschungsheft D 25, S. 3–26, Berlin 1958
[3] TAFEL, V. und WAGENMANN, K.: Lehrbuch der Metallhüttenkunde, 2. Auflage, Bd. 3, S. 138ff., Leipzig 1954
[4] RÖMPP, H.: Chemie der Metalle, S. 204ff., Stuttgart 1949
[5] SIEBER, S.: Geschichte des Blaufarbenwerkes Niederpfannenstiel in Aue im Erzgebirge, S. 5, Schwarzenberg im Erzgebirge 1935

[6] BRUCHMÜLLER, W.: Der Kobaltbergbau und die Blaufarbenwerke in Sachsen bis zum Jahre 1653, Crossen a. O. 1897
[7] WINKLER, A. F.: Freiberger Forschungsheft D 25, Berlin 1958 (Nachdruck)
[8] LAMPADIUS, W. A.: Grundriß der Technischen Chemie, Verlag Craz und Gerlach Freiberg 1815
[9] LAMPADIUS, W. A.: Blaufarbenchemie, nach den Vorträgen von Herrn Prof. LAMPADIUS, aufgezeichnet von K. A. WINKLER, 1814 (Handschrift)
[10] LAMPADIUS, W. A.: Nachgeschriebene Hefte über chemische Vorlesungen des Herrn Commissionsrat Lampadius insbesondere auf Blaufarbenchemie. Zusammengestellt von F. F. SEYDEWITZ, 1817 (Handschrift)
[11] HUNSTADBRÅTEN, K.: Der Anschnitt 30 (1978), S. 182–184
[12] EMONS, M. und EMONS, H.–H.: Abhandlungen der Königlich-Norwegischen Wissenschaftsgesellschaft, Trondheim, im Druck
[13] SCHELLHAS, W.: Freiberger Forschungsheft D 147, S. 47–95, Leipzig 1982
[14] STEINSVIK, T. S.: Blaafarvevaerket, Modum 1990
[15] LIEßMANN, W.: Beiträge zur Bergbaugeschichte von St. Andreasberg Bd. 1, S. 267–288,
[16] SCHLEIFENBAUM, B.: Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins des Harzes in Wernigerode, 9 (1894), S. 12–101
[17] HAUSBRAND, O.: Zeitschrift des Harzvereins 67 (1934), S. 56–69
[18] HAUSBRAND, O.: Z. Berg-, Hütten- und Salinenwesen 86 (1938), S. 127–157
[19] LIEßMANN, W.: Allgemeiner Harzer Berg Kalender 1992, S. 137–140, Verlag Ed. Pieper Clausthal-Zellerfeld 1992
[20] LIEßMANN, W.: Allgemeiner Harzer Berg Kalender 1998, S. 94–98, Verlag Ed. Pieper Clausthal-Zellerfeld 1998
[21] STAMMLER, R.: Zeitschrift des Harzvereins 59 (1926), S. 110–136
[22] Landesarchiv Magdeburg, Außenstelle Wernigerode Rep.F. 38IIe Nr. 1, Vol. II
[23] Landesarchiv Magdeburg, Außenstelle Wernigerode Rep.F. 38IIe Nr. 1, Vol. I, II, III
[24] Landesarchiv Magdeburg, Außenstelle Wernigerode Rep.F. 38IIe Nr. 1, Vol. I
[25] Repertorien des Hessischen Staatsarchivs Marburg, Bestände 55a u. b, Berg-, Hütten-, Salzwerks- und Münzsachen (1322) 1491–1867, Marburg 1983, 4. Blaufarben, Ocker, S. 264 (1830)
[26] Landesarchiv Magdeburg, Außenstelle Wernigerode Rep.F. 38IIe Nr. 1, Vol. III
[27] OBA Clausthal-Zellerfeld, Fach Nr. 1078, Akte Nr. 37
[28] OBA Clausthal-Zellerfeld, Fach Nr. 1078, Akte Nr. 38
[29] OBA Clausthal-Zellerfeld, Fach Nr. 1078, Akte Nr. 39
[30] OBA Clausthal-Zellerfeld, Fach Nr. 1078, Akte Nr. 41
[31] persönliche Mitteilung
[32] RÖSLER, H. J.: Lehrbuch der Mineralogie, 3. Auflage, S. 380, Leipzig 1984
[33] SIEBER, S.: Die Ultramarinfabrik VEB Schindlerswerk, Gedenkschrift zur 300-Jahrfeier 04.05.1949

Ursula Calov

Chemische Asbestentsorgung*

Prof. Dr. Dr. h.c. Lothar Kolditz zum 70. Geburtstag gewidmet

1. Vom Wertstoff zum Gift

Asbest hat in den vergangenen Jahren viel Staub aufgewirbelt. Vor 20 Jahren wurde erkannt, dass eingeatmete Asbestfasern Lungenkrebs auslösen können. Nach Einschränkung der Verwendung wurde Asbest 1990 in die Gefahrenstufe I der Schadstoffverordnung eingestuft und damit die weitere Verwendung praktisch verboten. Für den Umgang mit Asbest wurden entsprechende Bestimmungen erlassen. Aus einem Wertstoff war ein Gift geworden.

2. Substanzcharakteristik

Der Name Asbest steht als Sammelbegriff für natürlich vorkommende faserige Silicatminerale, abgeleitet vom altgriechischen *asbestos* = unzerstörbar. Die günstigen Materialeigenschaften, wie Wärmebeständigkeit, Unbrennbarkeit, Isoliervermögen, Elastizität, Verspinnbarkeit und gute Mischbarkeit mit anorganischen und organischen Bindemitteln und chemische Beständigkeit z. B. gegenüber Alkalien, ermöglichten ein breites Anwendungsspektrum.

Hauptsächlich wurde *Chrysotil*, ein Magnesiumsilicat aus der Gruppe der Serpentine, verarbeitet zur Isolation, zum Feuerschutz, als Dichtmaterial, zur Filtration, als Katalysatorträger, als Reibungsbelag (Bremstrommeln), zur Herstellung von Asbestzement und als Füll- und Dämmmaterial.

Die Eigenschaften von Chrysotil lassen sich aus der Struktur ableiten. $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ besteht aus einer über die Ecken verknüpften Schicht von

* Vortrag, gehalten vor der Klasse für Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 21. Oktober 1999.

SiO_4-Tetraedern, die auf ihrer dreieckigen Basis liegen und mit der Spitze in eine Richtung zeigen. Die Spitzenlücken sind mit OH-Ionen aufgefüllt, darüber liegt eine Schicht von Mg-Ionen, die oktaedrisch von 6 O-Atomen umgeben sind. Die Schichten sind gerollt zu gebündelten Fibrillen, d. h. sie bilden Hohlfasern. Das liegt daran, dass die beiden Schichten der Doppelschicht aus Si_2O_5 und $Mg(OH)_2$ mit ihren Atomabständen nicht genau aufeinander passen, dadurch kommt eine Spannung zustande, der sich die Doppelschicht durch Krümmung entzieht. Die Fibrillen des Chrysotils gehören zu den feinsten natürlichen Fasern, die bekannt sind. Da die Doppelschichten in sich valenzmäßig abgesättigt sind, werden nach außen nur geringe Wechselwirkungen betätigt. Die einzelne Fibrille hat nur geringen Zusammenhalt zur Nachbarin. Das führt zu leichter Zerfaserbarkeit und guter Elastizität.

Durch Verwitterung und Korrosion werden aus den verwendeten Asbestprodukten diese Fibrillen als feine Fasern freigesetzt und gelangen in die umgebende Luft. Besonders gefährlich sind die Fasern mit einer Länge um 0,005 mm und <0,003 mm Durchmesser. Es besteht nun die Aufgabe der Beseitigung der Gefahren, die von den in großen Mengen verwendeten Asbestprodukten ausgehen.

3. Asbestprodukte

Die Hauptmenge (ca. 75%) von Chrysotil wurde in Asbestzement verbaut. Asbestzement enthält 12 bis 15% Chrysotil. Die Größe des Gefahrenpotenzials zeigt sich z. B. in ungefähr 300 Millionen m^2 Asbestzementplatten, die allein in der alten Bundesrepublik verbaut wurden.

Der in Gebäuden eingebaute Spritzasbest enthält 60% Chrysotil.

4. Sanierungsmaßnahmen und Deponieprobleme

Aufgabe aller Sanierungsmaßnahmen ist die Beseitigung der vom Asbest ausgehenden Gesundheitsgefährdung durch dauerhafte Vermeidung der Faserfreisetzung. Das wird durch die komplette Entfernung des Asbests oder der asbesthaltigen Materialien erreicht. Angewendet werden auch

Oberflächenfixierungen oder Einschließen von asbesthaltigen Bereichen.

Asbest ist nun auch ein erhebliches Abfallproblem, da die Asbestabfälle aus den Entsorgungsmaßnahmen auf Haus- oder Sondermülldeponien gelangen und dort ein Gefahrenpotenzial für die Zukunft sind. Zur Bindung von Asbestfasern werden säurehärtende Kunstoffdispersionen oder Zementmilch eingesetzt. Durch derartige Verkapselungen der Asbestfasern bzw. der Asbestprodukte durch das Überziehen mit Kunststofffilmen oder in hydraulisch erhärtenden Bindemitteln ist dies vom Asbestfaserstoff ausgehende Gefahrenpotenzial für die Zukunft auch nicht beseitigt.

