SITZUNGSBERICHTE
DER LEIBNIZ-SOZIETÄT
Band 42 • Jahrgang 2000

trafo Verlag Berlin

ISSN 0947-5850 ISBN 3-89626-315-3

Inhalt

Werner Ebeling, Karl Lanius

Zur Vorhersagbarkeit komplexer Prozesse 5 >>>

Werner Krause

Elementaranalyse von Gedächtnis- und Denkprozessen 27 >>>

Karl-Heinz Weber

Kritik an der "Linearen Extrapolations-Hypothese" biologischer Strahlenwirkung 61 >>>

Wissenschaftsgeschichte

Armin Uhlmann

Das Plancksche Wirkungsquantum - 100 Jahre danach 71 >>>

Helmut Abel

Nikolai W. Timofeeff-Ressovsky (1900-1981) 95 >>>

Robert Rompe

Timofeeff-Ressovsky und die Berliner Physik (Tonbandaufzeichnung aus dem Jahre 1993) 99 >>>

Helmut Abel

Timofeeff-Ressovsky und die "Lineare Extrapolations-Hypothese" ionisierender Strahlung 105 >>>

Heinz Militzer

Zum 100.Geburtstag von Akademiemitglied Otto Meißer am 19. Juni 1999 111 >>>

Günther Vormum

Zum 100. Geburtstag von Karl Friedrich Weiss 115 >>>

Bericht

Erika Horn

Kolloquium zum 65. Geburtstag des Mathematikers und Informatikers Lothar Budach 123 >>>

Gerd Friedrich

Laudatio auf Otto Rosenkranz anläßlich seines 90. Geburtstages 119 >>>

Rezensionen

Rolf Löther

V.l. Vernadskij: Pro et contra. Antologija literatury o V.l. Vernadskom za sto let (1898-1998) und
George S. Levit: Biochemistry - Biosphere - Noosphere. The Growth of the Theoretical System of Vladimir Ivanov Vernadski >>>

Ernst-Otto Reher

Zur Rheologie von Polymerschmelzen*

1. Einleitung

Die Rheologie ist die Wissenschaft über die inneren Reaktionen eines Materials auf die wirkenden äußeren Kräfte. Sie schließt dabei alle Kontinua ein, die sich zwischen den einfachsten Stoffen: der Newtonschen Flüssigkeit und dem Hookeschen Festkörper bewegen. Ihr Gegenstand ist die Formulierung der rheologischen Konstitutivgleichungen (RKG), um die Eulerschen Differentialgleichungen der Strömung einer idealen Flüssigkeit (reibungsfreie Fluide) auf reale Fluide zu erweitern.

Für inkompressible Fluide ergibt sich der Impulssatz:

$$\rho\left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j}\right) = \rho f_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \qquad (1)$$

Für den Spannungsdeviator τ_{ij} sind nun rheologische Abhängigkeiten zu formulieren (RKG), um zu den Bewegungsgleichungen zu kommen.
I. Newton hat angenommen, daß es eine Proportionalität zwischen den Spannungen und den symmetrischen Deformationsbewegungen gibt. Als Proportionalitätsfaktor definierte er damit die dynamische Viskosität η:

$$\tau_{ij} = \eta\left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i}\right) \qquad (2)$$

Gleichung (2) in Gleichung (1) eingesetzt, ergeben die Navier-Stokes Gleichungen, die die Grundlage der klassischen Strömungsmechanik sind.

Für Substanzen, die nicht der Gleichung (2) folgen, sind selbstverständlich in die Gleichung (1) andere RKG einzusetzen, die dann die Grundlagen der nicht-Newtonschen Strömungsmechanik bilden [1].

---

* Gekürzte Fassung einer wissenschaftlichen Mitteilung in der Klasse Naturwissenschaft der Leibniz-Sozietät am 15. Juni 2000.

Die Formulierungen der RKG für rheologische Medien erfolgt auf theoretischem Wege durch molekularkinetische Ableitungen [2], auf phänomenologischem Wege der Kontinuumsmechanik [3], durch mechanische (oder elektrische) Analogiemodelle [4] und auf experimentellem Wege der Rheometrie [4,5].

Für eine einfache scherende Bewegung rheologischer Medien wird die Viskositätsfunktion (Schubspannungsansatz) als wichtigste Materialfunktion bestimmt:

$$\eta(\dot{\gamma}) = \frac{\tau(\dot{\gamma})}{\dot{\gamma}} \tag{3}$$

Eine Vielzahl derartiger Ansätze für unterschiedliche Materialien sind bekannt und für einfache Strömungsformen gelöst worden z.B. [6 - 10]. Die Erweiterung der Gleichung (3) auf den dreidimensionalen Fall erfolgt über die 2. Invariante des Deformationsgeschwindigkeitstensors und damit zur Formulierung der Bewegungsgleichungen für nichtlinearviskose und plastische Kontinua [1, 6]. Für viskoelastische Fluide existieren weitere Materialfunktionen in der einfachen scherenden Bewegung [3]:

Erste Normalspannungsdifferenz

$$\tau_{xx} - \tau_{yy} = N_1(\dot{\gamma})$$

Zweite Normalspannungsdifferenz

$$\tau_{yy} - \tau_{zz} = N_2(\dot{\gamma})$$

Alle weiteren Untersuchungen beziehen sich nur auf die Viskositätsfunktion (3). Sie wird einmal gebraucht, um mit Gleichung (1), der Kontinuitätsgleichung und der Energiebilanz technische Strömungsberechnungen für Maschinen und Ausrüstungen der Verarbeitungstechnik und Verfahrenstechnik durchführen zu können [11–13]. Aber darüber hinaus enthält die Viskositätsfunktion (3) wichtige Informationen über den molekularen Aufbau der Polymeren [4, 14], die sowohl im Herstellungsprozeß der Polymeren unter Echtzeitbedingungen (On-Line-Rheometrie) als auch in der Laborrheometrie für Strömungsberechnungen, Materialentwicklungen, Qualitätskontrolle etc. bestimmt werden müssen.

2. Gestaltanalyse der Viskositätsfunktion $\eta(\dot{\gamma})$

Die Viskositätsfunktion von Polymerschmelzen ist durch einen Bereich konstanter Viskosität η_0, in dem die Navier-Stokes-Gleichungen gelten, einem Bereich der monotonfallenden Viskosität mit dem Wachsen der Deformationsgeschwindigkeit $(\dot{\gamma})$ bzw. der Schubspannung (τ) (Strukturviskositätsbereich nach Wolfgang Ostwald [15]) gekennzeichnet. Bei Polymerlösungen wird in einigen Fällen weiterhin ein zweiter Bereich einer konstanten Viskosität $\eta_\infty << \eta_0$ festgestellt [4, 14]. Bekannt ist, daß folgender Zusammenhang zwischen Nullviskosität und der mittleren Molmasse M_w existiert [4]:

$$\eta_0 = \begin{cases} K_1 M_w^{\alpha} & bei\ M < M_{Krit} \\ K_2 M_w^{\beta} & bei\ M \geq M_{Krit} \end{cases} \qquad (4)$$

wobei: $\alpha = 1$

$\beta = 3{,}4 - 3{,}5$ (aus der Bueche Theorie folgt $\eta_0 \sim M_w^{3/2}$ [4, 16]).

Somit kann über die Bestimmung der Nullviskosität die mittlere Molmasse kontrolliert werden. Diese ist auch erforderlich, um die *Intrinsic Viscosity* $[\eta]$ oder den Staudinger-Index zu bestimmen, der in der Fasertechnologie zur Qualitätskontrolle immer noch verwendet wird [14]. Ein Zusammenhang kann wie folgt formuliert werden [14]:

$$[\eta] \sim M_w^{a} \qquad (5)$$

wobei [17]:

a = 0	massive Kugeln
a = 0,5	undurchspültes Knäuel
a = 0,5-1	teilweise durchspültes Knäuel
a = 1	volldurchspültes Knäuel
a = 2	starre Stäbchen.

Mit Gleichung (4) folgt somit:

$$[\eta] \sim \eta_0^{\frac{a}{\alpha}} \qquad (6a)$$

$$[\eta] \sim \eta_0^{\frac{a}{\beta}} \qquad (6b)$$

Nun ist die Bestimmung der Nullviskosität für Polymerschmelzen sehr oft nur in einem sehr niedrigen Deformationsgeschwindigkeitsbereich (Schubspannungsbereich) möglich, der mit Kapillar-Rheometern sehr oft nicht erreicht wird. Außerdem sind dazu sehr große Meßzeiten erforderlich, die im On-Line-Betrieb, aber auch unter Laborbedingungen nicht realisierbar sind.

Aus diesem Grunde werden Viskositätsansätze entwickelt und getestet, die eine zuverlässige Extrapolation der Meßwerte des strukturviskosen Bereiches in den Nullviskositätsbereich zulassen [18].
Es wurden zwei Ansätze, die in ihrer Grundstruktur aus der Viskoelastizitätstheorie stammen,jedoch mit empirischen Exponenten versehen sind:

Carreau-Winter-Modell $$\eta = \frac{\eta_0}{(1+\lambda\dot{\gamma})^{m_c}} \qquad (7)$$

Yasuda-Modell $$\eta = \frac{\eta_0}{\left(1+(\lambda\dot{\gamma})^a\right)^{(1-n)/a}} \qquad (8)$$

und ein empirisches Modell

Sabia-Modell $$\ln\left(\eta/\eta_0\right) = \left[\eta/\eta_0 - \alpha\right]\ln\left[1-(\tau_s\dot{\gamma})^{1/2}\right] \qquad (9)$$

untersucht. Es zeigte sich jedoch, daß die Übereinstimmung der berechneten Nullviskosität (η_0) mit der mit Rotationsviskosimetern gemessenen Nullviskosität am besten mit Gleichung (8) ist und für praktische Aufgabenstellungen ausreichend genau ist.

Eine wichtige molekulare Kenngröße der Polymeren ist die Molekulargewichtsverteilungsbreite (M_w/M_n), auch Polydispersität genannt. Sie ist bestimmend für das elastische Verhalten der Polymerschmelzen. Während rheologisch einfache Polymerschmelzen (M_w = var.; M_w/M_n = const.) zu temperatur-zeitinvarianten Masterkurven auf der Basis des Boltzmannschen Superpositionsprinzips gebildet werden können, gelingt das für rheologisch komplizierte Polymerschmelzen (M_w = var; M_w/M_n = var) nicht [14]. Die Ursache liegt darin begründet, daß die Krümmung der Viskositätsfunktion am Übergang vom linearen Viskositätsverhalten (Nullviskositätsbereich) zum nichtlinearen Strukturviskositätsbereich $\eta(\dot{\gamma})$ abhängig von der Molekulargewichtsverteilungsbreite ist. In diesem Übergangsbereich wurde nun nach Kenngrößen gesucht, die mit der Molekulargewichtsverteilungsbreite korrelieren könnten, um aus der Viskositätsfunktion diese Größe bestimmen zu können.

Es zeigte sich, daß der Parameter a in der Gleichung (8) und der Parameter α in der Gleichung (9) signifikant von M_w/M_n abhängig sind [18]. Weitere Analysen zeigten später, daß die Funktion $n/a(M_w/M_n)$ einen wesentlich besseren Korrelationskoeffizienten ergab als nur $a(M_w/M_n)$. Somit ist es möglich geworden, aus der Viskositätsfunktion auch die Polydispersität der Schmelzen zu kontrollieren und damit die elastischen Eigenschaften der Polymerschmelzen vorauszubestimmen, denn es gilt [14]:

$$M_w/M_n = f_1\,(Bagley - Einlaufdruckverlust,\ P_c)\big|_{\tau=const} \quad (10)$$

bzw.

$$M_w/M_n = f_2\,(Extrudataufschwellung)\big|_{\tau=const} \quad (11)$$

Somit ist M_w/M_n auch eine Funktion der weiteren Materialfunktion, nämlich der ersten Normalspannungsdifferenz.

Die Aufnahme der vollständigen Viskositätsfunktion ist jedoch zeitaufwendig und kann nur unter Laborbedingungen durchgeführt werden. In der On-Line-Rheometrie müssen zeitkonforme Messungen erfolgen. Aus diesem Grunde wird die Viskositätsfunktion nur im Übergangsbereich durch eine Zweipunktmessung ermittelt und aus dieser Messung wurde der Krümmungsradius (KR) mit einer Potenzfunktion berechnet.

$$\eta(\dot\gamma) = k\dot\gamma^{n-1} \quad (12)$$

$$KR(\dot\gamma) = \frac{\left[1+\left\{(n-1)k\dot\gamma^{n-2}\right\}^2\right]^{3/2}}{k\left(n^2-3n+2\right)\dot\gamma^{n-3}} \quad (13)$$

wobei: $\dot\gamma \approx \dot\gamma_{MVR}$.

Da in der Rheologie bezogene Viskositätsfunktionen verbreitet sind, wird Gleichung (12) modifiziert zu

$$\eta/\eta_0\,(\tau_{MVR}) = k_M(\dot\gamma\eta_0)^{n_M} \quad (14)$$

wobei: $\tau_{MVR} \approx \tau = \eta_0\dot\gamma$

und der Krümmungsradius für die Masterviskositätsfunktion gebildet wird:

$$KR_M(\eta_0\dot\gamma) = \frac{\left[1+\left\{n_M k_w(\eta_0\dot\gamma)^{n_M-1}\right\}^2\right]^{3/2}}{n_M k_M(n_M-1)(\eta_0\dot\gamma)^{n_M-2}} \quad (15)$$

Damit wird eine Normierung auf die mittlere Molmasse $\eta_0 \sim M_w$ vorgenommen [19].

H. Lehmann hat später in seiner Dissertation [20] den Carreau-Ansatz für die Viskositätsfunktion verwendet:

$$\eta/\eta_0 = \frac{1}{\left[1+(k_C\dot{\gamma})^2\right]^p} \tag{16}$$

und erhielt folgende Funktion für den Krümmungsradius an der Stelle $\dot{\gamma} = \frac{1}{k_C}$.

$$KR(p) = \frac{2^{2p-2}+4p^2}{2^{2p-2}\cdot 2p^2}. \tag{17}$$

Umfangreiche Literaturauswertungen und eigene Messungen [19] führten zu einer Korrelation zwischen dem Krümmungsradius der Viskositätsfunktion und der Molekulargewichtsverteilungsbreite in Form:

$$KR = Ae^{B\left(M_w/M_n\right)} \tag{18}$$

mit A = 245

B = 1,2.

In Analogie zur temperatur-zeitinvarianten bzw. molmasseninvarianten Masterkurvenbildung für rheologisch einfache Schmelzen soll nun für rheologisch nichteinfache Schmelzen (M_w/M_n = var.) ein entsprechendes Verschiebungsgesetz mit a_{KR} gebildet werden [21]:

$$a_{KR} = \frac{KR\left(M_w/M_n\right)}{KR\left(M_w/M_n\right)^*} = \exp\left[B\left(M_w/M_n - M_w/M_n\Big|^*\right)\right]. \tag{19}$$

Wenn als Näherung anstelle von a_{KR} ein charakteristisches Viskositätsverhältnis eingeführt wird:

$$a_{KR} \approx \frac{\eta}{\eta^*} = a_T$$

so erhält man mit Gleichung (4)

$$H\left[\frac{M_w}{M_w^*}\right]^{\alpha \text{ bzw. } \beta} = \exp B\left[M_w/M_n - M_w/M_n\Big|^*\right]. \tag{20}$$

Die erhaltene Gleichung stellt einen Zusammenhang zwischen der mittleren Molmasse und der Verteilungsbreite dar.

Mit diesem Zusammenhang ließen sich die Verteilungsbreiten von verzweigten Polyethylen und Polypropylen bestimmen, wobei für Proben mit Polydispersitäten Mw/Mn zwischen 10 und 14 Ergebnisse erzielt wurden, die sich im Toleranzbereich der klassischen GPC-Analyse bewegten.

Eine Analyse der Gleichung (13) zeigt, daß KR ~ l/n ist und von entscheidendem Einfluß ist. Außerdem kann n mit einer Zweipunktmessung bestimmt werden, was für die On-Line-Rheometrie (Echtzeitbetrieb) sehr wichtig ist. Untersuchungen in der Literatur und eigene Messungen bestätigten den signifikanten Zusammenhang $n(M_w/M_n)$ [22], der in der Software von Kapillar-On-Line-Rheometern zur Verfügung steht und somit die Kontrolle von Mw/Mn schnell erfolgen kann.

3. On-Line-Kapillar-Rheometrie

Die im Abschnitt 2 dargestellten Entwicklungen auf dem Gebiet der Technischen Rheologie führten zu neuen On-Line-Kapillar-Rheometern [22, 23]. Die Umsetzung der Erkenntnisse bedeutet, möglichst im Bereich kleiner Spannungen (LDPE's bei ca. 5 kPa), diesen für Strukturänderungen signifikanten Bereich der Viskositätsfunktion zu erfassen. Diese Forderung widerspricht wiederum dem geforderten Echzeitverhalten eines Prozeßviskosimeters, das idealerweise kurze Ansprechzeiten (t_A) bei großen Volumenströmen fordert. Die Berechnung der Ansprechzeit kann mit folgender dimensionsloser Gleichung erfolgen [23]:

$$\frac{t_A}{t_{Meßkanal}} = 1 + \frac{V_{Adapter}}{V_{Meßkanal}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\dot{V}_{Umlauf}}{\dot{V}_{Meßkanal}}} \quad . \tag{21}$$

Mit der Realisierung eines Umlaufstromes im Gerät, ist es möglich die Ansprechzeit t_A zu minimieren [23]. Um einen Kompromiß für beide Merkmale (minimale Spannungen, d.h. $\dot{V}_{Meßkanal}$=min und t_A =min, d.h. $\dot{V}_{Umlauf}$ =max) zu finden, wurde ein Rheometerkonzept entwickelt, das über eine Schmelzepumpe einen spannungsgeregelten Volumenstrom in zwei parallel geschaltete Ströme mit nachfolgenden Düsen verzweigen läßt. Die Düsengeometrie ist

nach [24] so ausgelegt, daß bei einer konstanten Parametervorgabe eines Druck- oder Geschwindigkeitssignals, unter Berücksichtigung des Anlaufverhaltens, sofort ein gemessenes Viskositätsspektrum (Zweipunktmessung für $n(M_w/M_n)$) vorliegt.

Gleichzeitig läßt sich durch Auswahl unterschiedlicher Zahnräder im Pumpenblock ein optimaler Fördergrad vorgeben, der auch bei kleinsten Durchsätzen eine reproduzierbare Regelung der Pumpendrehzahl gewährleistet. Damit ist ein Instrumentarium gegeben, um unter Echtzeitbedingungen, den für Strukturänderungen empfindlichen Bereich erfassen zu können. Mit den Gleichungen im Abschnitt 2 werden aus den Meßdaten des Gerätes rheologische Daten und molekulare Strukturparameter im Echtzeitbetrieb bestimmt.

Außerdem kann mit dem Gerät die Viskositätsfunktion über 4-Dekaden aufgenommen werden und sowohl die mittlere Molmasse Mw als auch die Polydispersität der Polymeren mit den rheologischen Modellansätzen (8,9) bestimmt werden. In dem Falle ist jedoch die Echtzeitmessung nicht möglich.

Neben der Überwachung und Kontrolle des technologischen Prozesses mit dem Gerät gibt es auch schon Anwendungen zur Steuerung des rheologischen Prozesses bei der Polypropylenherstellung und Steuerung der Polydispersität durch Peroxidzudosierung [25]. Weitere Steuerungskonzepte für andere Polymerherstellungsverfahren mit dem Kapillar-On-Line-Rheometer sind in der Vorbereitung.

In der technologischen Praxis ist noch weit verbreitet die Bestimmung des genormten Schmelzindexes (MFR, MVR) [26] als Qualitätsmerkmal der Polymeren. Diese standardisierte Labormeßgröße wird mit einer kurzen Kapillare ($\frac{L}{D}=3{,}8$) spannungsgesteuert (Kriechversuch) bestimmt. Um nun im On-Line-Kapillar-Rheometer im Echtzeitbetrieb diese Größe kontinuierlich bestimmen zu können, ist eine Maßstabsübetragung der Kurzkapillaren- Rheometrie auf die Langkapillaren-Rheometrie ($\frac{L}{D}\geq 10$) für viskoelastische Polymerschmelzen zu vollziehen. Ohne weiter auf die Ableitung der einzelnen Gleichungen eingehen zu können [19] kann für die Bestimmung des Druckverlustes im On-Line-Rheometer bei bekanntem MVR-Wert der Schmelze folgende Gleichung benutzt werden:

$$\Delta P_{Online} = \frac{2L}{R}\left[\tau_{MFR} - k(\dot{\gamma}_a^n - \dot{\gamma}_{MVR}^n)\right] \qquad (22)$$

wobei

$$\dot{\gamma}_a = \sqrt[n]{\frac{\tau_{MFR}}{k}} \qquad \dot{\gamma}_{MVR} = \frac{4MVR}{600\pi R^3}.$$

Bei Einstellung des berechneten ΔP_{Online} wird der labormäßig bestimmte MVR-Wert im On-Line-Kapillar-Rheometer realisiert. Umfangreiche Meßreihen mit unterschiedlichsten Materialien, d.h. rheologischen Eigenschaften (unterschiedlichsten MVR-Werten) ließen mit der Gleichung (22) MVR-Werte von maximal 5% Abweichung erhalten.

Nun ist in der Regel der MVR-Wert die eigentliche Unbekannte. In dem Falle mußte ein Weg gefunden werden, den Klammerausdruck auf der rechten Seite der Gleichung (22) durch weitere meßbare Größen zu ersetzen.

Nach einer Spannungsanalyse für das Labor-MVR-Meßgerät ließ sich folgende Gleichung ableiten:

$$\Delta P_{Online} = \frac{2L}{R}\left[\tau_{MFR} - \left\{P_{c|\dot{\gamma}_{MVR}}\left(\frac{R}{2L}\right)_{MVR} + 0{,}01063\eta_0\dot{\gamma}_{MVR}\frac{L_Z(t)}{L_Z} + 0{,}218\eta_{sp}(\dot{\gamma}_{MVR})\dot{\gamma}_{MVR}\frac{1}{H_1}\right\}\right] \qquad (23)$$

Während sich mit dem Bagley-Term Pc (s. Abschnitt 4) der elastische Spannungsanteil beschreiben läßt, der auch in einem On-Line-Kapillar-Rheometer bestimmt werden kann, wurden für die Viskositäten im Spalt η_{sp} und im Kanal des MVR-Meßgerätes in erster Näherung die Nullviskosität η_0 gesetzt. Beide Viskositäten sind aufwendig im On-Line-Kapillar-Rheometer zu ermitteln, so daß ein Zusammenhang mit dem Konsistenzfaktor k (Gleichung 12) gesucht wurde und in Form folgender Gleichungen nun ein Regelkreis eines sich selbst kontrollierenden On-Line-Rheometers unter Berücksichtigung viskoelastischer Spannungsänderungen (M_w/M_n ändert sich im Prozeß) entwickelt werden konnte [27]:

$$\Delta P_{Online} = \frac{2L}{R}\left[\tau_{MFR} - k(\dot{\gamma}_a^n - \dot{\gamma}_{MVR}^n)\right] \qquad (24)$$

$$\frac{\dot{\gamma}_{MVR}}{\dot{\gamma}_a} = \sqrt[n]{1 - \frac{P_{c|\dot{\gamma}_{MVR}}\left(\frac{R}{2L}\right)_{MVR}(1+\varepsilon)}{k\dot{\gamma}_a^n}} \qquad (25)$$

$$\varepsilon = [0{,}11k - 0{,}08]^{-1} \qquad (26)$$

Mit dem Gerät werden die Größen n, k, $P_{c|\dot{\gamma}_{MFR}}$ bestimmt. Es werden ε, $\dot{\gamma}_{MVR}$ und ΔP_{Online} berechnet. Bei diesem automatisch eingestellten ΔP_{Online} wird der aktuelle MVR-Wert im On-Line-Kapillar-Rheometer bestimmt.

Für die industrielle Anwendung bedeutet dies einen wesentlichen Vertrauenszuwachs in die On-Line-Messung, da man bei Meßwertschwankungen nun tatsächlich davon ausgehen kann, daß die On-Line-Werte mit dem genormten Laborergebnis im akzeptablen Toleranzbereich übereinstimmen, bei gleichzeitiger möglichen Änderung der mittleren Molmasse (M_w) und der Molmassenverteilungsbreite (M_w/M_n).

Um eine direkte Bestimmung der viskoelastischen Eigenschaften G*, G', G" der Polymeren im On-Line-Kapillar-Rheometer zu ermöglichen, wurde ein dynamisch arbeitendes On-Line-Kapillar-Rheometer (DOR) entwickelt und getestet [23, 27–29]. Die dynamische Führung der Kapillarströmung im DOR ermöglichte trotz überlagerter Offset-Strömung (stationäre Grundströmung) die viskoelastischen Materialfunktionen G' und G" und daraus G* in einem ausreichend breiten Intervall zu bestimmen. Die Auswertung der Meßsignale P(t) und $\dot{V}(t)$ erfolgte mit folgenden Gleichungen:

für den komplexen Schermodul
$$G^* = \frac{\tau_{max}}{\gamma_{max}}$$

für den Speichermodul
$$G' = \frac{\frac{P_{max} R}{2L}}{\frac{4V_{max}}{q_{sp} R^3}} \cos\delta$$

für den Verlustmodul
$$G'' = \frac{\frac{P_{max} R}{2L}}{\frac{4V_{max}}{q_{sp} R^3}} \sin\delta$$

mit
$$V_{max} = \dot{V}_{max} \frac{1}{4} f$$

$$\dot{V}_{max} = \frac{q_{sp} n_{p\,max}}{60}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

Untersuchungen mit verzweigten Polyethylenen und Vergleichsmessungen mit einem dynamisch betriebenen Rotationsviskosimeter mit und ohne Grundströmung erbrachten eine gute Übereinstimmung [27].

4. Hochdruck-Labor-Kapillar-Rheometrie

Neben der Erhöhung der Drücke im Kapillareneinlauf wurden Mehrkapillarenrheometer (3 Kapillaren [30, 31], 2 Kapillaren für ein Mitteldruckgerät ist in Vorbereitung) entwickelt, um simultan unterschiedliche Schmelzen untersuchen zu können oder um simultan verschiedene Viskositätskurvenkorrekturverfahren durchführen zu können [32] auf Grund der unterschiedlichen Kapillarbestückung des Gerätes. Außerdem wurde eine Gegendruckkammer zum Hochdruckkapillarrheometer als Option entwickelt, um den Druckeinfluß auf die Viskositätsfunktion und auf das Wandverhalten der Polymerschmelzen untersuchen zu können. Mit dieser Gerätekonfiguration können unter Einsatz geringster Materialmengen Simulationen wesentlicher Kunststoffverarbeitungsprozesse (Spritzguß, Extrusion, Kalandrieren, Pressen etc.) im spannungsrelevanten bzw. geschwindigkeitsrelevanten Bereich dieser technologischen Prozesse durchgeführt werden. Um echte Viskositätsfunktionen bestimmen zu können, sind Korrekturverfahren bei viskoelastischen Polymerschmelzen erforderlich, die aus den Randbedingungen der Ableitung der Hagen-Poiseuilleschen Gleichung (27) aus den Navier-Stokes-Gleichungen resultieren. Es waren die Bedingungen: newtonsche Flüssigkeit (Gleichung 2), eindimensionale, stationäre, isotherme Strömung unter der Randbedingung der Wandhaftung.
In dem Falle ergab sich die Lösung:

$$\frac{\Delta P R}{2L} = \tau_w = \eta \frac{4\dot{V}}{\pi R^3} = \eta \dot{\gamma}_w \qquad (27)$$

Um nun Gleichung (3) in Form echter Viskositätsfunktionen zu erhalten, müssen folgende Korrekturen erfolgen:

1. Die Polymerschmelzen sind viskoelastische Fluide, d.h. bei endlichen Kapillarlängen $\frac{L}{D} \geq 10$ ist die Einlaufdruckkorrektur (Bagley-Druck P_c) von ΔP zu substrahieren, d.h. $\Delta P_{Real} = \Delta P - P_c$. (Bagley-Korrektur).

2. Die Polymerschmelzen sind nichtlineare viskose Fluide, d.h. der Geschwindigkeitsgradient an der Wand $\dot{\gamma}_w = \frac{4\dot{V}}{\pi R^3}$ muß mit dem Anstieg der Funktion $\tau(\dot{\gamma})$ in doppellogarithmischen Koordinaten n korrigiert werden: $\dot{\gamma}_{Korr} \frac{3n+1}{4n} \dot{\gamma}_w$ (Weißenberg-Rabinowitsch-Korrektur).
3. Die Polymerschmelzen erfüllen nicht immer die Wandhaftbedingung, d.h. $v_w \neq 0$. Der Durchsatz setzt sich aus den 2 Bestandteilen zusammen: aus dem Geschwindigkeitsprofil v(r) und der Wandgleitgeschwindigkeit U_s (Mooney-Korrektur).
4. Die Strömung ist bei hochviskosen Schmelzen bei hohen Schergeschwindigkeiten nicht isotherm. Es entsteht durch die innere Reibung eine Dissipationserwärmung, die schlecht ableitbar ist, da Polymere eine schlechte Wärmeleitfähigkeit haben. (Dissipationskorrektur).

Alle 4 Korrekturverfahren lassen sich durch dimensionslose Kennzahlfunktionen darstellen:

Weißenberg-Rabinowitsch-Korrekturfunktion

$$K_{w/R} = \left|\frac{n-1}{4n}\right| = \left|\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\eta_{ap}}{\eta_{diffap}}\right)\right| = f(\tau)$$

Bagley-Korrekturfunktion

$$K_B = \frac{P_C}{P_E} = f(\dot{\gamma})$$

Mooney-Korrekturfunktion

$$K_M = \left|\frac{8U_s}{D\dot{\gamma}_{ap}}\right| = f(\tau)$$

Dissipationskorrekturfunktion

$$K_D = \left|1 - \frac{\eta_{Diss}}{\eta_{ap}}\right| = f(\dot{\gamma})$$

Mit diesen Kennzahlenfunktionen können korrigierte, echte Viskositätsfunktionen erhalten werden.

Außerdem können die Ähnlichkeitsverhältnisse unter Prozeßbedingungen für viskoelastische Polymerschmelzen formuliert werden und damit Maschineneinstellungen vorgenommen werden:

$$\tau = const.: \quad \left.\begin{matrix} K_{W_2} = idem \\ K_M = idem \end{matrix}\right\} \quad \text{Vorgänge an der Wand}$$

$$\dot{\gamma} = const.: \quad \left.\begin{matrix} K_B = idem \\ K_D = idem \end{matrix}\right\} \quad \text{Vorgänge im Material}$$

Außerdem können je nach Wertigkeit der einzelnen Kennzahlen Prozeßmodelle formuliert bzw. vereinfacht werden. Physikalisch stellen die Kennzahlen folgende Verhältnisse dar:

1. Weißenberg-Rabinowitsch-Kennzahl ist das Verhältnis der Schergeschwindigkeit einer nichtnewtonschen Polymerschmelze zu einer newtonschen Flüssigkeit.
2. Bagley-Kennzahl ist das Verhältnis der elastischen zu den viskosen Eigenschaften der Polymerschmelzen.
3. Mooney-Kennzahl ist das Verhältnis der Durchsätze bedingt durch Wandgleiten der Schmelze zur Wandhaftung der Schmelze an der Kapillarwand.
4. Die Dissipationskennzahl ist das Verhältnis der Viskositäten bedingt durch Dissipation und ohne Dissipation.

Da diese Kennzahlen Funktionen von τ *bzw.* $\dot{\gamma}$ sind, müssen die Anwendungen auf technologische Prozesse anhand von Prozeßmodellen zur Bestimmung von τ *bzw.* $\dot{\gamma}$ erfolgen. Derartige Prozeßmodelle sind für wesentliche Kunststoffverarbeitungstechnologien vorhanden [11, 12].

Der Einfluß eines mittleren statischen Druckes auf die Viskositätsfunktion konnte mit einer Gegendruckkammer untersucht werden. Der ermittelte Druckkoeffizient

$$\alpha = \frac{1}{\eta}\left(\frac{\partial \eta}{\partial p}\right)_{T,\dot{\gamma}}$$

ergab Werte ($\alpha \approx (0{,}4 \div 1)\ 10^{-8}$ [Pa^{-1}]), die für derartige Materialien charakteristisch sind. Unter Anwendung des Superpositionsprinzips ließen sich Temperatur-Druck-Masterkurven erhalten in Form der Funktion $\eta(\dot{\gamma}, P, T)$. Mit der nun möglichen experimentellen Bestimmung dieser kompletten Funk-

tion kann das Yasuda-Modell mit der WLF-Gleichung für die Temperatur (a_T) und für den Druck (a_P) formuliert werden, um mit größter Präzision für die Simulation des Spritzgußprozesses verwendet zu werden.
Für wandgleitende Materialien wird durch den Gegendruck (steigender Gegendruck):

1. Das Wandverhalten in der Weise beeinflußt, daß 3 Bereiche des Wandverhaltens erkannt werden konnten:
   A. Der Gegendruck führt zur Erhöhung der Normalkraft auf die Kapillarwand durch die Schmelze – die Coulombsche Reibung (äußere Reibung) dominiert, die Wandgleitgeschwindigkeit Us fällt bis auf Null ab

$$U_s \sim \frac{1}{P_m}\Big|_{\tau=const.}$$

   B. Das Material bewegt sich oszillatorisch slip-stick dominiert, U_s folgt einer Schwingung mit

$$P_m\Big|_{\tau=const.}$$

   C. Ein Gleitfilm bildet sich aus, auf dem das Material sich bewegt,

$$U_s \approx const\Big|_{\tau=const.}$$

2. Die kritische Schubspannung des Beginns des Wandgleitens wird mit größeren Gegendruckwerten verschoben.

Die gewonnenen Charakteristiken stellen eine erweiterte Grundlage für die Simulation der Verarbeitungsprozesse mit der Randbedingung des Wandgleitens dar. Außerdem erscheint es ratsam im Bereich C d.h. im Bereich des Gleitfilms den Prozeß zu führen, um Oszillationsbewegungen der Schmelzen und damit Produktschädigungen zu vermeiden.

5. Zusammenfassung

Durch verschiedene Verfahren gelang es aus der Viskositätsfunktion $\eta(\dot{\gamma})$ Korrelationen zur Bestimmung der Molekulargewichtsverteilungsbreite (M_w/M_n) zu finden. Ein mit dieser Korrelation über den Krümmungsradius formuliertes Verschiebungsgesetz diente zur Voraussage von Molekulargewichts-

verteilungsbreiten von Polyethylenen und Polypropylenen im Toleranzbereich der GPC-Analyse. Auch ließen sich Masterkurven für Materialien mit unterschiedlichen Molekulargewichtsverteilungsbreiten herstellen.

Die Umsetzung dieser Ergebnisse führte zu neuen On-Line-Kapillar-Rheometern, die in der Lage sind, im Echtzeitbetrieb die Molekulargewichtsverteilungsbreite zu kontrollieren und auf der Basis eines mathematischen Modells den MVR-Wert auch für rheologisch- komplizierte Polymerschmelzen zu bestimmen, bei denen sowohl die mittlere Molmasse, als auch die Molmassenverteilungsbreite sich im Prozeß ändern kann.

Für die Labor-Kapillar-Rheometrie konnten dimensionslose Kennzahlen für die notwendigen Korrekturverfahren der Viskositätsfunktion abgeleitet werden.

Mit den Kennzahlenfunktionen lassen sich effektiver als bisher korrigierte Viskositätsfunktionen ermitteln. Außerdem können damit Ähnlichkeitsbedingungen für die Polymerschmelzen formuliert werden, die für die Prozeßmodellierung geeignet sind.

Mit einer Option einer Gegendruckkammer konnte der Druckeinfluß auf die Viskositätsfunktion und auf das Wandverhalten wandgleitender Schmelzen untersucht werden. Unter Einführung eines Druckverschiebungskoeffizienten konnten Masterkurven erhalten werden. Somit kann die komplette Funktion $\eta(\dot{\gamma}, P, T)$ für Spritzgußprozesse verwendet werden. Der Gegendruck verschob den kritischen Punkt des Beginns des Wandgleitens und ließ 3 Bereiche unterschiedlicher Wandphänomene erkennen (Coulombsche-Reibung, Slip-Stick, Gleitfilm):

Danksagung

Den Gesellschaftern und Geschäftsführern, Prof Dr. Otto Göttfert und Dr.-Ing. Axel Göttfert, der Göttfert Werkstoff-Prüfmaschinen GmbH in Buchen/Odenwald danke ich für die Möglichkeit, in Ihrer Firma, besonders aber gemeinsam mit Herrn Dr. Axel Göttfert, diese Ergebnisse erarbeiten und für praktische Lösungen realisieren zu können.

Literatur

[1] Astarita, G.; Marrucci, G.: Principles of Non-Newtonian Fluid Mechanics, McGraw-Hill, 1974

[2] Doi, M.; Edwards S. F.: The Theory of Polymer Dynamics, Clarendon Press, Oxford, 1986

[3] Giesekus, H.: Phänomenologische Rheologie, Springer Verlag, 1994.

[4] Vinogradov, G. V.; Malkin A. Ya.: Rheology of Polymers, Mir, Moscow, 1980

[5] Walters, K.: Rheometry, Chapman and Hall, 1975

[6] Reher, E. O.: Kapitel II in: Technische Strömungsmechanik I, 3. bearbeitete Aufl., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1983

[7] Reher, E. O.; Haroske, D.; Köhler, K.: Eine Analyse der nicht-Newtonschen Reibungsgesetze und deren Anwendung für die Rohrströmung I u. II, Chem. Technik, 21 (1969), Nr. 3, S. 137–143; 21 (1969) Nr. 5, S. 281–284

[8] Haroske, D.; Reher, E. O.: Das verallgemeinerte Reibungsgesetz und dessen Lösungen für die Strömung zwischen parallelen Platten und in runden Kanälen , Chem. Technik, 22, Nr. 1 (1970), S. 32–36

[9] Reher, E. O.; Schnabel, R.: Zur Theorie der stationären insothermen axialdurchströmten Ringraumes eines elastoviskos-plastischen Mediums, Plaste und Kautschuk, 18 (1971), Nr. 3, S. 211–218

[10] Reher, E.O.; Grader, L.: Zur Berechnung einer isothermen Doppelwalzen-Kalanderströmung nichtlinear-plastischer Medien, Plaste und Kautschuk, 18 (1971), Nr. 8, S. 597–601

[11] Torner, R. V.: Grundprozesse der Verarbeitung von Polymeren, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1973

[12] Tadmor, Z.; Gogos, C. G.: Principles of Polymer Processing, John Willey and Sons, 1979

[13] Liepe, F.: Verfahrenstechnische Berechnungsmethoden, Teil 4/1, Stoffvereinigen mit fluiden Phasen, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1978

[14] Kulicke, W.-M.: Fließverhalten von Stoffen und Stoffgemischen, Hüthig und Wepf, 1986

[15] Ostwald, W.: Über die Geschwindigkeitsfunktion der Viskosität disperser Systeme I, Kolloid Z., 36 (1925), S. 99–117

[16] Bueche, F. J.: Chem. Phys. (1952) – V. 20, Nr. 12, S. 1959–1964; (1956) V. 25, Nr. 3, S. 599–600

[17] Holzmüller, W., Altenburg, K.: Physik der Kunststoffe, Akademie Verlag, Berlin 1961

[18] Göttfert, A.; Reher, E. O.; Balagula, I. M.: Internat. Polymer Processing XIV, 1/99, S. 57–59

[19] Göttfert, A.: Prozeßzeitkonforme, rheologische Charakterisierung von Polymerschmelzen in der Scherung und Dehnung, Dissertation, Merseburg, 1996.

[20] Lehmann, H.; Schnabel, R.: Einfluß der Molekulargewichtsverteilung auf die Verarbeitungseigenschaften am Beispiel des Polyethylens, Technomer 97, TU Chemnitz Vortrag, p. 19.

[21] Göttfert, A.; Reher, E. O.; Schulze, V.: Shape Analysis of the Viscosity Function to Monitor Polydispersity, PPS/Europa Stuttgart 1995, Sammelband, S. 55–56

[22] Göttfert, A.; Reher, E. O.: On-Line-Rheology with extended Spectrum, ANTEC '98 SPE Tech. Papers, USA Atlanta Georgia, 1998

[23] Göttfert, A; Reher, E. O.: On-Line-Kapillar-Rheometrie und andere On-Line Sensorik unter Echtzeitbedingungen in Prüf- und Produktionsanlagen, ACHEMA '97 Bd. Werkstofftechnik

[24] Göttfert, A: Internationale Patentanmeldung, PCT/DE96/01736 (1996)

[25] Fritz, H.G.; Stöhrer, B.: Internat. Polymer Proc. l, 31 (1986)

[26] DIN 53 735

[27] Göttfert, A; Reher, E.O.: Rheologische Prüftechnik von Hochpolymeren, Kautschuk Gummi Kunststoffe 51, 9 (1998), S. 609–615

[28] Göttfert, A.; Reher, E. O.; Erbacher M.; Nelson, B. J.: Dynamic Shear-Deformation in ON-Line Capillary Rheometry, ANTEC '96, USA, Indianapolis, p. 1085–1087

[29] Göttert, A: Offenlegungsschrift, DE 4442172 AI (1996)

[30] Reher, E.O.; Göttfert, A.: Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Hochdruck-Mehrkapillarenrheometrie und Schmelzedehnung, Technomer '97, Chemnitz (1997), Sammelband (ISBN 3-00-001942-1), Vortrag B 04, S. 1–12

[31] Göttert, A.; Reher, E.O.: What's New in Capillary Rheometrie, Progress and Trends in Rheology V, p. 475–476

[32] Reher, E.O.; Göttfert, A.: Simulation rheologischer Prozesse mit dem Kapillarrheometer für die Kunststoffverarbeitung, Technomer '99, Chemnitz, Sammelband (ISBN 3-00-004710-7), Vortrag A 13, S. 1–12

Symbolverzeichnis

ρ	- Dichte
υ	- Geschwindigkeitskomponenten
t	- Zeit
x	- Koordinaten
f_i	- äußere Kraft
p	- Druck
τ_{ij}	- Spannungsdiviator
η	- dynamische Viskosität
τ	- Schubspannung
$\dot{\gamma}$	- Deformationsgeschwindigkeit
τ_{xx}, τ_{yy}	- Normalspannungen
N_1, N_2	- erste bzw. zweite Normalspannungsdifferenz
η_0	- Nullviskosität
M_w	- mittlere Molmasse
M_w/M_n	- Molmassenverteilungsbreite
K_i	- Koeffizienten
a, α, β, n, m_c, p	- Exponenten
$[\eta]$	- Staudinger-Index, Instrinsic Viscosity, Grenzviskosität
k_1, λ, τ_s	- Relaxationszeiten
P_e	- Bagley-Einlaufdruck
KR	- Krümmungsradius
k	- Konsistenzfaktor
A, B	- Konstante
a_{KR}, a_r	- Verschiebungskoeffizienten
$t_{Meßkanal}$	- mittlere Verweilzeit im Meßkanal
$V_{Adapter}$	- Adaptervolumen

$V_{Meßkanal}$ - Meßkanalvolumen
$\dot{V}_{Umlauf}$ - Umlaufdurchsatz
$\dot{V}_{Meßkanal}$ - Meßkanaldurchsatz
MFR - Massenschmelzindex
MVR - - Volumenschmelzindex
ΔP_{Online} - Druckverlust im On-Line-Kapillar-Rheometer
L - Kapillarlänge
R - Kapillarradius
τ_{MFR} - Schubspannung im MFR/MVR-Gerät
$\dot{\gamma}_a$ - Schergeschwindigkeit bei τMFR; $\dot{\gamma}_a = \sqrt[n]{\frac{\tau_{MFR}}{k}}$
$\dot{\gamma}_{MVR}$ - Schergeschwindigkeit bei $\dot{v} = \frac{MVR}{600}$
q_{spez} - spezifischer Pumpendurchsatz
V_{max} - maximales Volumen
P_{max} - maximaler Druck
δ - Phasenwinkel
f - Frequenz
ω - Kreisfrequenz
$n_{p\,max}$ - maximale Pumpendrehzahl
τ_w -Wandschubspannung
$\dot{\gamma}_w$ - Schergeschwindigkeit an der Wand
η_{ap} - Apparateviskosität
η_{diffap} - differenzierte Apparateviskosität $\frac{d\tau_{ap}}{d\dot{\gamma}_{ap}}$
P_E - Kapillareinlaufdruck
U_s - Gleitgeschwindigkeit
η_{Diss} - durch Dissepation korrigierte Viskosität
a_T - thermischer Verschiebungskoeffizient
a_p - Druckverschiebungskoeffizient
T - Temperatur
P_m - mittlerer Druck in der Kapillare

Dieter B. Herrmann

Die astronomischen Grundlagen der Chronologie*

1. Einleitung

Die Chronologie gilt zurecht als wichtige historische Hilfswissenschaft der Geschichtswissenschaft. Ihre Aufgabe besteht darin, geschichtliche Ereignisse zu datieren, d. h. auf die heute weltweit verwendete moderne Zeitrechnung umzurechnen.

