SITZUNGSBERICHTE
DER LEIBNIZ-SOZIETÄT
Band 12 • Jahrgang 1996

Reinhardt Becker Verlag Velten

ISSN 0947-5850 ISBN 3-89597-316-5

Inhalt

Lothar Michalowsky

Membrantechnik. Stand und Perspektiven 5 >>>

Young-Ae Lee, Norbert Hübner, Detlev Ganten

Genetik des Bluthochdrucks 27 >>>

Benno Müller-Hill

Wahrheit und Gerechtigkeit in der Genetik 41 >>>

Hartmut Kegler, Dieter Spaar

Quantitative Resistenz von Kulturpflanzen gegen Krankheitserreger 51 >>>

Erinnerungen:

Karl Friedrich Alexander

Erinnerungen an den Physiker Robert Rompe 75 >>>

Wolfgang Schirmer

Die Klasse Chemie und Havemann. Gedanken beim Lesen der Havemann-Dokumente 81 >>>

Annotationen

Karl-Heinz Bernhardt

Die Entdeckung der Stratosphäre - ein Ereignis der Berliner Wissenschaftsgeschichte 91 >>>

Mitteilung der Leibniz-Sozietät: Aus dem Februar-Plenum:

Höhere gesellschaftliche Legitimität für die Orthographierreform nötig 97 >>>

Rezensionen:

Werner Ebeling

Karl Lanius: Die Erde im Wandel. Grenzen des Vorhersagbaren. 99 >>>

Wolfgang Böhme
Wilfried Schröder und Hans-Jürgen Treder (Hrsg.):

Ertel's Potential Vorticity 101 >>>

Herbert Wöltge

Dorothea und Günter Stenzel: Das große Lexikon der Nobelpreisträger 105
>>>

L. Michalowsky

Membrantechnik, Stand und Perspektive*

1.Trennverfahren als Bestandteil innovativer Technologien

Die rasche Entwicklung der Umweltverfahrenstechnik, der Biotechnologien, neuer chemischer Synthesen, neuer Verfahren der Lebensmittelbranche, die neuen gesetzlichen Bestimmungen zur Wassereinleitverordnung und der neuen TA-Luft vom 1.1.1995 über die weitere Limitierung der Emission von Schadstoffen in die Atmosphäre erfordern in zunehmendem Maße leistungsfähige Trenntechnologien für die Stofftrennung in allen Aggregatzuständen. Dies erklärt den volkswirtschaftlich hohen Stellenwert der weltweiten Förderprogramme zur Weiterentwicklung der Membrantechnologien. Die Stofftrennung besitzt in den Naturwissenschaften und in der Technik, insbesondere über die bergmännischen Gewinnungsverfahren für Rohstoffe sowie die mechanische, thermische und chemische Verfahrenstechnik, eine über Jahrhunderte bestehende Tradition. Das betrifft unter anderem die bekannten Verfahren der Sedimentation, der Flotation, der Filterung, der fraktionierten Destillation und der Verdampfung von Stoffgemischen. Die Reinststoffchemie von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen war in der Neuzeit Ausgangspunkt für die Entwicklung effektiver Trenntechnologien im molekularen und atomaren Bereich und eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung der Technologien der Mikroelektronik. Die Stofftrennung konzentriert sich gegenwärtig auf folgende Grundprozesse:

- Trennung von Gasgemischen
- Trennung von Flüssigkeitsgemischen
- Trennung von Gas-Flüssigkeitsgemischen
- Trennung von Feststoff-Gasgemischen
- Trennung von Feststoff-Flüssigkeitsgemischen
- Trennung von Stäuben

---

* Vortrag, gehalten vor der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 15. Juni 1995

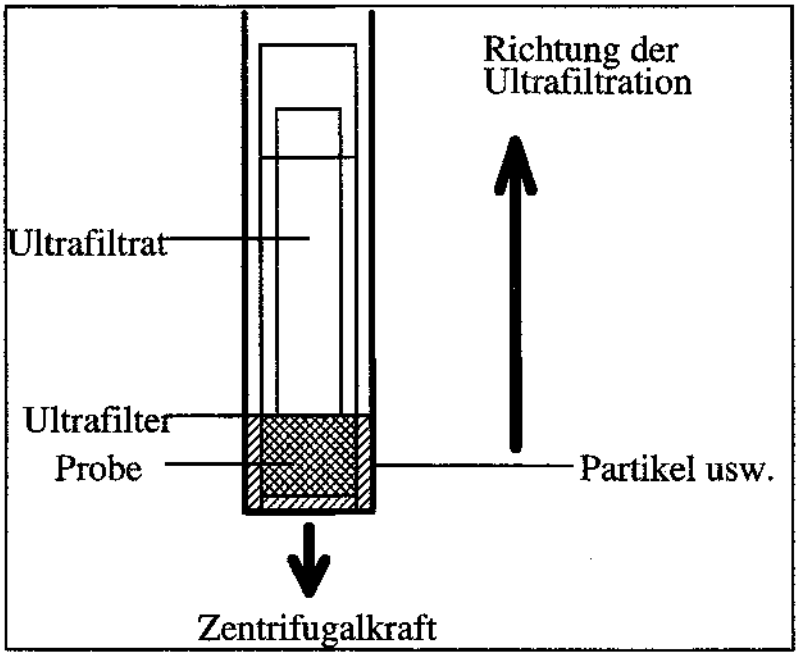


Bild 1: Prinzip der Zentrifugaltrennung

Der Stofftrennung nach den Methoden der Membrantechnologien liegen beispielsweise Dimensionsunterschiede der zu trennenden Partikel, Moleküle oder Atome, Gewichtsunterschiede zwischen den Bestandteilen von Gemischen, Ladungsunterschiede zu trennender Stoffe, Löslichkeitsunterschiede oder Unterschiede in der magnetischen Suszeptibilität zugrunde.