5. Asbestumwandlung, Entsorgung und Deponie

Eine endgültige Entsorgung wird erst durch chemisch-morphologische Umwandlungsprozesse verwirklicht unter Zerstörung der Asbestfasern. Dazu zählen die mit Asbestmineralien durchgeführten Hochtemperaturreaktionen auf der Grundlage von Schmelz- und Sinterprozessen. Aus Chrysotil wird bei Erhitzen auf 1400 °C ein harmloses Magnesiumsilicat, nämlich Forsterit $MgSiO_4$. Durch Einschmelzen in Glas wird Asbest umgewandelt, die Reaktionsprodukte können Baustoffen zugeschlagen werden. Asbestabfälle reagieren bei 400 °C mit Ammoniumsulfat zu Magnesiumsulfat.

Über die Reaktion von Asbest mit Säuren gibt es Untersuchungen von Gupta und Smith 1974 [1] und Hinz 1985 [2]. Bei der Umsetzung von Asbest mit Schwefelsäure, Salpetersäure, Phosphorsäure und Salzsäure wird amorphe Kieselsäure gebildet. Asbest reagiert heftig mit Fluorwasserstoff unter Erwärmung, wobei Siliciumtetrafluorid, Magnesiumfluorid und Magnesiumhexafluorosilicat entstehen. Bekannt ist ein Verfahren der Kalichemie 1990 [3] zur Zerstörung von Asbest mit Tetrafluoroborsäure und Hexafluorokieselsäure.

Bei den Säurezersetzungsverfahren werden für die Asbestreaktionsprodukte als Sondermüll deponiefähige Behältnisse wie säurefeste, verwitterungsbeständige Plastikfässer benötigt.

6. Asbestumwandlung und Wertstofferzeugung

Wir wollten ein Verfahren ausarbeiten, welches Asbest in wiederverwertbare Produkte umwandelt. Bei unserem Projekt im Rahmen des Wissenschaftler-Integrationsprogramms, das nach der Auflösung der Institute der Akademie der Wissenschaften der DDR lief, untersuchten wir Fluorometallate mit Stickstoff enthaltenden Kationen. Diese Verbindungen sind durch das Vorliegen von Wasserstoffbrückenbindungen stabilisiert. Schon 1858 hat Knop eine kristalline Verbindung zwischen Harnstoff und Hexafluorokieselsäure beschrieben [4]. Die Struktur wurde 1982 von Zhang und Mitarbeitern bestimmt [5]. Mehr war von Verbindungen von Harnstoff mit Fluorometallaten nicht bekannt. Da nach der Struktur Harnstoffsalze gebildet werden, nennen wir sie Uroniumfluorometallate.

Wir stellten Uroniumfluorometallate von Germanium, Zinn, Titan, Zirkon, Niob, Tantal, Wolfram, Aluminium, Gallium, Chrom und Vanadium her. Die Uroniumfluorometallate sind an Luft beständige, kristalline Verbindungen, die sich sehr gut in Wasser lösen. Es lassen sich bis über 50%ige Lösungen erhalten. Diese Lösungen reagieren stark sauer. Bis 160 °C sind die Verbindungen thermisch stabil und zersetzen sich bei weiterem Erwärmen in die Ammoniumsalze und Cyanursäure.

Aus wirtschaftlichen Gründen kommen für die Umsetzung mit Asbest die folgenden Verbindungen in Frage:

Tetra-uroniumhexafluorosilicat	$[CO(NH_2)_2]_4H_2SiF_6$,
Di-uroniumhexafluorosilicat	$[CO(NH_2)_2]_2H_2SiF_6$,
Tri-uroniumpentafluoroaluminat	$[CO(NH_2)_2]_3H_2AlF_5$,
Tri-uroniumhexafluoroaluminat-monohydrat	$[CO(NH_2)_2]_3H_3AlF_6 \cdot H_2O$.

Mit den wässrigen Lösungen dieser Verbindungen tritt bei Raumtemperatur innerhalb einiger Stunden vollständige Umsetzung des Chrysotils ein. Die Umsetzungen laufen nach folgenden Reaktionsgleichungen ab:

$$Mg_3[Si_2O_5](OH)_4 + 3[CO(NH_2)_2]_4H_2SiF_6 + xH_2O \rightarrow$$
$$3[Mg(CO(NH_2)_2)_4(H_2O)_2]SiF_6 + 2SiO_2 \cdot xH_2O$$

$$2Mg_3[Si_2O_5](OH)_4 + 6[CO(NH_2)_2]_2H_2SiF^6 + xH_2O \rightarrow$$
$$3[Mg(CO(NH_2)_2)_4(H_2O)_2]SiF_6 + 3[Mg(H_2O)_6]SiF_6 + 4SiO_2 \cdot xH_2O$$

$$Mg_3[Si_2O_5](OH)_4 + 3[CO(NH_2)_2]_3H_2AlF_5 + (2x\text{-}2)H_2O \rightarrow$$
$$2MgAlF_5 \cdot 1{,}5H_2O + [Mg(CO(NH_2)_2)_4]AlF_5 + 2SiO_2 \cdot xH_2O + 5CO(NH_2)_2$$

$$Mg_3[Si_2O_5](OH)_4 + 3[CO(NH_2)_2]_3H_3AlF_6 \cdot H_2O + (2x\text{-}5)H_2O \rightarrow$$
$$2MgAlF_5 \,.\, 1{,}5H_2O + [Mg(CO(NH_2)_2)_4]AlF_5 + 2SiO_2 \cdot xH_2O + 3HF + 5CO(NH_2)_2$$

Es entsteht das entsprechende Magnesiumfluorometallat, zum Teil mit Harnstoff als Liganden und amorphe Kieselsäure. Die vollständige Zersetzung des Chrysotils ist daran zu erkennen, dass dessen Reflexe in den Guinier-Aufnahmen der Umsetzungsprodukte verschwunden sind.

Die Gegenwart von Harnstoff aus den Uroniumfluorometallaten in der Lösung verhindert die Bildung von schwer löslichem Magnesiumfluorid auf der Faseroberfläche, deshalb laufen die Reaktionen vollständig bei Raumtemperatur ab.

Zur Untersuchung der Reaktionsprodukte wurde die Elektronenstrahl-Mikrosonde eingesetzt. Die Abbildungen der Reaktionsprodukte lassen deutliche Veränderungen in Durchmesser und Morphologie erkennen. Der mittels EDX erfassbare Anteil ihrer Zusammensetzung entspricht den prognostizierten Reaktionsabläufen und beweist den vollständigen Abbau des Asbests [6]. Das bei der Umsetzung von Chrysotil gebildete Magnesiumhexafluorosilicat ist ein handelsübliches Bautenschutzmittel (Fluate) [7]. Die entstandene amorphe Kieselsäure ist als Füllstoff, Filtermaterial oder als Katalysatorträger einsetzbar, z. B. dort, wo früher Asbest verwendet wurde.

Vorteilhaft für die Sanierung von Spritzasbest ist diese Asbestzersetzung dadurch, dass die in Wasser sehr gut löslichen Magnesiumsalze nach der Stoffwandlung durch Wasserbehandlung von den unlöslichen Zementmaterialien problemlos abgetrennt werden können. Für Faserzementerzeugnisse an oder in Bauwerken liegt der Vorteil darin, dass eine Stoffwandlung der Asbestfasern zu Bautenschutzmitteln eintritt. Entsprechend der bekannten Verfahren der Fluatierung erfolgt Reaktion mit den Zementasbestmaterialien zu in Wasser schwer löslichem Calciumfluorid und Kieselsäure, wodurch die Zementporen verstopft und somit versiegelt werden.

Bei der Behandlung von asbestbelasteten Oberflächen mit wässrigen Lösungen der Uroniumfluorometallate werden nicht nur die Asbestfasern zersetzt, sondern ausserdem die behandelte Oberfläche vor Verwitterung geschützt und damit auch die Freisetzung von noch im Baustoff vorliegenden Asbestfasern verhindert [8], [9], [10].

Literatur

[1] Gupta, A.K.; Smith, R.W.: Kinetic study of the reaction of acids with asbestos minerals; Proc. Int. Symp. Water-Rock Interact., Meeting Date 1974, p. 417–425; edited by Cadek, J.; Paces, T., Ustred Ustav Geol. Prague

[2] Hinz, W.: Silicat-Lexikon; Akademie-Verlag Berlin 1985

[3] DE-OS 4027844; Legat, W.; Zimmermann, F.; Huge, W.: Verfahren zur Zersetzung von Asbest

[4] Knop: Jahresberichte über die Fortschritte der Chemie 1858, S. 148; nach Beilsteins Handbuch der Organischen Chemie, Bd. III, S. 55; Julius-Springer-Verlag Berlin 1921

[5] Zhang, Z.; Shao, M.; Xu, X.; Tang, Y.; Tu, Y.: Kexue Tongbao 27 [1982] 658

[6] Calov, U.; Forkel, K.; Wilde, W.; Adam, K.; Elies, G.; Jungnickel, R.; Brink, E.: 12. ibasil (Weimar) 1994, 228

[7] Ullmanns Encyklopädie der Technischen Chemie, 4. Aufl., Bd. 8, S. 339; Verlag Chemie Weinheim/Bergstraße 1974

[8] DE-OS 4314824 (O.T. 03.11.1994); Calov, U.; Forkel, K.; Wilde, W.; Elies, G.; Adam, K.; Jungnickel, R.; Brink, E.: Mittel zur Durchführung von Stoffwandlungsprozessen für anorganisch-nichtmetallische Faserstoffe, insbesondere für Stoffe aus der Gruppe der Asbestmaterialien