Das Problem der Chronologie ist ein zweifaches: Ihre astronomischen Grundlagen haben sich erst im Laufe eines langen historischen Forschungsprozesses herausgebildet, und die menschliche Gesellschaft hat sich nicht als ein globales Phänomen, sondern in einer Unzahl räumlich und zeitlich getrennter Kulturkreise entwickelt. Dort wurde die Ordnung der Zeit auf ganz verschiedenartige Weise entsprechend den gesellschaftlichen Bedingungen und dem astronomischen Kenntnisstand hergestellt. Deshalb ergibt sich für die Chronologie die Frage: Wie können alle in den Quellen überlieferten Datierungsangaben so miteinander korreliert werden, daß sich ein insgesamt widerspruchsfreies ununterbrochenes Bild der zeitlichen Abläufe ergibt?

Der Altmeister der Chronologie, der Berliner Astronom unserer Akademie Ludwig Ideler unterteilte die Disziplin im frühen 19. Jahrhundert in einen theoretischen und einen angewandten Teil, die er mathematische bzw. historische Chronologie nannte. Unter der mathematischen Chronologie versteht er alles, „was die Sternkunde von den Bewegungen der Himmelskörper lehrt, in so fern es auf die Bestimmung und Vergleichung der Zeiteinheiten Bezug hat". Die historische Chronologie hingegen soll aufzeigen, „wie die Anordner des bürgerlichen Lebens die Zeit von jeher eingeteilt haben, und wie hiernach die Begebenheiten der Völker in ein richtiges Zeit-Verhältnis zu bringen sind" [Ideler 1825, S. 5/6]

---

* Vortrag, gehalten am 15.3.2001 vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät .

2. Das Grundproblem des Kalenders

Das Kalenderproblem, also das der mathematischen Chronologie, besteht in folgendem: Zwei natürlich vorgegebene Zeiteinheiten bestimmen unser Leben derartig eingreifend, daß sie als Grundlage jeder Zeiteinteilung unverzichtbar sind:

- der Sonnentag – die Zeitspanne von einem Sonnenhöchststand bis zum nächsten,
- das Tropische Jahr – die Zeitspanne von einem Durchgang der Sonne durch den Frühlingspunkt bis zum nächsten.

Die erste der beiden Zeiteinheiten beruht auf der Erdrotation, die zweite auf dem Umlauf der Erde um die Sonne.

Zu diesen beiden elementaren Einheiten gesellt sich gleichsam als „Angebot" der Natur noch eine dritte, die zur Unterteilung des Jahres geeignet scheint: der synodische Monat – die Zeitspanne von einer Mondphase bis zur nächsten gleichen Mondphase – also von Vollmond zu Vollmond oder von Neumond zu Neumond.

Nun enthält aber ein Tropisches Jahr weder eine ganze Anzahl von Tagen noch von Monaten. Auch der Monat enthält keine ganze Anzahl von Tagen. Vielmehr gilt: 1 Tropisches Jahr = 365,24220 Sonnentage = 12,36827 synodische Monate; 1 Synodischer Monat = 29,53059 Sonnentage.

Natürlich waren diese auf den Bewegungen von Sonne, Erde und Mond beruhenden Verhältnisse zunächst nicht mit der erforderlichen Genauigkeit bekannt. Deshalb wiesen alle alten Kalender diverse Ungereimtheiten auf, die letztlich stets dazu führten, daß Himmelsanblick und Kalenderdaten mehr oder weniger rasch auseinander drifteten. Doch auch dies geschah bei allen alten Völkern auf ganz verschiedene Weise, je nach dem herrschenden Kenntnisstand und je nach der Art und Weise wie man mit diesen Kenntnissen umging.

In den reinen Mondkalendern, wie sie anfangs vielfach in Gebrauch waren, wurde die Länge des Jahres mit 12 Monaten angegeben. Dadurch verschob sich der Jahresbeginn jährlich um 10 bis 12 Tage. Im alten Ägypten verwendete man sogar zwei Kalender gleichzeitig: Einerseits rechneten die Ägypter mit einem Kalender von 12 Monaten zu 30 Tagen, denen sie 5 Tage hinzufügten, so daß sich eine Jahreslänge von 365 Tagen ergab. Für die Ver-

waltung war dieser Kalender besonders praktisch. Andererseits funktionierte er wegen der zu kurzen Jahreslänge nicht für die Landwirtschaft. Der Ägyptische Kalender basierte also praktisch auf einem Wanderjahr, dessen kalendarische Daten sich mit der Zeit durch alle Jahreszeiten bewegten. Ein anderer Kalender war am Frühaufgang des Sirius orientiert, der jeweils die nahende Überschwemmung des Nils ankündigte, das für die ägyptische Landwirtschaft wichtigste Ereignis. Die Zeitspanne von einem Frühaufgang des Sirius bis zum nächsten entsprach ungefähr der Dauer des Tropischen Jahres. Deshalb wurden alle auf Aussaat und Ernte bezogenen Rituale und Feste nach dem Sirius-Kalender begangen, während das sonstige tägliche Leben am 365-tägigen Wanderjahr ausgerichtet war.

Aus der besonders für die Landwirtschaft wichtigen Erkenntnis heraus, daß letztlich die Sonne den Rhythmus des meteorologischen Jahres bestimmt, wurden bei vielen Völkern kombinierte sogenannte Lunisolarkalender verwendet. Über größere Zeiträume wurden die Umlaufszeiten von Sonne und Mond so ausgeglichen, daß der Kalender einigermaßen im Ruder blieb. Auf Meton (5. Jh. v. Chr.) geht die Erkenntnis zurück, daß 235 synodische Monate recht genau 19 Tropischen Jahren entsprechen. Innerhalb eines 19-jährigen sogenannten Metonschen Zyklus gab es deshalb zwölf Jahre mit 12 Monaten und sieben Jahre mit 13 Monaten (= 235 Monate). Sehr befriedigend war diese Verfahrensweise dennoch nicht. Wegen der ungenauen Kenntnis der Länge des Tropischen Jahres bereiteten die Schaltungen stets Probleme.

3. Die Epochen

Hinzu kommt ein anderer Umstand: Geschichtliche Abläufe können nur dann in einem kontinuierlichen System beschrieben werden, wenn man lange Jahresreihen von einem bestimmten Datum ausgehend fortlaufend abzählt. Die geschichtliche Entwicklung bei den verschiedenen Völkern führte nun aber dazu, daß eine Vielzahl solcher „Nullpunkte" (auch Epochen genannt) in Gebrauch waren. So knüpfte man z. B. in den verschiedenen religiösen Ären an die Lebensumstände von Religionsstiftern an, beispielsweise an die Geburt Jesu Christi, die Flucht Mohammeds aus Mekka, den Tod des Buddha usw. Andererseits waren politische Ären in Gebrauch, die sich zumeist auf

Thronbesteigungen von Regenten der verschiedenen Dynastien bezogen. Bekannt ist z. B. die diokletianische Ära, die mit dem Regierungsantritt des Kaisers Diokletian beginnt oder die „Gründungsära", die sich auf die Gründung der Stadt Rom bezieht. Doch in der Geschichte sind mehrere hundert solcher Ären in Gebrauch gewesen, deren zeitliche Zuordnung mitunter schwierig ist und oft der Unterstützung durch die mathematische Chronologie bedarf.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild:

In der alten Welt waren viele unterschiedliche Kalendersysteme in Gebrauch, mit unterschiedlichen Ausgangspunkten und Genauigkeiten. Wegen der naturgegebenen Dominanz des Tropischen Jahres existierte eine Fülle von Schaltregeln, die ihrerseits teils falsch gehandhabt wurden, so daß es zu einem beträchtlichen Chaos bei der Orientierung in der Zeit kam.

4. Der Julianische Kalender

Dieser Zustand bestand auch im Römischen Reich zur Zeit von Julius Cäsar. Der herrschende Römische Kalender basierte auf einem Mondjahr von 355 Tagen Länge, das in zwölf Monate geteilt war. Im Abstand von zwei Jahren wurde ein Schaltmonat hinzugefügt, der abwechselnd 22 und 23 Tage umfaßte. Damit ergab sich eine mittlere Jahreslänge von 366,25 Tagen [(4 x 355 + 23 + 22)/4]. Gegenüber der Länge des Tropischen Jahres war dieses Römische Jahr also um rund einen Tag zu lang. Die Schaltungen wurden nun zudem oft derartig willkürlich gehandhabt, daß sich bis zum Jahre 47 v. Chr. eine Differenz von 67 Tagen zwischen Himmelsanblick und Kalender angehäuft hatte. Deshalb beauftragte Julius Cäsar, der sich damals in Ägypten aufhielt, den Alexandrinischen Astronomen Sosigenes mit einer Reform des Kalenders, die alle Ungereimtheiten beseitigen sollte Die Julianische Kalenderreform wurde im 708. Jahr nach der Gründung Roms (46 v. Chr.) per Dekret durchgeführt. Dem neuen Kalender wurde eine mittlere Jahreslänge von 365,25 Tagen zugrundegelegt. Sicher war Sosigenes aufgrund der rund 75 Jahre zuvor durch Hipparch festgestellten Jahreslänge bereits damals bekannt, daß das Tropische Jahr in Wirklichkeit etwas kürzer war als im Julianischen Kalender angenommen. Doch hielt er die Differenz wahrscheinlich für vernachlässigbar. Um nun für künftig Ordnung in das Zeitsystem zu bringen, war

es erforderlich, einmalig alle festgestellten Differenzen auszugleichen. Das geschah durch die Festlegung einer Jahreslänge von 445 Tagen (15 Monate) im Jahre 46 v. Chr. Das Jahr 46 wäre nach den herrschenden Schaltregeln 355+23 Tage lang gewesen. Dazu fügte man nun zwei Monate von 33 bzw. 34 Tagen Länge, also insgesamt 67 Tage – ein „annus confusiones". Der 1. Januar des folgenden Jahres 45 v. Chr. fiel auf den ersten Neumond nach der Wintersonnenwende [Seleschnikow 1981, S. 49ff.].

Erst im Jahre 8 v. Chr. bemerkte man, daß der Julianische Kalender durch ein Mißverständnis falsch gehandhabt worden war: Statt *nach* jedem dritten Jahr hatte man bereits *in* jedem dritten Jahr geschaltet. Cäsars Nachfolger, Kaiser Augustus, ordnete deshalb nochmals eine Korrektur an: Er ließ vom Jahre 8 v. Chr. bis zum Jahre 8 n. Chr. alle eigentlich fälligen Schalttage ausfallen und brachte damit den Kalender gemäß den Festlegungen der Julianischen Reform wieder in Ordnung. Augustus zu Ehren wurde damals übrigens der achte Monat Sextilius in Augustus, unseren heutigen August, umbenannt. Da der Sextilius im Julianischen Kalender nur 30 Tage lang war, der Cäsar gewidmete Monat Julius hingegen 31, wurde dem August ein Tag hinzugefügt. Dieser Tag wurde dem Februar abgezogen, so daß dieser ursprünglich 29 Tage lange Monat jetzt nur noch 28 Tage enthielt und lediglich in Schaltjahren 29.

5. Das Konzil von Nicäa

Die nächste Aktivität mit Bezug auf den Kalender war das sogenannte Konzil von Nicäa, eine Kirchenversammlung im Jahre 325. Dort ging es aber nicht um Jahreslänge, Schalttage oder Monatsdauern, sondern um das Osterfest. Das Hauptziel des Konziliums bestand darin, das Datum des Osterfestes innerhalb des Julianischen Kalenders so zu vereinheitlichen, daß alle Christen es zum selben Zeitpunkt begehen konnten. Dieses Anliegen war nicht neu, sondern schon auf dem Konzil von Arles im Jahre 314 vorgetragen worden. Doch die Festlegungen wurden im Osten nicht anerkannt und so blieben sie letztlich folgenlos für die Einheitlichkeit des Osterdatums. Dazu war nun allerdings ein astronomisches Datum wichtig: Nämlich der Frühlingsanfang, also der Zeitpunkt, zu dem die Sonne für die Bewohner der Nordhalbkugel den Himmelsäquator in Richtung Norden überschreitet. Das für die Christen so

wichtige Osterfest ist nämlich im Kalendarium nicht mit einem festen Datum verbunden, sondern durch die Osterregel bestimmt: Es soll am ersten Sonntag nach dem ersten Vollmond nach dem Frühlingsanfang begangen werden. Deshalb spielt das Datum des Frühlingsanfangs eine entscheidende Rolle. Es wird heute allgemein angenommen, daß der Frühlingsanfang im Zusammenhang mit der Frage der Bestimmung des Osterdatums auf dem Konzil zu Nicäa auf den 21. März festgelegt wurde. Das stimmte übrigens mit dem tatsächlichen astronomischen Frühlingsanfang zu dieser Zeit mit hinreichender Genauigkeit überein.

Sehr genau sind wir allerdings über das Konzil von Nicäa nicht informiert. In den Schriften der Altmeister Ideler und Ginzel wird es überhaupt nicht erwähnt und die überkommenen Dokumente sind eher dürftig. Im abschließenden Kanon des Konzils ist auch die Frage des Osterdatums nicht erwähnt [G. V. S. Coyne et al 1983, S. 29ff., insbes. 40–46].

6. Die Kalenderreform von 1582

Mit den Festlegungen des Konzils von Nicäa war jedoch der grundlegende Fehler des Julianischen Kalenders, die etwas zu lang angenommene Dauer des Tropischen Jahres, nicht ausgeräumt, was man sich auf der Kirchenversammlung auch gar nicht zum Ziel gesetzt hatte. Die etwas kürzere tatsächliche Jahreslänge – die Differenz beträgt rund elf Minuten – bewirkt ein Abdriften zwischen Himmelsanblick und Kalenderdaten um einen Tag in rund 128 Jahren. Im 14. Jahrhundert waren die Abweichungen schon so offenkundig, daß sie trotz der erst allmählich wieder erwachenden astronomischen Beobachtungskunst nicht verborgen blieben. Mehrere Autoren forderten, man solle den Gleichklang zwischen Kalender und Himmelsanblick wieder herstellen, indem man einige Tage überspringt. Doch einen so folgenschweren Schritt wollte zunächst niemand tun. Selbst Copernicus sagte 1514 seine Mitwirkung in der Kalenderkommission des sogenannten Laterankonzils 1512 –1517 mit der Begründung ab, zu der von Papst Leo X. in Aussicht genommenen Reformation des Kalenders könne man noch nichts Fundiertes beitragen, die Länge des Jahres sei noch nicht mit hinreichender Sicherheit bekannt. Auch auf dem Tridentinischen Konzil 1545–1563 kam es noch nicht zu einer Lösung.

Die Reform wurde jedoch immer unaufschiebbarer und schließlich 1582 unter Papst Gregor XIII. verwirklicht. Sie verfolgte zwei Ziele: Erstens sollte die aufgelaufene Abweichung beseitigt, zweitens aber auch weiterreichend ein künftiges Abdriften ein für allemal verhindert werden. Wie seinerzeit Julius Cäsar sich fachmännischen Rat von führenden Astronomen eingeholt hatte, so verfuhr jetzt auch Gregor: Er berief eine Kommission, der u. a. die Astronomen und Mathematiker Christoph Clavius und Ignatius Danti angehörten. Diese Kommission befürwortete schließlich ein Projekt des italienischen Mathematikers Luigi Lilio, das zur Grundlage des neuen Kalenders wurde. Die Congregation legte im September 1580 einen Bericht vor, der insgesamt neun Unterschriften trug, darunter auch die der beiden oben genannten Astronomen und die des Bruders von Luigi Lilio, Antonio Lilio. Auf der Grundlage dieses Berichtes wurde die Reform schließlich von Gregor XIII. durch die Bulle „Inter gravissimas..." am 24. Februar 1582 angeordnet. Sie sah folgendes vor: Im Oktober 1582 sollten 10 Tage ausfallen – auf den 4. Oktober 1582 sollte sogleich der 15. Oktober folgen. Die Schaltungen sollten künftig anders erfolgen als bisher: In einem Zeitraum von 400 Jahren waren jetzt nur noch 97 statt bisher 100 Schaltjahre vorgesehen. Alle vollen Jahrhundertjahre, die sich nicht ganzzahlig durch 400 teilen lassen, sollten künftig nach dem Vorschlag von Lilio als Gemeinjahre betrachtet werden [G. V. S. Coyne et al, S. 137ff. u. 201ff.]. Damit entsprach die Jahreslänge allerdings immer noch nicht ganz dem tatsächlichen Wert, denn die in 400 Jahren gestrichenen drei Tage laufen in der Realität bereits in 384 Jahren auf. Doch der Fehler ist gering. In der vierhundertjährigen Periode des Gregorianischen Kalenders beträgt die mittlere Jahreslänge 365,242500 Tage. Die Differenz gegenüber der wahren Länge des Tropischen Jahres macht nur noch 0,000305 mittlere Tage aus. Dieser geringe Unterschied führt erst in 3280 Jahren zu einem Tag Abweichung.

Doch wie war man darauf gekommen in jenem Oktober 1582 gerade 10 Tage auszulassen? Das entsprach aufgerundet genau der Abdrift eines Zeitraums vom Konzil zu Nicäa bis zum Jahre 1582 (1582–325 = 1257 Jahre; Abdrift: 9,8 Tage). Die Berater Gregors waren also offensichtlich der Überzeugung, daß man auf dem Konzil zu Nicäa die Vereinheitlichung des Osterdatums auf das Frühlingsdatum des 21. März gegründet hatte.

So gab z. B. Michael Mästlin zu bedenken, ob man nicht bei der Reformierung des Kalenders lieber 14 Tage auslassen sollte, um auf die Lebens-

zeit von Christus zurückzuführen. Damit ist zugleich auch gesagt, daß der Frühlingsanfang zur Zeit von Christus nach Mästlins Meinung vier Tage später gelegen habe. Für beide Aussagen finden wir allerdings in den Quellen keine eindeutigen Belege. Über das Datum des Frühlingsanfangs zur Zeit von Julius Cäsar gibt es widersprechende Angaben. Sowohl vom 24. März als auch vom 21. März und vom 25. März ist die Rede. Wahrscheinlich wurde der Frühlingsanfang auch tatsächlich – ohne Rücksicht auf die astronomischen Fakten – zu unterschiedlichen Zeiten begangen. Auf dem Konzil zu Nicäa hat man zwar das Ziel verfolgt, das Osterfest für alle Christen auf ein einheitliches Datum zu legen, jedoch sagen die Quellen nichts darüber aus, auf welches Datum des Frühlingsanfangs man sich dort bezogen hat. Kaiser Konstantin, der die Synode zu Nicäa befohlen hatte, hat lediglich nach dem Ende des Konzils einen Brief an die Kirche in Alexandria geschickt, in dem er offensichtlich das für ihn wesentliche Ergebnis zusammenfaßt. In diesem Brief heißt es: "Da dortselbst auch über das hochheilige Osterfest eine Untersuchung angestellt wurde, ist der einstimmige Beschluß gefaßt worden, es sei gut, wenn alle dasselbe überall an einem Tage feierten; denn was könnte für uns besser, was ehrenvoller sein als daß dieses Fest, das uns die Hoffnung auf die Unsterblichkeit gegeben hat, in gleicher Ordnung und so, wie die Berechnung es offenbar verlangt, bei allen begangen werde, ohne daß ein Fehler mitunterlaufe?" [Eusebius 1913].

7. Das Problem antiker Sonnen- und Mondfinsternisse

Die Sicherheit eines zu Nicäa auf den 21.3. als Frühlingsanfang gegründeten Osterdatums können wir nun allerdings auch ohne hinreichend aussagefähige überlieferte Quellen gewinnen, indem wir auf die astronomischen Grundlagen der Chronologie zurückgreifen.

Wir erinnern uns, daß ja die mathematische Chronologie alle „astronomischen Erscheinungen" umfaßt, „von denen in historischen Quellen die Rede ist oder chronologische Einrichtungen, welche auf jene Erscheinungen aufgebaut sind" [Ginzel 1906, S. 47]. Diese lassen sich nämlich dank der Himmelsmechanik rechnerisch fixieren und gestatten dadurch die zeitliche Zuordnung der historischen Überlieferungen. Gemeint sind insbesondere so augenfällige Himmelserscheinungen wie Sonnen- oder Mondfinsternisse, die wegen ihres spektakulären Charakters meist aufgezeichnet worden sind. Dane-

ben kommen aber auch Angaben über Planetenkonstellationen, Mondphasen u. ä. infrage.

Dabei ist nun allerdings die Rechnung der einfachere Teil, besonders heute unter Einsatz schnell rechnender Computer und fertig vorliegender Programme. Viel schwieriger ist es, die mit einem astronomischen Ereignis verbundene historische Nachricht zu bewerten. In diesem Zusammenhang stellen sich nämlich stets folgende entscheidende Fragen:

- Ist der Inhalt der historischen Nachricht verbürgt?
- Ist die betreffende Inschrift richtig gelesen und zutreffend übersetzt?
- Können die zeitlichen Grenzen der berichteten Tatsachen festgestellt werden?
- Gibt es genügend sichere Anhaltspunkte für den Ort, an dem die berichtete Erscheinung beobachtet worden ist?

Schon Ginzel führt in seinem „Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie" Beispiele an, bei denen die astronomischen Hilfsmittel versagen oder darauf beschränkt bleiben, „Hinweise auf gewisse Möglichkeiten" zu geben [Ginzel 1906, S. 48ff.], z. B. weil um die in Frage kommende Zeit mehrere Finsternisse stattfanden, auf die eine vorliegende Beschreibung zutrifft. Leider handelt es sich hierbei keineswegs um Einzelfälle. Alexander Demandt hat vielmehr in einer umfangreichen Studie nachgewiesen, daß es in der Überlieferung antiker Sonnen- und Mondfinsternisse zahlreiche Verformungstendenzen gibt, so daß von den insgesamt rund 250 Nachrichten über entsprechende antike Ereignisse mehr als 80% entweder ungenau oder sogar falsch sind [Demandt 1970, S. 5]. Doch diese Ungenauigkeiten, die bis zur völligen Unbrauchbarkeit der Überlieferungen für die Zwecke der Chronologie führen können, sind nach Demandts Erkenntnis keineswegs nur zufällige, „in jedem Einzelfall besonders geartete Verformungen", sondern es zeichnen sich bevorzugte Richtungen ab, die er Verformungstendenzen nennt. Im wesentlichen hat Demandt vier solcher Tendenzen gefunden: 1. Die Steigerung von quantitativen Angaben, 2. die Typisierung beliebiger Verfinsterungen zu Eklipsen, 3. die Typisierung von Erklärungsversuchen in Vorhersagen und 4. die Synchronisierung von Finsternissen mit Ereignissen.

Was ist damit gemeint?

Die Steigerung von quantitativen Angaben bezieht sich vor allem auf die „Verwandlung von partiellen Finsternissen in totale" bis hin zur Ausschmük-

kung mit typischen Totalitätssymptomen. Aber auch die Verlängerung der Verfinsterungsdauern oder sogar die Erhöhung der Zahl von Finsternissen gehören zu dieser Verformungstendenz. Selbst das Beobachtungsgebiet wird in vielen Berichten ausgedehnt, so z. B. bei der von dem Evangelisten Lukas berichteten angeblichen Sonnenfinsternis beim Tode Christi – sie soll sich über die ganze Erde erstreckt haben. Die Vervielfältigung von Finsternissen wird teilweise bis ins Abstruse getrieben, um einem superlativen Geschichtsereignis eine himmlische Entsprechung zu verschaffen. So berichtet Thukydides, daß während des Peleponnesischen Krieges Sonnenfinsternisse viel häufiger aufgetreten seien als in früheren Zeiten und in den Exzerpta Montespessulana werden gar einem einzigen Monat neun Finsternisse zugeschrieben [Demandt 1970, S. 16].

Die Typisierung beliebiger Finsternisse in Eklipsen findet sich sowohl in der antiken wie auch in der moderneren Geschichtsliteratur. Ein typisches Beispiel ist die Verfinsterung der Sonne beim Tode Cäsars, die u. a. bei Plutarch tradiert ist, wo von einer monatelangen Eintrübung der Sonne, kühlen Temperaturen und nichtreifender Ernte gesprochen wird. Gemeint ist zweifellos eine nicht näher bezeichnete oder erklärte Eintrübung der Atmosphäre, die aber von späteren Autoren als Sonnenfinsternis bezeichnet wird. Auch die Finsternis beim Tode Christi ist offensichtlich von jener Art. Sie wird sogar von späteren Autoren als Sonnenfinsternis bei Vollmond bezeichnet, was astronomisch natürlich unmöglich den Tatsachen entsprechen kann. Man könnte viele weitere Beispiel hinzufügen.

Das geradezu klassische Beispiel für die Typisierung von Erklärungsversuchen in Vorhersagen ist die berühmte Finsternis des Jahres 585, die Thales von Milet angeblich vorhergesagt haben soll, was aber mehr als zweifelhaft ist. Vom Standpunkt der Quellenkritik ist diese Aussage zwar nach Meinung Demandts durchaus haltbar [Demandt 1970, S. 25], jedoch nicht aus der Sicht der Wissenschaftsgeschichte. Als Grundlage der Vorhersage ist nämlich nur die Kenntnis des Saros-Zyklus anzunehmen. Das ist eine Periode von 223 synodischen Monaten, nach denen der Mond wieder dieselbe Position relativ zum Knoten seiner Bahn einnimmt. Doch dieser Zyklus gestattet keine Vorhersage über den Ort des Auftretens der Finsternis, weil der Zyklus nur auf die ganze Erde bezogen gilt. Die Thales-Legende ist wohl aus der Absicht zu erklären, einen „Vater der Astronomie" zu installieren, was u. a. auch

daraus erhellt, daß er in späteren Quellen als derjenige Astronom bezeichnet wird, der in der Lage war, als erster Sonnenfinsternisse vorherzusagen. Die richtige Prognose avanciert zur Krönung einer wissenschaftlichen Erklärung, die dem Urheber der Prognose zugeschrieben wird.

Die Synchronisierung von Finsternissen mit anderen Ereignissen ist für die Chronologie besonders relevant. Denn hier finden die Verschiebungen häufig innerhalb konkreter Sachzusammenhänge statt, d. h., „sie werden zu einem auffallend großen Teil durch das Bestreben veranlaßt oder begünstigt, den Zeitabstand zu anderen Ereignissen zu verkürzen, Gleichzeitigkeiten herzustellen" [Demandt 1970, S. 33]. Auch hier ist wieder die angebliche Sonnenfinsternis beim Tode Christi zu erwähnen, die gar keine gewesen ist. Sowohl die Finsternis, wie auch das gleichzeitig berichtete Erdbeben sind nicht das Ergebnis historischer Nachforschung, sondern – reine Erfindung. Offenbar sollte damit die Geschichtlichkeit christlicher Traditionsgehalte bewiesen werden. Demandt kommt in seiner Studie zu dem Ergebnis, daß die Zahl der von solchen Verformungen betroffenen Finsternisse um ein Vielfaches höher ist als bei anderen Tendenzen. Die übersprungenen Zeitabstände zwischen Finsternis und historischem Ereignis können Jahre betragen!

All diese Feststellungen lassen erkennen, daß bei der Benutzung historischer Sonnen- oder Mondfinsternisse für chronologische Zwecke äußerste Akribie walten und jedes Ereignis hinsichtlich der Zuverlässigkeit seiner Überlieferung individuell überprüft werden muß. Die Ergebnisse solcher Überprüfungen sind dabei natürlich insofern stets aufs neue zu hinterfragen, als sich der Kenntnisstand durch die historische Forschung fortschreitend ändert.

8. Das „erfundene Mittelalter"

Von diesem Umstand profitiert nun eine These Heribert Illigs, der in seinem mittlerweile in acht Auflagen erschienenen Buch „Das erfundene Mittelalter" [Illig 2000] behauptet, rund 300 Jahre unserer Geschichte seien frei erfunden. Ursprünglich hatte Illig lediglich die These aufgestellt, daß Karl der Große niemals gelebt habe. Er wollte dies daraus schließen, daß einem reichen Vorrat an schriftlichen Überlieferungen zu Karl extrem dürftige archäologische Quellen gegenüberstehen. Dann weitete er seine These immer mehr

aus und kam schließlich zu der Auffassung, daß es in unserer Chronologie eine „geschichtslose Zeit" gäbe, die etwa zwischen 614 und 911 liege. Natürlich kann diese These nur gehalten werden, wenn es einen kardinalen Fehler in den astronomischen Grundlagen der Chronologie gibt und den sieht Illig in der Gregorianischen Kalenderreform. Damals, 1582, hätte man nicht zehn, sondern 13 Tage auslassen müssen, um den Kalender an die Zeit von Julius Cäsar anzuschließen. Dieser Einwand würde allerdings entfallen, wenn der Kalender zu Cäsars Zeiten mit einem Frühlingsanfang am 24. März gearbeitet hätte und auf dem Konzil von Nicäa der 21. März zugrunde gelegt worden wäre. Dann wäre in Nicäa – ob mit oder ohne Absicht – die inzwischen aufgelaufene Abdrift von 3 Tagen beseitigt worden und für Gregors Reform blieben tatsächlich nur noch 10 Tage übrig. Darüber schweigen sich Quellen jedoch aus bzw. sind durch zahlreiche Widersprüche geprägt.

9. Finsternisse als Gewährsereignisse

Sollte es nun – wie Illig behauptet – tatsächlich eine Phantomzeit in unserer Geschichte geben, dann dürften aber alle vor oder in dieser Zeitspanne liegenden Sonnen- oder Mondfinsternisse gar nicht stattgefunden haben [Herrmann 2000]. Davon ausgehend gab es in den vergangenen Jahren mehrere Versuche, Illig zu widerlegen und die Korrektheit unseres chronologischen Systems nachzuweisen. Entscheidend ist dabei, zweifelsfrei richtig überlieferte Finsternisse mit Ort und Datum zu finden und durch Rückrechnung zu überprüfen, ob diese Finsternisse gleichsam am angegebenen Ort und zur angegebenen Zeit im Rahmen unserer Chronologie stattgefunden haben müssen. Hauptsächlich zum Zwecke solcher Untersuchungen hatte bereits 1887 der österreichische Astronom Theodor von Oppolzer seinen „Canon der Finsternisse" herausgebracht, in dem die Elemente und Hilfsgrößen von 8000 Sonnen- und Mondfinsternissen für die Zeitspanne von 1208 v. Chr. bis zum Jahre 2161 enthalten sind [Oppolzer, 1887]. Später haben Ginzel u. a. noch spezielle Ergänzungen für andere Zeiträume und spezielle Ländergebiete veröffentlicht [vgl. Ginzel 1899].

Der Bochumer Astronom Erhard Schlosser hat 1997 mit drei Mondfinsternissen der Jahre 133, 134 und 136 n. Chr. gegen Illig argumentiert, die von Claudios Ptolemaios überliefert sind. Nach Schlossers Ansicht sind die Fin-

sternisse „tagpräzise, korrekt im Grad der Finsternis...und mit minimalen Fehlern der zeitlich nur sehr schwer einzuschätzenden Finsternismitte" überliefert [Schlosser 1997]. Schlosser fand vollständige Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung. Illig wies die Argumente mit dem Hinweis zurück, Ptolemaios sei ein Betrüger gewesen und hätte seine Beobachtungsdaten gefälscht. Er beruft sich dabei auf die Untersuchungen des US-amerikanischen Historikers R. R. Newton, aus denen hervorgeht, daß Ptolemaios in der Tat viele Beobachtungsdaten seiner Theorie angepaßt hat. [Newton 1977]. Dennoch beruft sich Schlosser völlig zu Recht auf den Mondfinsternistripel des Ptolemaios, denn innerhalb von mehr als 300 folgenden Jahren gab es keine weitere Triade von Mondfinsternissen dieser Art. Außerdem war die Mondtheorie damals völlig ungeeignet, um mit ihrer Hilfe Daten so zu fälschen, daß die Ergebnisse gerade mit unseren heutigen modernen Rückrechnungen übereinstimmen. Schlosser hat auch die Ptolemaiossche Beobachtung der zweifachen Opposition von Jupiter und Saturn am 17.5. und am 3.6.133 n. Chr. als Argument gegen die Phantomzeit herangezogen. Innerhalb überschaubarer Zeiträume hat es nämlich keine weitere derart rasche Folge von Jupiter- und Saturnoppositionen gegeben [Schlosser, S. 507].

Ich selbst habe in mehreren Studien nach geeigneten Sonnenfinsternissen gesucht, um die Phantomzeithypothese zu überprüfen. Dabei habe ich gelernt, daß etliche der als Standardereignisse der Chronologie geltenden Finsternisse keineswegs den erforderlichen Grad an Zuverlässigkeit der Überlieferung aufweisen, um sie als unanfechtbare Beweise zu benutzen. Schließlich gelang es mir aber, zwei Ereignisse zu finden, über die in den Quellen und in der Forschung bis in die jüngste Zeit hinein weitgehende Einigkeit besteht: die totalen Sonnenfinsternisse vom 19. Juli 418 n. Chr. und vom 23. Dezember 447 n. Chr. [Ginzel 1899, S. 217ff.].

Die Finsternis von 418, deren Totalitätszone von Portugal bis nach Kleinasien verlief, ist in mehreren Quellen überliefert, die alle auf dasselbe Datum führen. Dazu kommen noch mehrere als unselbständig zu betrachtende Annalen [vgl. Herrmann 2000a]. Die verschiedenen Quellen sind bis in die jüngste Vergangenheit hinein Gegenstand kritischer Untersuchungen gewesen und wurden aufgrund der sich gegenseitig bestätigenden Überlieferungen sogar für geeignet befunden als Grundlagen wissenschaftlicher Berechnungen zu dienen. Besonders wichtig ist eine nichtbyzantinische Quelle, in

der Hydatius als Beobachter auftritt, der in Aquae Flaviae lebte (heute Chaves in Portugal). Er berichtet – in Übereinstimmung mit den Rückrechnungen – daß die Finsternis fast total gewesen sei. Das Datum stimmt mit dem der anderen Quellen ebenfalls überein. Es fehlt allerdings die Uhrzeit und der Wochentag ist um einen falsch. Insgesamt läßt jedoch die Mehrfachbezeugung dieser Finsternis kaum einen Zweifel daran aufkommen, daß die historischen Berichte dem Ereignis vom 19.7.418 zuzuordnen sind.

Die totale Sonnenfinsternis von 447, deren Totalitätszone vom Ostatlantik über Portugal nach Frankreich und Deutschland verlief, ist ebenfalls in verschiedenen Quellen überliefert, am eindeutigsten bei dem schon erwähnten Hydatius [D. Shove u. A. Fletcher, S. 75f.]. Nachrechnungen zeigen, daß sein Wohnort Aquae Flaviae inmitten der Totalitätszone lag. Um die aus Rückberechnungen folgenden Daten für Datum und Uhrzeit in den Quellen zu finden, bedarf es keiner gekünstelten Interpretationen, d. h. zwischen Rückrechnung und Überlieferung bestehen keine Widersprüche.

Besonderes Gewicht für unsere Beweisführung gegen die Phantomzeit-Hypothese erhalten aber die beiden Finsternisse zusammengenommen. Beziehen wir uns auf Hydatius, so handelt es sich um die Bezeugung zweier Finsternisse am selben Ort und aus derselben Quelle. Der zeitliche Abstand der beiden Ereignisse beträgt 29,43 Jahre. Die Intervalle zwischen zwei Sonnenfinsternissen am gleichen Ort wiederholen sich aber nur mit extrem geringer Wahrscheinlichkeit. Tatsächlich habe ich für den Zeitraum von fast 1000 Jahren nach den überlieferten beiden Finsternissen niemals wieder zwei solche Ereignisse am genannten Ort in dem erwähnten Zeitabstand gefunden.

Daraus folgt, daß die Kalenderkorrektur von Gregor zutreffend war, und somit unsere Chronologie die geschichtlichen Ereignisse richtig datiert hat.

Neuerdings sind noch weitere Argumente vorgebracht worden, die dieses Ergebnis durch unabhängige Untersuchungen stützen. So weist z. B. Martin Trömel in einer äußerst gewissenhafte Studie über die Himmelsbeobachtungen in karolingischer Zeit zahlreiche Übereinstimmungen zwischen Beobachtung und Rückrechnung nach. Die Aufzeichnungen entstammen sogar unmittelbar der Lebenszeit Karls des Großen und Ludwigs des Frommen [Trömel 2002]. Auch Franz Krojer hat in zahlreichen Arbeiten Gegenargumente zusammengetragen, die geeignet sind, die Phantomzeit ins Reich der Legende zu verweisen [Franz Krojer].

Durch die These des Heribert Illig, die man m. E. nicht leichtfertig auf eine Ebene mit den Konstrukten und Deutungen etwa Erich v. Dänikens stellen sollte, haben wir durchaus etwas gelernt: Daß es sich nämlich lohnt, die Chronologie wieder einmal auf ihre Grundlagen hin zu überprüfen, wobei sich zeigt, daß keineswegs alle ihrer bisherigen Stützen auch auf astronomischem Gebiet unanfechtbar sind. Es wird aber auch deutlich, daß dadurch das Gebäude als Ganzes nicht zum Einstürzen kommt. Wenn wir auch einige Balken aus dem großen Haus der Chronologie entfernen müssen, so gerät doch damit keineswegs die Statik des Gebäudes in Gefahr, zumal wir andererseits neue Stützpfeiler einbauen können, die bisher weitgehend unbeachtet geblieben waren oder erst aufgrund der Provokation von Illig aufgespürt wurden.

Schließlich sollte nicht unerwähnt bleiben, daß unsere Chronologie nicht ausschließlich auf astronomischen Überlieferungen ruht. Chroniken, Synchronismen und Herrscherlisten sind in vielfacher Weise miteinander verzahnt und vernetzt. Diese Seite der Chronologie ist hier absichtlich ebenso beiseitegelassen worden, wie die Dendrochronologie oder die Ergebnisse der C-14-Methode.

Literatur

Coyne, G. V. S./Hoskin, M. A./Pedersen, O., (1983) Gregorian Reform of the Calendar. Proceedings of the Vatican Conference to Commemorate Its 400th Anniversary 1582–1982, Città del Vaticano 1983. Die hier zitierten Beiträge stammen von O. Pedersen (S. 17–74), U. Baldini (S. 137–169) u. A. Ziggelhaar (S. 201–239).

Demandt, A. (1970), Verformungstendenzen in der Überlieferung antiker Sonnen- und Mondfinsternisse, In: Abh. d. Geistes- und Sozialwiss. Kl. d. Akademie d. Wiss. u. d. Lit., Mainz, Nr. 7

Des Eusebius Pamphili Bischhofs von Cäsarea. Ausgewählte Schriften, I. Bd., Kempten-München 1913

Ginzel, F. K. (1899), Spezieller Kanon der Sonnen- und Mondfinsternisse für das Ländergebiet der klassischen Altertumswissenschaften in dem Zeitraum von 900 v. Chr. bis 600 n. Chr. Berlin

Ginzel, F. K. (1906), Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie, I. Bd., Leipzig

Herrmann, D. B. (2000), Die Legende vom erfundenen Mittelalter. Skeptiker 13, 180–188

Herrmann, D. B. (2000 a), Nochmals: Gab es eine Phantomzeit in unserer Geschichte? Beiträge zur Astronomiegeschichte, Bd. 3, Thun und Frankfurt am Main, S. 211–214

Ideler, L., (1825), Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie, Bd. 1, Berlin

Illig, H. (2000), Das erfundene Mittelalter, 8. A., Düsseldorf

Krojer, F., www.dbs.informatik.uni-muenchen.de/~krojer

Newton, R. R. (1977), The Crime of Claudius Ptolemy, Baltimore

Oppolzer, T. v. (1887), Canon der Finsternisse. Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe, 52. Bd. Wien

Schlosser, W. (1997), Astronomie und Chronologie. Ethik und Sozialwissenschaften 8 (4), 506f.

Seleschnikow, S. I. (1981), Wieviel Monde hat ein Jahr?, Moskau und Leipzig

Shove, D. u. Fletcher, A. (1984), Chronology of eclipses and comets AD1 to 1000, Suffolk/Dover

Trömel, M. (2002), Himmelsbeobachtung in karolingischer Zeit. Zugleich ein Beitrag zur Frage der drei erfundenen Jahrhunderte, In: NTM (Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin) im Druck

Heinz Militzer

Lagerstättensuche und -erkundung: Zufall – Aberglaube – Mystik – Wissen*

Zweifellos gehört zu den faszinierenden Erscheinungen der Erdentwicklung die Bildung, Verteilung und innere Beschaffenheit von Lagerstätten. Das sind oberflächennahe und auch in größeren Tiefen der Erdkruste vorhandene örtliche Anreicherungen von Erzen und Nichterzen, von industriell oder für andere Zwecke nutzbaren Gesteinen mit besonderen Eigenschaften, Minerale oder auch nichtmineralische Rohstoffe wie z. B. Kohle, Erdgas oder Erdöl. Auch Grundwasser bildet Lagerstätten nach eigenen Gesetzmäßigkeiten.

Die Suche nach Lagerstätten, der Wunsch solche zu besitzen und ihr Abbau waren schon in der Vor- und Frühgeschichte wesentliche Ursachen für das Vordringen des Menschen in unbekannte Gebiete. Mit dem Eindringen in die Tiefe der Erde begann die Entwicklung des unterirdischen Bergbaus.

Anfangs waren es wohl vor allem glückliche Zufallsfunde, Funde an der Erdoberfläche, die Anlaß zum planmäßigen Schürfen und späteren Bergbau gaben.