Bild 1 beinhaltet das Schema einer Zentrifugalkrafttrennung, wobei der Trenneffektivität die Gewichtsunterschiede der zu trennenden Partikel zugrundeliegen. Bild 2 beinhaltet das Schema der Abtrennung von Kochsalz aus wässrigen Lösungen über eine poröse Trennwand unter hydrostatischem Druck (Umkehrosmose). Der Porendurchmesser 2t bestimmt dabei die Größe der passierfähigen Partikel (im Beispiel das Wassermolekül) und damit die Trenngröße.

Die Klassifikation der Vielfalt der Filtrationslösungen auf der Grundlage von Membranen hat zu folgenden Einteilungen geführt:

- Mikrofilter
- Ultrafilter oder Nanofilter

mit klarem Bezug auf die Teilchentrenngröße.

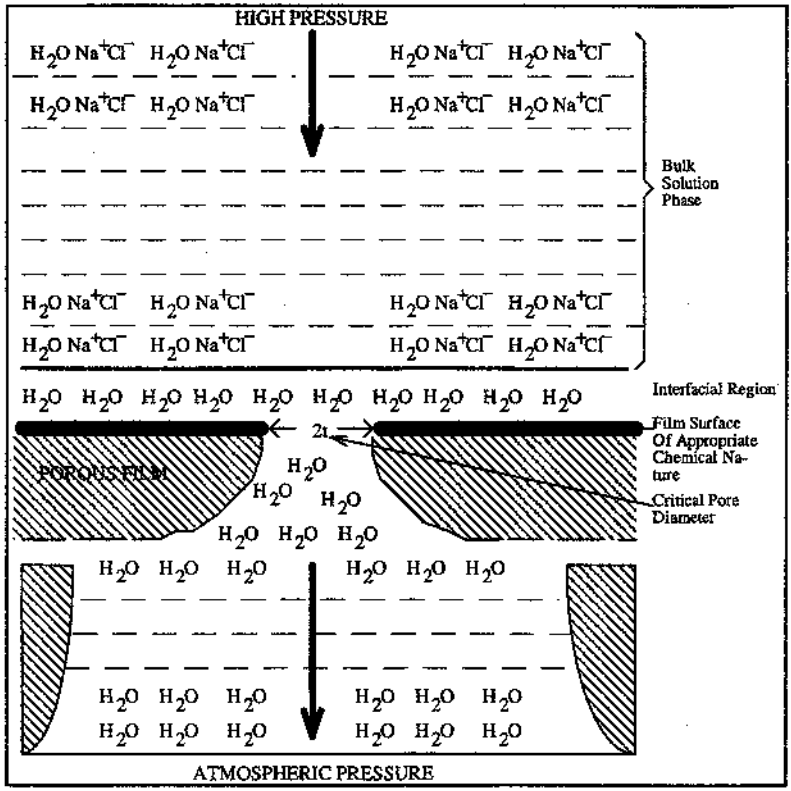


Bild 2: Stofftrennung an einer porösen Wand, Beispiel Kochsalz / Wasser

Die Trenneffektivität von Membranen beruht entweder auf ihrer Porosität, Porengröße bzw. den Porenkanaldurchmessern oder auf der Semipermeabilität dünner Schichten. Von porösen Membranfiltern wird gesprochen, wenn der Poren- bzw. Porenkanaldurchmesser größer oder gleich 1 Mikrometer beträgt. Nichtporöse oder dichte Membranen werden auf der Basis von Polymerschichten aufgebaut, deren Schichtdicke ca. 1 Mikrometer beträgt. Träger von Polymermembranen sind in der Regel poröse Folien gleicher oder ähnlicher Zusammensetzung wie die der Membranschicht. Die Membranschichten müssen für eine oder mehrere

Lösungskomponenten semipermeabel sein. Zur Erhöhung der Trenneffektivität von Polymermembranen für Lösungsgemische mit unterschiedlichen Partikeldurchmessern werden grundsätzlich Filter für die Abscheidung grober Partikel vorgeschaltet. Gewickelte Membranfilter und Hohlfaserpakete (wichtiges Anwendungsgebiet: Dialyse) besitzen eine hohe Trennwirkung. Tabelle 1 beinhaltet eine Übersicht zu realisierbaren Trennverfahren in Abhängigkeit von der Partikelgröße (MWCO: Molecular Weight Cut Off) nach einer Zusammenstellung des Unternehmens Sartorius/Göttingen, einem der bedeutenden Marktführer für die Membranfiltrationstechnik.

Die Trenneffektivität handelsüblicher Ultrafilter auf der Basis poröser Cellulosetriacetat- und Polysulfonschichten beinhaltet die Tabelle 2.

Wichtige Anwendungen der Membrantechnologien im Bereich der innovativen Technologien betreffen:

- Reinigungsfiltration von Lösungsmitteln
- Wertstoffgewinnung aus Flüssigkeiten
- Kühlmittelreinigung von Kompressionsanlagen
- Schmiermittelreinigung bei Maschinen mit Schmiermittelumlauf
- Dehydrierung von Kohlenwasserstoffen
- Gastrenntechnik einschließlich Luftzerlegung
- Kristallisation von speziellen Spezies in Flüssigkeiten auch unter Nutzung der Umkehrosmose
- Klarfiltration in der Getränkeindustrie
- Membran-Trinkwasseraufbereitung
- Meerwasserentsalzung
- Blutdetoxikation, Blutgasanalysentechnik
- Membranen für die Hochdruckflüssigkeits-Chromatographie
- Trennanlagen für die Erdgasaufbereitung und Sauergasreinigung
- Chlor-Alkali-Elektrolyse
- Aufkonzentrierung von PVC-Dispersionen, Caprolaktamen, Enzymen, Hefen, Molkeprodukten
- Eiweiß- und Milchkonzentrierung für die Käse- und Milchprodukterzeugung
- Saft-, Bier- und Weinfiltration
- Reinigung und Aufkonzentrierung von Rohpflanzenölen