[9] DE-OS 19509707 (O. T. 12.09.1996); Calov, U.; Forkel, K.; Brink, E.: Mittel und Methode zur Durchführung von Stoffwandlungsprozessen im Zusammenhang mit der Beseitigung gesundheitsschädlicher faserförmiger Feststoffe zumindest in der Oberfläche asbestbelasteter Bauteile, insbesondere sämtlicher im Baugewerbe eingesetzten alten Isoliermaterialien, Spritzputze und andere Faserstoffe enthaltende Materialien auf Basis von Asbestfasern oder gesundheitsgefährdenden künstlichen Mineralfasern

[10] DE-OS 19523735 (O. T. 27.12.1995); Calov, U.; Emmrich; Forkel, K.; Unger; Wihsmann, F. G.; Reaktives Mittel zur Bindung und chemischen Veränderung von gesundheitsgefährdenden Faserstoffen, insbesondere von Asbest, sowie Verfahren zur Behandlung der diese Faserstoffe enthaltenden Baustoffe

Wissenschaftliche Mitteilung

Wolfgang Böhme

Information über die 4. Internationale Konferenz über die Modellierung von globalen Klimaänderungen und globaler Klimavariabilität (Hamburg 13. – 17. Sept. 1999)*

Die Konferenz wurde wie die vorangehenden 3 vom Max-Planck Institut (MPI) für Meteorologie Hamburg veranstaltet. Die erste hatte vor ca. 10 Jahren stattgefunden. Auf der 4. Konferenz wurden insgesamt über 80 Vorträge gehalten; die Zahl der vorgestellten Poster betrug etwa 180. Die Abstracts sind in einem Tagungsband vereint (MPI, 1999).

Es wurde faktisch eine Bilanz über die Entwicklung der Klimamodellierung und Klimavorhersage in den vergangenen 10 Jahren, insbesondere in den letzten 3 Jahren seit der 3. Konferenz dieser Art gezogen. Besonders hervorgehoben sind:

(1.) der rasche Fortschritt bei der Entwicklung gekoppelter Ozean/Atmosphäre-Modelle für jahreszeitliche und Jahresvorhersagen, der sich unter anderem in der jetzt erreichten Fähigkeit zeigt, El-Nino-Ereignisse etwa über ein Jahr im Voraus vorherzusagen (worüber insbesondere unser Mitglied Karl Lanius hier einige Male Informationen gegeben hat);

(2.) die deutliche Verbesserung der Nachbildung von Klimaänderungsprozessen, wozu einleitend Lennart Bengtsson als einer der 3 maßgeblichen Veranstalter vom MPI für Meteorologie schon konstatieren konnte, daß es möglich wurde sowohl die beobachtete Entwicklung des Klimas in den letzten Dezennien mit den Modellresultaten in gute Übereinstimmung zu bringen wie auch Entwicklungen in der prähistorischen Zeit (abgeleitet aus Eisbohrkernen, Baumringen u. ä.) besser zu verstehen. „Die Ähnlichkeit zwischen den Modellresultaten und den Beobachtungsergebnissen verstärkt das Vertrauen in die Modellierungsresultate für das zukünftige Klima, wobei im übrigen der ausgeprägte Erwärmungstrend in diesem Jahrhundert in Übereinstimmung steht mit der anwachsenden Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre". Und er fährt fort: „Trotz dieses Fortschrittes

* (als Kurzfassung) vorgestellt vor der Klasse Naturwissenschaften am 16.12.1999.

sind die erzielten Ergebnisse nur der allererste Schritt zum Aufbau einer robusten Kapazität für Klimaüberwachung und -vorhersage – einem Aufbau, der wahrscheinlich viele von uns 'gemeint sind die Modellierer' in der Zukunft beschäftigen und gewiß eine dominierende Rolle in den nächsten Dezennien spielen wird ähnlich wie es die Modellierung in der numerischen Wettervorhersage in den 80 und 90er Jahren getan hat".

Eine Illustration für die Nachbildung der ablaufenden Erwärmung durch Modelle, die die Treibhausgase bzw. die Treibhausgase und das Sulfataerosol einbeziehen, zeigt die Abb. 1.

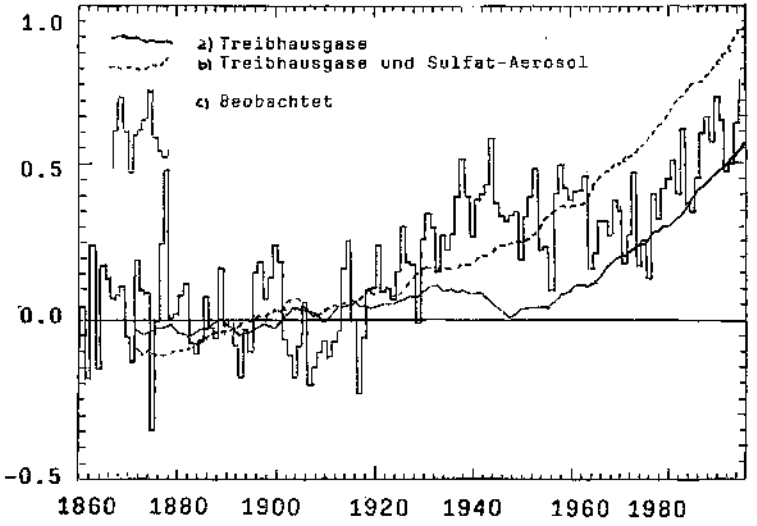


Abb. 1: Abweichungen der globalen Jahresmitteltemperaturen an der Erdoberfläche entsprechend a) einem Modell mit Berücksichtigung der Zunahme der Treibhausgaskonzentration, b) einem Modell mit zusätzlicher Berücksichtigung des direkten Effektes des Sulfat-Aerosols, gegenübergestellt den c) Beobachtungen (zusammengestellt vom britischen Hadley-Zentrum für Klimaänderungen und Klimaforschungen, übernommen aus einer Veröffentlichung „A Research Programme on Climate Variability and Predictability for the 21st Century" zum Programm CLIVAR (Climate Variability and Predictability) des WCRP (Weltklimaforschungsprogramms) von 1997).

(3.) das gegenwärtige rasche Voranschreiten der Einbeziehung weiterer Komponenten des Klimasystems (zusätzlich zur Ozean-Atmosphäre-Wechselwirkung) in die Modellierung. Insbesondere betrifft dies jetzt in sehr umfassender Weise die atmosphärische Chemie wie auch verschiedene biogeochemische Prozesse (wie z. B. des Ozons oder auch des Methanhaushaltes). Hier sind im nächsten Dezennium wahrscheinlich sehr wesentliche neue Erkenntnisse zu erwarten.

(4.) ein sehr bedeutsamer Punkt betrifft Fortschritte bei den numerischen Experimenten mit den komplexer werdenden Klimamodellen, insbesondere wurde auf verschiedenem Wege festgestellt, daß es bisher nicht erschlossenes prognostisches Potential für die Vorhersage der Entwicklung über Monate bis Dezennien gibt. Zu den verschiedenen Möglichkeiten, dieses Potential nutzbar zu machen, gehören die weitere Entwicklung der Ensemblemethodik und der Kombination von numerischen und statistischen Verfahren.

Es wurde auf dieser Konferenz mehrfach und massiv belegt, worauf wir, K. Balzer vom DWD, Bereich Potsdam, und ich schon früher hingewiesen haben (s. hierzu u. a. Böhme, 1998, Balzer et. al, 1995, Balzer et al., 1998), daß Ensembles von Vorhersagen mit verschiedenen Modellen den Ensemblen mit einem Modell, aber variierten Anfangsbedingungen, hinsichtlich der Güte der Vorhersagen fast immer deutlich überlegen sind.

Auf eine weitere Verbesserungsmöglichkeit, d. h. auf ein recht hohes zusätzliches Vorhersagepotential, das etwa in der Zielrichtung meines Vortrages im Jahre 1998 (Böhme, 1998) liegt, haben Krishnamurti und Mitarbeiter von der staatlichen Universität in Florida in eindrucksvoller Weise hingewiesen (Krishnamurti et al., 1999a und 1999b). Sie konnten am Lorenzmodell aus dem Jahre 1963 (Lorenz, 1963) für ein nichtlineares, dynamisches System zeigen, daß die multiplen Regressionskoeffizienten zwischen einer Lösung des Systems bei einem bestimmten Wert der im System wirkenden Kräfte und einem großen Ensemble von Lösungen mit jeweils verschiedenen Werten dieser Kräfte (also unterschiedlichen physikalischen Bedingungen, was der Verwendung unterschiedlicher Modelle entspricht) eine deutliche zeitliche Invarianz (oder zumindest nur eine geringe zeitliche Veränderlichkeit) aufweisen. Das war nicht erwartet worden.

Krishnamurti et al. haben jedenfalls dieses Herangehen an ein nichtlineares System auf die Wetter- und Klimaproblematik übertragen und gezeigt, daß die Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression von

Multimodellensemblen auf unabhängige neue Daten (was dann von K. als Multimodell-Superensemble bezeichnet wird) von sehr hohem prognostischen Wert ist.

Sie haben das an mehreren, sehr unterschiedlichen Anwendungen mit unterschiedlichem Zeitscale belegt. Die Fehler werden dabei durch die mittlere quadratische Abweichung der Modellergebnisse gegenüber der beobachteten Wirklichkeit (also durch den rms error) charakterisiert. – Die Abb. 2 zeigt für den meridionalen Wind in der 850-hPa-Fläche über dem indischen Monsungebiet für die Anwendung des Superensembles wesentlich günstigere Ergebnisse als für die Anwendung jedes einzelnen Modells. Der mittlere quadratische Fehler des Superensembles beträgt nur noch ca. 1 ms-1, was in der Nähe der Meßgenauigkeit liegt.