Einer der bekanntesten Zufallsfunde soll der Überlieferung nach 1168 die Grundlage des „freien Berggeschreys" im sächsischen Freiberger Revier gewesen sein. Ein Fuhrmann aus dem Harzer Bergrevier hatte bei Christiansdorf in den Spuren seines schwerbeladenen Wagens Klumpen reinen Silbererzes gefunden.

Auch im Annaberger Revier des Erzgebirges wird der Beginn des Bergbaus mit einem Zufallsfund in Verbindung gebracht. Ein Bergmann soll es gewesen sein, der 1495 am Abend des Fronleichnamfestes an einem Bach entlangging und mit einem Stock am Ufer stocherte. Er legte dabei eine Gesteinsart mit grünlicher Farbe frei, die sich bei näherem Hinschauen als ein Stück reinen Silbers entpuppte.

---

* Vortrag, gehalten am 16. September 1999 in der Klasse für Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät.

Zufallsfunde waren es auch, als 1661 beim Graben eines Kellers die später so bedeutsamen Zinnsteinimprägnationen von Aue im Erzgebirge freigelegt wurden oder als nach einem großen Waldbrand beim Ausschachten von Grundmauern für neue Häuser in der Nähe von Freiberg Silbererze zum Vorschein kamen.

Es ist verständlich, daß sich besonders im Mittelalter, als der Bergbau noch in den Händen einfacher Handwerker lag, Mystik, geheimnisvolle Prophezeiungen und Aberglaube um solche Funde rankten. Engel, Bergteufel in mancherlei Gestalt und Zwerge waren in vielen Fällen Traumbilder der Bergleute, die ihnen die Orte oder das Innere der Berge wiesen, wo reiche Erzvorkommen oder „mächtige Schätze" anzutreffen sind. Nicht selten wird das Bergglück mit Wunderzeichen wie Wundersonnen, Wundersternen, brennenden Fackeln, Kometen, Stürmen, Blitzen und Donner in Verbindung gebracht. Das gilt für die Entdeckung der Silbervorkommen am Scheibenberg, bei Joachimstal, für die Gegend von Schneeberg und Annaberg und für weitere Orte besonders im Erzgebirge. So sollen beispielsweise etwa um 1500 die Silbererzgänge bei Annaberg gefunden worden sein, nachdem ein Engel dem Bergknappen Daniel im Traum den Weg in den Wald gezeigt hatte, „wo er am Fuße des Schreckenberges eine hohe Tanne finden werde, in deren Ästen ein Nest mit goldenen Eiern sei" [1], [3].

Dem „Stein der Weisen" in der Chemie entsprach bei der Suche und Erkundung von Bodenschätzen die Wünschelrute. Sie wurzelt tief in der Gefühls-, Empfindungs- und Gedankenwelt der Antike. Immer ist mit ihrer Anwendung der Versuch verbunden, Zustände, Erscheinungen und Veränderungen in der Natur sowie im Leben der Menschen zu belegen und auf das Wirken geheimnisvoller Kräfte bzw. außerweltlicher Wesen zurückzuführen.

„Wünschen" bedeutet im Althochdeutschen soviel wie Zaubern - im Mittelalter wurde deshalb auch von der „Zauberrute" gesprochen. In der älteren Literatur begegnet man dem Begriff „Wunsch" als Bezeichnung für einen Baumzweig, der zum Aufspüren von „Erzadern", Quellen oder anderen verborgenen Dingen geeignet sein sollte. Der Glaube an die magische Kraft bestimmter Baumzweige – besonders des gabeligen Mistelzweiges (Viscum) – findet sich in der „goldenen Zauberrute" wieder; sie wird als eine der Urformen der Wünschelrute angesehen. In altdeutschen Überlieferungen wird die Bezeichnung „caduceus" gebraucht und mit „Wunciligerte" (Wünschelrute) übersetzt; auch ihr ist die Gabelastform eigen.

Bei VERGIL mußte sich ÄNEAS des „goldenen Reises" bedienen, um die Pforten der Unterwelt zu öffnen. Der Götterbote HERMES benutzte den gleichen Zweig, um die Toten in den Hades zu begleiten.

Im engen Zusammenhang damit steht der Zauberstab der Magier und der Götter sowie die Stabwahrsagung (Rhabdomantie). Schon in der Bibliothek von NINIVE wird eine Göttin als „Herrin des Stabes" ausgewiesen. Dem biblischen MOSES wird zugeschrieben, mittels eines Stabes Wasser erschlossen zu haben; HOMER und VERGIL sprechen von einem Zieselstab, der Reichtum verleiht und mit weiteren Zauberkräften versehen gewesen sein soll.

Über die nahöstliche Antike hinaus war der Mistelzweig auch in der nördlichen Sagenwelt tief verankert. In der Edda verleiht WOTAN mit einem „Wunsch" (Reif- oder Winterrute) der Natur den Winterschlaf und war auch in der Lage, Menschen in einen todesähnlichen Zustand zu versetzen oder sie auch wieder zu beleben. WOTAN wird deshalb auch als „Gottheit des Wunsches und Stabes" gepriesen.

Die Winterrute der Edda entspricht offensichtlich dem Misteltann. Sie symbolisiert die erloschene Sonnenkraft und ihre Wiederbelebung. Damit in Zusammenhang steht der z. T. auch heute noch in verschiedenen Ländern geübte Brauch, zum Julfest und zu Neujahr Häuser und Räume mit Mistelzweigen als Zeichen der baldigen Wiederkehr des Lebens zu schmücken.

Eine besondere Blüte erreichte die Anwendung der Wünschelrute im aufstrebenden Bergbau des Mittelalters, speziell in Europa. Der Mistelzweig wurde zunehmend durch gabelige Haselnußzweige für das Aufspüren von „Erzadern" – insbesondere von Silber – ersetzt. Aber auch andere Zweigarten fanden als „erzspezifische" Aufspürmittel Anwendung, so Eschenruten für Kupfer, Kiefernruten für Blei u.a.m. Die besonders häufige Anwendung der Haselruten erklärt sich daraus, daß Silber auf Grund seines Wertes zur damaligen Zeit den Reichtum von Provinzen oder Ländern bestimmte.

In der Rutengängerei des Mittelalters spielte der Glaube an das Geheimnisvolle eine tragende Rolle, obwohl die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Entstehungsgeschichte von Lagerstätten, ihre Lagerungsformen und regionale bzw. lokale Verteilung zwar noch bescheidene, aber bereits doch nicht übersehbare Fortschritte aufwiesen. Das Walten übernatürlicher Kräfte war tief im Gedankengut der Bergleute verwurzelt. So wurde z. B. die Haselrute in der Johannisnacht zeremoniell geweiht, um ihr Wirken durch das Zutun übersinnlicher Kräfte sicherzustellen.

Abb. 1
Hans Rudolph MANUEL (1525–1571): Bergmann mit Wünschelrute

Gewiß reichen auch kritische Stimmen zur Wünschelrute so weit zurück, wie ihr Gebrauch bekannt ist. Einer der ersten Kritiker war BASILIUS VALENTINUS; er beschrieb bereits um 1490 das Rutengehen.

GEORGIUS ACRICOLA (1494–1555) – Naturforscher und Arzt, Wegbereiter und Darsteller des mittelalterlichen Bergbaus und Hüttenwesens – schrieb dazu in seinem Werk „De re metallica":
„Der einfache Bergmann glaubt an die Brauchbarkeit der Wünschelrute, weil die Rutengänger manchmal Gänge durch Zufall finden. Der wahre Bergmann benutzt, da wir wollen, daß er ein frommer und ernster Mann ist, den Zauberstab nicht und da er ferner der Dinge der Natur kundig und verständig sein soll, sieht er ein, daß ihm die Wünschelrute nichts nutzen kann, sondern er beachtet die natürlichen Kennzeichen der Gänge" [2].

Zu den natürlichen Kennzeichen gehört z. B. die durch die Erfahrung bestätigte bergmännische Regel, daß in sanft ansteigenden, weit fortschreitenden Gebirgen auch reichere, auf größere Länge und Tiefe ungestörter sich

fortsetzende Lagerstätten zu erwarten seien als in schroffen, „stückeligen" Gebirgen oder daß Gänge gern unter Fluß- oder Bachbetten in Tälern deren Streichen folgen – dort also am ersten gesucht werden dürfen [3].

Auch die örtliche Beschaffenheit des Grases, der Saaten und der Bäume stehen nicht selten in Zusammenhang mit oberflächennah anstehenden Lagerstätten. Streifen auf Gras und Saaten, auf denen am Morgen kein Tau oder Reif liegt, oft auch im Winter der Schnee rasch wegschmilzt, sind häufig Zeichen anstehender Gänge.

Besondere Beachtung wurde der Färbung des Bodens beigemessen. So lassen rotgefärbte Böden auf Eisen und eisenhaltige Minerale schließen – vor allem über Gängen mit „Eisernem Hut" bzw. solchen, die im oberen Teil Schwefel- und Arsenkies führen. Gelbe und rote Letten, auch gelbroter Ton über Bruchstücken von Dolomit deuten auf das Vorkommen von Bleierzen hin. Über Kupferlagerstätten, Steinkohle, Braunkohle und graphitischen Gesteinen finden sich grüne, weniger oft blaugefärbte Böden sowie schwarze, graue oder braune örtliche Ausblühungen. Weiße Ausblühungen deuten auf Solquellen, Steinsalzablagerungen und Salpeter – weiße Auswitterungen auch auf Zinkerzgänge – hin. Schließlich sei noch auf die bekannten Zusammenhänge zwischen Kupfererzgängen und den grünen (malachitfarbenen) bzw. blauen (kupferlasurfarbenen) Ausblühungen hingewiesen [3].

Viele Bergleute wußten um diese Zusammenhänge. Naturverbunden ließen sie sich auf Grund solcher Gegebenheiten bei der Anlage von Schurflöchern, bei der Auffahrung möglicherweise vererzter Gebiete oder beim Abteufen von Schächten über Gangkreuzungen von diesen Erfahrungen leiten.

Erfahrungen und Wissen um naturgegebene Besonderheiten sind auch die Grundlage für eine erfolgreiche Suche nach unterirdischem Wasser. Schon im Altertum haben sich VITRUV (römischer Architekt und Ingenieur, 1. Jhrh. v. u. Ztr.) und PLINIUS (römischer Schriftsteller, 23–79) eingehend mit den vielfältigen Anzeichen befaßt, die auf Wasser im Untergrund schließen lassen. Das von ihnen zusammengetragene und weitergegebene Erfahrungswissen spiegelt bereits in Ansätzen das Zusammenwirken von Geologie, Bodenbeschaffenheit, Wasservorkommen und Wasserqualität wider. So kann man ihren Darstellungen entnehmen, daß das Wasser im tonhaltigen Boden weich ist, keinen besonders guten Geschmack besitzt und nur in geringen Mengen vorkommt. Im Flugsand wird weiches Wasser einzig an tiefer gelegenen Stel-

len gefunden, meist etwas schlammig und weniger wohlschmeckend. In schwerem Erdreich wird es oft nur als Bodenausschwitzung und tropfenweise ausfließend entdeckt, zeichnet sich aber durch einen besonders guten Geschmack aus.

Von vorzüglicher Qualität, aber nicht immer gleicher Ergiebigkeit, sind Wässer aus Kiesböden; vergleichbar in der Qualität, aber zuverlässiger in der Schüttung sind solche, die in festgelagerten Sandböden und rötlichen Tuffsteinen zusitzen, aus rotem Sandstein quellen starke und gesunde Wässer; am Fuße von Bergen sowie in kieselhaltigem Felsgestein sitzen oft ergiebige Quellen; ihr Wasser ist kühl und gut trinkbar.

In den alten Schriften wird auch über Zusammenhänge von Wasserführung und Flora berichtet.

Das Vorkommen zarter Binsen, von wildem Wein, Erlen, Sumpfweiden, Schilfrohr und Efeu deutet auf das Vorhandensein von Quellen oder zumindest auf feuchten Untergrund hin, da sich diese Pflanzen unter anderen Bodenverhältnissen nicht entwickeln können.

Höchst interessant sind die übermittelten Erfahrungen bei der Suche von Wasservorkommen, die nicht bis an die Erdoberfläche durchsetzen.

„Vor Sonnenaufgang lege man sich auf den Boden und lasse – das Kinn auf die Erde gesetzt und mit den Armen sich stützend – den Blick über die Gefilde schweifen. Da in solcher Lage das Antlitz unbewegt bleibt, so wird das Auge nicht mehr als erforderlich in die Höhe blicken, sondern die waagerechte Fläche der Umgebung in fester Abgrenzung überschauen. An jenen Stellen nun, wo man feuchte Dünste sich emporkräuseln und in der Luft ausbreiten sieht, soll man nach Wasser graben."

„An Orten ohne besondere Wasseranzeichen hebe man nach jeder Seite hin eine mindest fünf Fuß breite Grube aus. Gegen Sonnenuntergang stelle man in diese Grube eine vertiefte Schale aus Bronze oder Blei oder sonst eine Schüssel, die man zur Hand hat. Sie muß innen mit Öl eingerieben und umgedreht hingesetzt werden, worauf man die Oberfläche des Grabens mit Schilf oder belaubten Zweigen überdeckt und mit Erde von der Außenwelt abschließt. Öffnet man am kommenden Tage die Grube, so ist – falls sich in dem Gefäß Wassertropfen absetzten oder wenigstens ein feuchter Niederschlag sich zeigt – dies ein Anzeichen dafür, daß die Bodenschicht Wasser in sich birgt" [4].

Fast unübersehbar ist die Literatur, die sich mit den „unwissenschaftlichen Künsten" der Suche und Erkundung von Lagerstätten – insbesondere auch der Suche von Wasservorkommen – befaßt. Oft liegen ihnen geologisch und hydrogeologisch unsinnige Vorstellungen über die Existenz von „Erz- und Wasseradern" sowie die „Fühligkeit" auserwählter Naturen zugrunde, die sich vom magischen Denken nicht energisch genug befreien können und meist auch der Wünschelrute zauberische, okkulte, irreale Kräfte zuschreiben. Oft sind es naturverbundene Menschen, die durch gewisse Anzeichen auf das Vorhandensein z. B. einer Wasserführung aufmerksam werden – die ernsthaft von ihren Fähigkeiten überzeugt sind und angeblich auch auf der Grundlage von Rutenindikationen gute Dienste bei der Wassererkundung geleistet haben.

Postulierte „Erdstrahlen" unbekannter Art und Beschaffenheit, physikalisch nicht definierte „Energiebänder" oder „magnetische Erdströme" begründen in den Vorstellungen von Wünschelrutengängern oder „Fühliger" den Erfolg ihrer Bemühungen und weisen der Mutung den Weg zu Esoterik und Geomantie.

Der bis in unsere Zeit häufig noch fortwirkende Glaube an magische Kräfte und Fähigkeiten wie sie der Wünschelrutengängerei ebenso wie z. B. der Astrologie/Sterndeuterei, den Horoskopen, dem Kartenlegen oder dem Festhalten an glück- bzw. unglückbringenden Gegenständen (Amulette, Talismane) zugrunde liegen, ist Ausdruck überlieferter Restformen oben beschriebener Entwicklungsstufen. Der Drang nach mystischen Erklärungen für nicht (oder noch nicht?) deutbare Erscheinungen ist besonders evident in Zeiten gesellschaftlichen Umbruchs oder sozialer Unsicherheit großer Teile der Bevölkerung. Nicht selten werden spektakuläre Berichte über Wunderheiler, außerirdische Wesen auf der Erde u.a.m. von gewissen Medien aufgebauscht, unkritisch und unsachlich mit dem Ziel verbreitet, von den wahren Problemen der Gegenwart abzulenken und abergläubischen Spekulationen Vorschub zu leisten. Zwar versucht die Wissenschaft dem zu begegnen und erklärt – allerdings mitunter zu lasch – daß vieles unserer Erkenntnis noch nicht zugänglich ist und nicht in jedem Fall und sofort schlüssige Beweise gegen abergläubische Deutungen von Vorgängen und Erscheinungen erbracht werden können – aber der Erfolg ist mäßig. Wo es gelungen ist, Erscheinungen ihrer abergläubischen Seite zu entkleiden, fehlt nicht selten der breite Widerhall in der Gesellschaft und die Wissenschaft bleibt unter sich. Paranormale

Erlebnisse und Weissagungen werden mit Hinweis auf die Informationsfreiheit als spektakuläre „Ereignisse" vermarktet und der Verbraucher merkt nicht einmal, wie er manipuliert wird.

International hat sich vor allem PROKOP – einer der bedeutsamsten Rechtsmediziner unserer Zeit und unermüdlicher Kämpfer gegen Mystik und Aberglaube – immer wieder bemüht, die spekulativen Grundlagen der Radiästhesie offenzulegen und das „Wünschelrutenproblem" bzw. das Problem der „Fühligkeit" auf ein gedanklich, psychisch und muskulär gesteuertes Nacherregungsphänomen zu reduzieren, dessen Wirksamkeit jeder an sich selbst überprüfen kann – Als Erklärung bieten sich die grundlegenden Erkenntnisse der Ideomotorik und der "KOHNSTAMM-Effekt" an. Die Ideomotorik wurde bereits vor über 150 Jahren durch GILBERT u.a. als Ursache für das Zustandekommen von Rutenindikationen eingeführt. Heute nimmt sie den Rang einer vom Gehirn gesteuerten und physisch sich äußernden wichtigen Körperfunktion an. Ideomotorik und KOHNSTAMM-Effekt bewirken den Rutenausschlag über die Handglieder des Mutanden. Zusätzlich lösen im Gehirn des Rutengängers gespeicherte Kenntnisse über lagerstättenkundliche oder hydrogeologisch relevante Verhältnisse im Erkundungsgebiet Placebowirkungen aus, die durch Erfahrungen in der rutengängerischen Prospektion und einer selbstsuggerierten Überzeugtheit (Gläubigkeit) in die Fähigkeit der Rute verstärkt werden [5] [6] [7] [8] [13] [14].

Der Rutenausschlag ist keineswegs der Indikation eines Zeigerinstrumentes gleichzusetzen, das in der Hand beliebiger Personen oder irgendwie befestigt auf Kräfte, Felder, Partikel oder andere Einflußgrößen reagiert – etwa wie eine Magnetnadel unter dem Einfluß eines Magnetfeldes. In diesem Falle wären quantitative Zusammenhänge unter Ausschaltung des Beobachters die Folge und die untersuchten Naturerscheinungen müßten einfachen, zeitlich unveränderlichen und mathematisch formulierbaren Gesetzen folgen. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und deren Unabhängigkeit von der Person des Beobachters wären ebenso entscheidende Kriterien für die Glaubwürdigkeit wie die lokale Zuordnung von Rutenindikationen zu lagerstättenkundlich relevanten Situationen.

Obgleich die meisten Menschen „rutenfähig" sein sollen [2] [3] und die Grundsensibilität für „Erdstrahlen" sogar als allgemeine menschliche Eigenschaft beschrieben wird [4], zeigt die Praxis, daß eine „erfolgreiche" Wün-

schelrutengängerei immer mit besonders „befähigten" und „sensiblen" Personen verbunden ist. Der wissenschaftlich keineswegs gesicherte Hinweis, daß es ja auch einige Tiere gibt, die sich mit Hilfe magnetischer Felder orientieren können (Bienen, Tauben, Schildkröten, manche Schmetterlinge und Thunfische), wird immer wieder als Begründung angeführt, um die Wünschelrutenindikationen mit den Vorstellungen von Rutengängern über die Existenz, Ausbildung und Verteilung von Strahlungs-, Energie- und Kraftfeldern in Übereinstimmung zu bringen.

Versucht man eine zusammenfassende Bewertung des Wünschelrutenproblems bezüglich seiner Einordnung als ein umstrittenes Phänomen, so muß man feststellen, daß selbst in Kreisen von Akademikern – unter dem Vorwand, einen noch unbekannten Wirkungsmechanismus ergründen zu wollen – spekulativ abwartende Haltungen keineswegs überwunden sind. Nach wie vor stellt das „Rutenphänomen" ein ernsthaft diskutiertes Problem dar. Ausdruck dafür sind die bis neueren Datums immer wieder durchgeführten Testmessungen mit Rutengängern aus der ganzen Welt, um über den Nachweis verdeckter Medien (Erze, Kohle, Salze, Wasser) mögliche physikalische Ursachen des Rutenausschlages „aufzudecken".

Unter den Testmessungen der letzten Jahre zur Überprüfung der Brauchbarkeit der Wünschelrute – auch für den Nachweis von Lagerstätten, insbesondere von Grundwasserlagerstätten – sind vordergründig die „Münchener Untersuchungen" zu nennen, die von 1987 bis 1989 unter der Leitung der beiden Hochschulprofessoren BETZ und KÖNIG durchgeführt wurden und für die das Bundesministerium für Wissenschaft und Technik einen Mittelzuschuß von 400.000.– DM Steuergelder zur Verfügung stellte [10]. Versuchsanlage und Ergebnisse wurden in einem „Wünschelrutenreport" unter dem Thema: „Errichtung und Betrieb von Testanordnungen mit künstlichen variablen Feldern niedriger Energie zum Studium der Reaktion in biologischen Makrosystemen" der Öffentlichkeit vorgelegt. „Hauptzielstellung war, die mögliche Existenz ortsabhängiger Reaktionen von Testpersonen (Rutengängern) zu untersuchen, welche nichttrivialer Art sind, d. h. nicht auf bekannten Ursachen, sondern vielmehr auf bisher nicht erklärbaren Mechanismen beruhen" [11].

Bei sachlicher Bewertung aller Bemühungen, die in die „Münchener Untersuchungen" investiert wurden, fällt es schwer, Berichterstattern zu folgen, deren Aussagen Zweifel an ihrer Objektivität aufkommen lassen. So

schreibt beispielsweise BERCKHEMER: „Mit bewährten Methoden der Experimentalstatistik konnte in sorgfältig angelegten und kritisch kontrollierten Blind- und Doppelblindversuchen mit einer größeren Anzahl von Probanden nachgewiesen werden, daß es Personen gibt, die unter wechselnden Versuchsbedingungen am selben Ort statistisch hochsignifikante Trefferwahrscheinlichkeiten erzielen" [9].

Es entbehrt auch nicht einer gewissen Peinlichkeit, wenn man in den „Mitteilungen der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft" (Nr. 2/1993) zum Thema: „Ein Konzept für vergleichende Untersuchungen zur Grundwasserprospektion mit geowissenschaftlichen Methoden und Rutengängerindikationen" unter Bezugnahme auf Arbeiten der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit zur Wassererschließung in Sri Lanka, der Dominikanischen Republik, auf den Philippinen und anderswo feststellt, daß es auf Grund „eklatanter Prospektionserfolge" von Rutengängern und der eminenten volkswirtschaftlichen Bedeutung der Trinkwasserversorgung – speziell in den Trockenzonen der Dritten Welt – nicht zu verantworten sei, auf deren Einsatz zu verzichten, nur „weil das Verständnis der Rutenindikationen nach wie vor fehlt" und es „könnte projektbegleitend bei geophysikalischer Grundwasserprospektion ein Rutengänger teilnehmen und umgekehrt" [9].

Als 1990 auf dem Gelände des Hessischen Rundfunks in Kassel von der „Gesellschaft zur Wissenschaftlichen Untersuchung von Parawissenschaften" nochmals eine umfangreiche und kostspielige Testreihe zum Nachweis von fließendem Wasser und metallischer Gegenstände durchgeführt wurde, waren Probanden aus ganz Europa zusammengekommen. Es wurden mehr als 700 Einzelversuche durchgeführt – für „überzeugende Leistungen" stand ein Preisgeld von 20.000,– DM zur Verfügung, konnte aber nicht ausgezahlt werden, da auch diesmal nur Zufallstreffer erzielt wurden.

Überhaupt besteht der Eindruck, daß die Betonung „signifikanter Erfolge" der mit unwissenschaftlichen Methoden betriebenen Grundwasserprospektion ausschließlich dem Zweck dient, dem Rutenphänomen letztendlich auch einen wissenschaftlichen Anstrich zu geben. Tunlichst verschwiegen werden die weniger erfolgreichen Rutengänge, und schon gar nicht erwähnt werden die totalen Fehlschläge. – Unter Bezugnahme auf die Münchener Untersuchungen mit etwa 10.000 Einzelversuchen und dem Einsatz von nahezu 500 Wünschelrutengängern kommt ENRIGHT [11] zu dem Schluß: „*It*

is doubtful whether so much investigation and discussion have been bestowed on any other subject with such absolute lack of positive results. It is difficult to see how for practical purposes the entire matter could be more thoroughly discredited, and it should be obvious to everyone that further tests by the United States Geological Survey on this so-called „witching" for water, oil or other minerals would be a misuse of public funds".

ZUNKER, ein hervorragender Vertreter der Hydrologie an der ehemaligen TU Dresden, vertritt ergänzend dazu die Meinung, daß „künftig jede vergütete Ausübung der Rutengängerei als Betrug bestraft und der Rutengänger außerdem für die von ihm verursachten Kosten haftbar gemacht werden sollte. Das gilt insbesondere für Rutengänger, die Brunnenbohrungen veranlassen, weil dabei der wirtschaftliche Schaden besonders groß ist" [16].

Wir meinen dazu, daß es nicht nur leichtfertig, sondern geradezu unverantwortlich ist, sich bei der Suche und Erkundung von Lagerstätten spekulativer, weder durch die Wissenschaften noch durch die Vernunft belegbarer Methoden, zu bedienen. Die Kosten für Fehlschläge beim „Zusammenwirken von Geowissenschaften und Rutengängerei" – wie es BERCKHEMER gern möchte – werden mit Sicherheit den Geowissenschaften angelastet – die Rutengängerei lebt schon seit eh und je stets von einer „hohen Trefferquote", die in den meisten Fällen weder nachprüfbar und schon gar nicht reproduzierbar ist – *„es ist eben so..."*

Wenn die Rutengänger Zeit und Mittel besitzen, mögen sie sich wie seit langer Zeit auch künftig um die Aufklärung von Ursache und Wirkung bemühen – aber das sollen sie selbst tun, sie wollen aus dem Schatten der Mystik heraustreten – die Wissenschaften haben andere Aufgaben. Jedenfalls muß sich jeder, der sich vorurteilsfrei mit dem scheinbar mysteriösen Wünschelrutenphänomen auseinandersetzt, zur Kenntnis nehmen, daß es über Jahrzehnte hinweg noch keine Versuchsreihe gegeben hat, die bei objektiver Wertung der Ergebnisse auch nur einen Deut im erhofften „Erkenntnisfortschritt" erbracht hat. Vielmehr ist es immer wieder erforderlich, mystisches und okkultistisches Gehabe schonungslos aufzudecken und denjenigen, die einer Selbsttäuschung verfallen sind, klar zu machen, daß es bei der Suche und Erkundung von Rohstofflagerstätten keine Alternativen zu den geowissenschaftlichen Methoden gibt.

Von den *Geowissenschaften* (Geologie, Geochemie/Mineralogie, Geophysik) setzt die Anwendung der Geophysik eingehende Kenntnisse über Zustand und physikalische Eigenschaften der Gesamterde bzw. einzelner ihrer Teile voraus.

Das spezielle Aufgabengebiet der angewandten Geophysik ist es, durch physikalische Messungen auf der Erdoberfläche, in der Luft vom Flugzeug aus oder auf dem Wasser unter Verwendung von Schiffen sowie in Bohrungen natürlich vorhandene oder künstlich erzeugte physikalische Felder und andere Erscheinungen zu ermitteln. Vorhandensein, Ausbildung und Veränderungen dieser Felder ermöglichen Rückschlüsse auf die Existenz und Verteilung von Lagerstätten sowie auf spezifische boden- und gesteinsphysikalische Situationen.

Zunehmende Bedeutung gewinnen weltraumgestützte Erdbeobachtungen und die verbesserte Nutzung von Fernerkundungsdaten in Verbindung mit bodengestützten Untersuchungsergebnissen.

Abbildung 2 vermittelt einen schematischen Überblick über wesentliche Anwendungsbereiche und -methoden der angewandten Geophysik bei der Suche und Erkundung von Lagerstätten sowie im Ingenieur- und Bergbau und den Bereich der Umwelt.

Der *direkte Lagerstättennachweis* gehört zu den seltensten Fällen. Vielmehr müssen sich angewandt-geophysikalische Untersuchungen darauf beschränken, Modelle der fraglichen geologischen Situation zu erstellen, in welche die Ergebnisse aller anderen geo- und montanwissenschaftlichen oder ingenieurtechnischen Aussagen widerspruchsfrei eingepaßt werden können.

In methodischer Hinsicht überwiegen – vor allem bei der Prospektion auf Erdöl/Erdgas – die seismischen Verfahren. Ihre Vorrangstellung begründet sich nicht zuletzt daraus, daß mit einem Meßvorgang Informationen aus mehreren Tiefenstockwerken eingeholt werden können; dies ist mit anderen oberflächengeophysikalischen Verfahren im allgemeinen nicht möglich.

Im Weltmaßstab werden z.Zt. allein für die Erdöl-/Erdgaserkundung – und dabei in erster Linie für seismische Untersuchungen – mehr als 10 Mrd. Dollar/Jahr (ohne die ehemaligen Ostblockstaaten) ausgegeben. Dahinter verbirgt sich eine gewaltige Zuwachsrate gegenüber den 60er/80er Jahren, nachdem 1972 der Club of Rome in seinem Bericht „Die Grenzen des Wachstums" die Öffentlichkeit mit einem Weltuntergangsszenario geschreckt hatte. Die Ener-

Angewandte Geophysik

Suche und Erkundung von Lagerstätten		
Erdöl / Erdgas	**Erze / Nichterze**	**Wasser**
Seismik	Geomagnetik	Geoelektrik
Gravimetrie	Gravimetrie	Seismik
Geomagnetik	Geoelektrik	Gravimetrie
Bohrlochmessungen	Radiometrie	Geothermie
Aerogeophysik	Bohrlochmessungen	Bohrlochmessungen
	Aerogeophysik	Aerogeophysik

Angewandte Geophysik		
Ingenieurbau	**Bergbau**	**Umwelt**
Nahseismik Seismoakustik Gravimetrie Geomagnetik Radiometrie Kerngeophysik Geoelektrik Geothermie Bohrlochmessungen Aerogeophysik		

Abb. 2
Aufgabenbereiche der Angewandten Geophysik und methodische Besonderheiten

giequellen, hieß es da, würden in Kürze versiegen; das Öl reiche nur noch 40 Jahre, meinte der Club schon 1972. Zwischenzeitlich wurde aber das Öl nicht nur fortwährend in großen Mengen verbraucht, sondern es wurde auch immer wieder neues entdeckt.

In einer Dokumentation des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie wird dazu festgestellt, daß in den letzten 25 Jahren die *Reservezunahme der Energierohstoffe* besonders deutlich bei den konventionellen und nicht-konventionellen Kohlenwasserstoffen liegt. So entwickelten sich z. B. von 1993 bis 1997 die Erdölreserven von 136 Mrd. t auf 151 Mrd. t; unter der Maßgabe, daß das Gesamtpotential an konventionellem Erdöl auf ca. 350 Mrd. t geschätzt wird und einer angenommenen Förderentwicklung von 1–2%/a, wird zwischen 2010–2020 der depletion mid-point und auch die maximale Förderleistung erreicht bzw. erwartet. Die Erdgasreserven entwickelten sich im gleichen Zeitraum von 147 Bill. Nm^3 auf 153 Bill. Nm^3. Das entspricht einer Zuwachsrate von 3 Mrd. t/a an Erdöl bzw. von 1,2 Bill. Nm^3/a an Erdgas – trotz einer zwischenzeitlichen, kumulierten Förderung von fast 9 Bill.

m³. 1997 erreichte die Welterdgasförderung mit 2,32 Bill. m³ einen Höchststand; sie lag um ca. 7 % über der von 1993 und hat sich seit 1975 verdoppelt. Zugleich konnten in diesem Zeitraum die Reserven um das 2,4-fache gesteigert werden. Nach dem jetzigen Erkenntnistand reichen die nachgewiesenen Welt-Erdgasreserven – eine gleichbleibende Förderung vorausgesetzt – bis über die Mitte des nächsten Jahrhunderts hinaus [12].

Wenngleich auch die Steigerung der Reserven bei den konventionellen Kohlenwasserstoffen nicht nur auf Neufunde, sondern vielmehr auf Neubewertungen bekannter Felder und verbesserter Gewinnungsverfahren zurückzuführen ist, so verbirgt sich dennoch hinter diesen Zahlen eine intensive geophysikalische, insbesondere seismische Erkundungstätigkeit im Weltmaßstab.

Auch bei der Suche, Erkundung und Erschließung von Grundwasserlagerstätten leistet die angewandte Geophysik weltweit – in der Tendenz steigend, wenn auch regional unterschiedlich – einen beachtlichen Beitrag. Der ständig zunehmende Wasserverbrauch durch Industrie und Bevölkerung stellt auch künftig eine große Herausforderung für methodische und apparative Neu- und Weiterentwicklungen dar (vgl. Abb. 3).

Die *geophysikalische Grundwassererkundung* stützt sich vorrangig auf geoelektrische und gravimetrische Messungen, auf den Einsatz des Bodenradars sowie auf Bohrlochmessungen. Dabei geht es sowohl um den Nachweis von Grundwasser bzw. grundwasserhöffiger Horizonte, deren horizontale und vertikale Verbreitung, ihre Lagerungsstruktur und Wassersättigung, um Existenz und Verlauf des Grundwasserspiegels als auch um Angaben zu Porosität bzw. Klüftigkeit der Speichergesteine und zur Wasserqualität. Die Festlegung des Verlaufes von Süß-, Brack- und Salzwassergrenzen mittels geoelektrischer Meßverfahren ist Routine.

Methoden der Luft- und Kosmosaufnahmen haben sich als sehr effektiv für die hydrogeologische Oberflächenkartierung erwiesen. Mit Hilfe von Infrarot-Aufnahmen, der Falschfarben-Technik und der spektralen Vielkanal-Technik lassen sich aufgrund von Unterschieden in der Wärmeleitfähigkeit und im Reflexionsvermögen Phänomene und Details abbilden, die Rückschlüsse auf die Wasserführung in Oberflächennähe zulassen.

Der Einsatz *ingenieurgeophysikalischer Arbeiten* erfolgt bereits bei der Vorplanung und Projektierung, aber auch bei der späteren Überwachung des

Menge der Süßwasservorräte in 10^3 km^3

Eismassen	30.000
Flußläufe	1,25
Seen	125
Bodenfeuchte	67
Grundwasser bis 800 m Tiefe	4.200

Industrieller Wasserverbrauch

Industriezweig	Produktionseinheit	Benötigte Menge
Raffinerien	1 Liter Rohöl	18 Liter
Chemische Werke	1 kg Fertigprodukt	20 ... 150 Liter
Destillationsbetriebe	1 Liter Alkohol	100 Liter
Papierwerke	1 kg Sulfatpapier	250 Liter
Metallverarbeitung	1 kg Stahl	250 Liter
Kraftwerke	1 kWh	320 Liter

Wasserverbrauch der Bevölkerung in Liter / Einw.u.Tag

Großstadtverbrauch	USA 660	Europa 130 ... 200
Gesamtverbrauch	USA 7.000	Europa 1.000

Abb. 3
Übersicht über global vorhandene Süßwasservorräte sowie des Wasserverbrauchs durch Industrie und Bevölkerung

Systems Baugrund/Bauwerk und wird vor allem durch ökonomische Gesichtspunkte gerechtfertigt (Abb. 4).

Hauptzielstellungen dabei sind die Anzahl von Erkundungsbohrungen und -schürfen im Baugrundbereich einzuschränken, die aus Detailuntersuchungen im Labor gewonnenen Bodenkennwerte durch eine flächenhafte Kartierung physikalischer Meßgrößen durch Untersuchungen in-situ zu unterstützen sowie die Ursachen und möglichen Auswirkungen von Bauwerkschäden rechtzeitig zu erkennen.

Methodische Besonderheiten der Geophysik im Ingenieurbau ergeben sich vor allem aus den geringen Untersuchungstiefen (einige 10 m) und der gefordert hohen Auflösung bautechnisch interessierender Bodenstrukturen.

Die Vielfalt der dabei zu lösenden Probleme stellt den Geophysiker in Zusammenarbeit mit dem Bau- und Bergingenieur vor ein breites Spektrum spezieller Aufgaben. Sie reichen von der Strukturerkundung bis zur Bestimmung von Boden- und Gesteinskennwerten unter den Bedingungen natürlicher Lagerungsverhältnisse. Besonders problematische Strukturen stellen unterirdische Hohlräume natürlichen oder künstlichen Ursprungs dar. Ihre Ortung ist eine geophysikalische Spezialaufgabe, die häufig an die Grenzen des Auflösungsverfahrens der einzelnen Verfahren reicht.

Neben den traditionellen Arbeitsgebieten der angewandten Geophysik bei der Suche und Erkundung von Lagerstätten sowie im Ingenieur- und Bergbau erfordern neue Aufgaben auf dem *Umweltsektor* verstärkte Aktivitäten. Eine informative Aufgabenzusammenstellung vermittelt die folgende Übersicht.

Ingenieurgeophysik bei der Vorsorge von Großbauten

Industriebau / Verkehrsbau Tunnel- und Kavernenbau		**Wasserbau /Wasserwirtschaft oberflächennaher Bergbau**
B A U A U S F Ü H R U N G		
v o r	**w ä h r e n d**	**n a c h**
Erkundung des Baugrundes	**Prüfung des Baugrundes**	**Systemüberwachung Baugrund / Bauwerk**
gravimetrische Messungen magnetische geoelektrische seismische geothermische radiometrische	**Impulsseismische** und **dynamische** Messungen gravimetrische geoelektrische geothermische radiometrische **Druck-, Scherversuche in situ**	Messungen von **Setzungen, Neigungen, Erschütterungen** **Temperaturänderungen** geoelektrische **Tracer-** geochemische **messungen** radiometrische
Bohrlochmessungen	**Bohrlochmessungen**	**Bohrlochmessungen**

Abb. 4
*Ingenieurgeophysik bei der Errichtung von Großbauten **vor, während** und **nach** der Bauausführung*

Perspektivische Anwendungsgebiete der angewandten Geophysik im Umweltschutz zur Verminderung von Umweltrisiken

- Prognose und Nachweis von Erdbeben, Gebirgsschlägen und Tagesbrüchen
- Vorsorge bei der Errichtung von Großbauten sowie potentieller Standorte für Deponien
- Hohlraumortung
- Erkundung und Überwachung von Altlasten
- Nachweis und Kontrolle der Dichtigkeit von Dämmen und Deichen
- Abgrenzung von Grundwasserschutzgebieten sowie Nachweis über die Kontamination ober- und unterirdischer Wässer
- Nachweis und Kontrolle radioaktiver Kontamination und Deponien
- Standortbestimmung verdeckter Überreste von Bodendenkmalen (Siedlungen, Schmelzplätze, Begräbnisstätten)
- Bodenerschütterungen als Umweltproblem

Natürlich hängen Strategien und technische Lösungsansätze zur Beherrschung von Umweltproblemen jeweils davon ab, ob sie lokale, regionale oder globale Ausdehnung besitzen. Örtlich auftretende Gefährdungen, wie sie z. B. durch wilde Müllablagerungen, Siloabwässer oder den Einbruch von Hohlräumen hervorgerufen werden, lassen sich wegen ihrer begrenzten Dimension noch am leichtesten beherrschen. Ursachen und Wirkungen sind entweder bekannt oder lassen sich mit relativ einfachen Mitteln ergründen. Dann sind auch die Beseitigung schädigender Einflüsse und Maßnahmen zur Schadensbegrenzung relativ einfach zu erreichen.

Bergbauliche Tätigkeit z. B. verändert im allgemeinen die Verteilung der Bergwässer und begünstigt unter Umständen Karstbildungen. Die Folge sind Einbrüche bis an die Erdoberfläche mit Auswirkungen auch an unerwarteten Stellen. Um weitere Schadenswirkungen zu vermeiden, sind oft Maßnahmen erforderlich, wie z. B.

- örtliche Absperrungen des Schadensgebietes,
- die Verlegung von Verkehrswegen und Versorgungsleitungen,
- Bauschutzmaßnahmen,
- die seismische Überwachung möglicher weiterer Bruchvorgänge,
- Veränderungen in den Abbaumethoden,

- die Sicherung gebildeter Hohlräume durch Abstützung oder deren Ausbau.

Schwieriger sind vergleichsweise Umweltprobleme zu lösen, die auf Rück- und Wechselwirkungsprozesse zurückzuführen sind. Dazu gehören z. B. Vorgänge in und auf rekultivierten und evtl. wiederbegrünten Deponien.

Von besonderer Bedeutung sind Eingriffe durch den Menschen in den Naturraum bei der Gewinnung, dem Transport, der Umwandlung und dem Verbrauch von Energieträgern. Auch der Tagebau von Rohstoffen kann zu schwer rekultivierbaren Landschaftsveränderungen führen.

Als nationales Beispiel sei lediglich auf eine der größten ökologischen und wirtschaftlichen Herausforderungen hingewiesen, der sich das vereinigte Deutschland z.Zt. bei der Sanierung der großflächig radioaktiv kontaminierten Wismut-Altlasten in Sachsen und Thüringen gegenübersieht. Dabei geht es bei einem Mittelaufwand von insgesamt 13 Milliarden DM darum, ehemalig bergbaulich genutzte Betriebsflächen von insgesamt etwa 3 700 Hektar ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll zu sanieren und wieder nutzbar zu machen. Es müssen Gruben verwahrt und geflutet, Halden umgelagert oder abgedeckt werden, Schlammteiche trockengelegt und geomechanisch stabilisiert, Gebäudekomplexe demontiert und abgerissen werden [15]. Es liegt auf der Hand, daß die Lösung der Sanierungsaufgaben auch ein komplexes, interdisziplinär eingesetztes geowissenschaftliches Expertenwissen voraussetzt und daß dabei objektangepaßte, angewandt-geophysikalische Untersuchungs- und Kontrollverfahren eine erhebliche Rolle spielen.

Voll in der Verantwortung stehen wir jedoch bei der Minimierung der vielen künstlichen Umweltveränderungen, die oft durch Leichtsinn oder Mißachtung der Natur in der Lithosphäre z. B. durch den Rohstoffabbau, die Bodenversiegelung, Überdüngung oder industriebedingte Erschütterungen eingebracht werden, in die Hydrosphäre durch Grundwasserverschmutzung oder Übersalzung und Verunreinigung der Flüsse, Seen und Meere sowie in die Atmosphäre durch die Immission toxischer Elemente, durch Lärm, die Zerstörung der Ozonschicht bzw. Klimaveränderungen durch CO_2.

Es wäre allerdings ein wirklichkeitsfremder Standpunkt, wollte man davon ausgehen, eines Tages könnten alle Gefahren vermieden werden, die sich aus den natürlichen und künstlichen Umweltveränderungen ergeben. Immer

wieder werden vernichtende Erdbeben, verheerende Vulkanausbrüche, Sturmfluten oder Wirbelstürme das Geschehen auf unserer Erde mitbestimmen. Hinter diesen Ereignissen verbergen sich zwar keine mystischen Erscheinungen, wohl aber solche, die uns immer wieder Ehrfurcht einflößen und deren zunehmend genauere Kenntnis die Grundlage für Auswege aus vernichtenden Schadenswirkungen bildet.