Tabelle : 1 Übersicht zu Membran-und Ultrafiltern

Übersicht: Membran- und Ultrafilter, Trennbereiche									
Grobe Partikel			feine Partikel		Kolloide		Liposome		
Hefen/Schimmelpilze				Bakterien		Viren	Pyrogene		
Zellen							Proteine	Peptide	Salze
8 µm	3 µm	0,8 µm	0,65 µm	0,45 µm	0,2 µm	0,1 µm	300.000 D MWCO	20.000 D MWCO	5.000 D MWCO
	Membranfilter						Ultrafilter		

MWCO: Moleculare Weight Cut Off (Angaben nach Sartorius)

Tabelle 2: Rückhaltequoten von Ultrafiltern

Rückhaltequoten in % für Celluloseacetat- und Polysulfonfilter-Ultrafilter

Ultrafilter		Celluloseacetat-Ultrafilter			Polysulfon-Ultrafilter	
Substanz 100.000	Molekular-gewicht	5.000	10.000	20.000	10.000	30.000
MWCO		MWCO	MWCO	MWCO	MWCO	MWCO
Dextron Blau	2.000.000					99,5%
γ-Globulin	169.000					99,0%
Aldolase	142.000			98,0%		
Hexokinase	100.000			98,0%		
Albumin	67.000		98,0%	98,0%	99,5%	98,0%
Trypsin	24.000			98,0%		
Myoglobin	17.000		98,0%	95,0%	99,0%	
Cytochrom C	12.000	98,0%	93,0%	60,0%		
Insulin	5.733	90,0%	74,0%	52,0%		
Bacitracin	1.400	70,0%				
Saccharose	342	20.0%				

Versuchsbedingungen:

- 25 mm Ultrafilter in einer Rührzelle bei 1 bar (außer 5000 D Cellulosetriacetat: 4 bar
- Aufkonzentrierung von 10 ml einer 0,1%igen Lösung auf 0,1 ml und Bestimmung der Gesamtsubstanz in dem Ultrafiltrat nach Angaben von Sartorius
- Molekulargewichte stellen ca.-Werte dar

2. Problemstellungen für die Filtrations- und Membrantrenntechnik

Die Weiterentwicklung der Membrantechnologien wird sich vordergründig an den Verfahrensbedürfnissen der Reinststoffchemie, der Umweltschutztechnik, der Biotechnologie, der Pharma- und Lebensmittelindustrie orientieren, wobei die kernphysikalischen Trennverfahren einer gesonderten Bewertung bedürfen, auf die hier nicht eingegangen werden soll.

Zu trennende Stoffgemische werden in der Filtrationstechnik als Retentate und die selektiv durch das Filter hindurchgetretenen Gemischbestandteile als Permeat bezeichnet. Für die Auslegung von Membranfiltern sind folgende Betriebsparameter von besonderer Bedeutung:

Retentat-Fördermenge m^3/h
Retentat-Betriebsflußgeschwindigkeit m/s
Retentat-Betriebsdruck bar
Retentat-Betriebstemperatur °C
Retentat-Betriebsabreicherungsmenge (Permeatmenge als Flux)
Retentat- Betriebsrückstand (kleinstes Rückstandsvolumen)
Rückspül- und Sterilisierbarkeit
Preis Permeat / Stunde

Die Trenneffektivität und Trenngröße handelsüblicher Ultrafilter auf der Basis dünner Cellulosetriacetat- und Polysulfonschichten wurden bereits in Tabelle 2 dargestellt. Poröse Membranen werden auf der Basis von Metallen oder Keramiken hergestellt, deren Porensystem mit Hilfe spezieller Zusätze (Porentreiber) bzw. Technologien der unvollständigen Dichtsinterung von Pulvern eingestellt wird.

Tabelle 3 beinhaltet eine Übersicht zum Zusammenhang zwischen Porengröße, Trennverfahren und wichtigen Anwendungen für Keramikmembranen.

Tabelle 3 : Anwendungen für Membranfilter auf keramischer Basis

Porengröße	Verfahren	Applikation
0,1-5µm	Mikrofiltration	Abwasseraufbereitung Klarfiltration von Getränken
0,005-0,1µm	Ultrafiltration	Protein-Rückgewinnung, native Fettaufbereitung
0,002-0,2µm	Gastrennung mit niedrigem Trennfaktor	UF_6-Isotopentrennung zur Anreicherung von Kernbrennstoffen
0,002 µm	hochselektive Gastrennung	O_2/N_2-Trennung
0,001-0,005µm	Pervaporation	Alkohol/Wasser-Trennung Kohlenwasserstoffabtrennung in Flüssigkeiten
0,002-0,02µm	Membranreaktor	Dehydrierung durch Oxidationsprozesse

Für die Stofftrennung mit Hilfe von Membranen können folgende, die Trenneffektivität verbessernde physikalische Prinzipien genutzt werden:

- uniaxialer Druck auf das zu trennende Produkt
- Cross flow-Trennung an porösen Rohrwandungen (siehe Bilder 3 und 4)
- Kapillardruck
- Sedimentation (siehe auch Bilder 2 und 4)
- Zentrifugalkraft (siehe auch Bild 1)
- Vakuumfiltration
- Osmose und Umkehrosmose
- Elektrophorese
- Ionenaustausch (Anionen-und Kationenaustauschmembranen)
- An- und Kationenleitung in Festelektrolyten
- Trennkaskaden, aus Filtern unterschiedlicher Trenngröße aufgebaut
- Magnetische Separation