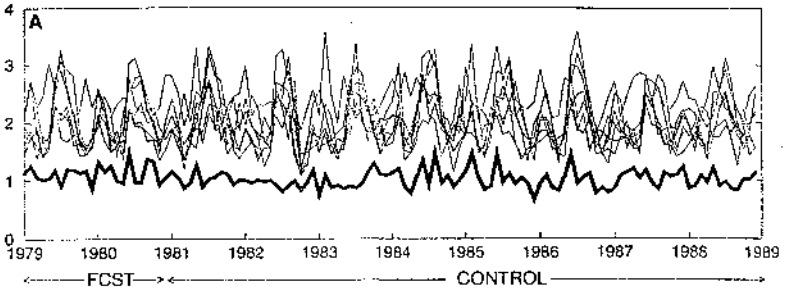


Abb. 2: Mittlerer quadratischer Fehler des Superensembles (dick ausgezogene Kurve) und verschiedener einzelner Modelle (dünne Kurven) für den mittleren meridionalen Wind des indischen Monsungebietes in der 850-hPa-Druckfläche (ca. 1 km Höhe). Hier wurde der Zeitraum 1979/1980 für die Bestimmung der multiplen Korrelationskoeffizienten genutzt. (Aus Krishnamurti, T. N. et al., 1999b).

Die zitierte Originalarbeit von Krishnamurti et al. (1999b) enthält eine ähnliche Abbildung für den monatlichen mittleren Niederschlag der Monsunregion Indiens. Der mittlere quadratische Fehler der vom Superensemble gelieferten Vorhersagen beträgt mit durchschnittlich 2 mm/Tag nur noch etwa die Hälfte bis 1/3 der Fehler der einzelnen Modelle. – Weiter wird u. a. auch belegt, daß auf dem schwierigen Gebiet einer 3-Tage-Vorhersage des Verhaltens tropischer Wirbelstürme (Zugbahn und Intensität) noch deutliche Fortschritte möglich sind.

Insgesamt kann man wahrscheinlich den Schluß ziehen, daß mit der (an einfachen Systemen nachgewiesenen und an komplexeren hinsichtlich ihrer Auswirkungen bestätigten) Zeitinvarianz der multiplen Regressionskoeffizienten zwischen den Mitgliedern von Modellensemblen bei nichtlinearen Systemen ein wesentlicher Teil der Dynamik des nichtlinearen Systems (oder anders gesagt: der wesentliche Teil der Freiheitsgrade des Systems) erfaßt wird. Die Bedeutung dieser Erkenntnisse geht sicher über Meteorologie und Klimatologie hinaus, da es überall komplexe dynamische Systeme gibt.

Wir sollten die Entwicklung auf diesem Gebiet zumindest mit großer Aufmerksamkeit weiter verfolgen oder vielleicht selbst hier ein Projekt gestalten, wobei man davon ausgehen muß, daß man auch für die statistische Seite der Berechnungen (multiple Regression von Feldverteilungen) eine leistungsfähige Computerausstattung benötigt.

Literatur:

Balzer, K., Emmrich, P., 1995: Gratis two-model-ensemble versus EPS. Procee-dings Fifth Workshop on Meteorological Operational Systems, ECMWF Reading Nov. 1995

Balzer, K., Enke, W., Wehry, W., 1998: Wettervorhersage, Menschen und Computer – Daten und Methoden. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Böhme, W., 1998: Atmosphärische Zirkulation und Chaos – Ergebnisse und Konsequenzen. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 24, Heft 5 (1998), 151–182

Krishnamurti, T. N., et al., 1999a: Multi-Model Ensembles for Weather and Sea-sonal Climate Forecasts. In: MPI für Meterologie, S. 85

Krishnamurti, T. N., et al., 1999b: Improved Weather and Seasonal Climate Forecasts from Multimodel Superensemble. Science Vol. 285 (3 September 1999), 1548–1550

Lorenz, E., 1963: Deterministic nonperiodic flow. J. Atm. Sci., 20, 131–141

MPI für Meteorologie, 1999: 4th International Conference on Modelling of Glo-bal Climate Change and Variability, 13–17 September 1999: Abstracts, 234 Seiten

Rezension

Wilfried Schröder: Das Polarlicht

172 S., 1 Farbtafel, zahlr. Abb., Science-Edition, Hechelstr. 8,
D-28777 Bremen, DM 30,-, ISSN 0179-5658 (1999).

Das schöne, kleine Buch von W. Schröder „Das Phänomen des Polarlichts", das 1984 erschienen ist, ist schon seit Jahren vergriffen. Es liegt nun hier in einem guten Reprint wieder vor, erweitert durch eine englische Introduction „Some Aspects of the History of Auroral Research" und bereichert durch eine farbige Reproduktion eines Flugblattes aus dem Jahr 1554 über die „Erschröckliche neue Zeitung" über ein in den mittleren Breiten sichtbares Polarlicht.

Schröders Buch gibt eine spannend zu lesende und gut dokumentierte Geschichte des Polarlichts seit der Antike bis zur heutigen extraterrestrischen Physik und Aeronomie. Von kulturhistorischem Interesse ist die Darstellung und Interpretation der antiken und mittelalterlichen Berichte dieser als außerordentlicher und oft als Wunderzeichen angesehenen Himmelsphänomene. Hier ist Schröders Hinweis auf das bekannte Buch des Psychologen C.-G. Jung „Ein moderner Mythos von Dingen, die am Himmel gesehen werden" (1956) durchaus sachgemäß. Die Psychologie der Menschen und die Urteile und Vorurteile ihrer Zeit sind bei den Vorzeichen zu berücksichtigen, die alten Berichte für die heutigen wissenschaftlichen Fragen über Zahl und Stärke der Aurora-Phänomene in früheren Zeiten usw. zu werten.

Ein starkes Polarlicht (17.3.1716), das erste, das im Zeitalter der Aufklärung und der beginnenden Anwendung der Methoden der exakten Wissenschaft auf alle Naturerscheinungen systematisch beobachtet wurde, leitet die wissenschaftliche Erforschung dieses Phänomens ein. Die Frage, ob diese Aurora in die terrestrische oder extraterrestrische Sphäre gehört, wurde gestellt und geklärt und der Zusammenhang mit dem Geomagnetismus erkannt. Das 19. Jahrhundert führte zu der Erkenntnis, dass die Polarlichter solar-terrestrische Phänomene sind und ließ die Wirkung der solaren Korpuskelstrahlung auf die obersten Atmosphärenschichten erkennen. Das

vollständige Verständnis geht auf die Forschungen der Physiker Birkeland und Störmer zurück, wenngleich dies unter dem Eindruck stand, dass die in der hohen Erdatmosphäre bestehenden Bedingungen seinerzeit nicht im irdischen Labor realisiert werden konnten. Dies alles führte zu Spekulationen, die z. T. auf „verbotenen Überlegungen" bestehen. So kam etwa Alfred Wegener (1911) auf die Hypothese eines Elementes mit einem Atomgewicht kleiner als 1, dem „Geocoronium" (genau wie die Astrophysiker in der hohen Sonnenatmosphäre ein „Coronium" zu finden glaubten).

Der Abschluss von Schröders hübschem Buch enthält den Hinweis auf die Beobachtungen außerhalb der Erdatmosphäre. Die extraterrestrische Erforschung der Erde von „oben" und die permanente Überwachung der Sonnenaktivität ohne den Einfluss der Erdatmosphäre, führten zu neuen Verstehensweisen. Die Erforschung des Polarlichts ist somit eine Teildisziplin der extraterrestrischen Physik geworden.

Schröders Buch gibt insofern die Darstellung eines in sich geschlossenen Kapitels der kosmischen Physik.

Hans-Jürgen Treder

Rezension

Mathematik als Kulturleistung

Auf dem 50. Internationalen Mathematikerkongreß im August 1998 sprach der Lyriker und Publizist Hans Magnus Enzensberger über die kulturellen Leistungen der Mathematik. Der Vortrag mit dem Titel „Drawbridge up. Mathematics – A Cultural Anathema" oder in deutscher Fassung „Zugbrücke außer Betrieb. Die Mathematik im Jenseits der Kultur" ist 1999 zweisprachig bei A K Peters, Natick, Massachussetts erschienen. Der Autor analysiert scharfsinnig, ironisch und bissig die Ignoranz der Mathematik selbst bei gebildeten Leuten. „Daß ihr Ausschluß aus der Sphäre der Kultur einer Art von intellektueller Kastration gleichkommt, scheint niemand zu stören." (S. 8) Die Zugbrücke zur Insel oder dem Refugium der Mathematiker bleibe leider oben. Wie die Fähigkeit zum Lesen eines Romans und zum Hören von Musik sei jedoch auch das mathematische Denken im Gehirn genetisch angelegt. Es müsse deshalb nach den Ursachen gesucht werden, warum die Mathematik in unserer Zivilisation ein exterritoriales Gebiet geblieben sei, in dem sich nur wenige Eingeweihte verschanzt haben. (S. 12) Das macht der Verfasser in überzeugender Weise.