Vorhersage, Vorsorge und Vermeidung geogener Risikofaktoren erfordern jahrelange, weit ausgreifende und sehr verantwortungsbewußte Vorarbeiten ganzer Gruppen von Geowissenschaftlern, Bauingenieuren und Spezialisten der verschiedensten Disziplinen.

Es bleibt der Schluß, daß es bei der Lagerstättensuche und -erkundung sowie der Bearbeitung zahlreicher Probleme des Umweltschutzes keine Alternative zu den Geowissenschaften in ihrer Gesamtheit und dem Einsatz angewandt-geophysikalischer Arbeitsmethoden im Speziellen gibt. Die Bedeutung der einzelnen geowissenschaftlichen Disziplinen, ihre Aufgabenbereiche und Zielstellungen allerdings können erheblichen wirtschaftspolitischen, zeitlichen und auch regionalen Veränderungen unterworfen sein. So ist z. B. in Deutschland die Rohstoffsituation dadurch gekennzeichnet, daß die einheimischen Lagerstätten zwar zu Ende gehen und der Abbau zunehmend unrentabel geworden ist, auf Grund der Internationalisierung der Märkte ist aber nicht mit anhaltenden Versorgungsproblemen auf dem Rohstoffsektor zu rechnen.

Dadurch sind im nationalen Rahmen Arbeiten der herkömmlichen Lagerstättengeophysik sowie auch der angewandten Geophysik für den Bergbau gegenstandslos geworden und die Suche und Erkundung von Lagerstätten –einschließlich Wasser– ist vorwiegend noch als Exportleistung von Interesse. Die Perspektive wird in erster Linie durch die Anwendung der Geophysik zur Modellierung von Prozessen im Erdinneren sowie in der Erdkruste zur Analyse der Entwicklungsgeschichte und der Bildungsbedingungen in stofflicher sowie physikalischer Hinsicht – auch mit Bezug auf die vielfältigen und noch keineswegs umfassend erkannten Probleme des Umweltschutzes – bestimmt.

Eine diesbezügliche Orientierung ist in Deutschland durch das auf 10 bis 15 Jahre konzipierte geowissenschaftliche Forschungsprogramm GEOTECHNOLOGIEN gegeben, das mit einem Mittelaufwand von ca. 500 Mill. DM gemeinsam vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) getragen wird [17].

Die Schlüsselthemen für dieses Forschungsprojekt sind (in gekürzter Fassung):

- Das Erdinnere als treibende Kraft geologischer Prozesse
- Erfassung des Systems Erde aus dem Weltraum
- Tomographie der Erdkruste
- Kontinentalränder
- Sedimentbecken
- Das gekoppelte System Erde – Leben
- Globale Klimaänderungen
- Stoffkreisläufe
- Gashydrate
- Mineraloberflächen
- Erkundung, Nutzung und Schutz des unterirdischen Raumes
- Frühwarnsysteme im Erdmanagement
- Informationssysteme im Erdmanagement.

Mit diesem Projekt wird eine erkenntnisreiche Forschungsarbeit der letzten 50 Jahre in den Geowissenschaften nahtlos fortgesetzt, von denen an erster Stelle das *Internationale Geophysikalische Jahr (IGJ)* (1957–1958) und die sich daran anschließende *Internationale Geophysikalische Kooperation (IGC)* zu nennen sind. War es anfangs das Ziel des IGJ während der Zeit eines Sonnenfleckenmaximums geophysikalische Beobachtungen über die ganze Erde nach einheitlichen Richtlinien anzustellen und auszuwerten sowie die damals noch wenig erforschten Teile der Erde, besonders die Polarregionen und die Ozeane systematisch zu untersuchen, so wurde mit dem Start des ersten künstlichen Erdsatelliten am 04.10.1957 während des IGJ auch die satellitengestützte Weltraumforschung eingeleitet.

Die sinnvolle Ergänzung dieser erstmals weltweiten Unternehmungen in den Geowissenschaften bildeten die *Internationalen Jahre der Ruhigen Sonne (JQSY)* 1964/65.

Aus der Erkenntnis, daß eine Lagerstättenerkundung ohne gründliches Studium der sich im tieferen Untergrund abspielenden Prozesse unmöglich ist, wurde 1960 das *Upper Mantle Project (UMP)* beschlossen; auch dies war der Beginn einer Reihe weiterer internationaler sowie national jeweils untersetzter Projekte zum Studium der Entwicklungsgeschichte unserer Erde, ihres Aufbaus sowie ihres Zustandes sowie der ihr eigenen Veränderungen. In

diesem Zusammenhang ist auf die Pionierleistungen der 1966 gegründeten *KAPG (Kommission der Akademien sozialistischer Länder für die multilaterale Zusammenarbeit zur Planetaren Geophysik)* und die Arbeiten im Rahmen des *Interkosmosprogramms* zur Erforschung und friedlichen Nutzung des Weltraumes hinzuweisen.

Während der Jahre 1965 bis 1975 kam das Internationale Hydrologische Dezennium hinzu. Ziel war es, komplex den Wasserhaushalt der Erde zu untersuchen, um in den einzelnen Ländern weitere Grundlagen für die Verbesserung der Versorgung von Industrie und Bevölkerung mit Brauch- und Trinkwasser zu schaffen.

Das Programm GEOTECHNOLOGIEN besitzt folglich ein durch langjährige internationale Forschungszusammenarbeit gestütztes, stabiles Fundament. Seine Ergebnisse werden nicht nur zur Klarstellung der Perspektive der Geowissenschaften in ihrer gesamten Breite beitragen, sondern durch den Erkenntnisfortschritt um zahlreiche noch nicht gelöste Probleme unserer Erde auch unser wissenschaftliches Weltbild weiter festigen und gelegentlich noch vorhandene mystische Anschauungen über unseren Lebensraum, seiner Entwicklungsgeschichte und Perspektive ad absurdum führen.

Meinem hochverehrten, langjährigen Freund, Herrn OMR Prof. Dr. med. Dr. h.c. mult. OTTO PROKOP gewidmet

Literatur

[1] Werner, D. unter Mitarbeit von E. Neubert: Bergmannssagen aus dem Sächsischen Erzgebirge. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1989

[2] Agricola, G.: De re metallica Libri 12. Band 1556, 1561, 1621, 1657

[3] Gaetschmann, M. F.: Die Auf- und Untersuchung von Lagerstätten nutzbarer Mineralien. Freiberg, Verlag von J. G. Engelhardt, 1856

[4] Klinkowstroem, C. v. und R. v. Maltzahn: Handbuch der Wünschelrute. Berlin Zillessen, 1931

[5] Prokop, O.: Medizinischer Okkultismus. Paramedizin. Stuttgart, 4. Auflage 1977

[6] Prokop, O.: Wünschelrute, Erdstrahlen, Wissenschaft. Urania-Verlag Leipzig, Jena 1957
[7] Prokop, O.: Wünschelrute, Erdstrahlen und Radiästhesie. F. Enke, Stuttgart 1985
[8] Prokop, O.: Der moderne Okkultismus. Stuttgart, New York 1987
[9] Berckhemer, H.: Ein Konzept für vergleichende Untersuchungen zur Grundwasserprospektion mit geowissenschaftlichen Methoden und Rutenindikationen. Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V., Mitteilungen Nr. 2/1993
[10] König, H. L. und Betz, H.-D.: Der Wünschelrutenreport. Eigenverlag H. L. König und H.-D. Betz, München 1989
[11] Enright, H. T.: Testing Dowsing. The failure of the Munich experiments. Sceptical Inquirer, Jan./Febr. 1999
[12] Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen – Zusammenfassung – BMWi Dokumentation Nr. 465, Sept. 1999
[13] Militzer, H.: Suche und Erkundung von Rohstofflagerstätten. Gibt es Alternativen zu geowissenschaftlichen Methoden? Macht und Ohnmacht des Aberglaubens.
[14] Militzer, H. und Prokop, O.: „Der Wünschelrutenreport" aus der Sicht von Geophysik und forensischer Medizin. Macht und Ohnmacht des Aberglaubens. Hans Binder (Hrsg.); Verlag Hohe Warte. Franz v. Bebenburg 1992
[15] Wismut – eine ökologische Herausforderung. Perspektiven durch Sanierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie – Referat Öffentlichkeitsarbeit, Januar 2000
[16] Zunker, F.: Zur Frage der Feststellung von Grundwasserströmungen und schädlichen Strahlungen mittels der Wünschelrute. Schreiben an Hessische Landesanstalt für Bodenforschung 1995
[17] Mitteilungen der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft e.V. Nr. 2/2000

Karl-Heinz Bernhardt

Goethe, die Meteorologie – und kein Ende?*

1. Einleitung

„Es ist über Shakespeare schon so viel gesagt, daß es scheinen möchte, als wäre nichts mehr zu sagen übrig, und doch ist das die Eigenschaft des Geistes, daß er den Geist ewig anregt"
– so Goethe im Jahre 1813 unter der zum geflügelten Wort mutierten Überschrift *„Shakespeare und kein Ende!"* (WA I/41.1, S. 52)[1]. Analoges ließe sich angesichts der Literaturflut über Goethe als Naturwissenschaftler formulieren, zu der neben vielen anderen Helmholtz und du Bois-Reymond, Carus und Virchow, Ostwald, Born und Heisenberg beigetragen haben, um nur einige Namen aus dem Mitgliederbestand der Preußischen bzw. der nachmaligen Deutschen Akademie der Wissenschaften zu nennen (Literatur zur Thematik Goethe und die Naturwissenschaften u.a. bei Kanaev 1970, Voigt und Sucker 1979, Krätz 1998 sowie bei Grau 2001 zur Goetherezeption im Jubiläumsjahr 1932 in der UdSSR).

Auch Goethes Beziehungen zur Meteorologie wurden ausführlich diskutiert (Wasielewski 1910, Schulze 1957, Nisbet 1997), nicht zuletzt von prominenten Fachvertretern (Börnstein 1907, Ficker 1932, Weickmann 1944, Schneider-Carius 1950a, b, 1959, Schönwiese 1999). Der Meteorologie als Naturwissenschaft widmete sich Goethe explizit – im wesentlichen jenseits des 65. Lebensjahres – mit Schriften zur Howardschen Wolkenklassifikation, seinem posthum veröffentlichten *„Versuch einer Witterungslehre"*, aber auch mit Wolkentagebüchern sowie mit der Einrichtung und Betreuung eines meteorologischen Beobachtungsnetzes im Großherzogtum Sachsen-Weimar-Eisenach.

---

* Vortrag, gehalten am 17. Juni 2000 vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät .

Akzeptieren wir die These (126) von Dietze, 1981, vom unzertrennlichen künstlerischen u n d wissenschaftlichen Schöpfertum Goethes (dazu insbesondere auch Vernadskij 1946), die ihre Entsprechung in dessen Äußerungen über das Verhältnis von Wissenschaft und Poesie (WA II/6, S. 139f.) bis hin zur teilweise grotesken Überbewertung seiner Farbenlehre gegenüber dem dichterischen Werk finden (z.B. Eckermann, 19. Febr. 1829), so haben wir auch das Verhältnis Goethes zur Meteorologie in einem weiteren Rahmen zu fassen: Dieser umspannt neben den obengenannten Abhandlungen und Aktivitäten unmittelbar meteorologischen Charakters einschließlich ihres naturphilosophischen und erkenntnistheoretischen Gehaltes auch die zahlreichen meteorologischen Bezüge in Goethes Lyrik und künstlerischer Prosa sowie die Widerspiegelung von Wetterereignissen und Witterungserscheinungen in Autobiographie, Tagebüchern und Briefen.

Im Sinne dieses so umrissenen Anspruches müssen die folgenden Ausführungen fragmentarisch bleiben; sie sollen zu weiterer Diskussion anregen, wobei sich ein Ende schon auf Grund der erdrückenden Materialfülle des Faktischen nicht absehen läßt. Hinzu kommt, daß, um mit Goethe zu sprechen, *„die Weltgeschichte von Zeit zu Zeit umgeschrieben werden"* muß – natürlich nicht einem aus Umbruchperioden aller Epochen wohlbekannten prinzipienlosen Wende-Opportunismus zuliebe, sondern als Konsequenz aus der Offenheit des Geschichtsprozesses selbst, *„weil neue Ansichten gegeben werden, weil der Genosse einer fortschreitenden Zeit auf Standpuncte geführt wird, von welchen sich das Vergangene auf eine neue Weise überschauen und beurtheilen läßt"* (WA II/3, S. 239).

2. Wolkengestalt und Schichtenbau der Atmosphäre

„Ew. Königliche Hoheit hatten, es sind nun gerade zehn Jahre, mich in die Region der Meteorologie beordert", beginnt Goethe am ersten Weihnachtsfeiertag des Jahres 1825 einen Brief an seinen großherzoglichen Landesherren, um sodann fortzufahren: *„Die erste Aufgabe waren die Howardischen Wolkenformen, die ich zu lösen nicht unglücklich schien,....Das Verhältniß der Barometerstände zu diesen Erscheinungen sollte nach und nach gefunden werden, so wie die Congruenz des Barometerstands über große Weltbreiten gegenwärtig eine wichtige Beschäftigung ist"* (WA IV/40, S. 191f.). Nimmt

man noch die nachfolgenden Bemerkungen zur Finanzierung der jährlichen „Hefte" hinzu – gemeint ist ein meteorologisches Jahrbuch, das für die Jahre 1822 bis 1827 erschien (vgl. Abschnitt 4) –, so findet man die Schwerpunkte der Tätigkeit Goethes auf dem Wissenschaftsgebiet Meteorologie von ihm selbst umrissen vor.

Die Beschäftigung mit der Howardschen Wolkenklassifikation, mit der Goethe zuerst im Dezember 1815 über eine deutschsprachige Darstellung in Gilberts Annalen der Physik (Bd. 51, N.F. 21, St. 9, 1815, 1–48) bekannt wurde, läßt sich an Hand von Tagebuchaufzeichnungen, Briefstellen und Bemerkungen in den Tages- und Jahresheften unschwer verfolgen (WA III/5, S. 195; III/6, S. 146–152; III/8, S. 32, 34ff.; WA IV/27, S. 19f., 231, 311, 320ff.; IV/28, S. 324, 333, 349; IV/33, S. 154f., 256, 258; IV/34, S. 366; WA I/36, S. 100, 111, 154).

„Da Ihre Beobachtungen vom E l e m e n t, die meinigen von der G e s t a l t ausgehen, so können wir nicht genug eilen, uns in der Mitte zu begegnen" (WA IV/10, S. 271) – mit diesen Worten hatte Goethe im Jahre 1795 gegenüber Alexander von Humboldt sein Vorgehen in den Naturwissenschaften charakterisiert. So nimmt es nicht wunder, daß sich der Dichter von der „Howardischen Wolkenbestimmung" aufs lebhafteste angezogen sah, bekannte er doch im Kontext eines Briefes an Howard, wie sehr ihm *„die Formung des Formlosen, ein gesetzlicher Gestalten-Wechsel des Unbegränzten ... erwünscht"* sein mußte (WA II/12, S. 43; LA I/9, S. 264).

Mit der Wolkenklassifikation des Apothekers, Chemikers und Meteorologie-Autodidakten Luke Howard (1772–1864) aus dem Jahre 1803, die wissenschaftshistorisch in der Entwicklungslinie der ebenfalls auf morphologischen Prinzipien beruhenden Klassifikationen im „Systema naturae" Carl von Linnés (1735) sowie der Mineralien durch Abraham Gottlob Werner („Von den äußerlichen Kennzeichen der Foßilien", 1774)[2] zu sehen ist und die annähernd zeitgleich mit der weitgehend unbekannt gebliebenen Wolkenklassifikation Jean-Baptiste Lamarcks (vgl. Schneider-Carius, 1955, S. 131–135, 360) erschien, wurde die bis heute international einheitlich praktizierte Einteilung der Wolken in die Grundformen Cirrus, Cumulus und Stratus („simple modifications" bei Howard, 1803), eingeführt, denen Howard die Zwischenformen („intermediate modifications") Cirro-cumulus und Cirro-stratus sowie die zusammengesetzten Formen („compound modifications") Cumulo-stratus und

„Cumulo-cirro-stratus vel Nimbus" hinzufügte. (Die derzeitige internationale Wolkenklassifikation unterschei-det in enger Anlehnung an die Howardsche Terminologie 10 Wolkengattungen mit zahlreichen Arten, Unterarten, Sonderformen und Begleitwolken.)

Goethe nun griff die Howardsche Klassifikation in seiner Schrift „*Wolkengestalt nach Howard*" enthusiastisch auf und veröffentlichte diese im Jahre 1820 zusammen mit einem im April/Mai des gleichen Jahres auf der Reise nach Karlsbad geführten „Wolkendiarium" samt ergänzenden Nachbemerkungen sowie den zu „*Howards Ehrengedächtniß*" verfaßten Lehrgedichten (s. Anhang der vorliegenden Arbeit) im Heft 3 des ersten Bandes „Zur Naturwissenschaft überhaupt" (WA II/12, S. 5–41; LA I/8, S. 73–93).[3] In späteren Heften ließ er 1822 noch eine weitere Würdigung des Howardschen Werkes, eine erweiterte Version des „Ehrengedächtnisses" einschließlich englischer Übersetzung sowie 1823 einen von Howard empfangenen Brief autobiographischen Inhalts folgen (WA II/12, S. 42–58; LA I/8, S. 233–240, 287–295).

Wenn er hoffte, daß

> *...der Mahler, der Poet*
> Mit H o w a r d s Sondrung wohl vertraut,
> Des Morgens früh, am Abend spät,
> *Die Atmosphäre prüfend schaut,*

so sei hier in bezug auf die Malerei wenigstens darauf verwiesen, daß sich etwa seit Mitte des 15. Jahrhunderts bei den Meistern der Renaissance detailgenaue Wolkendarstellungen finden, die mühelos den Howardschen „modifications" bzw. den heute gebräuchlichen Wolkengattungen, -arten und -unterarten zugeordnet werden können. Goethes Zeitgenosse Carl Gustav Carus andererseits bezog sich im sechsten seiner Briefe über Landschaftsmalerei ausdrücklich auf Goethes Rezeption der Howardschen Wolkenklassifikation; das Gedicht auf Howard habe ihm, Carus, „*recht lebhaft die Idee einer zweiten, auf höhere Erkenntnis gegründeten Kunstschönheit*" vorgeführt (zum Themenkreis Wolken/Malerei vgl. z.B. Gedzelman 1989, 1992 und den Sammelband von Wehry und Ossing 1997).

Goethe freilich begnügte sich keineswegs mit einer bloßen Rezeption der Howardschen Terminologie, die er nicht nur in einer Beobachtungsinstruktion (vgl. Abschnitt 4 des vorliegenden Aufsatzes) als verbindlich vorschrieb, sondern auch selbst bis ans Lebensende in Briefen und Tagebuchnotizen, wenn

auch zumeist mit Beschränkung auf die Grundformen der Wolkenklassifikation, verwendete, denen er übrigens noch eine weitere, „Paries" – die Wand – zur Kennzeichnung der in Horizontnähe kulissenhaft zusammengeschoben erscheinenden Wolkenmassen hinzufügte, ohne daß sich diese Bezeichnung eingebürgert hätte.[4]

Dagegen änderte Goethe nicht nur Howards Terminus „Cumulo-stratus" in „Strato-cumulus" ab, sondern definierte den Stratocumulus in Wort und Bild – man vergleiche seine in LA I/8 bzw. I/11 als Tafel III bzw. IV wiedergegebenen Wolkenzeichnungen! – durchaus im heutigen Sinne, während der Cumulo-stratus von Howard und, daran anschließend, in den Lehrbüchern von Brandes, 1820 (S. 288f.) und Kämtz 1831 (S. 379) noch als „gethürmte Haufenwolke", etwa dem Cumulus congestus oder Cumulonimbus calvus bis capillatus heutiger Terminologie entsprechend, geführt worden war.[5]

Sodann sah er sich bei seiner „alten Art" genötigt, *„alle Naturphänomene in einer gewissen Folge der Entwickelung zu betrachten und die Übergänge vor- und rückwärts aufmerksam zu begleiten"* (WA II/12, S. 12; LA I/8, S. 74) – demzufolge nehmen sowohl bei der systematischen Beschreibung der einzelnen Wolkenformen als auch namentlich bei den packenden Schilderungen des Wetterablaufs in Reisenotizen und Briefen die Entwicklung der Wolkenszene, die gegenseitige Verwandlung der Wolkenbildungen breiten Raum ein, wobei besonders das Konzept des Konfliktes der austrocknenden oberen mit der anfeuchtenden unteren Region als Erklärungsmuster bemüht wird. Daher sind sowohl die Wolkenformen in der „Wolkengestalt", als auch die Wolkengedichte im „Ehrengedächtnis" in der Reihenfolge des postulierten Aufsteigens (analog zur „Steigerung" im Sinne der Goetheschen Philosophie) – Stratus, Cumulus, Cirrus (*„Doch immer höher steigt der edle Drang!"*) – und nachfolgenden Herabstürzens – Nimbus – angeordnet (*„Die Rede geht herab; denn sie beschreibt;/Der Geist will aufwärts, wo er ewig bleibt"*). Oder komprimiert zusammengefaßt im Anschluß an die spätere Fassung des „Ehrengedächtnisses":

Wie Streife steigt, sich ballt, zerflattert, fällt
Erinnre dankbar deiner sich die Welt.

Hatte bereits Howard auf die unterschiedliche Höhenlage der Grundformen Stratus, Cumulus und Cirrus verwiesen, so nahm Goethe in den Erläuterun-

gen zu dem erwähnten Wolkentagebuch an, *„es gebe drei Luft-Regionen, die obere, mittlere und untere, welcher man die vierte, die unterste, noch hinzufügen kann."* (WA II/12, S. 34; LA I/8, S. 89).

Und im „Versuch einer Witterungslehre" heißt es: *„Der aufmerksame Beobachter der Witterungsbegebenheiten wird von vielen Seiten her auf den Gedanken getrieben: ... es seien eben in diesem atmosphärischen Raume gewisse geheime, concentrische Kreise abgeschlossen, die sich, als besonders geeigenschaftet, gelegentlich manifestiren.... Dergleichen atmosphärische Kreise lassen sich auch aus der Wolkengestaltung vermuthen; sehr selten wird ein Cumulus bei uns an seinem untern Rande geballt oder in einiger Auszackung gebildet erscheinen, vielmehr legt er sich gewöhnlich flach und ruht mit einer stratusähnlichen Basis gleichsam auf einem fremdartigen schwereren Elemente, das ihn zu einer horizontalen Gestaltung nöthigt; so wie umgekehrt in einer gewissen Höhe, etwa zwei tausend Fuß über der Meeresfläche, der Cumulus unten wie oben ausgezackt ist,... Wie dem auch sei, so geht daraus hervor: daß die verschiedenen atmosphärischen Etagen auf Wasserbildung und Verneinung, auf Wolkengestaltung, auf das Niedergehen derselben als Regen oder ihre Auflösung zu Schäfchen einen verschiedenen Bezug haben."* (WA II/12, S. 85–88; LA I/11, S. 250ff.).

Wir haben diese Textpassagen so ausführlich wiedergegeben, weil sie Goethes wohl bedeutendsten, wenn auch unbeachtet gebliebenen ideengeschichtlichen Beitrag zur Meteorologie belegen – eine auf Naturbeobachtung gegründete Vorstellung vom Schichtenbau der Atmosphäre.

Zwar zählen Ideen über einen Schichtenbau der Atmosphäre zu den ältesten meteorologischen Vorstellungen überhaupt, waren aber beispielsweise in der „Meteorologie" des Aristoteles und in den daran anknüpfenden Schriften des arabischen und europäischen Mittelalters im wesentlichen spekulativ begründet (zur Diskussion vgl. Bernhardt 1997a, b). Dagegen erkennt man in Goethes unterer, durch Neigung zur Stratusbildung ausgezeichneter Region aus heutiger Sicht unschwer den Prototyp der stabil geschichteten atmosphärischen Grundschicht – *„da nun...die horizontalgelagerten Wolken eine nächste Beziehung auf die Erde haben, so läßt sich bemerken, daß sie diese Form nur bis auf eine gewisse atmosphärische Höhe behalten"*, die er *„zu nicht über 1200 Toisen"* vermutet (WA II/12, S. 8; LA I/11, S. 194), was kein schlechter Schätzwert ist (1 Toise entspricht etwa 1,95 m), wenn man bedenkt,

daß dem Autor vermutlich keine gemessenen Wolkenhöhen, sondern nur seine Beobachtungen im Gebirge als grobe Anhaltspunkte zur Verfügung gestanden haben dürften.[6]

Gleiches gilt für seine Höhenangabe des „unten wie oben ausgezackten" Cumulus, des Cumulus fractus der heutigen Wolkenklassifikation, der das turbulente Strömungsregime im unteren Teil der Grundschicht – vielleicht der vierten, untersten Region im Sinne Goethes? – widerspiegelt und der erstmals im Jahre 1863 als „fracto-cumulus" von Poëy in die Fachliteratur eingeführt wurde (vgl. Clayton 1896).

Die mittlere Region, die des Cumulus, läßt sich zwanglos als Wolkenraum der konvektiven Grundschicht interpretieren, die obere Region als hohe Troposphäre, die außerhalb der hochreichenden Cumulonimbus- und Nimbostratusmassive in der Tat wasserdampfarm, also „trocken", nicht aber „austrocknend" ist, worunter Goethe verstand, daß die Atmosphäre *„das Wässerige zertheilt in sich enthalte, oder daß sie solches verändert, in seine Elemente getrennt in sich aufnehme."* (WA II/12, S. 34; LA I/8, S. 89f.). Derartige spekulative und aus heutiger Sicht unphysikalische Betrachtungen waren allerdings in jener Zeit nicht ungewöhnlich – diskutierte doch beispielsweise auch der Professor der Mathematik (und später der Physik) Heinrich Wilhelm Brandes (1777–1834), einer der Wegbereiter der synoptischen Meteorologie, auf dessen „Beiträge zur Witterungskunde" (1820) Goethe ausdrücklich verwies (WA II/12, S. 13; LA I/8, S. 75), auch „Zersetzungen der Luft" als Ursache niedrigen Barometerstandes (Brandes 1820, S. 374).

Aufschlußreich fällt ein Vergleich der Goetheschen „Luftregionen" mit den Ergebnissen der Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten am Ende des 19. Jahrhunderts (z.B. Bernhardt 1998a, 2000) aus, deren spiritus rector, Richard Assmann, 1902 das Studium der atmosphärischen Schichtung als „eine Aufgabe von der aller weittragendsten Bedeutung" besonders hervorhob. Wenn Berson und Süring (in Assmann, Berson 1900, Bd. 3, S. 66, 139–157) in Auswertung der subtilen Messungen und Augenbeobachtungen an Bord der Freiballone eine häufig dunst- oder nebelerfüllte „untere Störungsschicht" von mehreren hundert Metern bis zu einem Kilometer Mächtigkeit definierten, so ist deren Verwandtschaft mit der „wasserbejahenden" unteren Luftregion Goethes offensichtlich, während die „Condensationszone" mit vorherrschend vertikaler Luftbewegung und Quellwolkenbildung der mittleren Luftregion

– nach Goethe der Region des Cumulus – entspricht, die obere Zone vertikaler Luftbewegung nach Berson und Süring schließlich, die sich außerhalb der Tiefdruckgebiete in der Regel durch große Lufttrockenheit auszeichnet, der „wasserverneinenden" oberen Luftregion.

Abb. 1 soll die Kompatibilität der Goetheschen Vorstellungen vom Schichtenbau der Atmosphäre mit Ergebnissen der wissenschaftlichen Luftfahrten und Aussagen der modernen Theorie der atmosphärischen Grenzschicht in qualitativer Hinsicht verdeutlichen.

Natürlich blieben Goethe die physikalischen Hintergründe der von ihm allein aus Wahrnehmung hauptsächlich der Wolkengestalt und -entwicklung erschlossenen atmosphärischen Schichtung verborgen. Auch fehlte es zu seiner Zeit an umfangreicheren Meßdaten und Höhenbestimmungen aus der freien Atmosphäre; trotzdem hat Goethe zumindest für sich selbst eine quantitative Stockwerkgliederung der Hauptwolkenformen entworfen: Nachdem er im Anschluß an eine Mitteilung der Ideen A. v. Humboldts „zu einer Geographie der Pflanzen, nebst einem Naturgemälde der Tropenländer" im Jahre 1807 eine bildliche Darstellung angefertigt hatte (WA IV/19, S. 296ff.), die 1813 in Bertuchs „Allgemeinen Geographischen Ephemeriden", Bd. 41, veröffentlicht wurde (WA IV/23, S. 308ff.; LA I/11, S. 159ff. und Tafel II), fügte er später einem Exemplar dieser Veröffentlichung Wolkenformen in einer Höhenlage bis zu 1200 Toisen für den Stratus, von 1200–2200 Toisen für den Cumulus und 2200–3500 Toisen für den Cirrus bei, während ein „abregnender Nimbus" in einer Schicht von 450 bis zu 1000 Toisen Höhe plaziert wurde (WA II/12, S. 238ff., nur verbale Beschreibung).

Hervorhebung verdient schließlich der durchaus dynamische Charakter des Goetheschen Schemas zum Schichtenbau der Atmosphäre: So könne *„die Disposition der obersten Luft alle Feuchtigkeit in sich vollkommen aufzunehmen, auch bis zur Erde herunter"* steigen, was, von Goethe mit hohem Barometerstand verknüpft, eine nicht unzutreffende Beschreibung einer dynamischen („warmen") Antizyklone darstellt, in der freilich die trockene Luft selbst und nicht ihre „Disposition" zur Feuchteaufnahme bis in die untere Region absinkt. Auch Stratus und Cumulus wechselten ihre Höhe, *„der Jahrszeit, der Polhöhe und der Bergeshöhe gemäß"*, womit tatsächlich wesentliche Einflußfaktoren für die Variabilität der atmosphärischen Schichtung aufgeführt sind, ohne daß der Hinweis fehlt, *„im Ganzen bleiben aber diese Wolkengestalten*

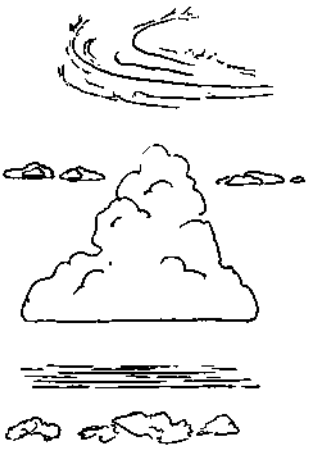

Abb. 1
Schichtenbau der Atmosphäre bis zur Cirrus-Region nach Vorstellungen Goethes, Ergebnissen der Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten und Erkenntnissen der modernen Theorie der atmosphärischen Grenzschicht.

immer stufenweise über einander, wie man gar wohl sehen kann, wenn sich alle vier Erscheinungen dem Beobachter auf einmal darbieten." (WA II/12, S. 36, vgl. auch S. 118f.; LA I/8, S. 90f.).

3. Luftdruck und Witterungsgeschehen

Im weiteren nun verknüpfte Goethe im Bestreben, die Entwicklung der Wolkengestalt mit dem Luftdruckverlauf zu „parallelisieren" (WA I/36, S. 111; vgl. auch WA II/12, S. 61f., LA I/8, S. 322f.), die „Herrschaft" der durch die Wolkenstockwerke gekennzeichneten drei Luftregionen eben so wie die Tendenzen der „Wasserbildung" und „Verneinung" mit niedrigem bzw. hohem Barometerstand, der mit West- und Süd- bzw. mit Ost- und Nordwind vergesellschaftet sei (WA II/12, S. 34, 38, 65, 91 bzw. LA I/8 S. 90, 92, 325, LA I/11, S. 254f. u. a.). In seinen Ausführungen über die Ursache der Barometerschwankungen (WA II/12, S. 59–73; LA I/8, S. 321–330), die im ersten Heft des zweiten Bandes „*Zur Naturwissenschaft überhaupt*" erschienen, und spä-

ter im „*Versuch einer Witterungslehre*" führte Goethe die Luftdruckschwankungen auf Schwankungen der Schwerkraft zurück, verglich sie mit einem Aus- und Einatmen des lebendigen Erdkörpers (WA II/12, S. 80, 100ff.; LA I/11, S. 248, 260–263; vgl. auch Eckermann, 11. April 1827) – und irrte damit in so flagranter Weise, daß mit dieser abstrusen Hypothese zugleich die gesamte, an scharfsichtigen Einzelbeobachtungen und fruchtbaren Fragestellungen reiche „Witterungslehre" der einhelligen pauschalen Ablehnung seitens der Naturwissenschaftler verfiel.

Dabei war Goethes Ausgangspunkt für die Suche nach dem „Grundphänomen" des Witterungsgeschehens so abwegig nicht: Seine Feststellung, „*daß alles was ist oder erscheint, dauert oder vorübergeht, nicht ganz isolirt, nicht ganz nackt gedacht werden dürfe; eines wird immer noch von einem anderen durchdrungen, begleitet, umkleidet, umhüllt; es verursacht und leidet Einwirkungen, und wenn so viele Wesen durch einander arbeiten, wo soll am Ende die Einsicht, die Entscheidung herkommen, was das Herrschende, was das Dienende sei, was voranzugehen bestimmt, was zu folgen genöthigt werde?*" (WA II/12, S. 76; LA I/11, S. 245), liest sich wie die verbale Beschreibung eines komplexen dynamischen Systems, in dem die von Engels fünf Jahrzehnte später postulierte Auflösung der Kausalität in der universellen Wechselwirkung, „*wo Ursachen und Wirkungen fortwährend ihre Stellung wechseln*" (MEW 20, S. 21f., 499), modellhaft zutage tritt.

Auch daß Goethe bei seinem Vorhaben, „*irgendwo den Mittelpunct hinzusetzen und alsdann zu sehen und zu suchen, wie er das Übrige peripherisch behandle*", auf den „*Barometerstand als Hauptphänomen, als Grund aller Wetterbetrachtungen* „ verfiel (WA II/12, S. 76f.; LA I/11, S. 245f.), entsprach noch durchaus dem Entwicklungsweg der Meteorologie vom 17. bis ins 19. Jahrhundert – erinnert sei nur an die mannigfachen Versuche zur Wettervorhersage aus lokalen Luftdruckbeobachtungen, etwa bei Guericke (Schimank 1961; vgl. auch Moewes 1961, Krafft 1996), die bald nach der Erfindung des Barometers einsetzten, an die ausführliche Diskussion der Zusammenhänge zwischen lokalen Luftdruck-, Temperatur- und Windänderungen in der zeitgenössischen Lehrbuchliteratur von Lampadius 1806, Brandes 1820, Kämtz 1832 und selbst noch bei Dove 1873 (vgl. auch Schneider-Carius 1955, S. 188–204). Endlich wurde auch die Vorausbestimmung des Wetters nach der synoptischen Methode bis zum Ende des 19. Jahrhunderts auf die Vorherbe-

stimmung der Luftdruckverteilung zurückgeführt (z.B. Mohn 1883, Abschnitt 407), die schließlich ihrerseits zum Gegenstand der ersten Versuche einer Vorausberechnung synoptischer Wetterkarten durch Exner, 1908 avancierte.

Mit der Rolle, die er dem Barometerstand in seiner Witterungslehre zuwies, sprengte Goethe den Rahmen der Beschränkung auf das ohne Zuhilfenahme von *„Instrumenten, Berechnungen und Mechanik"*, unmittelbar durch die Sinne Wahrnehmbare (Eckermann, 1. Febr. 1827), die sich für seine naturwissenschaftlichen Studien an anderer Stelle so nachteilig ausgewirkt hatte. Mit der Einbeziehung des Wasserkreislaufs, des Wandels der Himmelsbedeckung und der Ver-wandlung der Wolkenformen ineinander beschrieb er den Witterungsverlauf umfassender, als in der Fachliteratur seiner Zeit verbreitet üblich, und mit dem Hinweis auf den modifizierenden Einfluß der Jahreszeiten auf die *„Verdunstung des Meeres und der Erdoberfläche"*, wobei die untere Atmosphäre *„in verschiedenem Verhältniß zu den verschiedenen Jahreszeiten"* stehe (WA II/12, S. 92f.; LA I/11, S. 255f.), werden implizit der Wasserdampf- und Energieaustausch zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre sowie die besondere Rolle der unteren Atmosphäre in diesem Wechselwirkungsprozeß ins Spiel gebracht; auch der Tagesgang der cumuliformen Bewölkung findet in diesem Zusammenhang Erwähnung.

Bemerkenswert erscheint Goethes Wahrnehmung eines zentralen Problems der atmosphärischen Statik, nämlich des Zusammenhanges von Luftdruck und Luftdichte (bzw. -temperatur), da man doch *„denken sollte, daß eine verdünnte Luftsäule weniger lasten sollte als eine verdichtete; man müßte sich denn die eine sehr viel höher und die andere sehr viel niedriger denken"* (WA II/12, S. 82; LA I/11, S. 249), womit die Frage nach der vertikalen Struktur der Gebiete hohen und niedrigen Luftdruckes an der Erdoberfläche aufgeworfen war, die unter Verwendung von Meßdaten der Bergstationen und der wissenschaftlichen Ballonfahrten im Laufe des 19. Jahrhunderts der Lösung näher gebracht (z.B. Kutzbach, 1979) und endgültig erst mit der Entdeckung des troposphärisch-stratosphärischen Kompensationsprinzips in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts geklärt werden konnte.

Wenn nun aber Goethe zur Erklärung der Luftdruckschwankungen auf eine von ihm über drei Jahrzehnte vorher selbst als „Grille" apostrophierte Vorstellung zurückgriff, nämlich *„einer veränderlichen pulsirenden Schwerkraft der Erde die atmosphärischen Erscheinungen in gewissem Sinne zuzuschrei-*

ben" (WA II/12, S. 109; LA I/11, S. 267)[7], so involviert diese Vorgehensweise einen elementaren Denkfehler, der unabhängig von allen zusätzlichen, schon auf der Grundlage der Physik seiner Zeit notwendig resultierenden Einwänden, jede weitere Diskussion überflüssig macht: Da Schwankungen der Schwerkraft, wenn es sie denn gäbe, das Gewicht einer atmosphärischen Luftsäule am Beobachtungsort in gleicher Weise wie das Gewicht der Quecksilbersäule im Barometer beeinflussen würden, könnten sie keinerlei Änderungen des am Quecksilberbarometer abgelesenen Luftdruckes hervorrufen!

Mag der Ursprung der Goetheschen Vorstellung von der „pulsierenden Schwerkraft", wie sie erstmals während der italienischen Reise auf dem Brennerpaß zu Papier gebracht wurde (WA I/30, S. 18–21; Albrecht, Döhler 1998, S. 176ff.), als Ausfluß spekulativer ganzheitlicher Naturauffassung noch nachvollziehbar sein, die dem scheinbar ruhenden, erstarrten Gebirge eine *„innere, stille, geheime Wirkung"* auf die so unendlich variable und rasch veränderliche Gebirgsatmosphäre glaubte zuschreiben zu können, so mußte sich eine solche Hypothese in der Anwendung auf Luftdruckmessungen mittels Quecksilberbarometern von vornherein als inkompatibel, da weder verifizier- noch falsifizierbar erweisen.

Daran änderte auch der Umstand nichts, daß Goethe seine Hypothese vom tellurischen Ursprung der Luftdruckschwankungen in Analogie zur Chromatik setzte und sie als Ausdruck des naturphilosophischen Prinzips der Polarität interpretierte: Anziehungskraft und Schwere auf der einen, Erwärmungskraft und Ausdehnung auf der anderen Seite *„als unabhängig gegeneinander übergestellt; zwischen beide hinein setzten wir die Atmosphäre,... und wir sehen, ...das was wir Witterung nennen entstehen..."* (WA II/12, S. 106; LA I/11, S. 265). Es war eine, wie Engels in anderem Kontext bemerkte (MEW 20, S. 393, 497), vorgefaßte falsche Theorie, die auch hier weiteren Erkenntnisfortschritt verhinderte und darüber hinaus bewirkte, daß die gesamte „Witterungslehre" bei den Fachgelehrten unbeachtet und auch die im vorangegangenen Abschnitt behandelten Überlegungen zum Schichtenbau der Atmosphäre für die weitere Entwicklung der Meteorologie folgenlos blieben.[8]

Auf den weiteren natur- und allgemein philosophischen Gehalt der „Witterungslehre", wie auf die Idee von *„Bändigen und Entlassen der Elemente"*, *„mit denen wir ewig zu kämpfen haben, und sie nur durch die höchste Kraft des Geistes, durch Muth und List, im einzelnen Fall bewältigen"* (WA II/12,

S. 102; LA I/11, S. 2263), oder auf die Gedanken zu Regel und Gesetz kann hier nicht eingegangen werden – die Problematik ist sicher einer eigenen Behandlung wert.

Dagegen soll im Rahmen des gewählten Themas noch auf weitere, zu Goethes Lebzeiten unveröffentlicht und auch später wenig beachtet gebliebene Äußerungen zu meteorologischen Fragen wenigstens verwiesen werden. Vom 20. Oktober 1829 datiert eine Notiz *„Zur Winderzeugung"* (WA II/12, S. 115; LA I/11, S. 304), nach der *„speciell erwärmte Gegenden ... Luftzug..."* hervorbringen, was sogleich am Beispiel einer gegenläufigen Strömung aus zwei Schluchten bei Marienbad und sodann - besonders bemerkenswert - mit der Beschreibung einer thermisch bedingten Zirkulation zwischen Stadt und Umland erläutert wird: *„Weiter hinab verursacht die nach und nach erwärmte Stadt einen Luftzug, wodurch die Össen der Ackerwand ihren Rauch nordwärts senden... Dergleichen wird hauptsächlich bei völlig klarem Himmel und ungestörter Sonnenwirkung bemerkt."*

Ganz offensichtlich haben wir hier einen sehr frühen, allein auf aufmerksame Naturbeobachtung gegründeten Hinweis auf ein lokales Windphänomen („Flurwind", thermische Ausgleichsströmung um Siedlungsgebiete) vor uns, das heute unter lufthygienischen und allgemein biometeorologischen Gesichtspunkten eingehend studiert wird.[9] Außerhalb und unabhängig von seiner unseligen Hypothese über die Ursache der Luftdruckschwankungen erkannte Goethe – entgegen der Auffassung von Ficker (1932) – sehr wohl die Bedeutung von Temperaturunterschieden und natürlich auch die *„Einwirkung der Sonne"*, wenn auch *„einstweilen nur als Wärme erregend"* angenommen (WA II/12, S. 61; LA I/8, S. 322), auf das Witterungsgeschehen, wie auch aus weiter oben wiedergegebenen Äußerungen erhellt.

In einer weiteren Aufzeichnung aus dem Nachlaß (LA I/11, S. 315) erinnert sich der Dichter der *„Wirkung der Sonne auf Bergeshöhen"* bei Gelegenheit seiner winterlichen Brockenbesteigung vom 10. Dezember 1777 (von Goethe selbst im Nachlaß falsch datiert), von der ihm die außerordentliche Intensität der Sonnenstrahlung *„immer unvergeßlich geblieben"* sei – damals noch eine Vorwegnahme der von den Freiballonfahrern wenig später gemachten Erfahrungen einschließlich der von der Fehlerhaftigkeit der meisten Temperaturmessungen im Ballon bis zur Einführung strahlungsgeschützter Ther-

mometer, insbesondere des Assmannschen Aspirationspsychrometers, und deren Erprobung zuerst auf Berggipfeln!