Hohe Trenneffektivitäten werden heute mit Zeolithen erreicht, die bei den chemischen Synthesen, insbesondere in Verbindung mit den Erdöltechnologien über die Dotierung von Oxiden der Seltenerdmetalle die Prozeßeffektivität bestimmen. Anzumerken ist:

- Trennprozesse an Membranen erfordern keine Phasenübergänge
- und ermöglichen Energieeinsparungen bis zu 80% im Vergleich zu konventionellen Verfahren

3. Aufbau von Membranfiltern

Der Aufbau von Membranfiltern ist von der Auswahl der Trennschichten nach den Klassifikationsmerkmalen "porös" oder "nichtporös" abhängig. Bei porösen Trennschichten oder Membranen kann die notwendige Stütz- oder Trägerfunktion durch das Membranmaterial (Keramik oder Metall) direkt übernommen werden. Zur Vergrößerung der effektiven Membranoberfläche werden Mehrlochanordnungen nach Bild 5 oder Wabenanordnungen nach Bild 6 bevorzugt.

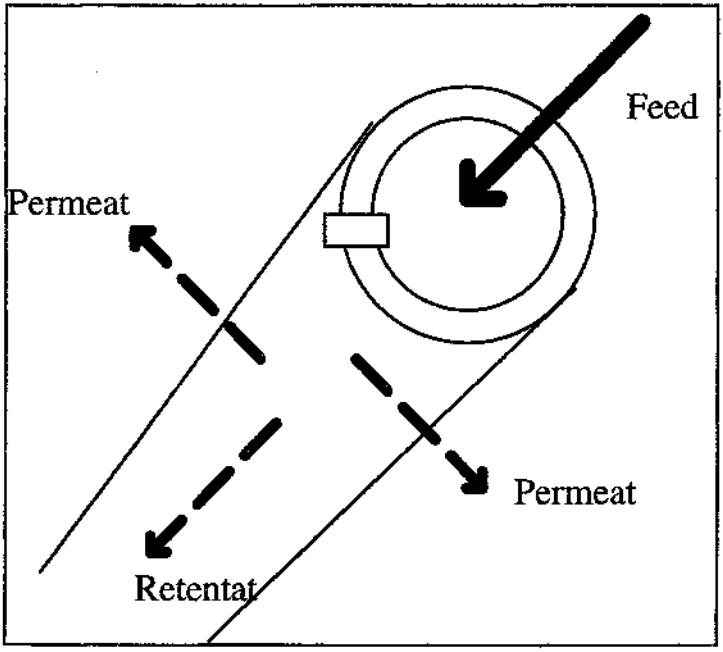


Bild 3: Prinzip der Cross Flow Filtration

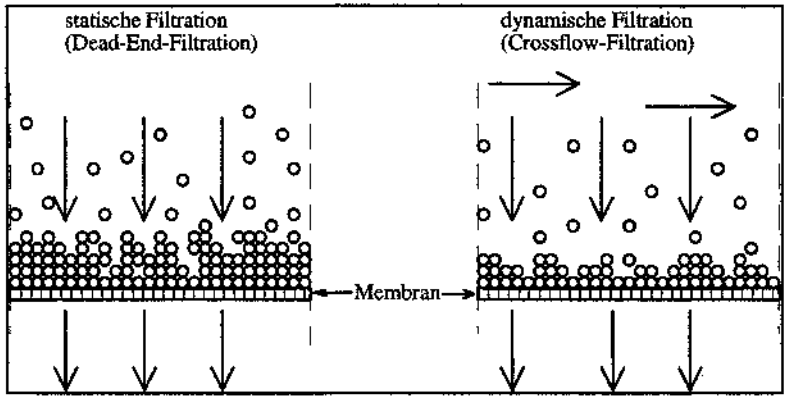


Bild 4: Prinzip der statischen und dynamischen Filtration

Bei nichtporösen Membranfiltern übernimmt eine dichte dünne Polymerschicht von ca. 1 µm Schichtdicke die Trennfunktion. Da derartig dünne Schichten nicht selbsttragend sind, werden sie auf porösen polymeren Stützschichten abgeschieden. Die Stützschichten ihrerseits sind in der Regel nochmals durch eine Polymervliesträgerschicht unterstützt (siehe Bild 7). Die Membranschichten werden über Lösungsmittel (Filmschichten), Sol-Gel-Verfahren oder Pervaporation auf den vorkonfektionierten Trägern mit Stützschicht abgeschieden.

Konstruktiv läßt sich der Aufbau von Membranfiltern nach folgenden Merkmalen unterscheiden:

Membranmorphologien:

- Flachmembranen mit Abstandshalter und Spacer
- Koaxialmembranen (Kapillaren, Röhren, Waben, Bilder 5 und 6)
- Multikanalstäbe mit Außenoberflächen-Permeatablauf
- Multikanalstäbe mit Koaxial- und Außenoberflächen-Permeatablauf
- Spiralwickel zur Multikanalbildung
- Trennkaskaden mit permeatabhängigen Durchlässigkeiten
- Hydrophile oder hydrophobe Membranwerkstoffe
- Katalytisch bzw. selektiv katalytische Membranwerkstoffe
- Elektrisch leitende Membranwerkstoffe zur Trennung geladener Teilchen
- Keramische Membranen mit definiert abgestufter Porosität
- Selektivität der Membranwerkstoffe/Polymere

In Tabelle 3 wurde bereits beispielhaft die Trennfunktion von Keramikmembranen mit unterschiedlicher Porengröße vorgestellt.