Sicher, so Enzensberger, habe die Isolation der Mathematiker, der Hochmut mancher ihrer Vertreter, der komplizierte Denkoperationen als trivial bezeichne, sowie die Spezifik ihrer Formelsprache mit dazu beigetragen, die Zugbrücke hochzuziehen. Es wäre jedoch „einfach nicht plausibel, den Schwarzen Peter einer Minderheit von Experten zuzuschieben, solange eine überwältigende Mehrheit aus freien Stücken darauf verzichtet, sich ein kulturelles Kapital von immenser Bedeutung und von größtem Reiz anzueignen." (S. 20) Mathematik bewege sich zwischen Nutzen und Eleganz. Manche Fachvertreter verteidigten die reinen Denkleistungen, ohne an die praktische Verwertung zu denken. Sie wollten nicht wegen des praktischen Nutzens um Anerkennung buhlen. „Unter rein betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten hätten es nicht nur Ovid und Bach schwer gehabt, sondern

auch Pythagoras und Cantor. Ihre Arbeit würde kaum jene fünfzehn Prozent sofortiger Rendite abgeworfen haben, die heute unter dem Banner des shareholder value als Richtmaß gelten." (S. 22) Enzensberger setzt dagegen, dass mathematische Forschungen zu den preiswertesten Kulturleistungen gehören, die großen gesellschaftlichen Nutzen bringen, denn viele technische und wissenschaftliche Leistungen, Beispiele werden genannt, wären ohne sie undenkbar. Er vergleicht die Mathematiker mit Künstlern, da ihnen ästhetische Prinzipien nicht fremd sind. Seine Frage ist wieder, warum sich viele Menschen den ästhetischen Genuß etwa der Fourier-Analyse entgehen lassen.

Der philosophische Streit um die Grundlagen der Mathematik zwischen Platonikern, Formalisten und Konstruktivisten „scheint mit einem matten Unentschieden zu versanden." (S. 28) Er sei kein Problem für die an Resultaten interessierten Mathematiker. Die verblüffende Brauchbarkeit mathematischer Ergebnisse, die oft unverständliche Effektivität der Mathematik bleibe jedoch weiterhin ein Rätsel. Sein Angebot ist, die Einheit von Kopf und Universum zu beachten, denn ein schwaches anthropisches Prinzip könne dafür sorgen, daß im Gehirn und in der physischen Realität, dieselben Spielregeln gelten. Dieser Ansatz ist zu bedenken. Er könnte jedoch zu erkenntnistheoretischen Problemen führen, denn die Erklärung der Wirklichkeit durch unser Bewußtsein wäre dann durch die objektiven Strukturen bestimmt. Wir würden eigentlich nur das explizieren, was schon im Denken als physische Realität enthalten ist. Ein Ausweg könnte darin bestehen, materielle Grundlagen des Denkens selbst genauer zu erfassen, was die Neurophysiologie macht. Die Konsequenzen daraus für das Verständnis mathematischer Grundlegung wären dann noch zu ziehen.

Dieses Problem wird von Enzensberger entsprechend seinem Anliegen nicht weiter betrachtet, denn ihn beschäftigt vor allem das kulturelle Paradox, dass große Teile der Bevölkerung über den Stand der griechischen Mathematik nie hinausgekommen sind, obwohl wir in einem goldenen Zeitalter der Mathematik mit herausragenden Leistungen leben, die jedoch keine Begeisterungsstürme des Publikums hervorriefen. Dabei macht er den eigentlichen Sündenbock aus: unsere intellektuelle Sozialisation, die Schule. (S. 34) Kinder würden mit öden Routinen gepeinigt. Unabhängig von den Leistungen weniger hervorragender Lehrer fördere der „Unterricht letzten Endes den mathematischen Analphabetismus." (S. 36) Das entspräche in

keiner Weise den Standards des Arbeitsmarkts und der Technik, die längst darüber hinaus sind, nur Lesen, Rechnen und Schreiben zu fordern. Es gelte deshalb die kindliche Faszination am mathematischen Denken zu nutzen. Das Bildungssystem wäre zu verändern. Voraussetzungen dafür, die Zugbrücke wieder in Betrieb zu nehmen, sieht Enzensberger in der neuen Generation von Mathematikern, die kaum noch dem Klischee des weltabgewandten Eigenbrötlers entsprechen, in dem geschrumpften Abstand zwischen reiner und angewandter Mathematik, auch darin, dass sich Mathematiker ihrer Fehlbarkeit bewußt sind. Außerdem fänden sich immer mehr Dolmetscher, die die Fachsprache in die natürliche Sprache übersetzen, wodurch semantische Annäherungen entstehen.

Man kann der lobenden Einschätzung des Präsidenten der Internationalen Mathematischen Union, David Mumford, die er im Vorwort äußert, nur zustimmen, wenn er das tiefe Verständnis und die Sensibilität für das mathematische Analpabetentum und seine Überwindung in diesem Essay hervorhebt und die Hoffnung äußert, daß die Schulgestalter hundert Blumen in der Klasse blühen lassen, um die mathematische Ignoranz zu überwinden. Enzensberger ist es gelungen, mit wenigen Worten die Situation klar zu umreißen, Gründe zu diskutieren, warum die Zugbrücke zwischen Mathematik und anderen Kulturleistungen außer Betrieb ist und Lösungen zu zeigen. Es ist für jeden, der sich für die Entwicklung der Kultur interessiert, ein geistiger Genuß diesen Vortrag zu lesen.

Herbert Hörz

Rezension

Hans-Jürgen Treder: Philosophie und physikalische Erkenntnis

Unter dem Titel „Über die Unvollendbarkeit der menschlichen Erkenntnis" sind vier Vorträge des Astrophysikers Hans-Jürgen Treder zu philosophischen Problemen der Physik, die er von 1996 bis 1999, vor allem vor dem Leibniz-Arbeitskreis Berlin e.V., hielt, in der Edition Weltfenster dieses Arbeitskreises, hrg. von Doris Kiekeben, im August 1999 veröffentlicht worden. Sie umfassen den Festvortrag zum 350. Geburtstag von G. W. Leibniz „Das anthrope Prinzip oder die ‚Beste' der Welten" (S. 4–14), die Auffassungen des Parmenides zur Begründung von Ontologie und Kosmologie mit dem Titel „Denn eins sind Denken und Sein ..." (S. 15–22), „Einmaligkeit der Welt – Zum Machschen Prinzip" (S. 23–38) und „Die Unvollendbarkeit der menschlichen Erkenntnis" (S. 39–58). Die Diskussion zu den letzten drei Vorträgen ist mit dokumentiert, außerdem ergänzt ein Sachverzeichnis die Publikation. Die Herausgeberin schildert in einem „Editorial" (S. 2–3) Erfahrungen mit ihren Lehrern in der Physik und mit dem Verhältnis von Philosophie und Physik in der DDR. Mit Max Planck stellt sie die zentrale Frage: „Woher komme ich, wohin gehe ich?", um auf den Kernpunkt der Überlegungen von Treder zu verweisen, der, ausgehend von den griechischen Philosophen und mit dem Gödelschen Theorem, die Unabgeschlossenheit jeder Theorie als grundlegende erkenntnistheoretische Einsicht begründet.

Treder, Mitglied der Leibniz-Sozietät, ist allen, die ihn seit Jahren und Jahrzehnten kennen, als ein hervorragender mathematischer Physiker, Einsteinverehrer und philosophischer Denker bekannt. Er war und ist nicht damit zufrieden, wesentliche Fragen nach dem Warum des Geschehens in Wiefragen umzuwandeln und sie durch die mathematische Darstellung von Regularitäten und Gesetzmäßigkeiten zu beantworten. Diesen Weg der Erkenntnis geht er zwar mit theoretischer Raffinesse und methodologischem Geschick, stellt jedoch dann die erreichten Ergebnisse wieder auf den theo-

retisch-philosophischen Prüfstand. Er empfindet und gestaltet Philosophie der Physik als geistige Provokation und stellt die Frage nach den Ideen, die mehr als andere zum Weiterfragen provozieren. So ist für ihn die Haltung von Leibniz, unsere Welt sei die beste aller möglichen Welten, anregender für das Weiterdenken als das anthrope Prinzip. (S. 14)

Als Motto des Vortrags über Parmenides nimmt Treder die Ansicht von Schrödinger, dass die Wissenschaft eine Erfindung der Griechen sei (S. 15). Mit der Offenbarung der Göttin der Wahrheit, Aletheia, nach der alles Denkbare denknotwendig und dieses das Seiende sei (S. 17), macht er auf den Unterschied zwischen der göttlich gedachten Selbstkonsistenz des Kosmos und den endlichen Schritten der menschlichen Erkenntnis auf dem unendlichen Weg zur göttlichen Wahrheit aufmerksam. Beim Machschen Prinzip beschäftigt ihn das Problem unter einem anderen Aspekt: Brauchen wir für unsere physikalische Erkenntnis den Kosmos denn überhaupt, wo wir doch die Aufgaben auch in einem ideal abgeschlossenen System lösen können? (S. 24) Er diskutiert Antworten und Einwände und stellt fest, dass der Kosmos als Ganzes erst die Möglichkeit gibt, die Gesetze der Physik zu formulieren.(S. 28). Auf Anfragen betont Treder, das Machsche Prinzip sei im Zusammenhang mit den Vorstellungen von Parmenides ein Ideal, das angestrebt werde. Die Konsequenz seiner Argumentation wird im letzten Vortrag gezogen, es ist die Unvollendbarkeit der menschlichen Erkenntnis. „Der Erkenntnisprozeß führt zu immer neuen Stufen der Erkenntnis und ist niemals abschließbar." (S. 51)

Viele Probleme werden angesprochen, so das Verhältnis von natürlicher und mathematischer Sprache, die Rolle philosophischer Traditionen für modernes Denken, das Verhältnis von Prinzipien- und Modellphysik, die Beziehung zwischen Mensch und Natur, Denken und Sein, Erkenntnisprozess und -resultat, die Offenbarung als subjektives Erlebnis u. a. Philosophisch interessierte Naturwissenschaftler und erkenntnistheoretisch orientierte Philosophen finden viele Hinweise, über die es sich lohnt, weiter nachzudenken. Treder ist am Dialog interessiert. Er möchte zwar Unterstützung durch andere Argumente, jedoch auch Gegenpositionen, um seine philosophischen Ideen zu testen und seine Argumente zu prüfen. Dazu möchte ich einige Überlegungen anstellen.