4. Stationsbeobachtungen und Bemerkungen zum Witterungsablauf

Im Herbst des Jahres 1815 war Goethe Staatsminister geworden, dem die „Oberaufsicht über die unmittelbaren Anstalten für Wissenschaft und Kunst in Weimar und Jena" oblag, die er zunächst gemeinsam mit Christian Gottlob Voigt (1743–1819) ausübte (WA IV/26, S. 169f., 178f., 183–190; vgl. auch Steiger, Reimann, Bd. 6, S. 300, 303f.). In seinem Verantwortungsbereich wurde mit den „Anstalten für Witterungskunde" im Großherzogtum ein Netz von 9 meteorologischen Stationen etabliert, die den Beobachtungsbetrieb größtenteils im Jahr 1821 aufnahmen (LA I/8, S. 421f.; Hellmann, 1883, S. 919–923; vgl. auch S. 156, 450, 819); in Schöndorf auf dem Ettersberg fanden schon seit März 1818 meteorologische Beobachtungen statt, und in Jena reichen – wenn auch unregelmäßige und im Original teilweise nicht mehr auffindbare – Beobachtungen bis in das Jahr 1770 zurück (Grebe 1936).

Unter Goethes Leitung und „thätiger Mitwirkung" wurde im Dezember 1817 eine Beobachtungsanleitung, die *„Instrucktion für den Meteorologen des Ettersberg"* (WA IV/28, S. 332), fertiggestellt und in den Jahren 1824 und 1826 „im Auftrag und unter Mitwirkung Goethes" umgearbeitet (vgl. Hellmann, a.a.O.). Die „Instruction für die Beobachter bei den Großherzogl. meteorologischen Anstalten" (WA II/12, S. 203–226) stammt allerdings nach Nickel, 2000 entgegen der in den einleitenden Bemerkungen angegebenen Jahreszahl 1817 aus dem Jahre 1821. Unter Bezugnahme auf diese Instruktion verlangte Goethe *„von einer geregelten Empirie, wie man denn doch auch unsre meteorologischen Beobachtungen nennen darf, ..., Genauigkeit und Vollständigkeit"*, um wenige Zeilen weiter dem Vorhaben regelmäßiger Naturbeobachtung einen hohen Rang über den unmittelbaren Nutzen hinaus einzuräumen: *„Ich sehe, das zu hoffende Resultat abgerechnet, die Anstalt selbst als eine Bildungs-Propaganda an; denn wenn wir in unserm kleinen Bereich nur sechs Menschen nöthigen, täglich zu gewissen Stunden Phänomene genau zu beobachten, und das Bemerkte tabellarisch einzutragen, Kunde da-*

von zu liefern u.s.w., so entspringt daraus eine höhere Cultur, als man sich denken kann" (WA II/12, S. 123ff.; LA I/11, S. 241).

Die Instruktion selbst enthält detaillierte Vorschriften für die Durchführung und Tabelleneintragung von Messungen mit Barometer (einschließlich Temperaturkorrektion – für die damalige Zeit keine Selbstverständlichkeit, wie man bei Kämtz 1832, S. 230–244, 283 nachlesen kann!), Innen- und Außenthermometer – letzteres „*im Schatten und gegen Mitternacht*" hängend –, Fischbeinhygrometer[10] und einem „Thermometrographen" zur Feststellung der Tageshöchst- und -tiefsttemperatur. Die Messungen waren täglich um 8, 14 und 20 Uhr vorzunehmen.

Neben Beobachtungen mit mehreren „Elektroskopen", der Bestimmung der Windrichtung in einer 32-teiligen und der Windstärke nach einer 8-teiligen Skala waren Bedeckungsgrad, Wolkenart (nach der Howardschen Klassifikation zuzüglich der von Goethe eingeführten Art „Paries", vgl. Abschnitt 2) und die Wolkenzugrichtung festzuhalten, die „*für die Meteorologie von noch größerer Bedeutung*" als die von der Windfahne angezeigte Richtung sei. Schließlich sollten Niederschlagsdauer und -menge, das Auftreten von Gewittern, Schnee, Graupel, Schloßen, Hagel, Nebel, Reif, Höhenrauch und der gesamte Witterungsverlauf, von atmosphärisch-optischen Erscheinungen die Himmelsfarbe, Höfe um Sonne und Mond, Nebensonnen und -monde, Morgen- und Abendröte, Regenbögen (mit detaillierten weiteren Angaben) und endlich Sternschnuppen, „*Wetterleuchten, Nordlicht und andere Meteore*" vermerkt werden.

Ist schon diese Zusammenstellung von Augen- und instrumentellen Beobachtungen auch nach heutigen Maßstäben recht umfassend, so mutet die eingangs der Instruktion formulierte Zielstellung, den „*Zusammenhang der meteorologischen Instrumente mit der Witterung*" genau kennen zu lernen, wofür über eine Reihe von Jahren an vielen Orten Beobachtungen anzustellen seien, „*aus welchen ein jeder Sachkundige die Beschaffenheit der Witterung und den gleichzeitigen Stand der meteorologischen Instrumente mit der nöthigen Vollständigkeit und Gewißheit ersehen kann*", angesichts vieljähriger Bemühungen der modernen Meteorologie um die Interpretation von Feldverteilungen meteorologischer Elemente, ihrer Umsetzung in Aussagen über Wetterverlauf und Witterungsgeschehen im Rahmen von Wettervorhersage und Klimamodellierung ausgesprochen zeitgemäß an.

Das Beobachtungsmaterial wurde über den Staatsminister Goethe der Sternwarte in Jena[11] zur weiteren Bearbeitung und Veröffentlichung zugeleitet, die, offenbar von Anfang an unter erheblichen finanziellen Schwierigkeiten, für die Jahre 1822 bis 1827 erfolgte. Aber bereits im Jahre 1831 wurde die Einstellung des meteorologischen Jahrbuchs verfügt und unter dem 24. Februar 1832 angewiesen, *„die sämmtlichen Beobachtungen auf den bisher bestandenen Plätzen aufzuheben und die dabei Angestellten von ihren bisherigen Obliegenheiten zu entbinden; die Beobachtungen zu Jena dagegen desto genauer und umständlicher durchführen zu lassen"* (zitiert nach Hellmann, 1883, S. 921f.).

Außer an der Sternwarte Jena endeten die letzten Aufzeichnungen an den meteorologischen Stationen des Großherzogtums Sachsen-Weimar-Eisenach am 31. März 1832, 8 Tage nach Goethes Tod. An keiner der Stationen waren die Beobachtungen über mehr als 11 volle Jahre fortgeführt worden (vgl. Grebe 1936).

Für die Einrichtung des Stationsnetzes dürften neben Goethes Einsatz sicher die Impulse wirk-sam gewesen sein, die von der bahnbrechenden Beobachtungs- und Publikationstätigkeit der Societas Meteorologica Palatina („Mannheimer Ephemeriden" für die Jahre 1781–92) ausgegangen waren, was im einzelnen noch zu untersuchen wäre.[12] Während aber das Beobach-tungsnetz der Pfälzischen Meteorologischen Gesellschaft mit bis zu 39 Stationen vom Ural bis nach Nordamerika, von Grönland bis zum Mittelmeer (z.B. Chrgian 1959, Körber 1987 und speziell Cappel 1980, Lüdecke 1997) naturgemäß sehr weitmaschig war, stellten die „meteorologischen Anstalten" in Sachsen-Weimar-Eisenach ein räumlich dichtes, nach heutigen Maßstäben mesometeorologisches Meßnetz dar, dessen Daten, wären die Messungen hinreichend lang durchgeführt worden, wertvolle Aufschlüsse zur mesomaßstäblichen Witterungs- und Klimageschichte im Thüringer Raum hätten erbringen können.

So aber konnte Wustelt, 1962 lediglich die Jenaer Temperaturreihe ab dem Jahre 1821 in die Klimageschichte Europas einordnen, wovon in Abb. 2 auszugsweise der Verlauf der Monats-mitteltemperaturen für die ersten Jahrzehnte des Bearbeitungszeitraumes und in Abb. 3 der (geglättete) Verlauf der Jahres- und der Jahreszeitenmitteltemperaturen für Jena bis zum Jahre 1958 wiedergegeben sind. (Der jüngste, etwa Mitte der 70er Jahre einsetzende Erwärmungsschub ist demzufolge nicht mehr erfaßt.)

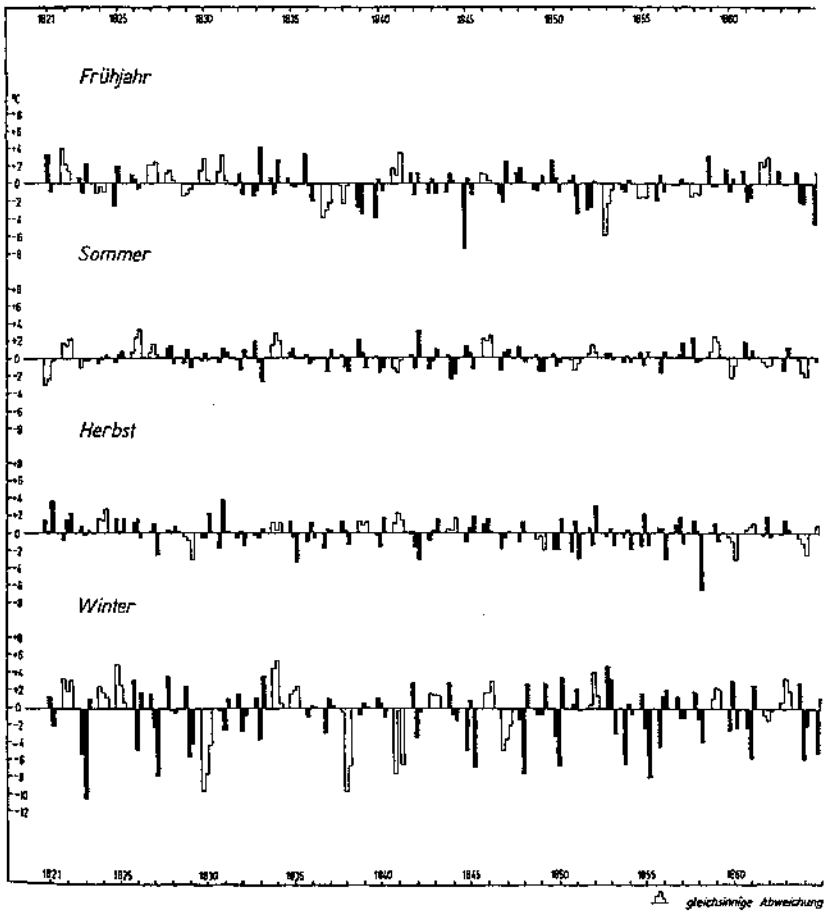

Abb. 2
Abweichungen der Monatsmitteltemperaturen in Jena vom Mittelwert des Zeitraums 1821–1958, Ausschnitt nach Wustelt, 1962.

Im Rahmen der mitteleuropäischen Klimageschichte fällt Goethes Lebenszeit in die Endphase einer seit Mitte des 16. Jahrhunderts herrschenden kühlen Klimaperiode, der in sich allerdings durchaus uneinheitlichen „kleinen Eiszeit", die mit einer Häufung kalter Winter und warmer Sommer im 18. Jahr-

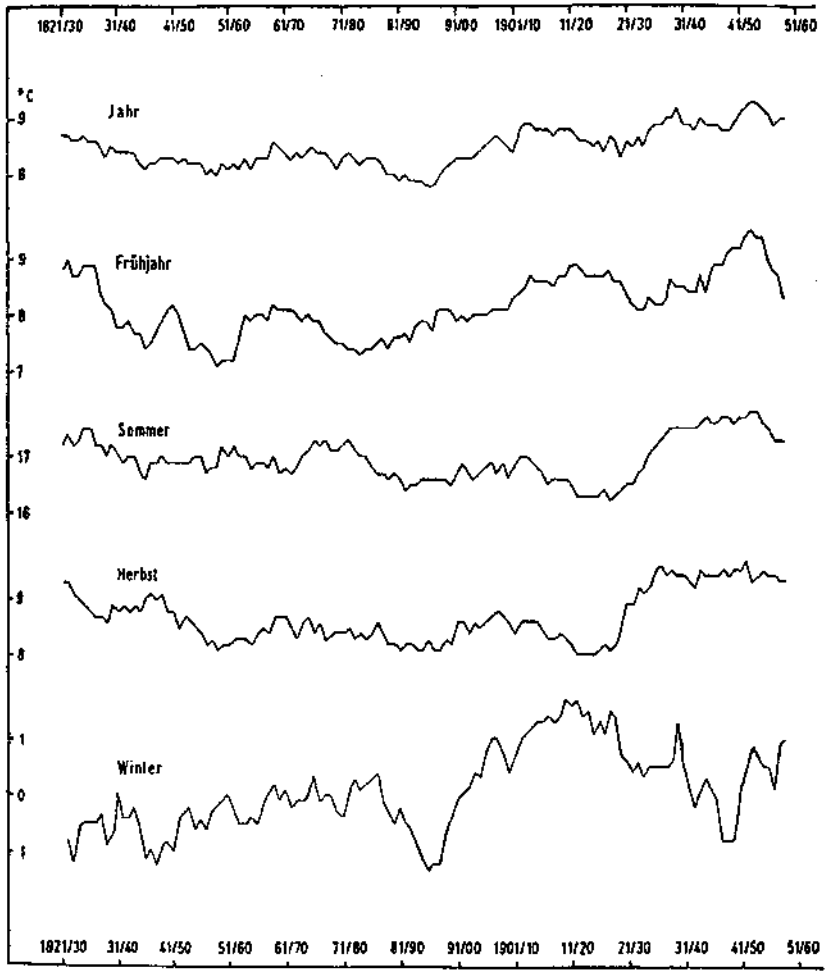

Abb. 3
Zehnjährig übergreifend geglätteter Verlauf der Jahres- und Jahreszeitenmitteltemperaturen in Jena nach Wustelt, 1962.

hundert einen thermisch kontinentalen Charakter annahm und in den letzten Höchststand der Alpengletscher um 1850 mündete. Ein Zeugnis Goethes für das Gletscherwachstum datiert aus dem Jahr 1820 und vermerkt unter Bezug auf die *„Sommerreise eines unserer Freunde": „Auf dem Punkte, wo die Gebirge von Glarus und Graubünden zusammenstoßen, befanden sich bisher viele isolierte Gletscher, welche aber gegenwärtig zusammenzurücken, zusammenzustoßen, sich zu vereinigen und die bisher zwischen ihnen bestandenen Räume auszufüllen drohen. Dort versammeln sich ungeheuere Massen von Eis und Schnee und bilden undurchdringliche Knoten, wodurch die bisher noch denkbare Kommunikation zwischen jenen Regionen aufgehoben wird"* (LA I/2, S. 132f.).

Abb. 4 zeigt den geglätteten Verlauf der Mitteltemperatur von Sommer- und Winterhalbjahr nach der von Baur (1975) aus Monatsmittelwerten von vier mitteleuropäischen Stationen zusammengestellten und ständig ergänzten synthetischen Temperaturreihe, die ab 1761 einsetzt (vgl. auch Pelz et al. 1996). Neben der großen Differenz zwischen den Temperaturanomalien des Sommer- und des Winterhalbjahres in der Goethezeit fallen die mehrfachen tiefen Einbrüche der Wintertemperaturen vor und nach der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert sowie der Abfall der Sommertemperaturen um die genannte Jahrhundertwende auf, der sich gut in den Verlauf eines Sommertemperaturindexes für die gesamte Nordhalbkugel (z.B. IPCC 1996, S. 175; WMO 2000, Titelblatt) einfügt.

Insgesamt lag das mitteleuropäische Temperaturniveau zu Goethes Lebzeiten deutlich unter dem in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts; gegenüber 1981–1990, dem mit Abstand wärmsten Jahrzehnt der letzten 230 Jahre, beträgt die Differenz etwa 0,9 K und widerspiegelt die in Schüben verlaufende globale Erwärmung. Demzufolge werden die wärmsten Jahre der Goethezeit – 1822, 1779, 1781, 1783, 1794, 1797, 1811 in absteigender Reihenfolge mit positiven Temperaturanomalien zwischen 1,5 und 1,0 K – von mehreren deutlich wärmeren Jahren seit 1989 übertroffen, darunter vom Jahre 1994 als dem bisher wärmsten der Baurschen Reihe (2,0 K Abweichung vom Mittelwert der Jahre 1761–1960; nach den bei Redaktionsschluß vorliegenden Daten dürfte das Jahr 2000 noch wärmer ausgefallen sein).

Das Jahr 1779 zeichnete sich durch positive Temperaturabweichungen besonders im Frühjahr und im Herbst aus. Goethes zweite Reise in die Schweiz,

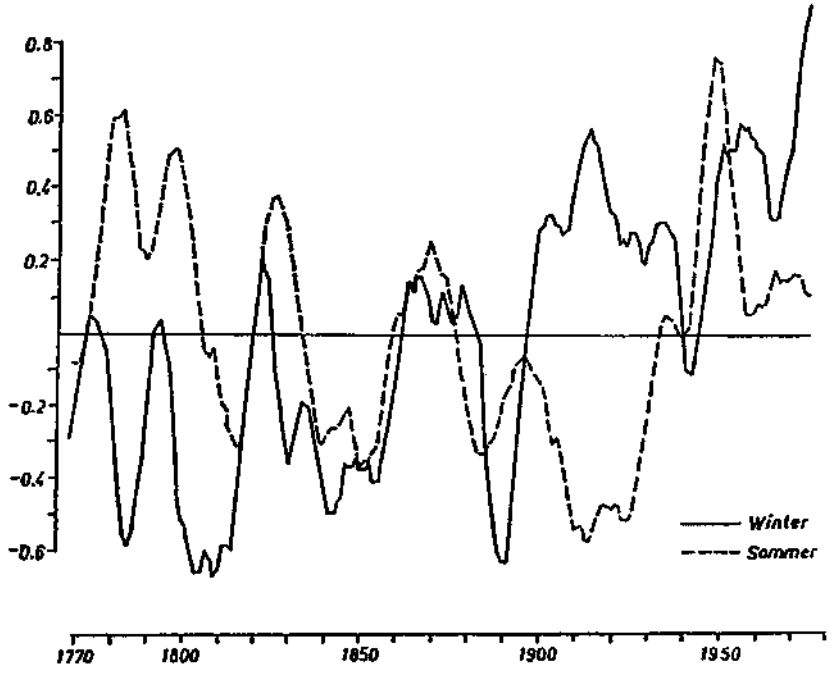

Abb. 4
Fünfzehnjährig übergreifend geglätteter Verlauf der Temperaturabweichungen des Sommer- und des Winterhalbjahres vom Mittelwert des Zeitraums 1761–1970 in Mitteleuropa (Stationen De Bilt, Potsdam bzw. Berlin, Basel und Wien; Daten nach Baur, 1975ff.).

die dem Dichter bleibende, in packenden Schilderungen wiedergegebene Eindrücke von Wolkenbildung und Witterungsgeschehen im Hochgebirge vermittelte, wurde durch die außerordentlich milde Herbstwitterung begünstigt.

So reisten Goethe und Herzog Carl August im November 1779 noch zu ungewöhnlich später Jahreszeit, in ihrem Vorhaben von Saussure ermutigt, von Genf über die „Savoyischen Eisgebürge" ins Wallis und weiter über den Furka- und Gotthardpaß nach Luzern (WA IV/4, S. 114–137; vgl. auch WA I/19, S. 226–306). Auf dem Abstecher zum Mer de Glace versicherte ihnen der Führer, *„dass seit acht und zwanzig Jahren, so lang führ' er Fremde auf*

die Gebürge, er zum erstenmal so spät im Jahr, nach Allerheiligen, iemand hinaufbringe und doch versicherte er, dass wir alles eben so gut, wie im August sehen sollten" (a.a.O., S. 130). Indes: „*Etwas zu leiden sind wir bereit, und wenn es möglich ist im Dezember auf den Brocken zu kommen, so müssen auch Anfangs November uns diese Pforten der Schröcknisse auch noch durchlassen*" (a.a.O., S. 117).

Das ungeachtet der Klimaverschlechterung um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert noch einmal warme und sonnenscheinreiche Jahr 1811 bescherte einen besonders hochwertigen Wein, den „Eilfer" (Elfer), der im „Schenkenbuch" des West-östlichen Divans (WA I/6, S. 208) erwähnt wird und dem Goethe auf der Rückreise von seinem denkwürdigen zweiten Aufenthalt an Rhein, Main und Neckar im Jahre 1815 (WA III/5, S. 186) eine Ghasele widmete (WA I/6, S. 302f.), deren erste Zeilen lauten:

Wo man mir Guts erzeigt überall
's ist eine Flasche Eilfer.
Am Rhein und Main, im Neckerthal,
Man bringt mir lächlend Eilfer.

Übrigens hatte der Dichter ein Jahr vorher auf dem Sanct Rochus-Fest zu Bingen am Rhein aufmerksam „*verschiedene Bauernregeln und sprüchwörtliche Wetterprophezeiungen*" vernommen und im „*Taschenbuch*" verzeichnet (WA I/34.1, S. 34f.).

Die mit dem Jahr 1812 einsetzenden negativen Temperaturanomalien kulminierten 1816 in dem berüchtigten „Jahr ohne Sommer", das der Tambora-Eruption im April 1815 auf Java folgte, Ernteausfälle und Hungerkrisen nach sich zog (z.B. Abel 1974, Pfister 1988) und Spuren in weiten Teilen der Nordhalbkugel hinterließ (z.B. Stommel 1983, D'Arrigo, Jacoby 1999). Im August 1816 schreiben die Willemers an Goethe, das „*kleine Haus am Main*" – die Gerbermühle – „*steht einsam, den ganzen Sommer der Kälte wegen noch von keinem Fuß betreten...*", und am Bartholomäustag, dem 24. August, speiste man „*bei glühendem Ofen zu Mittag*", wie ein anderer Gewährsmann zu berichten weiß (Weitz 1965, S. 43, 366).

Im Juni 1829 schließlich klagt Goethe: „*Trockne Kälte wechselt ab mit der nässesten, unbewölkten Himmel kennt man fast gar nicht mehr, Regen folgt*

auf Regen und wirkt um desto unangenehmer, als augenblickliche heitere Zeiträume dazwischen eine vergebene Hoffnung abwechselnd beleben. Auf diese Weise sind heute viel weißgekleidete, kranztragende, geschmückte Jungfrauen, die unsre nach Preußen von den besten Wünschen begleitete Prinzeß Auguste abschiedlich chorweise zu begrüßen ausgezogen waren, leider durchnäßt, entstellt und entmutigt einzeln wieder nach Hause zurückgekehrt" (a.a.O., S. 208); wechselseitige weitere Klagen über die nasse und kalte Witterung gingen in den folgenden Monaten zwischen Weimar und Frankfurt hin und her (a.a.O., S. 209–217).

Das Jahr 1829 war mit einer Temperaturabweichung von -2,1 K vom 200-jährigen Mittelwert der Jahre 1761–1960 das mit Abstand kälteste der Baurschen Mitteleuropa-Reihe und ging in den extremen Strengwinter 1829/30 über. Sowohl der Temperaturverlauf in Abb. 4 als auch zum Beispiel die Statistik der winterlichen Kältesummen (das ist der Betrag der Summe der negativen Tagesmitteltemperaturen einer Wintersaison) für Berlin, wie sie bei Hellmann, 1917 oder Hupfer, Chmielewski 1990 zu finden ist, lassen das häufige Vorkommen strenger Winter als wesentlichsten Unterschied im mitteleuropäischen Temperaturregime der Goethezeit gegen- über der Gegenwart erscheinen.[13]

So entfallen allein 6 der in diesem Sinne strengsten Winter seit 1766 auf die Lebensjahre Goethes, darunter die 4 Winter mit den höchsten registrierten Kältesummen überhaupt: 1829/30, 1788/89, 1798/99 und 1799/1800. In der Baurschen Mitteleuropa-Reihe ist der Dezember des Jahres 1788 durch die größte jemals aufgetretene negative Temperaturabweichung eines einzelnen Monats ausgezeichnet, die mit 9,6 K mehr als der halben Differenz zwischen dem heutigen und dem glazialen Temperaturniveau Mitteleuropas entsprochen haben dürfte.

Goethe erlebte diesen Winter, dessen extremer Charakter auch in den Meteorologischen Ephemeriden 1788 für Bayern ebenso wie in den lückenhaften Jenaer und Erfurter Temperaturreihen bei Grebe, 1936 zum Ausdruck kommt und der in seinen europaweiten Auswirkungen mehrfach diskutiert wurde (z.B. Lindgrén et al. 1985, Neumann, Dettwiller 1990), nach der Rückkunft von seiner italienischen Reise. Allerdings sind die unmittelbaren Schriftzeugnisse von seiner Hand dazu relativ spärlich: Beispielsweise bemerkte er am 31. Oktober 1788 in einem Brief an Anna Amalia, die sich zu der Zeit in

Rom aufhielt: *„Indessen verwahre ich mich gegen Schnee und Kälte und bin fleißig wie es einem Norden geziemt"*, und im Nachsatz eines Briefes an Herder nach Italien unter dem 27. Dezember: *„Wir haben tiefen Schnee und große anhaltende Kälte, mitunter entsetzlichen Sturm. Ich habe mich in meinem Stübchen ganz eingepackt, indessen du in der freien schönen Welt herumwandelst"* (WA IV/9, S. 47f., 69).

Im Januar des ebenfalls sehr strengen Winters 1822/23[14] häufen sich in Goethes Briefen die Klagen, seit Monaten nicht aus dem Hause zu kommen. Am 24. Januar nimmt er sich in einem Brief an Carl August *„die Freyheit vorzustellen, daß unser oberes Bibliothekspersonal, theils krank, theils leidend, theils reconvalescirend, zu Bibliotheksarbeiten nicht wohl angehalten werden könne..."*, um im weiteren – *„verehrungsvoll unterthänigst"*, wie die Unterschrift ausweist – um Erlaubnis zu bitten, *„morgen, Sonnabend den 25., und Mittwoch den 29. Januar vorläufig schließen zu dürfen, welches um so räthlicher seyn möchte, als das Geschäft des Bücher-Ausleihens bey so großer Kälte kaum gefordert werden kann und es höchst gefährlich ist, ein bey Nacht unbewachtes Haus den Tag über und stärker als sonst zu heizen"* (WA IV/36, S. 281f.).

Dieser Winter, in den Goethes lebensbedrohliche Erkrankung vom Februar 1823 fiel, zeigte sich auch in Süddeutschland streng. Marianne Willemer jedenfalls schrieb im April 1823 an Goethe, *„der lange Zug des Zars aller Winter nach seinem Eispalast hat uns bis jetzt den Weg versperrt"* (zur Gerbermühle), der Winter sei auch ihr feindlich gewesen, *„die Töne, die sonst so freudig meiner Brust entquollen, blieben durch die Kälte eingeschlossen und raubten mir den Athem..."* (Weitz 1965, S. 139).

Goethe registrierte aufmerksam markante Witterungsereignisse seiner Zeit – so die Sturmfluten des Winters 1824/25 (z.B. Eckermann, 9. Dez. 1824, 11. Apr. 1827), die mit der Arbeit am „Versuch einer Witterungslehre" im Jahre 1825 in Verbindung gebracht werden, – und versuchte sie aus der Sicht seiner Witterungslehre zu interpretieren. In einem langen Brief vom September/Oktober 1828 aus Dornburg an Zelter, in dem er dem Freund ein Resümé seiner Vorstellungen von der Schichtung der Atmosphäre und der Ursache der Luftdruckschwankungen entwirft, lesen wir: *„Seit drey bis vier Jahren läßt die untere Atmosphäre eine übermäßige Wasserbildung zu... Bey niederem Barometerstande häufen sich Wolken auf Wolken, der Westwind treibt sie*

von dem Meere in das Continent hinein... So war den ganzen August über der Himmel bedeckt, wenn es auch nicht regnete, und dadurch unsere so schön sich anlassende Weinernte vereitelt" – eine durchaus sachgerechte Deutung des Witterungsverlaufs aus – in heutiger Terminologie – Zirkulationsschwankungen, denen somit auch *„die gräßlichen Wasserniedergänge auf Bergeshöhen im vorigen Jahr,... der Hagelschlag in Hannover, die gewaltsamen Wetter in Niederdeutschland..."* (WA IV/45, S. 1–12) zugeschrieben werden.

Die wenigen Beispiele mögen demonstrieren, in welcher Weise Zitate aus Briefen, Tagebüchern und anderen, auch primär nichtmeteorologischen Texten unser Bild von Witterungsverlauf und Klimaschwankungen in historischer Zeit abzurunden vermögen. Im Rahmen weiterer historischer Datenquellen (vgl. z.B. Bernhardt 1991, Tab. 8.2) vermitteln solche Zeugnisse Einblicke in soziale und psychologische Auswirkungen des Witterungsgeschehens, zeichnen sich aber auf der anderen Seite durch ausgeprägte Subjektivität aus, so daß ihre Interpretation nicht ohne Kenntnis von Lebensalter und -situation des Verfassers erfolgen sollte – um so mehr im Falle singulärer Persönlichkeiten wie Goethe.

5. Meteorologische Wissenschaft und Poesie

Wenn Goethe sich auch, wie wir gesehen haben, erst seit Ende 1815, d.h. nach Abschluß des wesentlichsten Teils seiner Arbeiten zu Anatomie, vergleichender Biologie, Geognosie und Farbenlehre, wissenschaftlichen Studien und praktischer Tätigkeit auf dem Gebiet der Meteorologie zugewandt hat, war der Dichter doch von früher Jugend an sehr empfänglich für Eindrücke aus dem Reich der atmosphärischen Erscheinungen und wohl auch hochgradig wetterfühlig, wobei für ihn der Barometerstand wesentlicher Indikator für Befinden und Arbeitsfähigkeit war.

Zahlreich sind daher von Anfang an Schilderungen oder Erwähnung meteorologischer Phänomene in Goethes dichterischem Werk. So, wie sich Wetterbeobachtungen und Klimabeschreibungen der Goethezeit auf die heute so genannte vorindustrielle Periode, d.h. auf eine Zeit beziehen, da anthropogene Einflüsse auf das Klimasystem ausschließlich lokalen (Beispiel: Stadtklima), allenfalls regionalen Charakter trugen, widerspiegeln Goethes Natur-

raumschilderungen eine vom Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur großräumig noch unbeeinflußte Umwelt.[15]

Das zeigt sich z.B. in der schwärmerischen Beschreibung des „reinen Himmels" über dem Elsaß in „Dichtung und Wahrheit": *„Der doppelte Regenbogen, zweifarbige Säume eines dunkelgrauen, beinah schwarzen himmlischen Bandstreifens waren herrlicher, farbiger, entschiedener, aber auch flüchtiger als ich sie irgend beobachtet"* (WA I/28, S. 31).

Die beschriebenen Phänomene, darunter der Nebenregenbogen, zeugen von Luftreinheit. Und nur unter einem von flächenhaften künstlichen Lichtquellen unbeschienenen Nachthimmel konnte in den späten Dornburger Gedichten die Wendung vom *„Übermaß"*, ja von der *„Überwucht der Sterne"* (WA I/4, S. 134f.) gedichtet werden.

Im Verlaufe des künstlerischen Schaffensprozesses treten bei der Erwähnung meteorologischer Erscheinungen mehr und mehr auch naturwissenschaftliche Überlegungen und philosophische Aussagen zutage. Dies soll am Beispiel eines einzigen Phänomens, des Nebels, demonstriert werden, der in Goethes Lyrik zur Verdeutlichung von Naturstimmung und Seelenzuständen vielfach bemüht wird: Nebel verbirgt am trüben, grauen Herbstmorgen die schöne Welt (WA I/4, S. 360), bildet die gespenstisch-unheimliche Kulisse für den nächtlichen Ritt zur Geliebten (*Willkommen und Abschied*, WA I/1, S. 68) oder gaukelt dem fiebernden Knaben eine dämonische Elfenwelt vor (*Erlkönig*, WA I/1, S. 167); *„Weiche Nebel trinken/ Rings die thürmende Ferne"* um den morgendlichen Bergsee (*Auf dem See*, WA I/1, S. 78), Nebelglanz im Mondlicht löst seelische Spannung (*An den Mond*, WA I/1, S. 100), und in der Abenddämmerung vermitteln lautlos in die Höhe schleichende Nebel eine Stimmung des Zwielichtigen, Unbestimmten, Besänftigenden (*Chinesisch-Deutsche Jahres- und Tageszeiten VIII*, WA I/4, S. 113).[16]

Die zweite Strophe der „Zueignung", um 1784 entstanden (WA I/1,. S.3),

Und wie ich stieg, zog von dem Fluß der Wiesen
Ein Nebel sich in Streifen sacht hervor.
Er wich und wechselte mich zu umfließen,
Und wuchs geflügelt mir um's Haupt empor:
Des schönen Blicks sollt' ich nicht mehr genießen,
Die Gegend deckte mir ein trüber Flor;

Bald sah ich mich von Wolken wie umgossen,
Und mit mir selbst in Dämmrung eingeschlossen

schildert den morgens aus der feuchten Talniederung in die Höhe steigenden Nebel, wie er später im Lehrgedicht über den Stratus beschrieben und in die Vorstellungswelt von der Metamorphose der Wolken eingefügt wird (vgl. Abschnitt 2 und Anhang zur vorliegenden Arbeit).

In einem Gedicht vom August des Jahres 1823 leitet das Spiel des morgendlich auf- oder absteigenden Nebels eine poetische Präsentation des Wolkenreiches entsprechend Goethes Verständnis ein:

Du Schüler Howards, wunderlich
Siehst Morgens um und über dich
Ob Nebel fallen, ob sie steigen,
Und was sich für Gewölke zeigen.

Auf Berges Ferne ballt sich auf
Ein Alpenheer, beeis't zu Hauf,
Und oben drüber flüchtig schweifen
Gefiedert weiße luftige Streifen;
Doch unten senkt sich grau und grauer
Aus Wolkenschicht ein Regenschauer.

Und wenn bei stillem Dämmerlicht
Ein allerliebstes Treugesicht
Auf holder Schwelle dir begegnet,
Weißt du ob's heitert? ob es regnet?

(WA I/4, S. 30; zu den Begleitumständen der Entstehung des Gedichtes vgl. auch WA IV/37, S. 163–166).

Eine ganz andere, an Goethes Untersuchungen zur Farbenlehre anschließende Deutung schließlich erfährt ein Nebel-„Phänomen" im West-östlichen Divan, Buch des Sängers:

Wenn zu der Regenwand
Phöbus sich gattet,
Gleich steht ein Bogenrand
Farbig beschattet.
Im Nebel gleichen Kreis
Seh' ich gezogen,
Zwar ist der Bogen weiß,
Doch Himmelsbogen.

So sollst du, muntrer Greis,
Dich nicht betrüben,
Sind gleich die Haare weiß,
Doch wirst du lieben.

(WA I/6, S. 17). Für den Meteorologen ist bemerkenswert, daß Goethe die in der Optik der Atmosphäre als Nebelbogen beschriebene Lichterscheinung, die z. B. in dem zeitgenössischen Lehrbuch von Kämtz, Bd. 3, 1836 keine Erwähnung findet, nicht nur gekannt, sondern auch ihre Wesensgleichheit mit dem Regenbogen erfaßt hat, wenn auch wiederum ohne Kenntnis der physikalischen Hintergründe: Beide Phänomene entspringen im Prinzip den gleichen Refraktions- und Reflexionsprozessen des Sonnenlichtes an Wassertropfen, wobei die auftretenden Interferenzerscheinungen im Falle sehr kleiner Tropfenradien zum Erscheinen des farblosen Nebelbogens („weißer Regenbogen") führen, wie Pernter, 1897 auf der Grundlage der Theorie von Airy gezeigt hat (z.B. Pernter, Exner 1922, S. 532ff., 588ff.) – eine Beweisführung mittels der Wellentheorie des Lichtes, die sicher auf die entschiedenste Ablehnung durch Goethe gestoßen wäre!

Nebelhüllen und *Nebelstreif* als Begleiterscheinung von Morgen- und Abenddämmerung kehren zu Anfang des ersten Aktes des „Faust", zweiter Teil, wieder. Die Hochgebirgs- und Wolkenszenerie am Beginn des vierten, besonders aber die Bergschluchtenszene im fünften Akt mit tiefer Region (Pater profundus), mittlerer Region (Pater Seraphicus) und den Engeln, „schwebend in der höhern Atmosphäre", als allegorische Widerspiegelung der Goetheschen Vorstellungen vom Schichtenbau der Atmosphäre wurden von philologischer Seite (z.B. Lohmeyer 1927, Schöne 1969) ausführlich behandelt und sollen daher hier nicht weiter ausgedeutet werden.

Bezüge zur Wolken- und Witterungslehre lassen sich in Goethes Alterslyrik mehrfach ausmachen: In der Marienbader Elegie (WA I/3, S. 22) gemahnen die Verse

Wie leicht und zierlich, klar und zart gewoben,
Schwebt, Seraph gleich, aus ernster Wolken Chor,
Als glich' es ihr, am blauen Äther droben,
Ein schlank Gebild aus lichtem Duft empor...

an die Darstellung des Cirrus in den Wolkengedichten (*Howards Ehrengedächtnis)*, und der Ostwind als Begleiter hohen Luftdruckes und der „Wasserverneinung" der Atmosphäre wird in den Versen eines der Dornburger Gedichte vom September 1828 beschworen:

Wenn der Äther, Wolken tragend,
Mit dem klaren Tage streitet,
Und ein Ostwind, sie verjagend,
Blaue Sonnenbahn bereitet; ...

(WA I/4, S. 109). Goethes Rückgriff auf meteorologische (und natürlich auch auf andere, in unserem Zusammenhang aber nicht behandelte naturwissenschaftliche) Erkenntnisse und eigene Vorstellungen in seinem dichterischen Werk unterscheidet sich beispielsweise grundsätzlich von der Bezugnahme auf Wettererscheinungen in der Bildersprache Shakespeares, wie sie Geiger, 1961 aus meteorologischer Sicht untersucht hat.

Danach werden bei Shakespeare, von ganz wenigen Ausnahmen abgesehen, nur Erscheinungen des alltäglichen Wettergeschehens oder das Verhalten einzelner meteorologischer Elemente ohne weitere naturwissenschaftliche oder -philosophische Reflexion als Abbild des Seelenzustandes handelnder Personen, als Sinnbild für ihre Beziehungen untereinander oder zur Charakterisierung bzw. auch als Bestandteil des Handlungsablaufs selbst angeführt. Wolken z.B. gelten ganz undifferenziert als Schlechtwetterboten, als Verhüllung des Himmels, Sitz der Götter oder Wohnstatt der Toten; Nebel wird nur – direkt oder in übertragenem Sinne – als Sichthindernis betrachtet, der selten erwähnte Regenbogen als bloße Farberscheinung genannt. Goethes ganz anderes Vorgehen bringt eine Seite der eingangs unseres Beitrages apo-

strophierten Einheit seines künstlerischen und wissenschaftlichen Schöpfertums zum Ausdruck.

6. Schlußfolgerungen und Ausblick

Wie wir gesehen haben, war die Meteorologie die letzte der naturwissenschaftlichen Disziplinen, mit der sich Goethe – nach heutigen Maßstäben im Pensionsalter – systematisch beschäftigte. Zwar gelang ihm auf diesem Feld keine dem Nachweis des Zwischenkieferknochens beim Menschen vergleichbare Entdeckung, noch bezog er prononciert Stellung in einer öffentlich geführten wissenschaftlichen Diskussion, wie dem Streit zwischen Neptunisten und Plutonisten, doch verstrickte er sich auch nicht in haltlose Polemik gegen gesicherte experimentelle Ergebnisse wie im physikalischen Teil seiner Farbenlehre gegen die Spektralzerlegung des Lichtes

Anknüpfend an die von Howard zum Klassifikationsprinzip erhobene Morphologie der Wolken formulierte Goethe auf sorgfältige Beobachtung gegründete Vorstellungen über die Abfolge der Wolkenformen im Wettergeschehen und über die Schichtung der Atmosphäre, ohne daß der damalige Wissensstand eine zutreffende physikalische Erklärung der Phänomene ermöglicht hätte.

Mehr als auf seinen anderen naturwissenschaftlichen Arbeitsgebieten akzeptierte er in der Meteorologie die Notwendigkeit exakter Messungen über die bloße Sinneswahrnehmung hinaus, veranlaßte und betreute die Einrichtung und den Betrieb eines engmaschigen Stationsnetzes auf der Höhe seiner Zeit[17] und stellte den Luftdruck – also ein nur durch physikalische Messung zu ermittelndes Element – in den Mittelpunkt seiner Witterungslehre, womit er sich, vergleicht man seine weiter oben (Abschnitt 2) zitierte briefliche Äußerung aus dem Jahre 1795, dem Vorgehen Humboldts und der modernen Naturwissenschaft seiner Zeit angenähert hat.

Die prinzipielle Fehlerhaftigkeit seiner Hypothese über die Ursache der Luftdruckschwankungen steht außer Frage und kann auch nicht unter Hinweis auf vermeintliche oder tatsächliche Erkenntnisdefizite der zeitgenössischen Meteorologie verklärt werden. Andererseits aber können wir z.B. Ertel, 1953 nicht folgen, der diese Hypothese, die Goethe selbst mit dem annähernd gleichartigen Gang des Luftdrucks über einem größeren Gebiet begründete,

nur aus dem Geist der spekulativen Naturphilosophie erklärte und den „Versuch einer Witterungslehre" in toto als „Dichtung ohne Wahrheit" charakterisierte.

Daß die Betrachtung des Luftdrucks als „Urphänomen", das alle anderen atmosphärischen Erscheinungen bestimmt, der Entwicklung der Meteorologie im vergangenen Jahrhundert durchaus nicht zuwiderlief, haben wir in Abschnitt 3 zu zeigen versucht. Fickers (1932) Vermutung, Goethe habe vom Wesen des Luftdrucks (als Gewicht einer Luftsäule) keine genaue Vorstellung gehabt, sowie die Behauptung von der „Vernachlässigung aller Temperaturvorgänge in Goethes System" sind nachweislich unzutreffend.

Im letzten Jahrzehnt seines Lebens freilich erkannte Goethe immer deutlicher, das gesuchte Grundgesetz der Witterungslehre nicht gefunden zu haben. Hatte Kanzler Müller schon am 1. Juni 1825 – wenige Monate nach dem Abschluß der hauptsächlichen Arbeiten am „Versuch einer Witterungslehre" – Goethes *„Verzweiflung über das Studium der Meteorologie"* konstatiert, so äußerte der Dichter am 13. Februar 1829 zu Eckermann: *„Die Gegenstände der Meteorologie sind zwar etwas Lebendiges, das wir täglich wirken und schaffen sehen, sie setzen eine Synthese voraus; allein der Mitwirkungen sind so mannigfaltige, daß der Mensch dieser Synthese nicht gewachsen ist und er sich daher in seinen Beobachtungen und Forschungen unnütz abmühet. Wir steuern dabei auf Hypothesen los, auf imaginäre Inseln, aber die eigentliche Synthese wird wahrscheinlich ein unentdecktes Land bleiben."*

Wenig später – am 3. März – schrieb er an Zelter: *„Das Studium der Witterungslehre geht, wie so manches Andere, nur auf Verzweiflung hinaus... Hier wie überall verdrießt es die Leute, daß sie dasjenige nicht erlangen, was sie wünschen und hoffen, und da glauben sie gar nichts empfangen zu haben. Man müßte z.B. vor allen Dingen auf das Vorauswissen und Prophezeyen Verzicht thun, und wem ist das zuzumuthen"* (WA IV/45, S. 188f.).