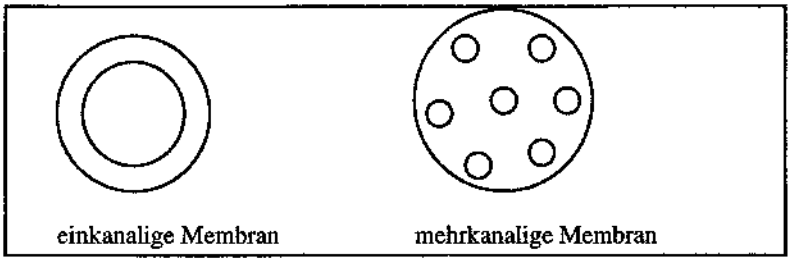


Bild 5: Ein- und mehrkanalige Keramikmembranen, Arbeitslängen bis 1,5 m

Eine andere wichtige Konstruktionsvariante für Keramikmembranen stellt die Wabenform dar, die zunächst für Hochtemperaturwärmetauscher entwickelt worden war. Bild 6 beinhaltet die schematische Querschnittsdarstellung einer Wabenmembran.

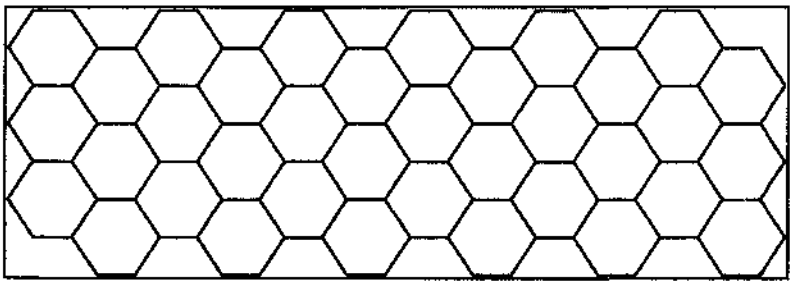
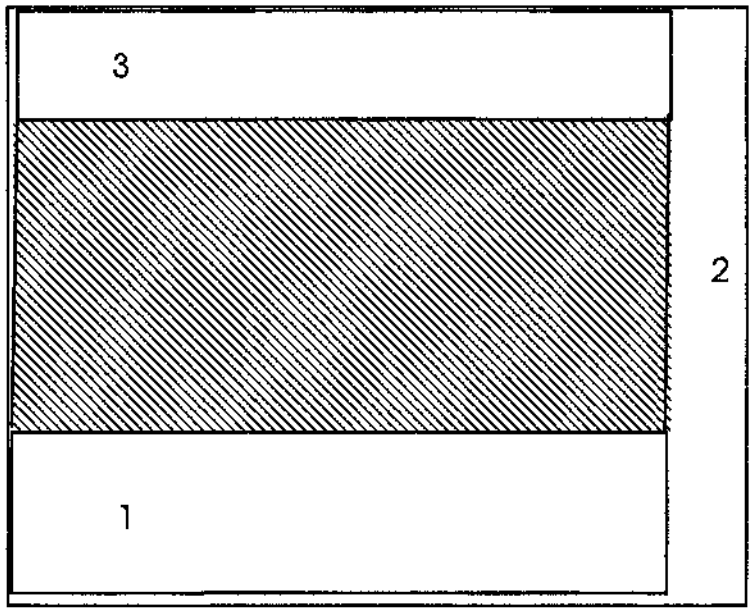


Bild 6: Schematische Darstellung einer Wabenmembranstruktur



1 Trägerschicht
2 poröse Stützschicht
3 Membrantrennschicht

Bild 7 Prinzipaufbau einer Polymermembran

4. Werkstoffe für Membranfilter

In der Filtrationstechnik wurde bereits sehr frühzeitig das Potential keramischer Werkstoffe für die Stofftrennung erkannt. Terrakotten und Steinzeugwerkstoffe fanden für Aufgabenstellungen in der Metallurgie und in der mechanischen Verfahrenstechnik vielfältig Anwendung. Definierte Porensysteme, die chemische Inertheit und die hohe Temperaturbeständigkeit der Keramiken waren entscheidende Werkstoffeigenschaften, die keramische Filtrationstechnik breit in industrielle Fertigungsprozesse zu integrieren. Die systematische Erforschung der Gefüge-Eigenschaftsbeziehungen der Oxid-, Nitrid-, Karbid- und Boridkeramiken hat leistungsfähigen Membrantechnologien ein beträchtliches Potential eröffnet. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Verfügbarkeit

nanokristalliner Pulver definierter chemischer Zusammensetzung, die beginnende industrielle Beherrschung der Sol-Gel-Technologien und die Erzeugung definierter Porensysteme im Mikro- und Nanometerbereich. Für innovative Anwendungen der Membrantrenntechnik für chemische Synthesen und die Heißgasfiltration sind insbesondere Eigenschaften, wie die Hochtemperaturfestigkeit, die Thermoschockbeständigkeit, die hohe chemische Beständigkeit kovalent gebundener Keramiken von großem Vorteil. Für die Membranherstellung sind folgende anorganisch-nichtmetallische Werkstoffe für die industrielle Nutzung vorgesehen:

- Aluminiumoxid
- Aluminiumtitanat
- Aluminiumnitrid
- Graphit und Aktivkohlen
- Siliciumkarbid
- Siliciumnitrid
- Titaniumdioxid
- Vanadiumpentoxid
- Molybdänoxid
- Strontiumtitanat
- Zirkoniumdioxid
- Nickeloxid, Eisenoxid
- Alumosilikate (Cordierit u.a.)
- Zeolithe

Aluminiumoxide haben als Membranwerkstoffe bereits breite Anwendungsfelder belegt. Siliciumkarbid ist ein potentieller Werkstoff für die Heißgasfiltration. Aluminiumnitride besitzen eine ausgezeichnete Thermoschockbeständigkeit und empfehlen sich besonders für die Filtration von Leichtmetallschmelzen. Graphite und Aktivkohlen finden in der Pharmaindustrie und in der chemischen Industrie vielfältig Anwendung. Titanium-,Vanadium-, Nickel-, Eisen- und Molybdäniumoxide besitzen in Abhängigkeit vom Oxidationszustand halbleitende Eigenschaften, während Zirkoniumdioxid in der kubisch stabilisierten Phase Sauerstoffionenleitfähigkeit besitzt. In der tetragonal stabilisierten Modifikation ist Zirkoniumdioxid ein hochfester und bruchzäher Werkstoff mit Oxidationsbeständigkeit bis zu sehr hohen Temperaturen. Die Spezifikation von Membranen für die Mikro-und Nanofiltration beinhaltet die Tabelle 4.