Immer wieder spielen die Begriffe „Welt" und „Kosmos als Ganzes" eine Rolle. Was können wir jedoch darüber wissen? Treder unterscheidet zwi-

schen denkbaren Welten. Dazu zieht er Lösungen der fundamentalen Gleichungen der Physik heran. (S. 35) Müßten wir jedoch nicht generell zwischen verschiedenen Kosmosbegriffen differenzieren? Wir beschäftigen uns kosmogonisch und kosmologisch mit einem Ausschnitt des wirklichen Geschehens, nennen wir das einmal den ersten Kosmos (K1), denn selbst die von Treder erwähnten idealen Systeme sind Teil des Kosmos. Unsere begründete Annahme von der Universalität und Ewigkeit der Naturgesetze lässt Extrapolationen zu. In diesem Gebiet bewegt sich Treder. Das wäre dann K2. Über den Kosmos als Ganzes (K3) wissen wir nur, dass er existiert. Können wir ihm weitere Merkmale zusprechen? Denkbar wäre die Unerschöpflichkeit. Wir machen philosophische Aussagen über die Einheit von Materie und Bewegung, von Sein und Bewußtsein und diskutieren über vernunftbegabte Wesen in anderen kosmischen Bereichen. Es gibt dazu weitere Denkmöglichkeiten, wie die Existenz von Antiwelten.

Der Zufall ist für Treder vor allem mit der zufälligen göttlichen Auswahl der wirklichen aus den möglichen Welten, wie sie von Philosophen gesehen wurde, verbunden. Nun könnte der Zufall nicht nur als Innovationsträger für materielle und geistige Entwicklung, wie Treder ihn im zufälligen Auffallen bestimmter Materiearten sieht (S. 33), sondern auch als konstitutiver Bestandteil jedes Systems eine größere Rolle spielen, als bisher angenommen. Dafür spräche auch die nicht begründete Symmetriebrechung, die dann als Voraussetzung und nicht als zu erklärende Erscheinung zu nehmen wäre. Ist dann nicht der Begriff des Naturgesetzes zu präzisieren? Ich habe den Eindruck, dass Treder Naturgesetze auf einen Aspekt reduziert, den ich in meiner Konzeption der statistischen Gesetze als dynamisch bezeichne. Das dynamische Gesetz ist die notwendige Verwirklichung einer Möglichkeit unter bestimmten Bedingungen. Beachten wir jedoch mit dem statistischen Gesetz die Beziehungen zwischen System und Elementen, dann ergeben sich aus dem dynamischen Systemgesetz Möglichkeitsfelder für das Verhalten der Elemente, die sich mit bestimmter Wahrscheinlichkeit verwirklichen. Die Frage an Treder wäre damit, welches Verständnis von Naturgesetzen er in seine Überlegungen einbezieht.

Interessant sind die Betrachtungen Treders zur Kosmogonie und Kosmologie. (S. 32) Wir können unsere Vorstellungen aus dem idealen Laboratorium auf den Kosmos extrapolieren, was mit Risiken verbunden ist (S. 33) oder vom Kosmos als Ganzes ausgehen. Das würde bei der vorgeschla-

genen Differenzierung bedeuten, wir schließen entweder von K1 auf K2 und K3 oder von K2 und K3 auf K1. Treder sieht eine historische Antwort auf die Frage nach den aktuellen Strukturen als unbefriedigend an. In dieser Auseinandersetzung zwischen einem Strukturalismus, der die aktuellen Strukturen untersucht, und einem Evolutionismus, der die aktuellen Strukturen aus der Geschichte verstehen will, die Treder als zwei Möglichkeiten der Beschreibung sieht, wobei er die Gefahren der historischen Betrachtung, die zum Mythos werden kann, hervorhebt, ist zu beachten, dass Strukturen geronnene Entwicklung sind. Beide Erkenntnisarten schließen sich nicht aus. Sie ergänzen sich. Gerade wegen der von Treder betonten Unabgeschlossenheit der Erkenntnis sind beide Wege zu gehen, denn Strukturen verweisen auf Evolution und Evolution ist strukturierend.

Grundexperimente sind, so Treder, im selben erkenntnistheoretischen Rang wie theoretische Deduktionen. (S. 52) Dabei wird viel vorausgesetzt. Was sind Grundexperimente? Wie sind die Deduktionen belegt? Wenn Treder von einem Experiment spricht, das einer theoretischen Aussage widerspricht, dann ist zu bedenken, dass es sich um die Deutung des Experiments handelt. Michelsons Experiment widersprach der Äthertheorie. Es bedurfte jedoch vieler theoretischer Debatten und weiterer Experimente, um diesen Widerspruch zu sehen und auch zu akzeptieren.

Der grundlegende Gedanke von Treder über die Unvollendbarkeit menschlicher Erkenntnis hat in der Geschichte der Philosophie, wie er zeigt, viele Vertreter. Sie kann jedoch selbst wieder verschieden interpretiert werden. Schon die Frage nach dem Erkenntnisoptimismus oder -pessimismus macht verschiedene Standpunkte deutlich. Wer nach abgeschlossener Erkenntnis strebt, würde sich zu den Göttern erheben wollen und bei Erreichen eigentliches Menschsein in Frage stellen, nämlich den Erkenntnisdrang. Es ist also erkenntnisoptimistisch, wenn neue Erkenntnis neue Fragen mit sich bringt. Wir wollen auch wissen, was wir noch nicht wissen. Für mich läge der Pessimismus darin, mit abgeschlossener Erkenntnis in einer Welt ohne Widersprüche leben zu sollen. Es ist jedoch auch die Auffassung problematisch, wir würden uns in einem asymptotischen Prozess mit der relativen an die absolute Wahrheit annähern. Nimmt man die Argumentation Treders auch in diesem Punkt ernst, dann ergeben sich aus neuen Erkenntnissen viele neue Fragen, die man vorher gar nicht stellen konnte. Mit unserem Wissen wächst also auch die Einsicht in unser Nichtwissen. Das ist für den,

der philosophisch die Unerschöpflichkeit der Materie anerkennt, konsequent, denn sowohl die Entwicklung des realen Geschehens als auch der Ausbau unserer Denkzeuge führt zu neuen Erkenntnisobjekten. Selbst wenn wir mit Aletheia alles Gedachte als Sein nehmen, dann ist es für uns, wenn wir das unerschöpfliche Sein in erreichbare und fassbare Erkenntnisobjekte für uns umwandeln, klar, dass noch viele potentielle Objekte auf ihre Untersuchung warten. So ist nicht die Suche nach abgeschlossener Erkenntnis das Fazit der Vorträge, sondern der Ruf, weiter über die Grundfragen nach der Existenzweise und Entwicklung der Welt, nach der Stellung des Menschen in der Welt und nach dem konkret-historischen Sinn des Lebens, zu dem auch der Erkenntnisdrang gehört, nachzudenken.

Treder nimmt Philosophie erkenntnistheoretisch nicht nur als Welterklärung, sondern vor allem in ihrer heuristischen Funktion als Ideengenerator. Philosophie formuliert Sinnfragen als Warumfragen in Welträtseln. Wissenschaft trägt zur partiellen Lösung dieser Rätsel bei, indem sie Teile des Rätsels in Wiefragen verwandelt und diese beantwortet. Damit ist das Rätsel jedoch nicht vollständig gelöst. So denken wir weiter über Materie und Bewegung, Sein und Bewußtsein, Gen und Verhalten, Naturgestaltung und Verantwortung, das Wesen der Kreativität und andere Rätsel nach und freuen uns über jeden Schritt, den wir auf dem Weg der Erkenntnis zu neuen Lücken unseres Wissens gehen.

Herbert Hörz

Rezension

Wilfried Schröder: Emil Wiechert (Physiker – Geophysiker – Wissenschaftsorganisator)

Mitteilungen des Arbeitskreises „Geschichte der Geophysik" der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 19. Jahrgang, Heft 1–2. Bremen, 2000

Emil Wiechert, der am 26.12.1861 in Tilsit geboren wurde und am 19.03.1928 in Göttingen starb, nimmt in der Geschichte der Geophysik einen bedeutenden Platz ein. Er war der erste Professor für Geophysik und leitete als erster ein Institut für Geophysik – beides ab 1898 an der Universität Göttingen. Grundlegend waren seine Beiträge zur Seismologie, speziell zur Seismometrie und zur Physik des Erdinnern: die Entwicklung eines mechanischen Seismographen mit automatischer Registrierung und die Ausarbeitung des Verfahrens zur Ableitung der Verteilung der seismischen Geschwindigkeiten im Erdinnern aus den beobachteten Laufzeiten der Erdbebenwellen vom Herd zur Station. Seismograph und Inversionsverfahren tragen seinen Namen und werden bis heute verwendet.