Die Methode der analytischen Forschung, die über die Fundierung der Meteorologie auf der Grundlage der theoretischen Physik schließlich zur heutigen Vorausberechnung atmosphärischer Zustände führte, wäre Goethe sicher fremd geblieben. Doch sollte nicht vergessen werden, daß die Möglichkeit einer wissenschaftlichen Wettervorhersage auch unter den Physikern und Meteorologen des 19. bis hinein ins 20. Jahrhundert durchaus kontrovers diskutiert wurde (z.B. Nebeker 1995, Bernhardt 1998b).

Goethe jedenfalls sah am Ende seines Lebens anstelle zweifelhafter Hypothesen offenbar weitere Materialsammlung für notwendig an, wenn er am Vortag seines 82. Geburtstages auf dem Rückweg von der Kuppe des Kickelhahns meinte: *„Wir sind überhaupt bloß da, um die Natur zu beobachten; erfinden könne wir in derselben nichts. Daher können auch die meteorologischen Beobachtungen, wenn solche unermüdet fortgesetzt werden, gewiß noch zu bedeutenden Resultaten führen"* (zitiert nach Victor 1967, S. 87; vgl. auch Steiger, Reimann, Bd. 8, S. 525).

Goethe und die Meteorologie – was bleibt?

Zweifellos wäre die Entwicklung der Meteorologie ohne Goethes Hinwendung zu ihr nicht anders verlaufen; selbst die Howardsche Wolkeneinteilung hätte auch ohne höhere poetische Weihe die Grundlage der heutigen internationalen Wolkenklassifikation abgegeben. Die Beschäftigung mit der Meteorologie hat aber bleibende Spuren in Goethes weltanschaulichem Denken, in seinen Ansichten über Mensch und Natur sowie in seinem dichterischen Werk hinterlassen. Seine ganzheitliche Betrachtung der atmosphärischen Phänomene – wie der Natur insgesamt – bleibt vom Ansatz her ebenso beispielhaft wie die sorgfältige Beobachtung und die unübertroffen vollkommene Beschreibung von Himmelsanblick, Wolkengestalt und Wetterablauf oder die lebendige Schilderung markanter Witterungsereignisse in ihren Auswirkungen auf Physis, Psyche und sozialökonomische Verhältnisse.

Insofern möchten wir Fickers (1932) Schlußbemerkung widersprechen, jede intensivere Beschäftigung mit der Meteorologie hätte ihm, Goethe, „die Zeit für Arbeiten anderer Art gekürzt, die seiner Veranlagung mehr entsprachen." Zutreffend erscheint uns demgegenüber, was Charlotte Schiller nach der Lektüre von *„Howards Ehrengedächtnis"* im Jahre 1822 an Fritz von Stein schrieb: *„Dieser Reichtum in den Ansichten der Natur, dieses stete Wirken auf einen Gegenstand erhält Goethens Alter stark und kräftig und vermehrt die innere Harmonie seines Wesens. Glücklich, daß diese Beschäftigungen jetzt lebendig wirken, daß er die Abnahme des poetischen Reichtums und Hervorbringung nicht so ahnte"* (Bode 1979, Bd. 3, S. 112f.).

Am Beispiel des Nebelgedichtes (*„Phänomen"*) haben wir in Abschnitt 5 die überraschende Schlußwendung von der naturwissenschaftlichen Erklä-

rung einer atmosphärischen Erscheinung zur gleichnishaften Umschreibung individueller Befindlichkeit bemerken können. Ich möchte mit einem Gedicht (WA I/6, S. 106) schließen, das subjektive Erfahrung gesellschaftlicher Bedrängnis widerspiegelt und – nicht minder überraschend – mit dem Blick auf ein meteorologisches Phänomen endet, nämlich auf einen Staubwirbel, der über trockenem Untergrund welkes Laub und allerlei Unrat im Kreise dreht.

Der Leser möge diese Verse aus dem West-östlichen Divan, Buch des Unmuts, als Abrechnung des Dichters mit mißliebigen Zeitgenossen, vielleicht auch als vorgreifende Replik auf manchen Versuch seiner Demontage in unseren Tagen – oder aber als eigene Lebensweisheit nach Devaluation, Denunziation, Vertreibung aus dem Beruf und angemaßter Auflösung einer Akademie nehmen:

Über's Niederträchtige
Niemand sich beklage;
Denn es ist das Mächtige,
Was man dir auch sage.

In dem Schlechten waltet es
Sich zu Hochgewinne,
Und mit Rechtem schaltet es
Ganz nach seinem Sinne.

Wandrer! – Gegen solche Not
Wolltest du dich sträuben?
Wirbelwind und trocknen Kot
Laß sie drehn und stäuben.

Literatur

Originaltexte Goethes nach

- LA I: Goethe. Die Schriften zur Naturwissenschaft. Vollständige mit Erläuterungen versehehene Ausgabe im Auftrage der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. I. Abteilung. Texte, Band 1–11, Verlag Hermann Böhlaus Nachfolger, Weimar 1947–1970

- WA I–IV: Goethes Werke. Herausgegeben im Auftrage der Großherzogin Sophie von Sachsen. Abtheilungen I–IV, 133 Bände. Hermann Böhlau, Weimar 1887–1919

Weitere Literatur

Abel, W.: Massenarmut und Hungerkrisen im vorindustriellen Europa. Verlag P. Parey, Hamburg, Berlin (1974), 427 S.

Albrecht, W., Döhler, A. (Hrsg.): Johann Wolfgang Goethe Tagebücher, Band I, 1. Verl. J. B. Metzler, Stuttgart, Weimar (1998), 351 S.

Assmann, R.: Die Erforschung der höheren Luftschichten und die Wetterprognose. Das Wetter 19(1902), 145–153

Assmann, R., Berson, A. (Hrsg.): Wissenschaftliche Luftfahrten. Vieweg und Sohn, Braunschweig, Bd. 1 (1899), Bd. 2, 3 (1900).

Baur, F.: Abweichungen der Monatsmittel der Temperatur Mitteleuropas vom 210jährigen Mittelwert (1761–1970) in °C. Beilage zur Berliner Wetterkarte 76/75, SO 19/75 (1975), 6 S.

Bernhardt, K.: Holozäne Klimaschwankungen. In: Hupfer, P. (Hrsg.): Das Klimasystem der Erde. Akademie Verlag, Berlin (1991), 343–355

Bernhardt, K.: Schichtenbau der Atmosphäre, Himmelsanblick und Wolkengestalt. In.: Wehry, W., Ossing, F. J.: Wolken – Malerei – Klima in Geschichte und Gegenwart. Dt. Meteorol. Ges. (1997a), 99–124

Bernhardt, K.: Zur Entwicklung der Vorstellungen von der atmosphärischen Grundschicht vom 19. bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts. Meteorol. Z., N. F. 6(1997b), 249–260.

Bernhardt, K.: Die Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten (1888–1899) und die Physik der Grundschicht. Ann. Meteorol. 31(1998a), Bd. 1, 219f.

Bernhardt, K.: Wettervorhersage und Meteorologie als exakte Wissenschaft – Anmerkungen aus historischer Sicht. In: W. Schröder (ed.): From Newton to Einstein (A Festschrift in honour of the 70th birthday of Hans-Jürgen Treder). Mitt. d. Arbeitskr. Gesch. d. Geophys. d. Dt. Geophys. Ges. 17(1998b), Heft 3–4, 26–37

Bernhardt, K.: Zur Erforschung der Atmosphäre mit dem Freiballon – die Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten (1888–1899). Dahlemer Archivgespräche 6(2000), 52–82

Bode, W.: Goethe in vertraulichen Briefen seiner Zeitgenossen. 3 Bände, Aufbau-Verl., Berlin und Weimar (1979)

Börnstein, R.: Aus Goethes Meteorologie. Meteorol. Z. 24(1907), 241–247

Brandes, H. W.: Beiträge zur Witterungskunde. Ambrosius Barth, Leipzig (1820), 411 S.

Bratranek, F. T. (Hrsg.): Goethe's Naturwissenschaftliche Correspondenz (1812–1832), 2 Bände. F. A. Brockhaus, Leipzig (1874)

Cappel, A.: Societas Meteorologica Palatina. Ann. Meteorol., N. F. 16(1980), 11–27

Carus, K. G.: Neun Briefe über Landschaftsmalerei. Edition Max Reichelt, Villingen (Schwarzwald) (1947), S. 52

Chrgian, A. Ch.: Oèerki razvitija meteorologii. Gidrometeoizdat, Leningrad (1959), S. 87ff.

Clayton, H. H.: Discussion of cloud observations, chapter I. Ann. of the Astron. Obs. of Harvard Coll. 30, part IV (1896), 279–331

D'Arrigo, R. D., Jacoby, G. C.: Northern North American treering evidence for regional temperature changes after major volcanic events. Climatic Change 41(1999), 1–15

Dietze, W.: Johann Wolfgang Goethe – Thesen zur Diskussion 1982 –. Aus d. Arb. v. Plenum u. Klassen d. Akad. d. Wiss. d. DDR, Berlin 6(1981), 1–393

Dove, H. W.: Das Gesetz der Stürme in seiner Beziehung zu den allgemeinen Bewegungen der Atmosphäre. 4. Aufl., Verl. v. Dietrich Reimer, Berlin (1873), 367 S.

Eckermann, J. P.: Gespräche mit Goethe in den letzten Jahren seines Lebens. Z. B. herausgeg. von R. Otto unter Mitarb. von Peter Wersig, Aufbau-Verl., Berlin u. Weimar 1982

Ertel, H.: Entwicklungsphasen der Geophysik. Dt. Akad. d Wiss., Vorträge und Schriften, Heft 52(1953), 24 S.

Exner, F. M.: Über eine erste Annäherung zur Vorausberechnung synoptischer Wetterkarten. Meteorol. Z. 25(1908), 57–67

Ficker, H. v.: Bemerkungen über Goethes „Versuch einer Witterungslehre". Sitz.Ber. d. Preuß. Akad. d. Wiss., Phys.-math. Klasse (1932)VII, 47–52

Gedzelman, S. D.: Cloud classification before Luke Howard. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 70(1989), 381–395

Gedzelman, S. D.: The sky in art. Weatherwise 44(1992), 8–13

Geiger, R.: Das Wetter in der Bildersprache Shakespeares. Sitz.Ber. Bayer. Akad. d. Wiss., math.-nat. Klasse (1961), 115–169

Grau, C.: Goethe 1932 in Moskau und Leningrad: Wissenschaftlich-literarisches Erbe und gesellschaftlicher Umbruch. Sitz.Ber. d. Leibniz-Soz. (2001), Bd 40 (2000) H. 5

Grebe, H.: Die Temperaturverhältnisse in Jena von 1775–1935. Wiss. Abh. d. Reichsamtes f. Wetterd. 1(1936)7, 71 S.

Hänsel, C., Börngen, M.: Sächsisch-thüringische frühe Beiträge zur Wetter- und Klimakunde. Sitz.Ber. d. Sächs. Akad. d. Wiss. Leipzig, Math.-naturw. Klasse 125(1994)3, 25 S.

Hellmann, G.: Repertorium der deutschen Meteorologie. W. Engelmann, Leipzig (1883), 995 S.

Hellmann, G.: Über strenge Winter. Sitz.Ber. d. Preuß. Akad. d. Wiss. (1917)52, 738–759

Howard, L.: On the modifications of clouds. London (1803), 32 S. In: Hellmann, G.: Neudrucke v. Schriften u. Karten über Meteorologie u. Erdmagnetismus No. 3, Berlin (1894)

Hupfer, P., Chmielewski, E.-M. (Hrsg.): Das Klima von Berlin. Akademie-Verlag, Berlin (1990), 288 S.

IPCC: Climate change 1995. The science of climate change. Cambr. Univ. Press (1996), 572 S.

Kanaev, I. I.: Gete kak estestvoispytatel'. Izd.-vo Nauka, Leningrad (1970), 466 S.

Kämtz, L. F.: Lehrbuch der Meteorologie, Bd. I (1831), II (1832), III (1836). Gebauersche Buchhandlung, Halle

Klima von Berlin: Das Klima von Berlin (II). Temperaturverhältnisse (Tabellen). Abh. d. Meteorol. Dienstes d. DDR XIII(1971)103, 187 S.

Körber, H.-G.: Vom Wetteraberglauben zur Wetterforschung. Edition Leipzig (1987), S. 133–136

Korch, H. A.: Goethe im Bildwandel seiner Lyrik. 2 Bde., Koehler & Amelang, Leipzig 1958

Krafft, F. (Hrsg.): Otto von Guerickes neue (sogenannte) Magdeburger Versuche über den leeren Raum. 2. Aufl., VDI-Verlag, Düsseldorf (1996), S. 112

Krätz, O.: Goethe und die Naturwissenschaften. 2. Aufl., Callwey Verlag, München (1998), 236 S.

Kutzbach, G.: The thermal theory of cyclones: A history of meteorological thought in the nineteenth century. Histor. Mon. Ser., Amer. Meteorol. Soc., Lancaster Press, Lancaster, Penns. (1979), 254 S.

Lampadius, W. A.: Systematischer Grundriß der Atmosphärologie. Craz u. Gerlach, Freyberg (1806), 392 S.

Lindgrén, S., Neumann, S., Tieplo, M. F., Zolli, E.: Winter 1788–89: The Lagoon of Venice freezes over. Meteorol. Rundsch. 38(1985), 112–118

Lohmeyer, K.: Das Meer und die Wolken in den beiden letzten Akten des „Faust". Jahrb. d. Goethe-Gesellschaft 13(1927), 106–133

Lüdecke, C.: The monastery of Andechs as station in early meteorological observational networks. Meteorol. Z., N. F. 6(1997), 242–248

Meteorologische Ephemeriden: Der baierischen Akademie der Wissenschaften in München meteorologische Ephemeriden auf das Jahr 1788. Achter Jahrgang, 107 S.

MEW: Karl Marx Friedrich Engels Werke. 43 Bände, Dietz Verlag Berlin

Moewes, E.: Das Guerickesche Wettermännchen oder Anemoskop. Wiss. Z. d. Techn.Univ. „Otto von Guericke" Magdeburg 35(1991)6, 102–111

Mohn, H.: Grundzüge der Meteorologie. 3. Aufl., Verl. v. Dietrich Reimer, Berlin (1883), 359 S.

Müller, Kanzler Friedrich von: Unterhaltungen mit Goethe. Herausgegeb. von R. Grumach. Hermann Böhlaus Nachfolger, Weimar (1982), 401 S.

Nebeker, F.: Calculating the weather. Internat. Geophys. Ser. 60, Acad. Press, San Diego etc. (1995), 251 S.

Neumann, J., Dettwiller, J.: Great historical events that were significantly affected by the weather: Part 9, the year leading to the revolution of 1789 in France (II). Bull. Amer. Meteorol. Soc. 71(1990), 33–41

Nickel, G., persönliche Mitteilung (2000); vgl. auch Nickel, G.: Neues von Camarupa. Zu Goethes frühen meteorologischen Arbeiten. Goethe-Jahrbuch 2001, in Vorbereitung.

Nisbet, H. B.: Versuch einer Witterungslehre. In: Witte, B. et al. (Hrsg.): Goethe-Handbuch, Bd. 3, J. B. Metzler, Stuttgart, Weimar (1997), 778–785.

Pelz, J.: Eine kritische Betrachtung zur Geschichte der Temperaturmessung und deren Auswertung in Berlin seit 1701. Meteorol. Abh. d. Inst. f. Meteorol. d. FU Berlin, N. F., A4, Heft 4(1993), 170 S.

Pelz, J.: Die Berliner Jahresmitteltemperaturen von 1701 bis 1996. Beilage zur Berliner Wetterkarte 20/97, SO 6/97 (1997), 11 S.

Pelz, J., Rüge, U., Schlaak, P.: Zur Fortführung der von F. Baur im Jahre 1975 veröffentlichten Temperaturreihe für Mitteleuropa ab 1761 und der Niederschlagsreihe für Deutschland westlich der Oder ab 1851. Beilage zur Berliner Wetterkarte 50/96, SO 14/96 (1996), 3 S.

Pernter, J. M.: Die Farben des Regenbogens und der weisse Regenbogen. Sitz.Ber. d. Akad. d. Wiss. Wien 106, IIa(1897), 135–235

Pernter, J. M., Exner, F. M.: Meteorologische Optik. 2. Aufl., W. Braumüller, Wien u. Leipzig (1922), 907 S.

Pfister, C.: Klimageschichte der Schweiz 1525–1860. Bd.1, 184 S.; Bd. 2, 160 S. 3. Aufl., Verlag P. Haupt, Bern u. Stuttgart (1988)

Schirnank, H.: Die drei Luftpumpen Otto von Guerickes, eine bisher unbekannte Anleitung zum Experimentieren damit und eine ebenfalls bisher unbekannte Anweisung zur Wettervorhersage auf Grund barometrischer Beobachtungen. Abh. d. Braunschweig. Wiss. Ges. 13(1961), 128–148

Schlaak, P.: Skizzen der Wetter- und Witterungsverhältnisse und ihre Auswirkungen auf Land, Leute und Wirtschaft zur Zeit des Aufstiegs Preußens (1640 bis 1850). Beilage zur Berliner Wetterkarte 32/82, SO 4/82 (1982), 32 S.

Schneider-Carius, K.: Goethe und die Meteorologie. Ber. d. Dt. Wetterd. in d. US-Zone 2(1950a)12, 5–12

Schneider-Carius, K.: Goethes Erlebnis und Erforschung der atmosphärischen Erscheinungen. Goethe-Jahrbuch 12(1950b), 177–210

Schneider-Carius, K.: Wetterkunde Wetterforschung. Verlag K. Alber, Freiburg/München (1955), 423 S.

Schneider-Carius, K.: Goethe und Alexander v. Humboldt. Jahrb. d. Goethe-Ges., N. F. 21(1959), 163–182

Schöne, A.: Über Goethes Wolkenlehre. Jahrb. d. Akad. d. Wiss. Göttingen f. d. Jahr 1968, (1969), 26–48

Schönwiese, C.-D.: „Ein Angehäuftes, flockig löst sich's auf" – Goethe und die Beobachtung der Wolken. Forschung Frankfurt, Wissenschaftsmaga-

zin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main (1999)2, 12–18

Schulze, W. M. H.: Goethe und die Meteorologie. Wiss. Ann. 6(1957), 101–116

Steiger, R., Reimann, A.: Goethes Leben von Tag zu Tag, 8 Bände. Artemis Verlag-AG, Zürich (1982–1996)

Stommel, H., Stommel, E.: Volcano weather: The story of 1816, the year without summer. Seven Seas Press, Newport, R. I. (1983), 117 S.

Vernadskij, V. I.: Gete kak naturalist (Mysli i zameèanija). Bjull. Moskovskogo obšèestva ispytatelej prirody. Novaja serija. Otdel geolog. 21(1946)1, 5–52. Auch in: Vernadskij, V. I.: Trudy po vseobšèej istorii nauki. 2-oe izd., Moskva (1988), 224–265

Victor, W.: Goethe im Gespräch. Aufbauverlag, Berlin und Weimar (1967)

Voigt, W., Sucker, U.: Johann Wolfgang von Goethe als Naturwissenschaftler. Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner, Bd. 38. Teubner Verlagsges., Leipzig (1979), 100 S.

Wasielewski, W. v.: Goethes meteorologische Studien. Insel-Verlag, Leipzig (1910), 89 S.

Wehry, W., Ossing, F. J.: Wolken – Malerei – Klima in Geschichte und Gegenwart. Dt. Meteorol. Ges.(1997), 186 S.

Weickmann, L.: Witterungslehre zu Goethes Zeit und heute. Goethe-Gesellschaft Weimar, Ortsvereinigung Leipzig, 2. Aufl. (1944), 18 S.

Weitz, H.-J. (Hrsg.): Marianne und Jakob Willemer Briefwechsel mit Goethe. Insel-Verlag, Frankfurt/M. (1965), 968 S.

Witte, B., Buck, T., Dahnke, H.-D., Otto, R., Schmidt, P. (Hrsg.): Goethe-Handbuch, 4 Bände. Verlag J. B. Metzler, Stuttgart, Weimar (1996–1999)

WMO statement on the status of the global climate in 1999. WMO-No. 913(2000), 12 S.

Wustelt, J.: Die Temperaturschwankungen in der Klimareihe von Jena und ihre Beziehungen zur Witterungskunde und zur Klimageschichte Europas. Abh. d. Meteorol. u. Hydrol. Dienstes d. DDR 9(1962)66, 71 S.

Anhang

Die nachfolgenden, erstmals im Jahre 1820 veröffentlichten Gedichte Goethes, die in gewissem Sinne eine „Metamorphose der Wolken" beschreiben, werden hier in modernisierter Schreibweise nach LA I/8, S. 92f. wiedergegeben (vgl. auch LA I/8, S. 236f. mit englischer Übersetzung), wobei abweichend von dieser Quelle „Cumulus" und „Cirrus" anstatt „Kumulus" und „Zirrus" stehen.

Stratus

Wenn von dem stillen Wasserspiegel-Plan
Ein Nebel hebt den flachen Teppich an,
Der Mond, dem Wallen des Erscheins vereint,
Als ein Gespenst Gespenster bildend scheint
Dann sind wir alle, das gestehn wir nur,
Erquickt, erfreute Kinder, o Natur!
Dann hebt sich's wohl am Berge, sammlend breit
An Streife Streifen, so umdüstert's weit
Die Mittelhöhe, beidem gleich geneigt,
Ob's fallend wässert, oder luftig steigt.

Cumulus

Und wenn darauf zu höhrer Atmosphäre
Der tüchtige Gehalt berufen wäre
Steht Wolke hoch, zum herrlichsten geballt,
Verkündet, festgebildet, Machtgewalt,
Und was ihr fürchtet und wohl auch erlebt
Wie's oben drohet, so es unten bebt.

Cirrus

Doch immer höher steigt der edle Drang!
Erlösung ist ein himmlisch leichter Zwang.
Ein Aufgehäuftes flockig löst sich's auf
Wie Schäflein tripplend, leichtgekämmt zu Hauf.

So fließt zuletzt was unten leicht entstand
Dem Vater oben still in Schoß und Hand.

Nimbus

Nun laßt auch niederwärts, durch Erdgewalt
Herabgezogen was sich hoch geballt,
In Donnerwettern wütend sich ergehn,
Heerscharen gleich entrollen und verwehn!-
Der Erde tätig-leidendes Geschick!-
Doch mit dem Bilde hebet euren Blick:
Die Rede geht herab, denn sie beschreibt,
Der Geist will aufwärts, wo er ewig bleibt.

Key words

Meteorologie und Goethe / Goethes Witterungslehre / Goethe und die Naturwissenschaften / Goetherezeption / Meteorologiegeschichte / Meteorologie und Dichtkunst / Schichtenbau der Atmosphäre / Wolkenklassifikation Klimageschichte / Klima der Goethezeit

Endnoten

1 Im Interesse der Einheitlichkeit werden die Goethezitate, soweit möglich, nach der Weimarer Ausgabe (WA, „Sophienausgabe") wiedergegeben, die in Abteilung II Goethes naturwissenschaftliche Schriften enthält. Zusätzlich werden die Zitate auch unter Benutzung der ersten Abteilung der Leopoldina-Ausgabe der Schriften Goethes zur Naturwissenschaft (LA/I) nachgewiesen, in der Texte meteorologischen Inhalts in den Bänden 8 und 11 enthalten sind.

2 Sowohl das Werk Linnés als auch Werk und Persönlichkeit Werners haben auf Goethe eine starke Wirkung ausgeübt (z.B. WA IV/27, S. 219; Eckermann, 1. Febr. 1827).

3 Der in WA II/12 wiedergegebene Text enthält auch Passagen, die nicht dem genannten Aufsatz entstammen und erst aus Goethes Nachlaß veröffentlicht wurden (in LA I/11, S. 194ff. abgedruckt).

4 Das in diesem Kontext von Schulze, 1957 nach Bratranek, 1874, Bd. 1, S. 64 angeführte Briefzitat ist dem Apotheker Rudolf Brandes aus Salzufflen, nicht aber, wie irrtümlich angegeben, dem Mathematiker und Physiker Heinrich Wilhelm Brandes (vgl. Brandes, 1820) zuzuschreiben.

5 Die Gattung Stratocumulus im heutigen Sinne wurde offensichtlich erstmals in einer englischsprachigen Fassung des Lehrbuchs von Kämtz im Jahre 1845 eingeführt (vgl. Clayton 1896).

6 Noch Kämtz, 1831 bemerkte in seinem Lehrbuch (S. 384) in bezug auf die Wolkenhöhen, *„es giebt keinen einzigen Gegenstand der ganzen Meteorologie, vielleicht der ganzen Naturlehre, über welchen wir so wenig numerische Resultate besitzen."* Allerdings verweist der Autor an benachbarter Stelle (S. 383, Anmerkung 24) darauf, daß Posselt, Direktor der Sternwarte Jena und Gespächs- wie Briefpartner Goethes, zahlreiche Wolkenhöhenbestimmungen nach der von Jacob Bernoulli vorgeschlagenen Dämmerungsmethode durchgeführt habe.
Derzeit existieren jedoch keinerlei Hinweise, daß die unveröffentlicht gebliebenen Ergebnisse Goethe zur Kenntnis gelangt wären.

7 In Goethes nachgelassenen Notizen für seine physikalischen Vorlesungen findet sich im November/Dezember 1805 neben zahlreichen Stichworten zu Luftdruckphänomenen die Bemerkung: „Veränderung der Anziehungskraft der Erde, vorzügliche Ursache der Veränderung der Witterung." Die systematische Beschäftigung mit der Hypothese von der „tellurischen" Ursache für die Luftdruckschwankungen fällt aber in die zweite Hälfte des Jahres 1822 und in das Jahr 1823, wie Eintragungen in den Tages- und Jahresheften (WA I/36, S. 212), Gesprächsnotizen (Eckermann, dritter Teil, 2. Juni 1823) und besonders Briefstellen belegen (WA IV/36, S. 242, 291ff.; IV/37, S. 5, 11f., 25, 56, 58, 65, 69, 124, 134, 181f., 208, 240), in denen er sich auch um die Beschaffung gleichzeitiger Barometerbeobachtungen von weit voneinander entfernt liegenden Stationen bemühte, war ihm doch die Ähnlichkeit des Luftdruckverlaufs an unterschiedlichen Orten entscheidendes Indiz für den tellurischen Ursprung der Luftdruckschwankungen.

8 Allerdings hat Goethe seine Hypothese vom Ursprung der Luftdruckschwankungen zwar bis in die letzten Lebensjahre vertrauten Gesprächs- und Briefpartnern nahegebracht, sie aber – ganz im Gegensatz zu der polemisch-aggressiven Darlegung seiner Farbenlehre oder dem entschiedenen Eintreten für das Konzept des Neptunismus – in der Öffentlichkeit nur mit Zurückhaltung und in gewissem Sinne als vorläufig vertreten (z.B. WA II/12, S. 61; LA I/8, S. 322). Auch verraten die abschließenden Passagen des zu Goethes Lebzeiten unveröffentlicht gebliebenen „Versuchs einer Witterungslehre" in bezug auf das Erklärungspotential der genannten Hypothese deutliche Vorsicht und Zurückhaltung.

9 Luke Howards zweibändiges Werk „The climate of London" (1818, 1820), das Goethe im März 1822 erhielt und im Juni an Posselt zur Rezension weiterreichte (WA I/36, S. 212; WA III/8, S. 173f., 205f.; WA IV/35, S. 281), gilt heute als erste Quelle für den Nachweis einer städtischer Wärmeinsel. Der Rezensent meinte hierzu, *„daß die höhere Temperatur jener Hauptstadt zwei Ursachen vorzüglich zuzuschreiben sei, nämlich den vielen Feuern, welche beständig Wärme von sich geben, und sodann dem Zurückprallen der Sonnenstrahlen von den vielen senkrechten Mauern"* (LA I/8, S. 320).

10 Im hier wiedergegebenen Text der Weimarer Ausgabe irrtümlich als „Fischleimhygrometer" bezeichnet.

11 Goethe nahm an der Gründung der im Jahre 1812 erbauten Sternwarte (LA I/11, S. 162–166) *„sowohl aus öffentlichen, als aus Privatrücksichten...großen Antheil"* (WA IV/22, S. 306), wie zahlreiche Tagebucheintragungen aus dem Jahre 1812 belegen. In diesem Jahr wurden Goethe und C. G. Voigt die Oberaufsicht dieses Instituts übertragen und v. Münchow zum Astronomen der Sternwarte ernannt. Einen Tag nach dem Ableben des

Nachfolgers, Prof. Posselt, mit dem Goethe einen lebhaften Brief- und Gedankenaustausch zu meteorologischen Problemen geführt hatte, mahnte dieser am 31. März 1823 bei Carl August die Wiederbesetzung der Stelle an, *„da wir denn in unserer Lage vorzüglich einen tüchtigen vorurtheilsfreyen Meteorologen zu wünschen hätten"* (WA IV/36, S. 315), als der der bisherige Condukteur Schrön erwählt wurde.

12 Aus einem Brief Goethes an Carl August aus dem Jahre 1820 geht hervor, daß in Jena beachtet wurde, *„was früher durch die Mannheimer geschehen"* (WA IV/33, S.155).

13 Neuere Bearbeitungen der bis Anfang des 18. Jahrhunderts zurückreichenden Berliner Temperaturmes-sungen, die im Klima von Berlin (II), 1971 in extenso mitgeteilt sind, haben Schlaak, 1982 und Pelz, 1993, 1997, vorgelegt.

14 Der Charakter des Winters 1822/23 wurde vor allem durch den überaus strengen Januar 1823 geprägt, der sowohl in der Baurschen Mitteleuropareihe als auch in den Jenaer Temperaturreihen nach Grebe und Wustelt, a.a.O., zusammen mit den temperaturmäßig vergleichbaren jeweils ersten Monaten der Jahre 1776, 1795, 1838, 1848 und 1940 zu den kältesten Januarmonaten seit Mitte des 18. Jahrhunderts zählt. In diesen Monat fällt auch das absolute Temperaturminimum von -31,6°C der allerdings nicht streng homogenen Beobachtungsrei-hen nach Grebe, 1936.

15 Hiermit soll keine wirklichkeitsfremde Idylle suggeriert werden: Aber die Degradation der Arbeitsumwelt, die Verschmutzung von Boden, Wasser und Luft durch die frühkapitalistische Produktionsweise, bereits vom jungen Engels an packenden Beispielen geschildert (MEW 1, S. 413, 417), trug noch lokalen Charakter, ebenso wie die Luftverunreinigung durch den Hausbrand in Gebirgstälern, die Goethe nicht verborgen geblieben sein dürfte.

16 Zur Deutung der Goetheschen Lyrik vgl. z.B. Korch, 1958.

17 Zur Geschichte der sächsisch-thüringischen Meß- und Beobachtungsnetze bis zum Ende des 19. Jahrhunderts vergleiche man z.B. Hänsel, Börngen, 1994.

Wissenschaftliche Mitteilungen

Gert Blumenthal*

Neue Sorgen mit einer neuen Plutoniumverbindung

Migration von Plutoniumverbindungen im Grundwasser

Mitarbeiter des Lawrence Livermore National Laboratory berichteten über Messungen der räumlichen Verteilung von Plutonium im Grundwasser der Wüste von Nevada (1). Hier haben die USA von 1956 bis 1992 828 unterirdische Kernwaffentests durchgeführt.

Nun wurden Plutoniumspuren bis zu 1,3 km vom Testpunkt entfernt gefunden. Das war unerwartet, weil man bis dahin überzeugt war, daß die bei der Explosion entstandenen Plutoniumverbindungen wasserunlöslich und vom Gestein fest adsorbiert worden seien.

Die hohe Mobilität der Plutoniumverbindungen wurde damit erklärt, daß diese an die Kolloidfraktion des Grundwassers adsorbiert und so über weite Strecken transportiert worden seien - ein in den bisherigen Modellen der Radionuclid-Migration unterschätzter Mechanismus. Die Verfasser verwiesen auf die Konsequenzen dieses Befundes für die Untergrundlagerung plutoniumhaltiger Materialien.

Diese Ergebnisse sind hochaktuell: Das staatliche britische Nuclear Installations Inspectorate (NII) bezeichnete 22 Zwischenlager (mit insgesamt 70.000 m^3 radioaktiver Rückstände) in Großbritannien als derart unsicher, daß mit Lecks in den Behältern zu rechnen sei. Das NII sah sogar das Risiko einer unkontrollierten Kernreaktion in den Rückstandsmassen und forderte, innerhalb der nächsten 20 Jahre 20 zusätzliche sichere Lagerstätten für radioaktive Rückstände zu bauen. Die schlimmsten Probleme fänden sich in der Wiederaufbe-

* Wissenschaftliche Mitteilung, vorgetragen am 19. April 2001 in der Sitzung der Leibniz-Sozietät.

reitungsanlage Sellafield, wo die Hauptmenge des Abfalls lagere. Auf Grund der hier vorliegenden mangelhaften baulichen Bedingungen existierten ernste Risiken, daß Plutonium aus den Fässern entweicht und dabei die kritische Masse überschritten wird. Eine schwere potentielle Gefahr stellten die großen Volumina brennbarer radioaktiver Lösungsmittel dar (2). Aus dieser Wiederaufbereitungsanlage seien zwischen 1960 und 1990 ca. 200 kg Plutonium in die Irische See eingeleitet worden – eine Praxis, die erst 1999 beendet worden sei. Die norwegische Strahlenschutzbehörde habe im März 1999 in der Nordsee Plutoniumspuren nachgewiesen, die möglicherweise auf Sellafield zurückgingen (3).

Plutoniumoxide

Plutoniumrückstände werden weltweit als Plutoniumdioxid gelagert. Plutoniumdioxid, PuO_2, ist ein gelbgrüner, in der Fluoritstruktur kristallisierender, in Wasser schwerlöslicher Stoff, der bei 2390 °C schmilzt. Er ist chemisch relativ inert und läßt sich selbst mit starken Oxidationsmitteln, wie Ozon, atomarem Sauerstoff oder Stickstoffdioxid, nicht in Verbindungen höherer Plutonium-Oxidationsstufen überführen. Dementsprechend galt PuO_2 bisher als das sauerstoffreichste und thermodynamisch stabilste Plutoniumoxid. Es wurde in Wasser als nicht mobilisierbar und damit für die Endlagerung als geeignet angesehen.

Nach Untersuchungen von Mitarbeitern des Los Alamos National Laboratory ist diese Auffassung zu revidieren (4). Sie fanden, daß Plutoniumdioxid durch flüssiges Wasser oder Wasserdampf unter Wasserstoffentwicklung langsam oxidiert wird. Als festes Reaktionsprodukt entsteht dabei eine bisher unbekannte nichtstöchiometrische, Plutonium(VI) enthaltende, intensiv grüne oxidische Phase:

$$PuO_2 + n\,H_2O \longrightarrow PuO_{2+n} + n\,H_2$$

Die quantitative Zusammensetzung des sauerstoffreichsten Vertreters mit $n \approx 0{,}27$ läßt sich mit der Formel $Pu(IV)_{0,73}Pu(VI)_{0,27}O_{2,27}$ wiedergeben. Demnach sind 27 % des ursprünglichen Plutonium(IV) oxidiert worden – und zwar durch Wasser[1]! Der Pu(VI)-Inhalt des Oxids kann zumindest teilweise durch Wasser herausgelöst werden, was die überraschend schnelle Plutonium-Migration im Grundwasser erklären könnte!

Die Triebkraft für diese Reaktion ist nun verständlich: Nicht Plutoniumdioxid, sondern das neue Plutonium(IV,VI)-oxid ist das thermodynamisch stabilste Oxid des Plutoniums!

Strukturell und im Lösungsverhalten gegenüber Wasser zeigt das neue Plutoniumoxid Analogien zu der entsprechenden Uranverbindung UO_{2+x}.

Schlußfolgerungen

Die sich ergebenden Schlußfolgerungen führen weit über wissenschaftliche Fragen der Chemie hinaus:

1. Technikfolgenabschätzung

Auf Grund von Gleichgewichten zwischen den Plutonium-Oxidationsstufen +3 bis +6 in wäßriger Lösung können diese Verbindungen in vergleichbaren Konzentrationen nebeneinander vorliegen!

$$Pu^{4+} + Pu^{V}O_2^{+} \quad \rightleftharpoons \quad Pu^{3+} + Pu^{VI}O_2^{2+}$$

Da jede dieser Verbindungen unterschiedliche Bedingungen braucht, um ausgefällt oder adsorbiert zu werden, läßt sich das Transportverhalten einmal gelöster Plutoniumverbindungen nur schwer vorhersagen.

Charles MADIC von der französischen Atomenergiekommission, Abteilung Brennstoffzyklus, gab folgende Einschätzung: „Für militärische wie zivile Anwendungen war die Stabilität von PuO_2 ein Schlüsselfaktor der industriellen Strategie. Die neuen Ergebnisse werden große Konsequenzen für die Untergrundlagerung von Nuclearabfällen haben....Die neuentdeckte Eigenschaft des Plutoniumdioxids wird wichtige Auswirkungen auf die Langzeitlagerung von Plutonium haben" (5, 6). Auf weitere durch Plutonium in der Kerntechnik verursachte Probleme verweist BREUER (7).

2. Die Zuverlässigkeit wissenschaftlich-technischer Vorhersagen

Plutonium als erstes künstliches Element wurde im Rahmen des Manhattan Projects erstmals 1942 von menschlichen Augen gesehen. Es gehört wegen seiner Bedeutung für die Waffentechnik wie auch für die zivile Kerntechnik wahrscheinlich zu den besterforschten chemischen Elementen. Umso unerwarteter ist die so späte Entdeckung des oben beschriebenen, folgenschweren Reaktionsverhaltens einer der technisch wichtigsten Plutoniumverbindungen!

3. Depleted-Uranium-(DU)-Munition

Beim Aufprall und nachfolgendem Abbrand von DU-Geschossen, wie sie seitens der NATO massenhaft im Krieg gegen den Irak und Jugoslawien eingesetzt wurden, entstehen disperse Stäube von Uran- und Plutoniumoxiden. Diese können gemäß dem oben dargestellten Mechanismus ebenfalls mobilisiert und im Grundwasser über weite Strecken transportiert werden. Weiträumig besteht die Gefahr, daß beide Radionuclide mit ihren Tochterelementen über den Atmungstrakt wie auch über die Nahrungskette inkorporiert werden und dann Leukämien und verschiedene Krebserkrankungen verursachen. Für den Irak sind derartige Folgen dokumentiert (8). Nach dem Sender BBC hätten britische Wissenschaftler bei drei Personen im ehemaligen Jugoslawien erstmals Uran im Harn nachgewiesen, das zweifellos aus DU-Munition stamme (9).

Literatur

(1) A. B. Kersting, D. W. Efurt, D. L. Finnegan, D. J. Rokop, D. K. Smith & J. L. Thompson., Nature **397**, 7 Jan 1999, 56.
(2) Rob Edwards, New Scientist **160**, No 2165/6/7 (1998), 7.
(3) Aktuell 2000, Harenberg Lexikon Verlag Dortmund 1999, 164.
(4) John M. Haschke, Thomas H. Allen, Luis A. Morales, Science **287**, 14 Jan 2000, 285.
(5) Charles Madic, Science **287**, 14 Jan 2000, 243.
(6) Rob Edwards, New Scientist **165**, No 2222 (2000), 18.
(7) Georg Breuer, Naturwissenschaftliche Rundschau **153**, 5 (2000), 246.
(8) Siegwart-Horst Günther, Uran-Geschosse: Schwergeschädigte Soldaten, mißgebildete Neugeborene, sterbende Kinder, Ahriman-Verlag, Freiburg (Breisgau) 1996.
(9) Wolfgang Pomrehn, Neues Deutschland 17.04.2001, 8.

Anmerkungen

1 Derartige Redoxreaktionen des Wassermoleküls schon bei Raumtemperatur sind auch bei einigen anderen Oxid-Paaren thermodynamisch möglich, z.B. bei V_2O_3/V_2O_4, Ce_2O_3/CeO_2, FeO/Fe_3O_4, FeO/Fe_2O_3 und auch bei CO/CO_2.

Hannelore und Karl-Heinz Bernhardt

Der Geophysiker Julius Bartels als Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Berlin*

Als weiterer Beitrag zur Rolle von Mitgliedern der Berliner Wissenschaftsakademie in der Geschichte der Geophysik sollen hier die Beziehungen des Geophysikers Julius Bartels (1899–1964) zur Preußischen und nachmaligen Deutschen Akademie der Wissenschaften skizziert werden, nachdem wir bereits an anderer Stelle seine Biographie (vgl. Tab.1) – vor allem während der Berliner Jahre – auf der Grundlage von Archivstudien umrissen und Teilaspekte seines wissenschaftlichen Lebenswerkes behandelt haben.[1]

Bartels' Name ist u. a. mit dem Studium der tagesperiodischen Luftdruckschwankungen und der Theorie der atmosphärischen Gezeiten, mit der Einführung der planetaren geomagnetischen Kennziffern, mit der Entdeckung aktiver, der sogenannten „M-Regionen" auf der Sonne mittels statistischer Bearbeitung erdmagnetischer Registrierungen und nicht zuletzt mit zahlreichen Hand- und Lehrbuchbeiträgen verbunden, allen voran das gemeinsam mit S. Chapman aus Großbritannien verfaßte Standardwerk „Geomagnetism", das im Kriegsjahr 1940 in Oxford erschien und nach 1945 einen Neudruck verzeichnete, ebenso wie drei englischsprachige Aufsätze aus der Vorkriegszeit.[2] Von bleibendem Wert sind seine Arbeiten zur statistischen Bearbeitung und Interpretation meteorologischer und geophysikalischer Beobachtungsdaten, namentlich zur adäquaten Berücksichtigung der Autokorrelation (bzw. der „Erhaltungsneigung") bei den einschlägigen Testverfahren.

Eine erste Berührung von Bartels mit der Berliner Akademie reicht in das Jahr 1935 zurück, als H. v. Ficker am 28. November der physikalisch-mathematischen Klasse eine Arbeit „des Herrn Prof. Bartels in Eberswalde" mit dem Thema „Zur Morphologie geophysikalischer Zeitfunktionen" vorlegte,[3] die, in engem inhaltlichem Zusammenhang mit einer umfangreichen englisch-

* Wissenschaftliche Mitteilung, vorgetragen am 18. Mai 2001 vor der Klasse für Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät.

sprachigen Publikation aus dem gleichen Jahre stehend, bald darauf in den Sitzungsberichten der Akademie veröffentlicht wurde.[4] In beiden Abhandlungen werden Verfahren zur statistischen Beurteilung von Ergebnissen der Periodogrammanalyse in Vektordarstellung („Periodenuhr") entwickelt, auf meteorologisch-geophysikalische Zeitreihen angewandt und die Bedeutung der „Erhaltungstendenz" (Wahrscheinlichkeitsnachwirkung) für statistische Tests diskutiert, wobei erstmals die anschaulichen Maßzahlen der „äquivalenten Anzahl aufeinanderfolgender identischer Ordinaten" und der „effektiven Anzahl zufälliger Ordinaten" Verwendung fanden, die der äquivalenten Wiederholungs(Erhaltungs)zahl bzw. dem effektiven Stichprobenumfang in heutiger Terminologie entsprechen.