Tabelle 4. Eigenschaften von Mikro- und Nanofiltern nach Angaben der Tridelta

Mikrofilter:

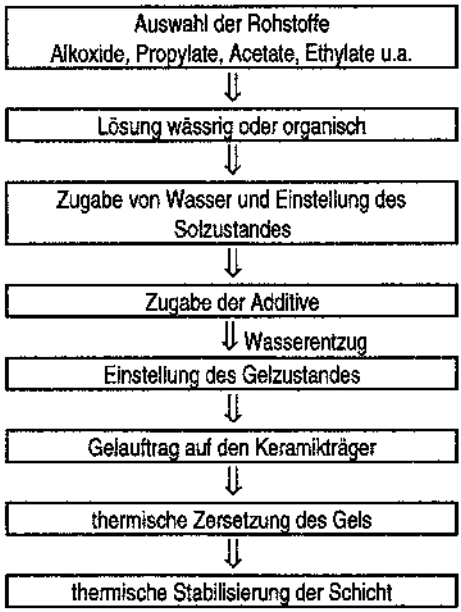
Membranträger	Al_2O_3
Membranwerkstoff	Al_2O_3
Trenngrenze	3/1/0,4/0,2/0,1µm
Porosität	ca. 35%
Temperaturbeständigkeit	270°C
chemische Beständigkeit	pH = 0-14
Ausnahme: Fluß- und Phosphorsäure	
Betriebsdruck	1 - 6 bar
Mechanische Festigkeit	> 40 bar

Ultrafiltrationsmembran:

Membranträgerwerkstoff	Al_2O_3
Membranwerkstoff	Al_2O_3
Trenngrenze	60/30 nm
Porosität	35%
Temperaturbeständikeit	270°C
chemische Beständigkeit	pH = 0-14
Ausnahme: Fluß- und Phosphorsäure	
Betriebsdruck	1 - 10 bar
Mechanische Festigkeit	> 40 bar
Sterilisierbarkeit	ja, maximale Temperatur: 1000°C

Für keramische Membranen ist die Rückspülbarkeit und die Möglichkeit der Sterilisation grundsätzlich gegeben. Eine bevorzugte Membranausführung stellt die Mehrkanalkonstruktion dar.

Die Herstellung von keramischen Werkstoffen mit definiertem Nanometerporensystemen ist mit den Sol-Gel-Technologien möglich:



Neben der Sterilisier- und Rückspülbarkeit der Keramikmembranen stellt die nahezu druckunabhängige Arbeitsweise einen wesentlichen Anwendervorteil dar.

Kumuliertes Volumen mm²/g, Trennschärfe einer Aluminiumoxydkeramik

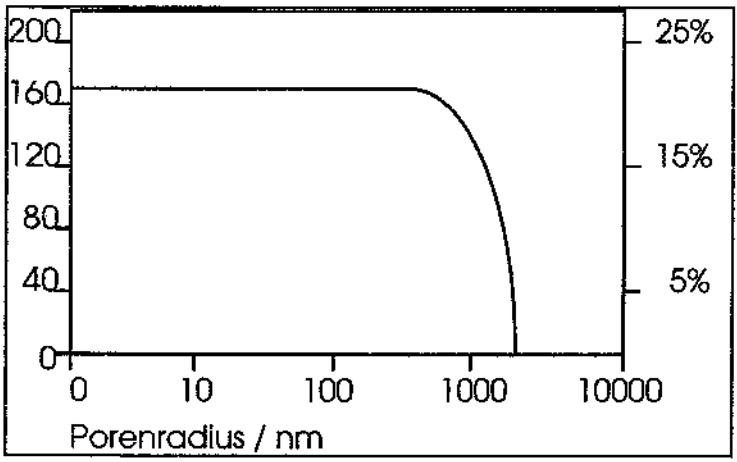


Bild 8 beinhaltet die Zeitabhängigkeit des Permeates (Flux) für Aluminiumoxidkeramikmembranen mit Trenngrenzen von 0,2 bzw. 0,6 µm bei Arbeitsdrucken von 1 bar.

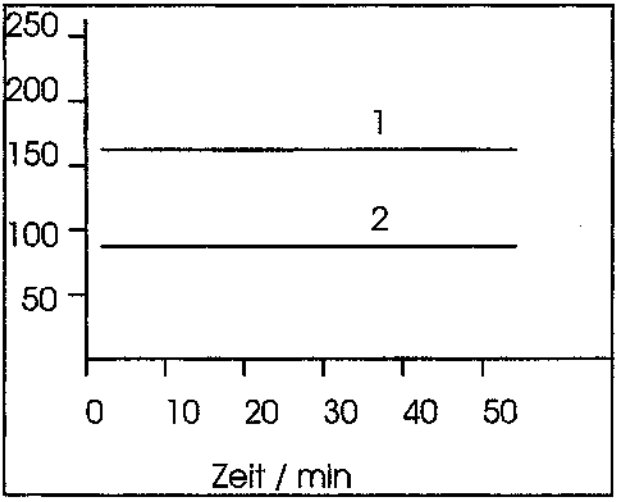


Bild 8: Fluß als Funktion der Zeit bei einem Druck von 1 bar
1: 0,6µm-Membran
2: 0,2µm-Membran

Nach dem Sol-Gel-Vefahren hergestellte Keramikmembranschichten versprechen die Erschließung völlig neuer Anwendungsfelder in der Medizin (Blutfiltration) und in den Biotechnologien. Keramiken und Polymerwerkstoffe ergänzen sich gegenwärtig sehr sinnvoll in den industriellen Membrantrennverfahren.