In der Gegenwart kaum noch bekannt sind die Leistungen von Emil Wiechert auf dem Gebiet der Physik, speziell zur Theorie der Elektrodynamik und zu den Kathodenstrahlen. Mit ihnen hatte sich bereits der junge Wissenschaftler einen guten Ruf erworben. Die Berufung zum Professor für Geophysik und zum Leiter des Geophysikalischen Instituts bedeutete keineswegs, daß Wiechert seine physikalischen Interessen aufgab. Er betrieb noch viele Jahre lang physikalische Forschungen, hielt Vorlesungen zu physikalischen Themen, schrieb Artikel in Handbüchern der Physik, beteiligte sich an physikalischen Diskussionen, hielt Kontakt zu bekannten Physikern, förderte angehende Physiker in ihrer akademischen Laufbahn und unterstützte die Wahl herausragender Physiker zu Mitgliedern der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften. Emil Wiechert wurde 1903 zum Mitglied der Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen gewählt. Vor allem wegen seiner Leistungen zur Seismologie wurde er 1912 zum Korrespondierenden Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften in Berlin – mit der die Leibniz-Sozietät historisch verbunden ist – und 1913 zum Korrespondierenden Mitglied der Russischen Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg gewählt.

Der auch in der Leibniz-Sozietät gut bekannte Bremer Wissenschaftshistoriker Wilfried Schröder hat sich über zwei Jahrzehnte intensiv mit dem Leben und Wirken von Emil Wiechert beschäftigt: in den achtziger Jahren bevorzugt mit seinen Arbeiten zur Geophysik, in den neunziger Jahren im Ergebnis der Diskussionen mit Hans-Jürgen Treder, Mitglied der Leibniz-Sozietät, mit seinen Beiträgen zur Physik.

Das kürzlich erschienene Buch Schröders hat einen Umfang von 214 Seiten. Es ist auf 161 Seiten eine Sammlung von 12 Artikeln über das Wirken Wiecherts, die zum größten Teil bereits an anderer Stelle veröffentlicht wurden; der Anhang enthält auf weiteren 44 Seiten Kopien von Dokumenten und Bildern. Das Buch ist schon deshalb wichtig, weil es bisher keine zusammenfassende Darstellung zum Leben und Wirken von Emil Wiechert gibt. Es wird überaus interessant durch die Behandlung von zwei Problemkreisen: a) der Bedeutung des „gelernten Physikers" Wiechert für die Etablierung der Wissenschaftsdisziplin Geophysik und b) der Beziehungen von Wiechert zu solchen bedeutenden Physikern seiner Zeit wie H. A. Lorentz, A. Sommerfeld und A. Einstein. Wilfried Schröders Buch erscheint etwa ein Jahrhundert nach der Etablierung der Geophysik als eigenständige Wissenschaftsdisziplin. Es liefert interessante Aussagen über Wiecherts Rolle in diesem Prozeß sowie anregende Gedanken zum Prozeß selbst. Es ist verführerisch, in dieser Rezension aber nicht der rechte Platz, diese Ausführungen Schröders zu ergänzen. (Rezensent hat es schon an anderer Stelle getan.)

Zu würdigen ist Schröders Buch aber auch als Beitrag zur Geschichte der Physik in einer wichtigen Etappe ihrer Entwicklung. Schröder liefert aus seiner Beschäftigung mit dem Wirken Wiecherts dazu bemerkenswerte Details. Das Buch bietet einen Einblick in das Wirken einer bedeutenden Persönlichkeit in einem Zeitraum (etwa von 1895 bis 1930) an einem Ort (in Göttingen), wo die physikalischen Wissenschaften einen stürmischen Aufschwung nahmen. Emil Wiechert war an diesem Aufschwung anfangs beteiligt. Seine überragende Bedeutung erlangte er jedoch durch seine Arbeiten zur Geophysik.

Aus der Lektüre des Buches wird deutlich, daß Wiechert für die Entwicklung der Geophysik „der rechte Mann zur rechten Zeit am rechten Platz" war. Dabei kann nicht übersehen werden, daß er in diesem Prozeß (nur) einer von mehreren war. Zu beachten sind die seinerzeit sehr günsti-

gen Bedingungen für die Entwicklung der Geophysik in Göttingen: die geophysikalische Tradition, die Förderung durch Felix Klein, Einrichtung und Betrieb des Geophysikalischen Observatoriums auf Upolu, einer der Samoa-Inseln.

Wiechert hat, wie schon oben genannt, als „gelernter Physiker" fundamentale Beiträge zur Seismometrie und zur Physik des Erdinnern (mittels seismischer Untersuchungen) geleistet. Andere damals wichtige Gebiete der Seismologie wie die Erdbebengeographie und die Erdbebengeologie hat er nicht bearbeitet. Wiechert betätigte sich auf dem Gebiet der Seismologie, als die Zeit herangereift war, daß die Erdbebenforschung den Rahmen von Geographie und Geologie sprengte und physikalische Methoden unerläßlich wurden. Wiechert war durch sein Studium der Physik in Königsberg in der von Franz Neumann begründeten Schule (von 1881 bis 1889) darauf vorbereitet und konnte dazu entscheidende Beiträge leisten. In seiner Zeit wurde es darüber hinaus möglich, die verschiedenen Richtungen der Geophysik, die bis dahin relativ getrennt voneinander bearbeitet worden waren, zu einer einheitlichen Wissenschaftsdisziplin zu vereinigen. Die neue physikalisch orientierte Richtung der Seismologie, die nirgends anzubinden war, wurde in diesem Prozeß zum Kern der neuen Geophysik. Gefördert hat Wiechert dann auch die Entstehung der angewandten Seismik, zu deren Begründern besonders sein Schüler Ludger Mintrop gehört.

Das Buch enthält folgende Beiträge:

Zwei Artikel von Schröder über Wiechert und die Begründung der Geophysik (erstmals veröff. 1983 (?) bzw.1982); ein Artikel von Schröder über den Beginn der seismologischen Kooperation zwischen Uppsala und Göttingen (zuerst veröff. 1988); Dokumentation zur Wahl Wiecherts in die Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen: Vorschlag und Dankschreiben; Dokumentation zur Wahl Wiecherts in die Berliner Akademie der Wissenschaften: Vorschlag, handschriftlicher Lebenslauf und Dankschreiben;

Zwei Artikel von Schröder über die Beziehungen von Wiechert zu Lorentz bzw. Sommerfeld (zuerst veröff. 1984 bzw. 1985); ein Artikel von Schröder und Treder zum wissenschaftlichen Wirken von Wiechert (erstmals veröff., entstanden nach 1995); zwei Artikel von Schröder über die Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen und die Physik und über deren Beziehungen zu Einstein (zuerst veröff. 1985 bzw. 1988); eine vor-

her unveröffentlichte Arbeit von Wiechert über Äther und Relativitäts-theorie, kommentiert von Schröder (erstmals veröff. 1990); ein Artikel von Wiederkehr über die Entdeckung des Elektrons (enthält Hinweise auf den Beitrag Wiecherts) (zuerst veröff. 1999).
Ein Artikel von Schröder und Treder über Einsteins letzte Vorlesung (ohne Bezug zu Wiechert) (zuerst veröff. 1994).
Kritisch wäre zu vermerken, daß die Auswahl der Beiträge und die gewählte Reihenfolge nicht ganz klar sind und das Buch einige Artikel enthält, die man darin nicht erwartet.

Das Buch Schröders wird sicher helfen, daß das Bild der Leistungen Emil Wiecherts abgerundet wird und Emil Wiechert den ihm zukommenden Platz in der Wissenschaftsgeschichte erhält.

Heinz Kautzleben

Rezension

Thomas Stange: Die Genese des Instituts für Hochenergiephysik der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (1940–1970)

Hamburg, DESY-Thesis 1998-019, ISSN 1435–8085

„Von allen Wissenschaften ist die Geschichte die unwissenschaftlichste, da sie am Wenigsten eine sichere zugestandene Methode der Auswahl besitzt und besitzen kann, das heißt, die kritische Forschung hat eine sehr bestimmte Methode, aber die Darstellung nicht."

Jacob Burckhardt, 1818-1897, Historische Fragmente, §84, II

Die von Burckhardt für die Geschichte gegebene Einschätzung gilt sicher auch für die Rezension einer historischen Darstellung. Wenn der Rezensent zu dem Zitat von Burckhardt noch gleich zu Beginn an den Titel der persönlichen Erinnerungen des ersten gesamtdeutschen Ministers Lemmer („Manches war doch anders") denkt, dann muß er selbstkritisch hinzufügen, daß „Manches" nicht das Meiste und auch nicht unbedingt das Wichtigste sein muß; denn die von Herrn Stange vorgelegte Dissertation ist das solide Resultat einer mehrjährigen umfassenden Studie von Dokumenten, Aussagen von Zeitzeugen über die Entstehung und Entwicklung des Instituts für Hochenergiephysik der DDR-Akademie in Zeuthen. Der Versuch, die Geschichte dieses für DDR-Verhältnisse kleinen Instituts in die Historie mehrerer Ebenen zu heben (Entwicklung der Akademie, der DDR, bis hin zur Auseinandersetzung im Kalten Krieg), war sicher ein Wagnis, das ergebnisoffen begonnen werden und unterschiedliche Betrachtungsweisen zulassen mußte.

Man kann dem Verfasser zugestehen, daß ihm das im wesentlichen in einer überzeugenden Weise gelungen ist. Sowohl für Betroffene, die das Geschehen selbst erlebt oder verfolgt haben, als auch für Außenstehende, die an der Thematik interessiert sind, bedeutet die Lektüre einen Gewinn. Das liegt einmal an einer Fülle von Fakten, die den meisten Lesern bisher unbekannt oder bestenfalls in groben Zügen bekannt sein dürften, vielleicht auch erst durch Hinweise auf Zusammenhänge beachtenswert werden, an der systematischen Erschließung zahlreicher Dokumente, die den Hinter-

grund der einzelnen Entwicklungsetappen des Instituts verdeutlichen, andererseits daran, daß der Autor weitgehend der Versuchung widerstanden hat, die Historie des Instituts einseitig unter dem im gegenwärtigen Trend liegenden Aspekt des Lebens, auch des wissenschaftlichen Lebens, im „Unrechtsstaat DDR" zu sehen.