Die Wahl Bartels' als Ordentliches Mitglied fiel in das Jahr 1939. Laut Protokoll der physikalisch-mathematischen Klasse vom 9. Februar, das L. Bieberbach unterzeichnete, hatte Defant seine Zuwahl empfohlen, und da der Eintritt eines Geophysikers in die Akademie „... der Klasse sehr wünschenswert" erschien, wurde beschlossen, „die Wahl in die Wege zu leiten".[5] Zugleich sollte der „frühere Direktor des geodätischen Instituts, Prof. Kohlschütter, zum Korrespondierenden Mitglied gewählt werden".[6] Auf einer außerordentlichen Klassensitzung am 16. Februar lag der Wahlvorschlag[7] (s. Anhang) für Bartels und drei weitere Zuwahlkandidaten (A. Butenandt, K. Meyer, F. Seewald) vor. Die bereits am 23. Februar durchgeführte Wahl ergab für Bartels 23 weiße Kugeln und keine schwarze, d. h. sie war einstimmig, während ihn die Gesamtakademie am 2. März 1939 mit 49 weißen gegen eine schwarze Kugel zum Ordentlichen Mitglied wählte.[8] Wenige Tage später ersuchte der kommissarische Akademiepräsident Th. Vahlen den Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung um Bestätigung der Wahl, nicht ohne hinzugefügt zu haben, daß die Klasse bei der Auswahl der vorgeschlagenen neuen Mitglieder von den Gesichtspunkten ausgegangen sei, daß der zu Wählende „ein führender Mann seines Faches sein" müsse; er solle „der Akademie etwas Neues, bei ihr nicht Vertretenes und für die Belange des Volkslebens möglichst Wichtiges bringen, er soll ferner die Gewähr dafür bieten, daß er sich der heutigen Zeit einordnet und im Sinne der Bewegung wirkt."[9]

Zur Zeit seiner Zuwahl war Bartels nach einer vorangegangenen zunächst außerordentlichen, dann ordentlichen Professur für Meteorologie an der Forst-

lichen Hochschule Eberswalde seit 1936 ordentlicher Professor für Geophysik an der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin sowie Direktor des Geophysikalischen Instituts Potsdam und konnte auf mehrere Arbeitsaufenthalte am Department of Terrestrial Magnetism of the Carnegie Institution of Washington als research associate verweisen.

Sowohl in Bartels' Antrittsrede als auch in der Entgegnung von Bieberbach vor dem Plenum der Akademie am Leibniztag, dem 6. Juli 1939, wurde auf die Disziplingeschichte der Geophysik Bezug genommen, so wenn Bartels ausführte:

„Die hohe Ehre, die mir die Akademie durch meine Ernennung erwiesen hat, möchte ich zugleich ansehen als eine endgültige Anerkennung, daß die Geophysik als Wissenschaft selbständig geworden ist. Die Physik der Erde wurzelt in einer Reihe von Wissenschaften, in der Mathematik und Physik, in der Astronomie und Geodäsie, in der Geologie und Geographie; viele geophysikalische Erscheinungen und ihre Anwendungen wirken unmittelbar auf die Lebensbedingungen des Menschen ein, am deutlichsten im Erfolg der geophysikalischen Methoden bei der Suche nach Bodenschätzen. Bei diesen engen Beziehungen zu Natur- und Geisteswissenschaften empfinde ich es als einen besonderen Vorzug, in der wissenschaftlichen Atmosphäre der Akademie von führenden Vertretern anderer Wissenszweige Anregungen zu empfangen. ... „

Bieberbach erwiderte darauf:

„Sie, Hr. Bartels, vertreten als erster die Physik der Erdfeste in unserem Kreis.[10] Ihre Arbeiten gelten den vielfältigen physikalischen Fragen, die sich aus der Stellung der Erde im Kosmos ergeben. So verwickelt die Vorgänge sind, die Sie erforschen, so wichtig ist es, für die immer planvoller werdende Gestaltung des menschlichen Lebens, diese Erscheinungen in ihren Zusammenhängen genaustens zu erkennen. Allein, die Hoffnung, sie dereinst zu beherrschen, gehört wohl ins Reich der Phantasie."[11]

An dieser Stelle kann die Verstrickung der Akademie in das faschistische Herrschaftssystem nicht übergangen werden, die z. B. die physikalisch-mathematische Klasse dazu bewog, für Zuwahlen „solche Gelehrte zu benennen, die durch ihren wissenschaftlichen Rang, durch ihre Persönlichkeit als Mensch und Gelehrter sowie durch ihre bewußt positive Einstellung zum neuen

Deutschland (soweit dies hier bekannt ist) geeignet sind, das Ansehen der deutschen Wissenschaft und der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu fördern."[12]

Im Hinblick auf Bartels ist festzustellen, daß er Mitglied des Reichsbundes für Höhere Beamte, des NS-Lehrerbundes und ab 1. Mai 1933 der NSDAP war.[13] Es darf aber angenommen werden, daß dies für Bartels wesentlich eine formale Angelegenheit darstellte; gegenteilige Belege finden sich nicht. Vielmehr hebt sich beispielsweise die oben erwähnte Antrittsrede durch ihre Sachlichkeit und die strenge Beschränkung auf fachwissenschaftliche Aussagen deutlich von den Ansprachen der übrigen zugewählten Mitglieder ab, die in der Mehrzahl glaubten, dem völkisch-nationalistischen Zeitgeist Tribut zollen oder auf andere Weise ihre Nähe zum herrschenden System herausstellen zu müssen.[14]

Rückblickend fügte Bartels im Jahre 1947 einem „Antrag auf Genehmigung für Nebentätigkeit als Wissenschaftlicher Berater des Meteorologischen Amtes für NW Deutschland" eine „Bemerkung" an, in der er u. a. schrieb:

„... Parteipolitisch bin ich immer wenig interessiert gewesen; vor 1933 wählte ich regelmäßig eine der liberalen Parteien. Ende April 1933 warb mich ... ein Kollege ... zum Eintritt in die Partei. Meine Bedenken gegen gewisse, schon damals erkennbare Tendenzen in der Partei, die meinen Ansichten zuwider waren, wurden mit dem Hinweis darauf zerstreut, dass diese Erscheinungen vorübergehend seien, und dass gerade zu ihrer Bekämpfung die Mitarbeit gutwilliger, anständig Denkender Pflicht sei.

Ich musste bald erkennen, dass diese Möglichkeit eines Einflusses nicht bestand, und dass auch eine offene Distanzierung durch Austritt aus der Partei praktisch unmöglich war. Ich versuchte deshalb wenigstens, soweit es in meinen Kräften stand, unheilvollen Auswirkungen des Nazi-Regimes innerhalb meines Bereiches entgegenzuwirken. Dass ich mich nicht aktiv an der Partei-Arbeit beteiligte, ist daran erkennbar, dass ich zu keinem Amt innerhalb der Partei oder ihrer Organisationen ernannt wurde.

Als typisch für diese nicht-nationalsozialistische Haltung führe ich einige ... Handlungen an, die ... nachgeprüft werden können.

1. Beim Tode des bekannten Physikers Arthur Schuster, London, schrieb ich trotz Warnung meiner Kollegen zur Vorsicht (Schuster entstammte einer Frankfurter jüdischen Familie) einen Beitrag zu seinem Andenken, ...

2. Als Vorsitzender der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft seit 1936 setzte ich starkem Regierungsdruck auf Einführung des Führerprinzips und auf Streichung der Emigranten erfolgreich Widerstand entgegen; z. B. blieb Dr. Gutenberg ... Mitglied der Gesellschaft bis zu ihrer Auflösung 1945.

3. Als Mitherausgeber der führenden deutschen geophysikalischen Zeitschrift 'Gerlands Beiträge zur Geophysik' sorgte ich mit dafür, dass die Namen der jüdischen Mitarbeiter beibehalten wurden. ... Sie erscheinen noch auf dem Titelblatt des zuletzt erschienenen Bandes 59, 1943.

4. Der norwegische Geophysiker Prof. Leiv Harang ... fand 1944/45 Asyl in meinem Potsdamer Institut zum Schutz vor Quisling-Verfolgung in seinem Lande ...

...

An der intensiven Zusammenarbeit mit ausländischen Kollegen seit 1925 hat weder das Jahr 1933 noch der Krieg etwas geändert, insbesondere nicht an meiner engen Verbindung mit der Carnegie Institution of Washington, ...

Als Deutschland noch nicht Mitglied der IUGG war, wurde ich vom CIW als offizieller Delegierter für die in 3-jährigem Turnus stattfindenden Kongresse ...bestimmt."

Bartels hatte als einziger offizieller deutscher Delegierter[15] an der 7. Tagung der IUGG vom 4.–15.9.1939 in Washington teilgenommen und schrieb dazu in der genannten Stellungnahme: „Im vollen Gegensatz zur politischen Lage verlief die Tagung in herzlicher Zusammenarbeit, und ich wurde zum Mitglied oder Vorsitzenden von Kommissionen ernannt. Als der Präsident der Union, La Cour – Kopenhagen, bei der Schlusssitzung am 14. 9. Deutschlands Beitritt zur Union bekannt gab, wurde das durch allgemeinen Beifall der Delegierten begrüßt, einschließlich derjenigen aus Polen Frankreich und England; nach Lage der Dinge konnte das nur bedeuten, dass die Delegierten in mir einen Vertreter der nicht-nazistischen deutschen Wissenschaft sahen.

Es ist anzunehmen, dass diese Haltung der Anlaß für einen heftigen anonymen Angriff war, der unter der Überschrift 'Geophysik, eine rein jüdische Angelegenheit' etwa 1936/37 in der SS-Zeitung 'Das Schwarze Korps' erschien, parallel zu den Angriffen auf die 'jüdische' theoretische Physik. ..."[16]

Im Entnazifizierungsverfahren wurde Bartels rechtskräftig mit dem 17. Mai 1949 für entlastet erklärt (Kategorie V).[17] Seine in der Vorkriegszeit

geknüpften engen Beziehungen zu Fachkollegen und wissenschaftlichen Institutionen, besonders im angloamerikanischen Bereich, sowie zu internationalen Organisationen kamen offenbar der frühzeitigen Einbindung der geophysikalischen Forschung der Bundesrepublik in die weltweite Kooperation zugute und beförderten wohl auch seine Wahl in hochrangige Leitungsfunktionen der entsprechenden internationalen Vereinigungen, wie der IAGA und der IUGG.

Während des Krieges wurde Bartels als Heeresmeteorologe verpflichtet, zunächst in Potsdam, ab 1944/45 in Hamburg und danach in Fürstenfeldbruck bei München, wo er auch nach Kriegsende zunächst verblieb.[18] Zum 1. März 1946 erhielt er eine a.o. Professur für Geophysik an der Universität Göttingen und im Jahre 1950 dort ein Ordinariat für dieses Fachgebiet.[19]

An der Arbeit der Berliner Akademie hat Bartels seit seiner Aufnahme aktiv teilgenommen, sei es (auf Vorschlag von Defant) als Mitglied der Ozeanographischen Kommission,[20] als Vortragender u. a. auf dem Leibniztag am 2. Juli 1942[21] und als Mitverfasser bzw. Mitunterzeichner von Zuwahlvorschlägen, so für Werner Heisenberg und Björn Helland-Hansen.[22] An den Sitzungen der Gesamtakademie nahm Bartels, wie die Protokolle ausweisen, mit großer Regelmäßigkeit bis zum 1. März 1945 teil.

Auch nach Wiedereröffnung der Akademie am 1. August 1946 war Bartels an weiterer Mitarbeit durchaus interessiert. Seine Entlassung aus der Akademie als ehemaliges nominelles NSDAP-Mitglied stand nie ernsthaft zur Debatte, ebenso wie die Fortexistenz der Akademie keinem Zweifel unterlag.[23] Die Bereitschaft Bartels' zu weiterer Mitarbeit bestätigt ein Briefwechsel zwischen ihm und dem Direktor der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Prof. Naas, aus dem Jahre 1948 (s. Anhang)[24]. Die in dem Bartelsschen Brief in Aussicht gestellte weiterführende Abhandlung zu Schwankungen der Sonnenstrahlung ist allerdings nicht zustande gekommen; jedoch beteiligte er sich, unmittelbar an seine Mitteilung aus dem Jahre 1935 anknüpfend, mit einem Beitrag[25] an den gesammelten Abhandlungen zur 250-Jahrfeier der Berliner Akademie im Jahre 1950, mit denen insgesamt 44 Akademiemitglieder aus Ost und West, aus Zuwahljahrgängen zwischen 1911 und 1949 die Kontinuität einer der ältesten europäischen Gelehrtengesellschaften dokumentierten.

Im Jahre 1948 initiierte Bartels die Zuwahl von Hans Ertel (s. Anhang).[26] Auch in den Folgejahren blieb er mit dem Geschehen in der Akademie verbunden, die mehrfache Umstrukturierungen erfuhr. In diesem Zusammenhang schrieb er am 14. August 1954 an den Präsidenten: „Mit bestem Dank für Ihre Mitteilung über die Änderung des Statuts der Akademie bitte ich, mich der Klasse für Mathematik, Physik und Technik zuzurechnen."[27] Im Mai 1959 übersandte er zwei Exemplare seines bis April fortgeführten Schriftenverzeichnisses; offensichtlich hatte die Akademie von ihren Mitgliedern solche Listen erbeten.[28]

Den Nachruf auf Julius Bartels im Akademie-Jahrbuch verfaßte Hans Ertel;[29] am Geomagnetischen Observatorium Potsdam fand eine Gedenkfeier statt.[30]

Für Bartels, der eine herausragende Stellung im Wissenschaftssystem der Bundesrepublik einnahm und 1957/58 auch Präsident der Göttinger Akademie war, hat der sich verschärfende Ost-West-Konflikt sicherlich eine Belastung seiner Beziehungen zur Berliner Akademie bedeutet. Nichtsdestoweniger führen seine Aktivitäten wie die zahlreicher anderer Mitglieder der ehemaligen Preußischen in der (auf ihrer Grundlage) wiedereröffneten nachmaligen Deutschen Akademie der Wissenschaften das absonderliche juristische Konstrukt einer als Körperschaft des öffentlichen Rechts ohne Mitglieder fortbestehenden Preußischen Akademie ad absurdum, deren Rechte durch vom (West-)Berliner Senat jeweils eingesetzte Notvertreter wahrgenommen worden seien, wie in der Einzelbegründung zu Artikel 1 des Staatsvertrages über die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften behauptet wird.[31]

Anhang

Tab. 1
Wissenschaftlicher Lebenslauf von August Julius Bartels

17. August 1899	als Sohn eines Kaufmanns in Magdeburg geboren
1917–1922	Studium der Mathematik (Landau, Runge, Courant, Hilbert), Physik (Debye, Born, Prandtl, Voigt), Geophysik (Wiechert) und Geografie (Meinardus) an der Georg-August-Universität Göttingen
1922	Promotion zum Dr. phil. an der Georg-August-Universität Göttingen mit einer Arbeit „Neue Methoden zur Berechnung und Darstellung der täglichen Luftdruckschwankungen bei starken unperiodischen Störungen"
1922–1928	Wissenschaftlicher Angestellter am Meteorologisch-Magnetischen Observatorium Potsdam des Preußischen Meteorologischen Instituts; zeitweilig beurlaubt zu Studien in England (1925/6) und zu Arbeiten an der Forstlichen Hochschule in Eberswalde (1926–1928)
1926	Habilitation an der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin mit einer Arbeit „Über die atmosphärischen Gezeiten"
1927	Venia legendi für Geophysik, Privatdozent für Geophysik an der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin und der Forstlichen Hochschule Eberswalde
1928	a. o. Professor für Meteorologie[32] an der Forstlichen HS Eberswalde
1934	o. Professor an der Forstlichen Hochschule Eberswalde
1936	o. Prof. für Geophysik an der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin, Direktor des Geophysikalischen Instituts Potsdam
1931–1940	Mehrere Auslandsaufenthalte am Department of Terrestrial Magnetism of the Carnegie Institution of Washington als research associate

1939	Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin
1941	Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina Halle
1946	a. o. Prof. für Geophysik an der Georg-August-Universität Göttingen
1947	Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen
1950	o. Prof. für Geophysik und Direktor des Geophysikalischen Instituts an der Georg-August-Universität Göttingen
1956	Nebenamtlich Direktor des Instituts für Physik der Stratosphäre am Max-Planck-Institut für Physik der Stratosphäre und Ionosphäre Lindau
1954–1957	Präsident der IAGA
1960–1963	1.Vizepräsident der IUGG
4. März 1964	verstorben in Göttingen

Tab. 2
Geophysiker und Meteorologen in der Berliner Akademie der Wissenschaften (Jahr der Zuwahl als Auswärtiges, Ordentliches oder Korrespondierendes Mitglied)

Preußische Akademie der Wissenschaften	
Giuseppe Toaldo (1719–1797)	AM 1776
Heinrich Wilhelm Dove (1803–1879)	OM 1836
Ludwig Friedrich Kämtz (1801–1867)	KM 1841
Heinrich Wild (1833–1902)	KM 1881
Wilhelm v. Bezold (1837–1907)	OM 1886
Christoph Heinrich Dietrich Buys-Ballot (1817–1890)	KM 1887
Julius v. Hann (1839–1921)	KM 1889
Eleuthère-Elie-Nicolas Mascart (1837–1908)	KM 1895

Georg Balthasar v. Neumayer (1828–1909)		KM 1896
Friedrich Robert Helmert (1843–1917)		OM 1899
Henrik Mohn (1835–1916)		KM 1900
George Howard Darwin (1845–1912)		KM 1908
Gustav Hellmann (1854–1939)		OM 1911
Emil Wiechert (1861–1928)		KM 1912
Hugo Hildebrand Hildebrandsson (1838–1925)		KM 1917
Wladimir Köppen (1846–1940)		KM 1922
Heinrich v. Ficker (1881–1957)		OM 1926
Vilhelm Bjerknes (1862–1951)		KM 1928
Felix Maria Exner (1876–1930)		KM 1928
Adolf Schmidt (1860–1944)		KM 1929
George Clarke Simpson (1878–1965)		KM 1931
Albrecht Defant (1884–1974)		OM 1935
Theodor Hesselberg (1885–1966)		KM 1936
Hans Ahlmann (1889–1974)	KM 1938	AM 1969
Julius Bartels (1899–1964)		OM 1939
Deutsche Akademie der Wissenschaften		
Hans Ertel (1904–1971)		OM 1949
Hilding Köhler (1888–1982)	KM 1950	AM 1969
Weikko Aleksanterie Heiskanen (1895–1971)	KM 1950	AM 1969
Otto Meißer (1899–1966)		OM 1957
Ernst-August Lauter (1920–1984)		OM 1964
Robert Lauterbach (1915–1994)		OM 1967
Akademie der Wissenschaften der DDR		
Heinz Stiller (*1932)	KM 1971	OM 1974
Wolfgang Böhme (*1926)	KM 1977	OM 1980
Heinz Kautzleben (*1934)	KM 1979	OM 1987
Wolfgang Mundt (*1935)	KM 1981	OM 1988
Michail Aleksandrovic Sadovskij (1904–1997)		AM 1981
Vladimir Aleksandrovic Magnickij (*1915)		AM 1984
Christian Gustav Sucksdorff (*1928)		AM 1988
Jürgen Schön (*1939)		KM 1989

Karl-Heinz Bernhardt (*1935)	KM 1990
Leibniz-Sozietät e.V.	
Dietrich Spänkuch (*1936)	M 1994
Siegfried Franck (*1952)	M 1994
Detlev Möller (*1947)	M 1997
Heinz Militzer (*1922)	M 1999

Aus dem Wahlvorschlag der physikalisch-mathematischen Klasse der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin für Julius Bartels (1939)

... Prof. Bartels hat hauptsächlich auf zwei wichtigen Gebieten der Geophysik gearbeitet: auf dem Gebiete der atmosphärischen Gezeiten und des Erdmagnetismus. Bei den ersteren Arbeiten handelt es sich um eine erste streng wissenschaftliche Anfassung des Problems, die auch eine Ausarbeitung geeigneter Methoden bei der Aufarbeitung des enormen vorliegenden Beobachtungs-materials erforderten. Als Programm für diese Arbeitsrichtung und für seine Arbeitsrichtung überhaupt ist seine der Akademie 1936 vorgelegte Arbeit „Zur Morphologie geophysikalischer Zeitfunktionen" anzusehen. Aus den geophysikalischen zeitlichen Schwankungen, denen es an der Planmässigkeit physikalischer Laboratoriumsexperimente fehlt, werden durch statistische Verfahren einfachere Vorgänge herausgeschält, die dann der eigentlichen physikalischen Theorie zugrunde gelegt werden können. Beim zweiten grossen Arbeitsgebiet Prof. Bartels' handelt es sich um die Fortführung der durch Adolf Schmidt berühmten Tradition des Erdmagnetischen Observatoriums in Potsdam, die ihm in vollem Masse geglückt ist. Seine zahlreichen Arbeiten auf diesem Gebiet sind grundlegend, insbesondere seine Untersuchungen der erdmagnetischen Variationen, die sich als geeignetes Mittel zur Erforschung der Physik der Jonosphäre und ihrer Beeinflussung durch die Sonne erwiesen haben. Als wichtigstes Ergebnis dieser Untersuchungen ist wohl das zweibändige Werk Geomagnetism anzusehen, das Prof. Bartels mit Prof. S. Chapman, London bei der University Press Oxford erscheinen lässt.

Das beiliegende Schriftenverzeichnis zeugt von der Vielseitigkeit der Arbeiten Prof. Bartels'; besonders sei auf die zahlreichen zusammenfassenden Darstellungen hingewiesen, die durch ihre Gediegenheit und durch ihr hohes wissenschaftliches Niveau bekannt sind. Wie sind völlig überzeugt, dass

Prof. Bartels für die Akademie einen überaus wertvollen Vertreter für das Fach Geophysik bedeuten würde.

gez. A. Defant, Krebs, Wagner, H. Ludendorff, Guthnick, Kopff, Stille, Penck

* * *

Aus dem Briefwechsel Julius Bartels' mit der Deutschen Akademie der Wissenschaften

Deutsche Akademie der Wissenschaften
Berlin NW 7, Unter den Linden 8

...

Den 4. Juni 1948

Sehr geehrter Herr Professor

seit einigen Monaten sind auf Veranlassung der Akademie, wie auch auf Anregung einiger ausserhalb der sowjetischen Besatzungszone wohnender Mitglieder, Verhandlungen geführt worden, die eine Vergütung der Mitarbeit aller Mitglieder der Akademie ermöglichen sollen. Diese konnten nun zu einem erfolgreichen Abschluss gebracht werden. Die Akademie hat deshalb in ihrer Gesamtsitzung vom 29.4.1948 den Beschluss gefasst, ordentlichen Mitgliedern, die ausserhalb der sowjetischen Zone ihren Wohnsitz haben, die Bezüge der ortsanwesenden Mitglieder für die Dauer der Zeit, in der sie effektive Mitarbeit leisten können, zu gewähren. Als solche Mitarbeit gilt namentlich der Besuch einer ordentlichen Sitzung der Akademie in Berlin, der Anlass gibt, bei dieser Gelegenheit wenigstens einen Vierteljahresbezug auszuzahlen; ferner die Ablieferung einer Arbeit für die Abhandlungen oder eines grösseren Beitrages für die Sitzungsberichte der Akademie; ebenso eine beratende oder begutachterliche Beteiligung an den Unternehmungen und Aufbauarbeiten der Akademie.

...

Diese Regelung ist nicht zuletzt auch aus den vielfach geäusserten Wünschen der Mitglieder entstanden, ihre Verbundenheit mit der Akademie nicht durch wachsende äussere Schwierigkeiten einengen zu lassen. In den Beratungen des Plenums trat ganz besonders der Wille in Erscheinung, die Bezie-

hung der Akademie zu ihren Mitgliedern in allen Teilen Deutschlands auch in der Zukunft lebendig und fest zu bewahren, um auf diese Weise die Akademie als Ausdruck für die Einheit unseres Landes zu erhalten.

...

Ihr sehr ergebener

gez. Naas 7./6.

* * *

Geophysikalisches Institut
der Universität Göttingen
...

Göttingen, den 6.8.48

An den Herrn Direktor ...
der Deutschen Akademie der Wissenschaften
Berlin NW 7
Unter den Linden 8

Sehr geehrter Herr Kollege,

Für Ihren Brief vom 4. Juni ... danke ich Ihnen bestens. Ich hatte schon vorher mit Herrn Kienle verabredet, dass ich ihm bald eine Abhandlung zur Vorlage schicken würde, und zwar im Anschluss an einige Teile meiner Abhandlung „Schwankungen der Sonnenstrahlung II". Sie waren so freundlich, mir davon einige Korrektur-Bogen zu schicken, aber die wesentlichen Abbildungen sind anscheinend nicht mehr erhalten, und die Abhandlung ganz abzudrucken, möchte ich jetzt nicht mehr empfehlen, sie ist teilweise überholt. Es wird besser sein, wenn ich in einer neuen Abhandlung dasjenige mit aufführe, was von der alten noch aktuell ist, zusammen mit neuem Material.

Darüberhinaus möchte ich sagen, dass ich jederzeit gern an den Aufgaben der Akademie mitarbeite, unabhängig von der Frage einer Vergütung.

Mit freundlichen Grüßen

Ihr sehr ergebener J. Bartels

* * *

Prof. Julius Bartels

Göttingen, 10. Oktober 1948
Herzberger Landstraße 180

An den Herrn Präsidenten
der Deutschen Akademie der Wissenschaften

Berlin NW 7
Unter den Linden 8

Betr.: Zuwahl ordentlicher Mitglieder.

Sehr gechrter Herr Präsident,

Für die freie Stelle Geophysik der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse schlage ich vor

Prof. Dr. Hans Ertel,

Ordinarius für Geophysik und Meteorologie an der Universität Berlin.

Die genaueren Daten für den Lebenslauf Ertels (er wird Mitte der 40er sein) sind mir zur Zeit nicht zugänglich, ich bitte sie in Berlin zu ergänzen.

Ertels wissenschaftlicher Werdegang ist mir genau bekannt. Er wurde im Berliner Meteorologischen Institut zunächst als Rechner (etwa einem Laboranten entsprechend) eingestellt. Seine phänomenale mathematische Begabung fiel Herrn von Ficker bald auf, und er ermöglichte E., die Reifeprüfung abzulegen und dann Mathematik, Physik und Geophysik zu studieren. Promotion und Habilitation in Berlin folgten, Ertel wurde Observator, schliesslich (etwa 1940) zum Ordinarius in Innsbruck ernannt, seit 1945 in Berlin.

Ertel ist international führend auf dem Gebiete der theoretischen Meteorologie. Zahlreiche Arbeiten, von denen einige auch in den Abhandlungen der Berliner Akademie erschienen sind, beweisen E.'s einzigartige Fähigkeit, meteorologische Probleme streng mathematisch zu fassen und zu lösen. Die klassische Schreibweise seiner Original-Arbeiten erschwert vielen Meteorologen das Verständnis, und wer E. nicht persönlich kennt, könnte diese Ar-

beiten fälschlich als mathematisch-formalistische Rechnungen verkennen, die dem physikalischen Gehalt der natürlichen Vorgänge wenig entsprächen. Tatsächlich ist aber E. wie wenige befähigt, auch praktische Probleme der Meteorologie zu fördern und klar darzustellen; seine Vorlesungen und Diskussions-Bemerkungen sind inhaltlich und im Vortrag ausgezeichnet. Von dieser Fähigkeit zeugen auch zwei kleinere Darstellungen, die „Ergebnisse der Dynamischen Meteorologie" und „Elemente der Operatoren-Rechnung, mit geophysikalischen Anwendungen (1940)."

Mit der Wahl Ertels würde die Akademie die Mitarbeit einer wissenschaftlich hervorragenden, international anerkannten Persönlichkeit gewinnen. Ich weiss, dass auch von Ficker und Defant diesen Vorschlag wärmstens befürworten würden.

J. Bartels

[handschriftlich hinzugefügt]
Ich schließe mich diesem Vorschlag an

Stille 29./11.
ebenso Noack 27.I.49
Bonhoeffer 30.I.49

Anmerkungen

1 H. and K. Bernhardt: Remarks on life and scientific work of Julius Bartels. In: W. Schröder (ed.), Geomagnetism (Research: Past and Present). Science Edition, Bremen-Roennebeck (2000), 158–167. – Zu Leben und Werk des Geophysikers Julius Bartels. In: W. Schröder (Hrsg.), Geschichte und Philosophie der Geophysik. Beiträge zur Geschichte der Geophysik und Kosmischen Physik, Bremen-Rönnebeck 2(2000), 155–168.

2 Statistical studies of quasi-periodic variables. Reprints of three papers from the Journal of Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity 1932, 1935 written by Dr. Julius Bartels. Carnegie Institution of Washington (1959).

3 Arch. d. Berl.-Brandenb. Akad. d. Wiss. (ABBAW), Sitz.-Protokolle d. phys.-math. Klasse (1935–1937), II-V, 138, S. 48.

4 Sitz.-Ber. d. Preuß. Akad. d. Wiss., phys.-math. Klasse (1935), 504–522. – Random fluctuations, persistence, and quasi-persistence in geophysical and cosmical periodicities. J. Terr. Magnet. Atmosph. Electric. 40(1935), 1–60; Reprint vgl. Anm. 2.

5 ABBAW, Bestand d. Preuß. Akad. d. Wiss. (1812–1945), Personalia Mitglieder, II–III, 46, Bl. 118.

6 Aus den Akten ist nicht ersichtlich, weshalb diese Zuwahl nicht zustande kam.

7 ABBAW, Bestand d. Preuß. Akad. d. Wiss. (1812–1945), Personalia Mitglieder, II–III, 46,2. unpaginiert.

8 A. a. O.

9 A. a. O., 46, Bl. 128. Zur Rolle Theodor Vahlens vgl. C. Grau, W. Schlicker, L. Zeil: Die Berliner Akademie der Wissenschaften in der Zeit des Imperialismus, Teil III 1933–1945. Akademie-Verlag, Berlin (1979), insbesondere S. 49–73; ferner R. Siegmund-Schultze: Theodor Vahlen – zum Schuldanteil eines deutschen Mathematikers am faschistischen Mißbrauch der Wissenschaft. NTM 21(1984), 17–32.

10 Diese Bemerkung wirkt in Hinblick auf die Geophysiker Emil Wiechert und Adolf Schmidt befremdlich, die seit 1912 bzw. 1929 korrespondierende Mitglieder waren und von Bartels in seiner Antrittsrede ausdrücklich zu seinen Anregern und Förderern gezählt wurden. Vgl. auch Tab. 2 im Anhang der vorliegenden Mitteilung.

11 Jahrb. d. Preuß. Akad. d. Wiss., Jahrgang 1939, 151–154.

12 ABBAW, Bestand d. Preuß. Akad. d. Wiss. (1812–1945), Personalia, Mitglieder, II–III, 46, Bl. 129.

13 Arch. d. Humb. Univ. Berl. (AHUB), Personalakte Julius Bartels, Nr. 57, Bl. 1,2.

14 So bekundete Georg Hamel am Schluß der Antrittsrede seine „große Freude" darüber, „daß die Brünner Hochschule nunmehr nach der großen Tat unseres Führers wieder eine wahrhaft deutsche Hochschule geworden ist" (Jahrb. d. Preuß. Akad. d. Wiss., Jahrgang 1939, 139f.). Am 15. März 1939 waren das nach der Annexion des Sudetenlandes noch verbliebene tschechoslowakische Staatsgebiet besetzt und im Anschluß das Protektorat Böhmen und Mähren errichtet worden.

15 Laut Bartels' Reisebericht vom 21. November 1940 war er bereits am 10. August aus Deutschland abgereist, um auf Einladung der Veranstalter an den Vorbereitungsarbeiten für die Tagung teilzunehmen, während die Mehrzahl seiner deutschen Kollegen erst am 24. August (mit dem Dampfer Hansa) von Hamburg abfuhren. Dieses Schiff sei jedoch vor Southampton zurückberufen worden.
Infolge des Kriegsausbruchs konnte Bartels nach Ende der Tagung zunächst nicht nach Deutschland zurückkehren, doch war ihm die Möglichkeit gegeben, als Gast an dem ihm wohlbekannten Department of Terrestrial Magnetism zu arbeiten. Als das Institut im Sommer 1940 Sonderaufgaben im Rahmen der amerikanischen Aufrüstung übernahm, durfte er zwar die Gebäude nicht mehr betreten, erhielt aber außerhalb einen Arbeitsplatz. Mit vielen Hindernissen gelang ihm endlich im Herbst 1940 über Hawaii, Japan und die UdSSR die Rückkehr nach Deutschland. Am 13. November nahm er in Berlin seine Dienstgeschäfte wieder auf. AHUB, Personalakte Julius Bartels, Nr. 57, Bl 93, 93R, 94. Übrigens wurde Bartels während dieses Amerikaaufenthaltes in der Akademie als „auswärtiges Mitglied angesehen." ABBAW, Sitz.-Protokolle der phys.-math. Klasse (1937–1949), II–V, 139, Bl. 101.

16 Arch. d. Univ. Göttingen, Kurator, Personalakte Julius Bartels, unpaginiert.

17 In der „Entnazifizierungs-Entscheidung im schriftlichen Verfahren" heißt es u. a. „Der Partei gehörte er an seit Mai 1933, Amt oder Rang hat er nicht bekleidet. ... Der Betroffene hat der Partei durchaus fern gestanden. Seine vielfachen Auslandsbeziehungen und wissenschaftlichen Tätigkeiten, insbesondere mit England und Amerika, lassen von vornherein erkennen, dass er kein Anhänger des Nationalsozialismus gewesen sein kann und seine Entlastungserklärung war danach unbedenklich auszusprechen. a. a. O., Bl. 1h.

18 A. a. O., Bl. 1a.

19 A. a. O., Bl. 1, 81.

20 ABBAW, Sitz.-Protokolle d. phys.-math. Klasse (1937–1949), II–V, 139, Bl. 120.

21 A. a. O., Bl. 166. Der Festvortrag „Schwankungen der Sonnenstrahlung" wurde im Jahrb. d Preuß Akad. d. Wiss. (1942), 167–179 abgedruckt; ein Klassenvortrag zum gleichen Themenkreis war bereits in Abh. d. Preuß. Akad. d. Wiss., math.-nat. Klasse (1941)12, 59. S, erschienen.

22 ABBAW, Bestand d. Preuß. Akad. d. Wiss. (1812–1945), Protokolle des Plenums, II–IV, 104, Bl. 208, 403.

23 Bereits am 8. Juni 1945 hatte der mit der Wahrnehmung der Geschäfte des Präsidenten betraute J. Stroux vor behördlichen Vertretern einen „eingehenden Bericht über Stellung, Aufgaben, derzeitige Lage und künftige Arbeiten" der Akademie gegeben. Zugleich bat er um „eine grundsätzliche Zusicherung, daß ihr ihre Existenz und ihre finanziellen Grundlagen auch für die Zukunft erhalten werden. ..." Darauf erwiderte der Vertreter des Oberbürgermeisters, Sothmann, die Akademie dürfe versichert sein, daß die Stadt und die mit der Leitung des Bildungswesens Beauftragten „ein sehr wesentliches Interesse an der Akademie nehmen ..." Bindende Zusagen seien z. Zt. zwar nicht möglich, aber die Stadtverwaltung halte die „Aufrechterhaltung der Akademie für das deutsche Geistesleben" für „erforderlich." ABBAW, Bestand d. Preuß Akad. d. Wiss. (1812–1945), Statuten, Bl. 10. In einer Besprechung über den Entwurf einer neuen Satzung am 19. Juni erklärte Stroux auf den Einwurf „städtischer Sachbearbeiter", daß „nicht sicher sei, ob die Akademie überhaupt noch bestehe und nicht vielmehr neu gegründet werden müsse", er könne sich dieser Auffassung nicht anschließen. Die Akademie sei eine Körperschaft, bestehe weiter, und es müsse ihr in Zukunft weitestgehend Autonomie zugebilligt werden. Er wies zugleich daraufhin, daß die russische Regierung 1917 an der alten zaristischen Akademie keinerlei Änderungen vorgenommen habe; a. a. O. Bl 16.

24 ABBAW, Bestand Akademie-Leitung, Personalia, Nr. 16, Ord. Mitglied Julius Bartels, unpaginiert.

25 Zur Morphologie geophysikalischer Zeitfunktionen. Neue Mitteilung. Misc. Acad. Berol., Ges. Abh. zur Feier d. 250-jährigen Bestehens d. Dt. Akad. d. Wiss., Bd. 1(1950), 69–81. Auszüge aus einem Klassenvortrag vom 11. Februar 1943 über Gesetz und Zufall in der Geophysik waren in: Naturwiss. 31(1943), 421–435 veröffentlicht worden.

26 ABBAW, Bestand Akademie-Leitung, Personalia, Nr. 93, Ord. Mitglied Hans Ertel, unpaginiert. Dieser Brief Bartels' an den Präsidenten der Akademie ist im Faksimile wiedergegeben in: W. Schröder and H.-J. Treder (ed.), The Earth and the Cosmos (The Legacy of Hans Ertel). Science Edition, IDCH IAGA /History Commission DGG (1998), 72–73. Die Zuwahl Ertels erfolgte am 24. Februar 1949 und wurde am 25. März bestätigt.

27 ABBAW, Bestand Akademie-Leitung, Personalia, Nr. 16, Ord. Mitglied Julius Bartels, unpaginiert.

28 A. a. O.

29 Jahrb. d. Dt. Akad. d. Wiss. Berlin (1964), 244–245.

30 Arch. Akad. Wiss. Göttingen, Mitteilung vom 15.6.1964.

31 Zitiert nach: H. Klinkmann & H. Wölfge, 1992 – Das verdrängte Jahr. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 2 (1999), S. 155.

32 In widersprüchlichen Quellenangaben auch als Prof. für Meteorologie und Physik bzw. als Prof. für Meteorologie, Geodäsie, Mathematik und Physik bezeichnet.

Rezensionen

Heinz Kautzleben

Die Kosmosforschung in der DDR – eine Erfolgsgeschichte

Zum Buch von Katharina Hein-Weingarten: Das Institut für Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR. Ein Beitrag zur Erforschung der Wissenschaftspolitik der DDR am Beispiel der Weltraumforschung von 1957 bis 1991. Berlin: Duncker und Humblot, 2000 (Zeitgeschichtliche Forschungen, Band 4); zugleich: Berlin, Technische Universität, Dissertation 1998. 360 Seiten

Dies ist ein Buch, das allen Interessenten an den Weltraumaktivitäten der DDR, einschließlich der damaligen Akteure, und darüber hinaus allen Interessenten an der Geschichte der DDR nachdrücklich empfohlen werden kann. Es ist die erste Dissertation, das erste wissenschaftliche Buch der professionellen Historiographie über die Beteiligung der DDR an der Erforschung und Nutzung des Weltraums.

Außenstehende werden sich fragen, wenn sie den anspruchsvollen Titel der Dissertation lesen, ob der zweite Teil des Titels berechtigt ist, da es ja „nur" um ein Institut der Akademie der Wissenschaften geht. Die Kenner wissen jedoch, daß die Untersuchungen zum Institut für Kosmosforschung einen Einstieg in ein Gebiet der Wissenschaftspolitik der DDR liefern können, das in der Öffentlichkeit (und nicht nur dort) eine große Rolle spielte. Die Aktivitäten des Institutes stellten einen beträchtlichen Teil der Weltraumaktivitäten der DDR dar, jedoch bei weitem nicht die Gesamtheit. Zum Umfeld und zur Einordnung des Instituts sind weitere Untersuchungen erforderlich. Letztlich bleibt die Frage im Buch unbeantwortet.

Anlage und Gliederung des Buches sind einfach und systematisch. In sechs Abschnitten, untergliedert in einzelne Kapitel, reicht der Blick von der Entwicklung des Instituts bis zur Stellung der Weltraumforschung der DDR im nationalen und internationalen Vergleich:

Auf die kurze Einleitung (Abschnitt A, 8 Seiten) folgt der Abschnitt B: „Die Entwicklungsgeschichte des Instituts von 1957 bis 1991" (25 Seiten). Gemeint ist damit von 1973 bis 1980 das Institut für Elektronik (Abkürzung: IE, Direktor Hans-Joachim Fischer) und ab 1981 bis 1991 das aus ihm hervorgegangene Institut für Kosmosforschung (Abkürzung: IKF, Direktor bis 1988 Robert Knuth, ab 1989 Heinz Kautzleben). Im ersten Kapitel dieses Abschnitts wird die Vorgeschichte des Institutes beschrieben, die hauptsächlich im Heinrich-Hertz-Institut für solar-terrestrische Physik (Direktor von 1966 bis 1973 Ernst August Lauter) ablief. Das vierte Kapitel behandelt die Entwicklung des Instituts für Kosmosforschung in der Wendezeit 1989 bis 1991. Die Untersuchungen zum Institut sind hervorragend gelungen, lediglich die Fachwissenschaftler könnten bedauern, daß die Ausführungen zu den wissenschaftlichen Ergebnissen des Instituts nur knapp sind. – Der Abschnitt C (90 Seiten) beschreibt „Nationale Einflüsse auf die Weltraumforschung in der DDR". Ein Kapitel ist den Entscheidungsstrukturen gewidmet. Hier müßte die Rolle des Ministeriums für Wissenschaft und Technik (MWT) exakter dargestellt werden. Der Einblick in das gesamtstaatliche Leitungssystem wäre durchsichtiger ausgefallen, wenn die Autorin bereits an dieser Stelle das „Koordinierungskomitee der DDR für die Erforschung und Nutzung des Weltraums für friedliche Zwecke" – zumeist kürzer, aber irreführend „Koordinierungskomitee Interkosmos" genannt – und dessen Wissenschaftlichen Beirat behandelt hätte. Das Koordinierungskomitee wurde 1966 mit einem stellvertretenden Minister des MWT als Vorsitzenden gegründet und war bis 1974 beim MWT angesiedelt. Danach wurde es der Akademie angegliedert, Vorsitzender wurde der Generalsekretär der Akademie. Für den Wissenschaftlichen Beirat war von Anfang an die Akademie verantwortlich; sein Vorsitzender war bis 1973 der Generalsekretär der Akademie, danach der Leiter des Forschungsbereiches Geo- und Kosmoswissenschaften der Akademie. Der Abschnitt C enthält auch ein Kapitel „Ergebnisse der Weltraumforschung auf nationaler Ebene" (32 Seiten), das man hier nicht erwartet hätte, zumal nur die beiden Projektideen „DDR-eigener Sputnik" und „Zweiter DDR-Kosmonaut" und die nicht vollendete Entwicklung des Sternnavigationssystems ASTRO beschrieben werden – warum gerade diese bleibt offen. – Der Abschnitt D „Sozialistische Zusammenarbeit auf dem Gebiet Weltraumforschung" (150 Seiten) befaßt sich hauptsächlich mit der „Interkosmos-Zusam-

menarbeit". Die hier eingeordnete Beschreibung des schon in Abschnitt C erwähnten Koordinierungskomitees vermittelt den durch die Praxis seines Apparates geförderten, aber unzutreffenden Eindruck, daß das Komitee nur für die Interkosmos-Zusammenarbeit zuständig gewesen sei. Von den zahlreichen Ergebnissen der Interkosmos-Zusammenarbeit werden ausführlich das Einheitliche Telemetriesystem ETMS und das Fourierspektrometer PM-V für die beiden Venus-Missionen Venera-15 und Venera-16 behandelt. Warum die Autorin sich auf diese beiden Projekte beschränkt, bleibt offen. Das dritte Kapitel in diesem Abschnitt ist den weiteren Abkommen zwischen den Regierungen der DDR und der UdSSR über Weltraumaktivitäten gewidmet, ausführlich dem zur Fernerkundung der Erde. – Der Abschnitt E „Organisation der Weltraumforschung in DDR und Bundesrepublik" (33 Seiten) enthält einen Versuch, die Weltraumaktivitäten in diesen beiden Staaten zu vergleichen. – Der letzte Abschnitt F „Weltraumforschung – eine besondere Forschungsrichtung in der DDR" (8 Seiten) bietet eine zusammenfassende Einschätzung durch die Autorin.

Das Buch zeugt von einer außerordentlich fleißigen und gewissenhaften Arbeit der Autorin, die die Bürde auf sich nahm, die Vielzahl von schriftlichen Dokumenten zum primären Gegenstand der Untersuchungen durchzusehen und auszuwerten, die heute allgemein zugänglich sind, jedoch bis zum Ende der DDR strengsten Sicherheitsbestimmungen unterlagen. Bei der Fülle des Materials waren sachliche Irrtümer und Fehler unvermeidlich. Ihre Zahl ist erfreulich klein. Sie können bei Unterstützung durch die Kenner der Materie leicht nachgebessert werden. Entstanden ist eine Dokumentation und ein Nachschlagewerk, das bei allen künftigen Betrachtungen zur Geschichte der Weltraumaktivitäten der DDR beachtet werden muß.

Die Auswertung und die Interpretation der Dokumente durch die Autorin ist objektiv und weitestgehend unvoreingenommen. Die Überzeugungskraft der Quellen ist für sie offensichtlich so stark, daß ihre Einschätzung der auf diesem Gebiet erreichten Leistungen insgesamt positiv ist. Dabei muß man erwähnen, daß die Autorin zu Beginn ihrer Untersuchungen die Ergebnisse der beiden Evaluationen des Institutes für Kosmosforschung durch die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) und den Wissenschaftsrat der BRD sowie die zu Beginn der neunziger Jahre erfolgte Einordnung der Weltraumaktivitäten der DDR in die der BRD gekannt hat.

Das Buch zeigt die Möglichkeiten und zugleich die Grenzen der Geschichtsschreibung durch Historiker auf der Grundlage von schriftlichen Quellen. Es ist eine Herausforderung für die Zeitzeugen zu ergänzen und zu kommentieren.

Der Rezensent hat schon in der „Zeitzeugen-Konferenz" der Leibniz-Sozietät e.V. anläßlich des Leibniz-Tages 2000 in seinem Vortrag „Das Programm Interkosmos und die Geo- und Kosmosforschung" - ohne Kenntnis der Untersuchungen von Katharina Hein-Weingarten - zum Gegenstand gesprochen. Der Vortrag wird wie die anderen Vorträge der Konferenz demnächst in den „Abhandlungen der Leibniz-Sozietät" gedruckt vorliegen. Der Vortrag kann als erster, umfangreicher Kommentar des Rezensenten betrachtet werden. Deshalb an dieser Stelle nur einige wenige direkte Bemerkungen zum Buch.

Als Zeitzeuge und Akteur bei der Entwicklung der Beteiligung der DDR an der Erforschung und Nutzung des Weltraumes für friedliche Zwecke kann der Rezensent der Aussage der Autorin zustimmen, daß die „Weltraumforschung eine besondere Forschungsrichtung in der DDR" war. Und uneingeschränkt gilt die Zustimmung für die positive Würdigung der auf diesem Gebiet erreichten Ergebnisse durch die Autorin. Zu widersprechen ist jedoch der Einschätzung, daß die „Weltraumforschung nicht in die Reihe der Forschungsschwerpunkte der DDR eingeordnet war, die besonders gefördert wurden". Zu einer solchen Einschätzung könnte man nur bei einer nicht zutreffenden Definition des Begriffs „Weltraumforschung", bei unzureichender Kenntnis der Sachlage oder nach persönlich motivierter Fehlberatung kommen. Frau Dr. Hein-Weingarten muß selbst entscheiden, was davon zutrifft.

Entsprechend den internationalen Gepflogenheiten wurde in der DDR der Begriff „Weltraum- oder Kosmosforschung" als Sammelbezeichnung für alle Forschungsaktivitäten in Verbindung mit der Erforschung und Nutzung des Weltraums verwendet, wobei diese ausdrücklich auf friedliche Zwecke eingeschränkt wurden. Diese umfassende Zielsetzung ist in allen offiziellen Bezeichnungen und Dokumenten enthalten. Selbstverständlich gab es viele, sehr verständliche Versuche, den Begriff für das jeweilige persönliche Interessen- und Arbeitsgebiet zu verwenden und damit in den Genuß der intensiven Förderung zu kommen.

Die „Weltraum- oder Kosmosforschung" in diesem breit gefaßten Sinn genoß in der DDR höchste Aufmerksamkeit und wurde von allen Führungs-

und Leitungsebenen der SED, des Staates, der Wirtschaft und der Wissenschaft stark gefördert. Maßgebend dafür war neben den wissenschaftich-technischen Auswirkungen in vielen Bereichen der Wirtschaft und der Gesellschaft die große außen- und innenpolitische Brisanz der Weltraumaktivitäten in der Zeit des „Kalten Krieges" und weiterhin bis zum Zusammenbruch der Sowjetunion und des sozialistischen Lagers. Man muß die Dokumentation von Frau Dr. Hein-Weingarten nur entsprechend lesen, um die Beweise für diese These des Rezensenten zu sehen.

Von der Sonderstellung der Kosmosforschung in der Akademie der Wissenschaften zeugt neben vielem anderen das ständige persönliche Engagement der Präsidenten (Hermann Klare, Werner Scheler), des 1. Vizepräsidenten (Ulrich Hofmann), des Generalsekretärs (Claus Grote), des Leiters des Forschungsbereiches Geo- und Kosmoswissenschaften (Heinz Stiller, Heinz Kautzleben)und anderer für die Belange der Kosmosforschung, und zwar sowohl für das IE/IKF wie auch weit darüber hinaus. Dies belegen die Forschungspläne der Akademie und die stete Zunahme der personellen, finanziellen und materiellen Fonds des IE/IKF. Im Buch wird richtig das hohe Engagement des Generalsekretärs beschrieben, insbesondere von Claus Grote, der dieses Amt von 1972 bis 1990 innehatte. Dabei ist zu beachten, daß dessen Tätigkeit als Vorsitzender des Koordinierungskomitees Interkosmos nur zum Teil zu seinem eigentlichen Verantwortungsbereich (den internationalen Beziehungen der Akademie) gehörte. Daraus erklärt sich auch, daß das Arbeitsorgan des Koordinierungskomitees nicht im Apparat der Akademieleitung, sondern beim IE/IKF angesiedelt wurde. Eine entsprechende Würdigung der Leistungen von Ernst August Lauter, der in der Zeit von 1968 bis 1972 als 1. Vizepräsident und Generalsekretär der Akademie wirkte, steht leider noch aus. Anscheinend war für die Autorin bei der Auswertung der Quellen die Leistung des 1. Vizepräsidenten Ulrich Hofmann (er amtierte von 1972 bis 1990) beim steten Anwachsen der Fonds des IE/IKF nicht erkennbar. Zu präzisieren sind auch die Ausführungen im Buch über die Einflußnahme des Leiters des Forschungsbereiches Geo- und Kosmosforschung (Heinz Stiller amtierte von 1973 bis 1984, Heinz Kautzleben von 1984 bis 1989) auf die Kosmosforschung allgemein und speziell auf das IE/IKF. Dieser übte zugleich die Funktionen des stellvertretenden Vorsitzenden des Koordinierungskomitees Interkosmos und des Vorsitzenden des Wissenschaft-

lichen Beirates Interkosmos aus. Das Engagement von H. Kautzleben für die Kosmosforschung ging soweit, daß er 1988 sein zweites Amt als Direktor des Zentralinstitutes für Physik der Erde aufgab und statt dessen die Funktion des Direktors des IKF übernahm. Man kann diesen Schritt als abgestimmten Versuch der Akademieleitung deuten, das Leitungssystem der Kosmosforschung, das vielfach vorteilhaft und effektiv, aber auch schwierig zu handhaben war, zu straffen. Die politischen Ereignisse in der Wendezeit haben es nicht mehr zugelassen, daß diese Lösung voll zum Tragen kam.

Die Rezension bietet die Möglichkeit, zu einer weiteren fundamentalen Aussage der Autorin Stellung zu nehmen, nämlich zu der Aussage, daß es in der DDR keine „Weltraumstrategie" gegeben hätte. Auch hier liegt die Vermutung nahe, daß die Autorin sich zu ihrer Aussage verführen ließ, weil sie von den Untersuchungen zur Entwicklung des Institutes für Kosmosforschung ausging und nicht zur ausreichend breiten Faktenbasis vorstoßen konnte. Anscheinend war dann zusätzlich der von ihr angestellte Vergleich mit den Weltraumaktivitäten der BRD irreführend. Dabei hat die Autorin die grundlegenden Aspekte, die für die Beteiligung der DDR an der Erforschung und Nutzung des Weltraumes zu friedlichen Zwecken entscheidend waren, in ihrem Buch durchaus angesprochen.

Das Ziel der DDR-Politik für die Weltraumaktivitäten der DDR war von Anfang an die Nutzung der Weltraumtechnologie für Wissenschaft, Technik, Wirtschaft und Politik entsprechend den konkreten Gegebenheiten der DDR. Fundamental waren dabei und dafür erstens die Abhängigkeit der DDR von der Weltmacht Sowjetunion, zweitens der globale Charakter der Weltraumtechnologie und drittens die zwingende Notwendigkeit, die Weltraumtechnologie auch in der DDR in vielen Bereichen der Wirtschaft und Gesellschaft zu nutzen. Dieses Erfordernis wurde in den sechziger Jahren deutlich erkannt; die „Weltraumstrategie" wurde auf dieses Ziel ausgerichtet.

Die Kosmosforschung in der DDR wurde deshalb außerordentlich stark gefördert, wobei die Wissenschaftler im Rahmen dieser strategischen Orientierung für die konkreten Wege zum vorgegebenen Ziel und die konkreten Aktivitäten weitgehend freie Hand erhielten. Die Politiker der DDR vertrauten auf den Sachverstand der Wissenschaftler und darauf, daß die mit der Führung der Sowjetunion abgestimmten generellen Ziele auch in der konkreten wissenschaftlichen Zusammenarbeit von den sowjetischen Partnern ver-

treten würden. Die Wissenschaftler des Institutes für Elektronik/Kosmosforschung haben die gebotenen einmaligen Möglichkeiten geschickt genutzt.

Jeder Kenner der Weltraumaktivitäten weiß, welche immensen Schwierigkeiten in allen Ländern und von allen Beteiligten bei der Entwicklung und Nutzung der Weltraumtechnologie überwunden werden müssen und daß vielfältige Rückschläge unvermeidlich sind. Der Maßstab kann deshalb nicht sein, daß Schwierigkeiten auftraten, sondern wie sie unter den gegebenen Randbedingungen überwunden wurden und welche Effektivität dabei erreicht wurde. Man kann der Autorin bescheinigen, daß sie letztlich auch zu dieser Erkenntnis vorgedrungen ist. Anscheinend waren ihr dabei ihre vergleichenden Untersuchungen, die sie im Abschnitt E ihres Buches beschreibt, und die Kommentare der Sachkenner aus der BRD hilfreich.

Abschließend sei die Frage nach dem Nutzen der von Frau Dr. Hein-Weingarten vorgelegten Untersuchungen aufgeworfen. Offensichtlich ist das historische Interesse. Ebenso offensichtlich ist, daß heute kein Interesse daran besteht, die umfangreichen politischen und organisatorischen Erfahrungen, die bei der Beteiligung der DDR an der Erforschung und Nutzung des Weltraumes zu friedlichen Zwecken im Laufe eines Vierteljahrhunderts gesammelt wurden, bei den gegenwärtigen und künftigen Weltraumaktivitäten der BRD oder anderswo zu nutzen. Dazu gibt es keinerlei Voraussetzungen mehr, und die Weichen wurden beim Anschluß der DDR an die BRD völlig anders gestellt. So bleibt allein die Bewertung des abgeschlossenen Kapitels Kosmosforschung in der DDR: War es ein Erfolg und kann man den Akteuren bescheinigen, daß sie hohe Leistungen vollbracht haben? Die Aussagen im Buch dazu sind eindeutig. Bitte lesen Sie selbst!

Hannelore Bernhardt

Naturphilosophie als Heuristik?

Herbert Hörz, Naturphilosophie als Heuristik? Korrespondenz zwischen Hermann von Helmholtz und Lord Kelvin (William Thomson), Basilisken-Presse Marburg/Lahn 2000, 439 S.

Nach mehreren vorangegangenen Briefwechsel-Editionen (Brückenschlag zwischen zwei Kulturen, Helmholtz in der Korrespondenz mit Geisteswissenschaftlern und Künstlern (1997); Physiologie und Kultur in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, Briefe von Johannes Müller, Carl Ludwig, Ernst Brücke und Theodor Fechner an Helmholtz (1994); Ludwig Boltzmanns Wege nach Berlin, Briefe Ludwig Boltzmanns an Helmholtz (1989); Dokumente einer Freundschaft, Briefwechsel Helmholtz' mit Emil du Bois-Reymond 1846–1894 (1986)) hat der Philosoph Herbert Hörz einen weiteren umfangreichen Band vorgelegt, der nunmehr dem Briefwechsel von Hermann v. Helmholtz mit einem seiner kongenialen Zeitgenossen der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, mit William Thomson, seit 1892 Lord Kelvin, gewidmet ist. Der Titel ist mit einem Fragezeichen versehen.

Die beiden Gelehrten zählen bekanntlich zu den profundesten Vertretern der klassischen Physik ihrer Zeit. Es versteht sich, daß Hörz nicht nur die Briefe (als Anhang!) wiedergeben, sondern daß er einen Beitrag zur Erforschung der Wissenschaftsentwicklung des 19. Jahrhunderts mit ihren Auswirkungen bis in unsere Zeit leisten möchte. Freilich ist vieles der weitausgreifenden Ausführungen zur Entwicklung der Physik jener Jahrzehnte nicht grundsätzlich neu, wie auch Verweise des Autors auf eigene frühere Publikationen zeigen. Hörz selbst begründet sein Vorgehen am Ende der Bandes damit, daß es ihm nicht nur wie manch anderem Editor von Briefen um Archivierung von Dokumenten, ggf. mit philologischen Anmerkungen bzw. mit umfangreichen Fußnoten versehen, gehe, sondern um die Einordnung der Wissenschaftler in ihr „wissenschaftliches, kulturelles und soziales Umfeld", aus dem heraus unter Beachtung der inneren Logik des Entdeckens und Erfindens „viele Leistungen erst zu verstehen sind". Dies ist dem Autor voll gelungen.

Aber nicht nur diesem an sich schon hohen Anspruch will Hörz genügen. Es ist zugleich sein Ziel, „unabhängig vom konkreten Kontext ... Gedanken und Einsichten ... heuristisch" zu nutzen, „um aktuelle Probleme zu lösen." (S. 277) Er versucht die Auffassungen von Helmholtz und Kelvin gleich einer black box „aufzumachen und manches umzubauen", „eigene Ideen zur Interpretation der Dokumente" hinzuzutun, damit die „Ideen von Helmholtz und Kelvin heuristisch wirksam werden" (S. 278f. Es ist eine alte Kardinalfrage wissenschaftshistorischer Forschung und Darstellung, ob Umbauen und Hinzutun zulässig sind, bzw. wie weit man dabei gehen darf. Bereits in der „Einführung" verweist Hörz auf die heuristische Rolle des Briefwechsels, es gehe in diesem Buch „um das Verhältnis von Naturphilosophie und Naturwissenschaft in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, um die prinzipielle Forschungsmethodik von Helmholtz und Kelvin und um ihre Beiträge zur Vollendung des mechanischen Weltbildes." (S. 16).

Das Buch umfaßt sieben Kapitel. Das erste Kapitel beschäftigt sich allgemein mit dem Verhältnis von Naturphilosophie und Naturwissenschaft. Unter ersterer wird die „oft durch wissenschaftliche Erkenntnis fundierte Erklärung des Naturgeschehens mittels allgemeiner Prinzipien" und unter Heuristik die „Kunst oder Methode des Findens, ... die Wissenschaft des methodischen Forschens" verstanden (S. 23). Heuristik der Naturphilosophie bestehe im Sinne von Helmholtz und Kelvin in der Nutzung empirisch fundierter allgemeiner Prinzipien zur Erklärung von Vorgängen in wenig erforschten Bereichen, in der Nutzung allgemeiner Ideen aus der Geschichte des Denkens für weitere Forschungen, in der kritischen Analyse des Begriffsinhaltes von Wörtern und für die Auseinandersetzung mit veralteten Auffassungen (S. 30).

Im zweiten Kapitel wird herausgehoben das Wirken von Helmholtz und Kelvin als „Vollender des mechanischen Weltbildes" gewürdigt, eingeordnet in den weiten Rahmen historischer Entwicklungen von Aristoteles bis Maxwell und darüber hinaus bis Heisenberg, ausgespart weder die fachliche Auseinandersetzung mit Zeitgenossen wie Zöllner noch die Auswirkungen kriegerischen Geschehens der Jahre 1866 und 1870/71 auf die Beziehungen der beiden Gelehrten. Bereits hier und im weiteren wiederholt wird der nicht unwesentliche, charakteristische Unterschied in der Methodik ihrer Forschungsarbeit aufgezeigt. Hörz schreibt: „Man könnte ... Helmholtz als den empirisch orientierten Theoretiker und Kelvin als den theoretisch orientier-

ten Empiriker sehen." (S. 54) Für Helmholtz exemplifiziert er dies am „Fallbeispiel: Forschungsprogramm der organischen Physik". (S. 66)

Das dritte Kapitel behandelt die Lebenswege der „kongenialen Freunde". Prägende Erlebnisse, oft ganz persönlicher Art, wie Krankheiten, Tod von Angehörigen, Unfälle, aber auch freudbetonte Ereignisse sowie natürlich wissenschaftliche Gedanken und Probleme, Reisen, gegenseitige Besuche und ihre Vorbereitung, Teilnahme an Tagungen und Kongressen werden, stets in bezug auf das in Briefen einander Mitgeteilte, skizziert. Auf diese Weise wird eine Vita von Helmholtz und Kelvin mit bekannten, aber eben auch mit vielen bislang verborgen gebliebenen Einzelheiten vorgelegt.

Im folgenden vierten Kapitel wird der Leser eingehend mit dem Briefwechsel im Sinne seiner „heuristischen Funktion" bekannt gemacht, die Hörz darin sieht, daß die beiden Briefpartner im Vorfeld fertiger Publikationen neueste Einsichten und Erkenntnisse einander vorlegten, kritisch bewerteten und diskutierten. Als Beispiel verweist Hörz u. a. auf einen mehrseitigen Brief von Thomson über seine Vorstellungen zur Verbesserung physikalischer Meßinstrumente und seitens Helmholtz' auf dessen briefliche Bitte um Auskunft über Potentialfunktionen im Zusammenhang mit Untersuchungen zur Schallbewegung. Als weiteres Beispiel für seine These von der heuristischen Funktion des Briefwechsels nennt Hörz die Diskussion um den Atomismus.

Das fünfte Kapitel umfaßt die von den beiden Protagonisten bearbeiteten, miteinander, mit und von anderen diskutierten wissenschaftlichen Probleme, die teilweise bereits in früheren Kapiteln erwähnt werden und zu denen zuvörderst die Erhaltung und Umwandlung der Energie, dann Fragen der Theorie und Empirie, das Verhältnis von Mathematik und Wirklichkeit, die Meteorologie und Geologie, Sonnenwärme und Wärmetod des Weltalls, sowie der Streit um die Fernwirkung zählen – Forschungsfelder, die hinsichtlich Charakter und Abstraktheitsgrad recht unterschiedlich sind. Daß bei der von Hörz in diesem Kontext gepflegten breiten, durch zahlreiche Zitate bereicherten Behandlung der Probleme, die gewiß die Vielgestaltigkeit des im Briefwechsel widergespiegelten Schaffensprozesses von Helmholtz und Kelvin zum Ausdruck bringen, gelegentlich auch Redundanz bei Vergleich mit anderen Kapiteln auftritt, ist wohl nicht vermeidbar gewesen. So gesehen, könnte man sich auch eine andere Gliederung des gesamten Buches vorstellen.

Die beiden abschließenden Kapitel sind nicht so eng an den Briefwechsel gebunden wie die vorangegangenen. Hörz beschäftigt sich mit „Philosophie und Naturwissenschaft heute", wobei er im sechsten Kapitel sein Bedauern darüber zum Ausdruck bringt, daß gegenwärtig in Deutschland die Transdisziplinarität zwischen Naturwissenschaftlern und Philosophen weitgehend fehlt. Jedoch verlange der philosophische Verallgemeinerungsprozeß, wenn er „heuristisch wirken" will, die Analyse des wissenschaftlichen Materials und führe erst dann zu „philosophischen Hypothesen über die Relevanz dieser Ergebnisse für die notwendige und hinreichende Antwort auf weltanschauliche Grundfragen" (S. 253). Hörz diskutiert in diesem Kontext die Entwicklung der „dritten Kultur" zur Überwindung der Trennung zwischen Natur- und Geisteswissenschaften, um die sich auch Helmholtz mit seinem „Brückenschlag" bemüht habe. Im weiteren untersucht Hörz das Verhältnis von „Spezialisierung und Gesamtansicht" in der Wissenschaft, von Naturwissenschaft und Religion, kommt auf die ethische Werteordnung für die Verantwortung des Wissenschaftlers, auf die Enzyklika „Fides et Ratio" des Papstes, die verschiedenen Arten der Gottesbindung und die persönliche Haltung eines Gelehrten zur Religion zu sprechen, die weit bis zur Frage nach dem „Recht auf Tod" reicht. Im Hinblick auf die Relevanz von Naturerkenntnissen für die Gesellschaftstheorie formuliert Hörz folgende „Wege": Die heuristische Analogie, die Multivalenz der Methoden, die mathematische Darstellung und die philosophische Verallgemeinerung, wobei Philosophie auf Sinnfragen und Mathematik auf allgemeine ideelle Seinsstrukturen orientiere. In diesen Rahmen sind facettenreich weitere diskussionswürdige Ausführungen eingebettet.

Im letzten Kapitel stellt Hörz – bestimmt durch eigene Erfahrungen – Überlegungen über die „Wissenschaft als Einheit von systematischer Darstellung und Edition" an, wobei er sich verständlicherweise für „Spannweite" und „Toleranz" gegenüber unterschiedlichen konzeptionellen Verfahren einer Edition ausspricht. Zugleich verbindet er das Recht zur Veröffentlichung privater Korrespondenz (selbstredend nach Freigabe der Nachlässe) mit der Forderung nach richtiger historischer Einordnung. Dabei solle nach den Vorstellungen von Hörz der Kommentator der Briefe als Partner des Briefautors fungieren, um gleichsam mit ihm seine Auffassungen zu diskutieren. Es gelte das „Wechselspiel" von „Wahrheit und Irrtum, von Motivation und Resigna-

tion, von Förderung und Hemmnissen" aufzudecken, Nachlässe zu „Korrektiven" für allgemeine wissenschaftsphilosophische Konzeptionen" werden zu lassen. Hörz schließt seine Sicht auf editorische Probleme mit fünf zusammenfassenden Thesen.

Der Anhang umfaßt 76 Briefe aus der Feder von Helmholtz und Kelvin, doch sind Lücken in der Aufeinanderfolge der wechselseitigen Antworten erkennbar. Es werden alle, aus unterschiedlichen Quellen entstammende Briefdokumente vollzählig abgedruckt; die von verschiedenen Autoren an anderer Stelle besorgte auszugsweise Wiedergabe der Briefe wird akribisch nachgewiesen. Ferner sind ein Brief von Lady Kelvin an Mrs. Helmholtz, sechs Briefe von Helmholtz und Lady Thomson sowie acht Briefe von Kelvin an Anna v. Helmholtz aufgenommen worden. Entsprechend einer von Thomson vorgeschlagenen Vereinbarung verfaßte er seine Briefe in englischer Sprache, während sich Helmholtz bis auf wenige Ausnahmen seiner Muttersprache bediente. Dem Leser offenbaren sich bei der Lektüre der Briefe oft in anrührender Weise sehr persönliche und vielfach emotionsreiche, menschliche Nähe vermittelnde Informationen aus dem Kreis der Familien und der Kollegen, so über wissenschaftliche Erfolge und persönliche Erlebnisse, auch über manch harten Schicksalsschlag im Leben der beiden Gelehrten, die ob ihrer Größe und Bedeutung für die Wissenschaft und vielleicht wegen der zeitlichen Entfernung von mehr als 100 Jahren für die Nachgeborenen ein Hauch von Unnahbarkeit umgibt.

Die von Hörz in weiten Teilen seiner Darstellung zum Ausdruck gebrachten Überlegungen und Formulierungen setzen ein gewisse Kenntnis der Physik, vor allem aber der Philosophie, weniger der Wissenschaftsgeschichte voraus. Das betrifft auch bestimmte sprachliche Wendungen, die sich häufig nur aus der Kenntnis der Geschichte der Philosophie erschließen.

Die knapp 900 Fußnoten zu seinen Ausführungen und die noch einmal über 300 Fußnoten zu den Briefen enthalten sowohl die zugehörigen Literaturnachweise als auch ergänzende und bereichernde Anmerkungen. Hörz hat sie leserfreundlich jeweils am Ende der entsprechenden Seite angefügt. Ein mehrseitiges Sach- und Personenregister vervollständigen den Band. Auf Seite 13 muß es richtig heißen Silvanus P. „Thompson" (4. Zeile von oben), auf Seite 105 steht „1922" anstelle von „1822" (3. Zeile von unten), auf Seite 222 geht es um „Energieerhaltungssatz" und „spektroskopische" Forschungen.

Trotz oder gerade auf Grund seiner intellektuellen Anforderungen und vieler interessanter, anregender Fragestellungen ist dem Buch eine große, diskussionsfreudige Leserschaft zu wünschen, insbesondere auch um das Fragezeichen im Titel noch einmal zu überdenken.

Helmut Böhme

N.I. Vavilov – Genetiker und Kulturpflanzenforscher – Ein Hinweis auf eine erschütternde Dokumentation –

„Sud palatscha. Nikolai Vavilov v sastenkach NKVD." Biographitscheskij *otscherk. Dokumenty. Herausgeber: J .G. Rokitjanskij, J. N. Vavilov und V. A. Gontscharov. 2. erg. Auflage Academia, Moskau, 2000.*

Im Juni 1976 veranstalteten wir im Zentralinstitut für Genetik und Kulturpflanzenforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR in Gatersleben eine mehrtägige internationale Konferenz, die sich mit Problemen der rationellen Erhaltung, Charakterisierung und Bewertung, sowie der wissenschaftlichen und züchterischen Nutzung des Weltsortiments der Kulturpflanzen befaßte. Dieses Weltsortiment, heute als Genbank bezeichnet, umfaßte zu dieser Zeit etwa 60 bis 70.000 lebend erhaltene Muster von hochgezüchteten Kulturpflanzen-Sorten, Primitiv-Formen dieser Arten und einiger wildwachsender Verwandten der heute in der Nutzung befindlichen Kultur-Sorten. Aufbau und Organisation einer solchen Genbank, einschließlich der kontinuierlichen Durchführung von Sammel-Expeditionen in die Mannigfaltigkeits- und Entstehungszentren der jeweiligen Kulturpflanzen-Art, ging in hohem Maße auf Ideen und Theorien zurück, die der russisch/sowjetische Genetiker *N. I. Vavilov* in den zwanziger und dreißiger Jahren vor allem in Leningrad/St.Petersburg entwickelt hatte.

Unser Institut unterhielt in dieser Zeit relativ enge wissenschaftliche Verbindungen auch mit dem Allunionsinstitut für Pflanzenbau in Leningrad und knüpfte in den Arbeiten am Weltsortiment und in der taxonomischen Bearbeitung von Kulturpflanzen an die *Vavilov*sche Tradition an. Unsere Aktivitäten wurden zwar erschwert, jedoch nicht behindert durch die Tatsache, daß *Vavilov* nach seiner Inhaftierung und zweijährigen Untersuchungshaft am 26. Januar 1943 in einem Saratower NKVD-Gefängniskrankenhaus verstorben war. Ihm waren für uns damals unverständliche Anschuldigungen zur Last gelegt worden, über deren Hintergründe wir zu jener Zeit keine glaubwürdigen Informationen hatten.

Für uns standen die großen wissenschaftlichen Leistungen *Vavilovs* im Vordergrund und so hatten wir Anfang 1976 in der Leitung des Instituts auch im Hinblick auf den 50. Jahrestags des Erscheinen des grundlegenden Werkes *„The centers of origin of cultivated plants"* und des im darauffolgenden Jahr bevorstehenden 90. Gebturtstages des bedeutenden Genetikers und Kulturpflanzenforschers festgelegt, den Gebäudekomplex, in dem das Kulturpflanzen-Weltsortiment und die Forschungsgruppe *Taxonomie und Evolution* untergebracht waren, als *„Vavilov-Haus"* zu bezeichnen. Gleichzeitig war bei dem in Halle an der *Hochschule für angewandte Kunst Burg Giebichenstein* arbeitenden und lehrenden Bildhauer, Professor *G. Lichtenfeld*, ein Portrait-Relief und ein Metall-Schriftzug in Auftrag gegeben worden; sie wurden im Foyer des Taxonomie-Gebäudes bzw. an dessen Außen-Fassade angebracht.

Etwa 10 Jahre später hat das Institut dann anläßlich des 100. Geburtstages von *Vavilov* im Dezember 1987 ein Symposium veranstaltet, das sich bei repräsentativer internationaler Beteiligung mit Fragen der Kulturpflanzenforschung, insbesondere der Kulturpflanzen-Evolution und -Taxonomie sowie Einzelfragen der Nutzung genetischer Ressourcen befaßte. Das Leben *Vavilovs* und sein wissenschaftliches Erbe sowie seine Verbindungen zu deutschen Genetikern und Züchtern wurden bei dieser Konferenz von Mitarbeitern des Leningrader *Allunionsinstituts für Pflanzenbau* in Vorträgen gewürdigt, deutsche und internationale Experten teilten ihre Erfahrungen mit und diskutierten die gegenwärtigen Probleme ihrer Wissenschaft. Der Wortlaut dieser Vorträge findet sich in einem der letzten Bände der vom *Zentralinstitut für Genetik und Kulturpflanzenforschung*, Gatersleben, herausgegebenen und im *Akademie-Verlag* erschienenen Schriftenreihe *„Die Kulturpflanze"* (Bd. 36, 1987).

An diese Ehrungen *Vavilovs* in Gatersleben wurde ich erinnert als ich kürzlich das Buch *„Gericht des Henkers. Nikolai Vavilov in den Folterkammern des NKVD"* in den Händen hielt. Ein Untertitel der Veröffentlichung lautet *„Biographischer Abriß. Dokumente"*. Verfasser des biographischen Abrisses mit dem Titel *„Das Golgatha Nikolai Vavilovs"* ist *Jakov Grigorjevitch Rokitjanskij. Rokitjanskij* ist ein 1940 geborener Historiker und als Wissenschafts-Journalist beim *„Vestnik"* der Russischen Akademie der Wissenschaften tätig. Als Autor von mehr als 140 wissenschaftshistorischen

Untersuchungen, populären Artikeln sowie Dokumenten-Sammlungen zu den Themen „Geschichte des utopischen Sozialismus", „Geschichte der deutschen Arbeiterbewegung", „Russische Wissenschaftsgeschichte" und weiterhin von Biographien bekannter Wissenschaftler-Persönlichkeiten zeichnet er verantwortlich. Auf etwa 140 Seiten schildert *Rokitjanskij* den Teil des tragisch endenden Lebensweges *Vavilovs*, der mit den ersten politischen Schwierigkeiten begann, die dieser bereits Mitte der dreißiger Jahre bekam. *Vavilov*, zunächst an der Universität Saratov tätig, wurde nach dem plötzlichen Tod des Botanikers *Robert E. Regel* 1925 Direktor des neu formierten *Instituts für angewandte Botanik und Züchtung* des Ministeriums für Landwirtschaft in Petrograd, das sich dann zum *Allunionsinstitut für Pflanzenbau* (VIR) und auch zur Geburtszelle der späteren *Lenin-Akademie der Landwirtschaftswissenschaften* (VACXNIL) entwickelte, die 1929 entstand, und deren erster Präsident *Vavilov* wurde. Seit 1923 korrespondierendes und ab 1929 ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, gründete er 1933 das *Institut für Genetik* dieser Akademie und wurde dessen Direktor.

Vavilov wurde das erste prominente Opfer *T. D. Lyssenkos*, der ab Ende der dreißiger Jahre mit seinen Gefolgsleuten die Landwirtschaftswissenschaften zu dominieren begann, die Genetik und die Genetiker bekämpfte und so der gesamten Gesellschaft in der UdSSR irreparablen Schaden zufügte (s.a. *Böhme, H.*, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät Bd. 29 (H. 2) 55–80, 1999). *Rokitjanskijs* biographischer Abriß beschreibt einleitend *Vavilovs* Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Aufstieg und der „Inthronisation" *Lyssenkos* durch *Stalin*. Eindrucksvoll und für den Leser erregend wird die ständige Verschärfung der Situation *Vavilovs*, beginnend in der „Hoch-Zeit des großen Terrors 1937–1938" geschildert, die im übertragenen Sinne über einen „Kampf bis aufs Messer" (die Übersetzung zweier Kapitel-Überschriften) zu der Verhaftung *Vavilovs* während einer botanischen Sammel-Expedition am 6. August 1940 führt. Nach den *Rokitjanskij* vorliegenden Zeugnissen wurde in der politischen Führung der UdSSR die Verhaftung *Vavilovs* erstmalig im Juli 1939 erörtert. In einem Schreiben vom 16.7.1939 von *L. R. Berija* an *V. M. Molotov*, der zu jener Zeit im ZK der KPdSU für Fragen der Wissenschaftspolitik zuständig war, gibt *Berija* als Grund für eine eventuelle Inhaftierung *Vavilovs* dessen „Kampagne" zur Diskreditierung *Lyssenkos* in der wissenschaftlichen Öffentlichkeit an. *Rokitjanskij* betont jedoch, daß er in den

Archiven keine schriftliche Bestätigung für ein Einverständnis *Molotovs* mit einer zu diesem Zeitpunkt vorzunehmenden Verhaftung *Vavilovs* aufgefunden hat. „Vaterlandsverrat", „Schädlingstätigkeit", „Diversion" und „Teilnahme an Aktivitäten konterrevolutionärer Organisationen" lauten die Punkte des Paragraphen 58 des Strafgesetzbuches der RSFSR, auf die sich die *Vavilov* im Gefängnis übergebene, mit dem 5. Juli 1941 datierte Anklageschrift bezieht.

„Verbrecher gegen Genie", „Das Urteil", „Die Saratover Hölle", „Mord" und „Rückkehr zur Wahrheit" sind die Überschriften der folgenden Kapitel, in denen in sehr genauer Charakterisierung das physische und vor allem auch psychische Martyrium *N. I. Vavilovs* in seiner Haftzeit beschrieben wird. Der Inhalt der intensiven Verhöre, teilweise unter Wiedergabe der bis in zahlreiche Einzelheiten vordringenden Fragen und der ausführlichen ,meist sehr abgewogenen Antworten lässt ein Bild der entsetzlichen Situation entstehen, in der sich *Vavilov* in den schlimmen, der Verurteilung vorausgehenden Gefängnis-Monaten befand. Das in geschlossener Sitzung des Militär-Kollegiums des Obersten Gerichts der UdSSR am 9. Juli 1941 gefällte Urteil lautete auf „Tod durch Erschießen"; es wurde am 23. Juni 1942 in „Zwanzig Jahre Freiheitsentzug in einem Arbeits-Erziehungslager" abgewandelt.

In dieser kurzen Würdigung des vorliegenden Bandes über den Leidensweg *Vavilovs* kann natürlich keine vollständige Inhaltsangabe vorgestellt werden; vielmehr möchte ich die Aufmerksamkeit der Wissenschaftshistoriker, der Biologen und Züchter, sowie an zeitgeschichtlichen Problemen Interessierter auf diese Veröffentlichung lenken, die allerdings zur Zeit der Publikation dieser Zeilen sicher nur in russischer Sprache vorliegt. Im Anschluß an den von *Rokitjanskij* verfaßten biographischen Abriß werden in einem zweiten, außerordentlich wichtigem Teil des Buches 136 Dokumente (388 Seiten) abgedruckt, die aus den Akten des Ermittlungs- und Gerichtsverfahrens gegen *N. I. Vavilov* entnommen sind und zum größten Teil hier erstmalig veröffentlicht werden. Die offensichtlich wörtlich protokollierten Fragen des „Verhörers" *A. Xvat* und die z. T. sehr ausführlichen Antworten *Vavilovs* lassen auch zumindest einen Teil der Hintergründe erkennen, die den Anschuldigungen zu Grunde lagen. Die wiedergegebenen Protokolle und anderen Dokumente sind zweifellos nicht nur für Juristen und Wissenschaftshistoriker interessant. Man liest sie nicht ohne innere Erregung. Die Zusammenstellung

dieses Teils des Buches erfolgte ebenfalls durch den Wissenschaftshistoriker *J. G. Rokitjanskij* gemeinsam mit dem Physiker *Jury Nikolaijewitch Vavilov* (Sohn von *N. I. Vavilov*) und dem Historiker *V. A. Gontcharov*. Über die Mitwirkung ehemaliger Schüler oder jetzt aktiver Fachkollegen *N. I. Vavilovs* wird nichts vermerkt.

Rokitjanskij hat in den Archiven sehr genau die Spur „*Vavilov*" zurückverfolgt, um den Zeitpunkt zu ermitteln, zu dem erstmalig das Mißtrauen der Behörden geweckt wurde und insbesondere auch die Aufmerksamkeit *Stalins* im negativen Sinne auf *Vavilov* gelenkt wurde. Für die Außenstehenden, sowohl innerhalb der UdSSR als auch im Ausland, die sich für die Situation in der Biologie und den Landwirtschaftswissenschaften in der Sowjetunion interessierten, waren die Schwierigkeiten und ernsten Probleme, auf die *Vavilov* Ende der dreißiger und am Beginn der vierziger Jahre traf, immer mit dem Namen *Lyssenko* und seinen 1948 kulminierenden Angriffen auf die Genetik verbunden. Tatsächlich – so zeigen es die Geschichts-Forschungen *Rokitjanskijs* – ist dieser Zeitpunkt vermutlich bereits auf das Jahr 1930 zu datieren; dokumentarisch belegt sind an *Stalin* gerichtete Informationen aus damaligen GPU-Kreisen von Ende 1933–Anfang 1934 über die Beteiligung *Vavilovs* an „konterrevolutionären" Aktivitäten gegen die sowjetischen Behörden in der Landwirtschaft. *Es ging also anfangs gar nicht in erster Linie um Fragen der Genetik oder andere strittige wissenschaftliche oder wissenschaftspolitische Probleme* sondern – nach *Rokitjanskij* – bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt *um eindeutige gesellschaftspolitische Aspekte, die im Zusammenhang mit der Entwicklung der Landwirtschaft insbesondere in Verbindung mit der zwangsweisen Kollektivierung standen.*

Diese Tatsache geht u. a. sehr deutlich aus dem folgenden Sachverhalt hervor. Im Laufe der NKVD-Untersuchungen wurde auch eine „Experten-Kommission", bestehend aus vier Agrarwissenschaftlern und einem stellvertretendem Landwirtschaftsminister, eingesetzt. Dieser Kommission wurden 16 komplexe Fragen vorgelegt, die in *Rokitjanskijs* Buch wörtlich angeführt werden. Ausnahmslos handelt es sich dabei um Problem-Komplexe rein agrarwissenschaftlicher Natur und um Angelegenheiten der administrativen Leitung agrarwirtschaftlicher Prozesse. Im Vordergrund der *Vavilov* – offensichtlich in seiner Funktion als früherer Präsident der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften – vorgelegten Fragen standen Sachverhalte, deren Ent-

scheidungen wesentliche Auswirkungen auf die Effektivität der landwirtschaftlichen Produktion hatten. Sehr deutlich wird durch die Art der Fragestellung der Versuch sichtbar, *die Verantwortung für die katastrophale Lage der landwirtschaftlichen Produktion auf bewußt falsche wissenschaftliche Entscheidungen der Leitung der Landwirtschaftsakademie und persönlich Vavilovs zurückzuführen. Sabotage* und *Diversion* werden damit zu offiziellen, die Todesstrafe bereits ankündigenden Anklagepunkten.

Dieses Buch ist eine Fundgrube für den (die russische Sprache beherrschenden) Wissenschaftshistoriker, insbesondere wenn er die jüngere Biologie-Geschichte bearbeitet. Er findet hier u. a. auch Material zu der unter den Experten recht umstrittenen Frage, ob *Vavilov* anfänglich, aus welchen Gründen auch immer, in den dreißiger Jahren den Aufstieg *Lyssenkos*, wenn auch nur indirekt, gefördert habe. In diesem Zusammenhang stellt die hier vorgestellte Publikation aus dem Verlagshaus *academia* eine interessante Ergänzung zu dem Werk *„Lysenko and the Tragedy of Soviet Science"* von *Valery N. Soyfer* (Rutgers University Press, 1994) dar.

Abschließend sei betont, daß sich für mich persönlich aus dem Einblick in die vorliegende Dokumentation ein interessanter Vergleich der Verhaltensweise *N. I. Vavilovs* mit der Biographie und den Reaktionen *N. V. Timofeeff-Ressovskys* ergab, der zweiten großen Forscher-Persönlichkeit in der Entwicklung der Biowissenschaften in der UdSSR. Hierüber wäre in anderem Zusammenhang eingehender nachzudenken und zu diskutieren. Das hier annotierte Buch bietet auch für ein solches Vorhaben wichtige Anregungen und reichhaltiges Material.

Errata

Leider sind in dem Beitrag von

K. Lanius: Kosmologie heute. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 33(1999) H. 6, S. 35–69

eine Reihe von Fehlern in den Formeln aufgetreten, die wir im folgenden korrekt nachreichen wollen.

Wir bitten den Autor und unsere geschätzte Leserschaft um Nachsicht für den aufgetretenen Fehler.

S. 49 $$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{T}{T_0}$$

S. 51 $$z = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_0}{\lambda} - 1$$

S. 51 erhält man: $$z = \frac{R_0}{R} - 1$$

S. 55 $$\rho = \frac{10^6}{t^2}$$

S. 55 $$T \approx \frac{10^{10}}{\sqrt{t}}$$

S. 56 $\upsilon_e + n \leftrightarrow e^- + p$

$\overline{\upsilon}_e + p \leftrightarrow e^+ + n$

S. 57 $n \rightarrow p + e^- + \overline{\upsilon}_e$

S. 64, vierte Zeile von unten: $cz = H_0 d$