Die Arbeit wurde – entsprechend der zeitlichen Folge – in die Abschnitte
- Die Anfänge (bis 1945)
- Der Wiederaufbau (bis etwa 1950/52)
- Die Freigabe der Kernforschung (1952 bis 1956)
- Die Ära Richter (1956 bis 1962)
- Von der Forschungsstelle zum Institut (1962 bis 1972 und danach)

gegliedert. Die ersten beiden Abschnitte enthalten auch für den Leser, der das Institut aus persönlichem Erleben selbst kennt, höchst interessante Tatsachen und Begleitumstände. Es wird dargelegt, wie in den Nachkriegsjahren auf vielen Gebieten – und in beiden Teilen Deutschlands gleichermaßen – Anstrengungen von wissenschaftlichen Persönlichkeiten unternommen wurden, die durch den Krieg und seine Folgen heruntergewirtschaftete Forschungslandschaft neu zu gestalten. Die hierbei bestehenden Schwierigkeiten (vom Nachkriegsverbot der Kernforschung bis zu materiellen Problemen) werden deutlich sichtbar. Ausführlich dargelegt werden auch die wachsenden Einflüsse des Kalten Krieges auf wissenschaftspolitische Entscheidungen der ersten Nachkriegsjahre, da Stange sowohl das wissenschaftliche Umfeld der Institutsgründung innerhalb der Akademie als auch die zunächst widersprüchliche Rolle der Akademie in der DDR auf der Grundlage zahlreicher Dokumente beschreibt.

Stange holt sehr weit aus und beginnt bei den ersten Anfängen kurz nach Beginn des Zweiten Weltkriegs. Zu den erwähnten Begleitumständen gehören zweifellos die wissenschaftlichen Ambitionen des Reichspostministers Ohnesorge, unter dessen Regie die Gründung des Instituts Miersdorf und die Entwicklung des Zyklotrons in Miersdorf erfolgte. Es wird deutlich, daß die Institutsgründung ein Ergebnis der Überlegungen ist, die sich aus dem qualitativen Sprung der Kernphysik durch die Entdeckung von Hahn zwangsläufig ergaben. Es wird auch gezeigt, wie sich Konkurrenzsituationen fördernd oder hemmend auswirkten, und es wird dargelegt, mit welchen Zielen und Motivationen (soweit erkennbar) die handelnden Personen agierten.

Diese Linie bewahrt Stange grundsätzlich auch in den folgenden Abschnitten, die für den Rezensenten wegen der persönlichen Betroffenheit und wegen der – allerdings lückenhaften – Erinnerung an Details am interessantesten und auch am eindrucksvollsten waren. Stange untersucht den Einfluß der Gründung des Vereinigten Instituts für Kernforschung der sozialistischen Länder in Dubna (und der vorangegangenen Gründung des CERN in Genf) auf die Entwicklung von Kern- und Hochenergiephysik in der DDR und versucht darzulegen, inwieweit wissenschaftspolitische Entscheidungen mit personellen Überlegungen auf den unterschiedlichsten Ebenen einhergingen. Ob bisher nicht zugängliche Dokumente (im speziellen Abschnitt über die Rolle des MfS informiert Stange über möglicherweise vernichtete Akten) darüber mehr Aufschluß geben würden, muß offen bleiben.

Jedenfalls wird die wissenschaftliche Entwicklung des Instituts, die Ausschöpfung der vorhandenen finanziellen und materiellen sowie auch der personellen Möglichkeiten für die den internationalen Gegebenheiten entsprechende weitere Profilierung korrekt wiedergegeben. Insofern wäre es wünschenswert gewesen, Vergleiche mit der Entwicklung anderer Institute des gleichen Gebiets, z. B. in der alten Bundesrepublik, vorzunehmen bzw. nicht auf Unterschiede in der Anzahl der Mitarbeiter zu beschränken (was ohnehin wegen der Notwendigkeit überdimensionierter technischer Werkstätten in DDR-Instituten nicht sehr aussagefähig ist).

Besonders im Abschnitt über „die Ära Richter" (etwa 1956–1961) fällt auf, daß der Autor mehr als in den anderen Abschnitten nicht nur über die Rolle der SED in Bezug auf die Wissenschaft der DDR schlechthin, sondern detailliert über Aktivitäten der SED-Organisation und ihrer Leitung im Institut informiert. Die in diesem Zusammenhang von Stange vorgelegten Dokumente und Zahlen sind aufschlußreich und zugleich widersprüchlich. Betrachtet man die Entwicklung des Instituts isoliert, so kann es kaum als typisches Beispiel eines DDR-Instituts gelten. Außergewöhnlich ist schon, daß in diesem Institut der Prozentsatz von SED-Mitgliedern unter den Wissenschaftlern der wahrscheinlich höchste unter allen naturwissenschaftlichen Instituten war und in dieser Hinsicht selbst einige gesellschaftswissenschaftliche Institute der Akademie übertraf. Dennoch wurde am Institut offenbar mehr Wissenschaft als Ideologie betrieben, und alle konkreten Experimente konnten nach der Wende, nunmehr institutionell als Teil des

Deutschen Elektronensynchrotrons Hamburg, weitergeführt werden, und die meisten wissenschaftlichen Mitarbeiter konnten ihre Arbeit ohne Unterbrechung fortsetzen. Auch das ist außergewöhnlich. Stellte das Institut fast als Ganzes eine der heute so gern beschworenen Nischen dar? Und wie verträgt sich ausgerechnet das mit der Existenz einer starken Parteiorganisation?

Die Dissertation kann darauf keine eindeutige Antwort geben, und einige der dahingehenden Erklärungsversuche Stanges sind die einzigen, gegen die der Rezensent Einwände erhebt, weil die Realität immer vielseitiger ist als Dokumente und Erinnerungen von Zeitzeugen nach mehr als 35 Jahren sein können. Dabei sei eingeräumt, daß natürlich auch Fakten und Umstände von Stange recherchiert wurden, an die mancher Betroffene oder seinerzeit Mitwirkende, darunter der Rezensent, sich nur mit Bitterkeit erinnern werden. Andererseits läßt sich Stange durch seine Fixierung auf den SED-Einfluß dazu verführen, in der Anwesenheitsliste einer Parteigruppensitzung der Kernenergiekommission (Anm. 282 S. 147) die Gäste Ackermann und Rau mit (nicht zutreffenden) Vornamen Anton und Heinrich zu versehen, so daß der Eindruck entstehen muß, daß an der Sitzung zwei hochrangige Parteifunktionäre (Politbüromitglieder) teilnahmen (Heinrich Rau war bereits verstorben, Anton Ackermann nicht mehr im ZK).

Der Abschnitt „Von der Forschungsstelle zum Institut" ist besonders erwähnenswert wegen der sehr konzentrierten und dennoch aussagefähigen Darlegung der Akademiereform von 1968 und der ihr vorausgegangenen Entwicklung. Die wissenschaftspolitischen Auseinandersetzungen dieser Zeit werden in ihrer Widersprüchlichkeit und im Licht (oder der Dämmerung) der ideologischen Argumentationen analysiert. Hochinteressant sind hierbei die rätselhaften Umstände um das zeitliche Zusammenfallen von politischen Maßregelungen einiger in Dubna tätiger Wissenschaftler des Zeuthener Instituts und einem prinzipiell die Hochenergiephysik unterstützenden Referat Hagers auf einer ZK-Tagung.

Da Herr Stange beabsichtigt, seine Ergebnisse als Buch herauszugeben,[1] wäre es empfehlenswert, die Untersuchung über das Jahr 1970 hinaus weiterzuführen. Diese nur im Epilog zusammengefaßte Entwicklung wäre insofern interessant, als es dem IfH gelungen ist, trotz der ungünstigen

1 inzwischen als Buch erschienen

äußeren Bedingungen (Abgrenzung zur BRD, Reiseproblematik) nicht nur umfassende internationale Verbindungen aufrechtzuerhalten, sondern den Umfang der arbeitsteiligen wissenschaftlichen Kooperation nicht nur mit dem CERN, sondern auch mit der BRD (DESY) noch zu steigern.

Darüber hinaus wäre eine vergleichende Studie mit einem anderen Institut wünschenswert. Etwa im gleichen Zeitraum, als in Zeuthen der parteilose Direktor Prof. Richter durch das SED-Mitglied Dr. Lanius ersetzt wurde (was bei Stange sehr ausführlich dargelegt wird), beauftragte die Akademie einen parteilosen Wissenschaftler in Halle (Prof. Bethge) mit dem Aufbau einer Arbeitsstelle für Elektronenmikroskopie. Wissenschaftlich errang dieses Institut ebenfalls eine hohe internationale Anerkennung und wurde nach der Wende weitergeführt. Einen spürbaren Parteieinfluß gab es dort – wenn überhaupt – mangels SED-Mitgliedern erst in den achtziger Jahren. Dabei war dieses Institut für die DDR-Wirtschaft und damit letztlich für die Existenz der DDR von ungleich höherer Bedeutung als das IfH. Übrigens konnten beide Institutsdirektoren (Bethge und Lanius) sich erfolgreich gegen die Vereinnahmung ihrer Institute durch Zentralinstitute im Rahmen der Akademiereform durchsetzen.

Aber auch ohne solche denkbaren Erweiterungen ist die Arbeit von Stange uneingeschränkt zu empfehlen.

Claus Grote