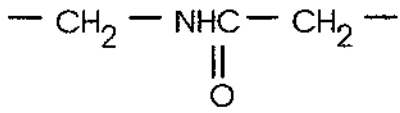
Das System der gegenwärtig bekannten Polymerwerkstoffe eröffnet den Membrantechnologien ein breites Anwendungsfeld. Die Membranwirkung begründet sich auf der Semipermeabilität gegenüber chemischen Spezies über dünne Polymerschichten. Eine Übersicht zu Polymerwerkstoffen für Diaphragmen und Membranen beinhaltet die nachstehende Übersicht:

- Zellulosetriacetat
- Polyethylen
- Polykarbonat
- Polysulfon, Polyethersulfone

- Siloxane
- Polytetrafluorethylen/ Teflone, Polyimide, Kapton
- Polyester
- Polyacrylnitril
- Polypropylene (Hohlfasern)

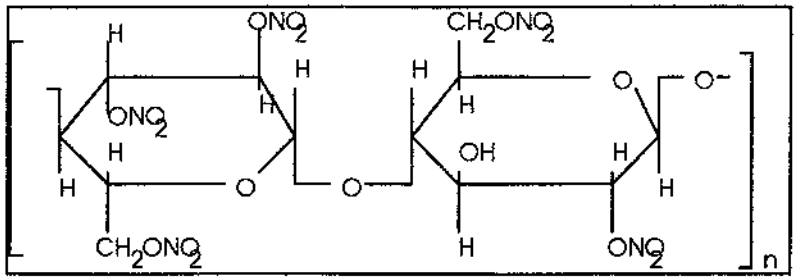
Entscheidend für die Semipermeabilität und die Trenneffektivität sind der spezifische räumliche Makromolekülaufbau und die Spezifik der chemischen Bindung. Die Modifikation der chemischen Bindung der Makromoleküle ermöglicht die Beeinflussung der Hydrophobie bzw. der Hydrophilie der Makromoleküle. Die Oberflächeneigenschaften sind für die Luft- und Gasfiltration, die chemische Beständigkeit und die Trennung von wässrigen Suspensionen von entscheidender Bedeutung. Nachstehend sollen einige Makromoleküle vorgestellt werden, die in der Membrantrenntechnik vielfältig Anwendung finden:

Polyamide:



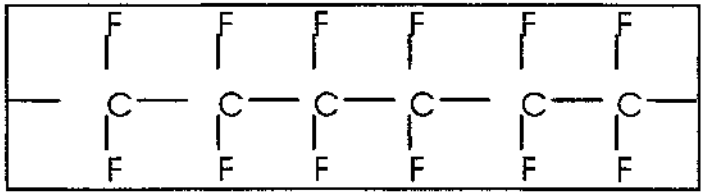
Besondere Eigenschaften: Hydrophil, chemische Beständigkeit gegen alkalische Lösungen und organische Lösungsmittel

Cellulosenitrat:



Besondere Eigenschaften: Hydrophil, chemische Beständigkeit, definierte Porensysteme

Polytetrafluorethylen:



Besondere Eigenschaften: Hydrophob, chemisch inert, belastbar zu höheren Temperaturen

Entwicklungsseitig wird die Erkundungsforschung zu polymeren Membranwerkstoffen mit hoher Trenneffektivität und kleineren Trenngrenzen intensiv weitergeführt.

5. Innovative Anwendungen

Die Anwendung der Membrantrenntechnik hat in vielen Branchen zu wesentlichen Innovationen geführt. Das trifft besonders für die pharmazeutische, chemische und biotechnische Industrie zu. Auch die Lebensmittelherstellung beruht heute in vielen Fällen auf der Nutzung der Filtrationstechniken. In den Umwelttechnologien erwartet man zukünftig das größte Potential für die Anwendung der Membrantechnik, insbesondere hinsichtlich der Gas-Gas- und der Gas-Feststofftrennung. Wichtige Arbeitsrichtungen für innovative Anwendungen der Membrantrenntechnologien sind:

- Reinigungsfiltration von Lösungsmitteln
- Wertstoffgewinnung aus Flüssigkeiten
- Kühlmittelreinigung von Kompressionsanlagen
- Schmiermittelreinigung bei Maschinen mit Schmiermittelumlauf
- Dehydrierung von Kohlenwasserstoffen
- Gastrenntechnik einschließlich Luftzerlegung
- Kristallisation von speziellen Spezies in Flüssigkeiten auch unter Nutzung der Umkehrosmose

Weitere potentielle Anwendungsbereiche der chemischen Verfahrenstechnik auf der Grundlage der Nutzung von Molsieben und der Membrantrenntechnik sind die Sterilfiltration und die Verfahren zur Herstellung von Pflanzenschutzmitteln wie

- die Herstellung hochaktiver kulturpflanzenverträglicher Herbizide

- die Präparation resistenter Fungizide, Insektizide, Bakterizide und Wachstumsregulatoren zur Verbesserung der Standfestigkeit von Getreide

Weitere wichtige Gebiete der zukünftig vestärkten Anwendung der Membrantrenntechnik werden sein:

- die Schadstoffbeseitigung durch Fällung, Verbrennung, Adsorption, Ionenaustausch, Mikro- und Ultrafiltration
- die allgemeine Entsorgung von Schadstoffen über den Einsatz von Molsieben, Katalysatoren, Waben- oder Katalysatorenträgern mit Aktionsschichten auf der Basis von Aerosolen, Zeolithen, Aktivkohle und oberflächenmodifizierten Kohlenstoffgerüsten
- die Entsorgung von Industrieschlämmen
- die Entsorgung von Prozeßwässern der Wäschereibetriebe (Phosphate, Stearate), der Lebensmittelbranche, z.B. die Reinigung von Proteinabtrennungsanlagen in Molkerei- und Käsereibetrieben, die Schlachtblutentsorgung, die Abwasseraufbereitung von Abwässern der Textilbranche
- Sterilisierungsverfahren in der Biotechnologie und Pharmaindustrie über die Fixierung von Enzymen in porösen Trägern, die Filtrationstrennung von Bakterien und Viren, die Abtrennung von Makromolekülen aus Flüssigkeiten und die Flüssig-Feststoffstrennung
- Wertstoffgewinnung aus Rückständen der Erzaufbereitung
- Abwasserentsorgung
- Chloralkalielektrolyse
- Trennung von Elektronikschrott und Wertmetallrecycling
- die Herstellung hochaktiver kulturpflanzenverträglicher Herbizide
- die Präparation resistenter Fungizide, Insektizide, Bakterizide und Wachstumsregulatoren zur Verbesserung der Standfestigkeit von Getreide
- NO_x-Minderung bei Verbrennungsmotoren

Die Beherrschung leistungsfähiger Membrantrenntechnologien wird neue Möglichkeiten der molekularen Erkennbarkeit, zu trägerfixierten

Reagenzien für Enzyme für Stoffwandlungsreaktionen bis zu definierten C-C-Verknüpfungen ermöglichen.

Der Anwendungsbereich der Membrantechnologien erstreckt sich aber auch auf Gebiete des Kunststoffrecyclings, beispielsweise können Verfahren zur Entsorgung von organischen Stoffgemischen den Prozeß der Aufoxidation nutzen und eine definiert gespeiste Wasserstoffverbrennung ermöglichen. Die zu entsorgenden Stoffe werden rechnergesteuert als Kühlgut im flammenfreien Bereich zugeführt und im Schwelverfahren umgesetzt. Als alternative Quelle könnte für den Oxidationsprozeß auch das Plasmaverfahren Verwendung finden. Offensichtlich ist der gezielte Abbau von Kohlenwasserstoffen durch katalytische Reaktionen während des Oxidationsprozesses möglich, so daß nach erfolgter Kondensation die Reaktionsprodukte durch Ultrafiltration bzw. Nanofiltration getrennt werden können, wobei Aerosole, Al_2O_3, TiO_2, Zeolithe und Mischoxide mit Seltenerdmetalldotierungen (Cer, Lanthan) als Molsiebe, Molekularsiebgewebe und Ionenaustauscher Verwendung finden werden. Diese Verfahren sind auch für die Aufarbeitung von Metallsalzen zu Oxiden von Interesse.

Bei der Gerätekonzeption wird die Standzeit der Werkstoffe im Reaktorbereich entscheidend die Verfahrenseffektivität beeinflussen. Die Werkstoffe müssen dabei den Beanspruchungen hinsichtlich :

- Thermoschockbeständigkeit
- Oxidationsbeständigkeit
- hoher Arbeitstemperaturen und
- Chemikalienbeständigkeit genügen.

6. Alternative Trennverfahren

Die Erzeugung definierter Porensysteme stellt sowohl für die aktuelle Werkstoffentwicklung als auch für die neuen physikalischen Technologien eine große Herausforderung dar. Die physikalischen Technologien besitzen ein beträchtliches Potential, insbesondere die Dünnschichttechnologien und Bearbeitungsverfahren mit dem Excimerlaser bieten Ansätze zur weiteren systematischen Senkung der Trenngrößen und der Erhöhung der Trenneffektivität. Das Plasmatron-Hochratesputterverfahren ermöglicht sowohl die Herstellung keramischer als auch polymerer Strukturen mit definiertem Porensystem im Nanometerbereich. Schichtdicken von ca. 50 nm bis ca. 2 µm sind mit diesem Verfahren effektiv herstellbar. Die

Plasmaspritztechnik ist sowohl zur Herstellung nanokristalliner Keramikpulver als auch zur Herstellung nano- und mikroporöser Porensysteme geeignet.

In der Trenntechnik breit eingeführt sind die magnetischen Hochgradientenmagnetscheider, beispielsweise in der bergmännischen Gewinnungstechnik von mineralischen Rohstoffen höchster Reinheit. Diese Feststellung gilt auch für die chemischen Trennverfahren in der Verbindung von Fällungs-, Kristallisations und Destillationsprozessen, wie sie teilweise in der Hochreinigung von Seltenerdmetallen zur Anwendung kommen. Die Entwicklung neuer Supraleitermaterialien mit hoher Stromtragfähigkeit und hoher Sprungtemperatur ermöglicht der magnetischen Separation ein weiteres Vordringen in die Aufbereitungstechniken der modernen Rohstoffgewinnung. Mit der Verfügbarkeit dieser Verfahren wird die Frage der Abbauwürdigkeit erkundeter Rohstoffressourcen neu zu stellen sein.

Für die Trenneffektivität der Magnetscheider sind folgende Parameter von Bedeutung:

- maximale Magnetfeldstärke
- Suszeptibilitäten der Gemischbestandteile
- Reichweite der magnetischen Trennkräfte
- Trennung feinteiliger Gemische im Hochgradientenfeld
- Trocken- oder Naßscheidung
- Geschwindigkeit der zu trennenden Teilchen.

Die Magnetscheidung hat einen hohen Stellenwert in der Kaolinreinigung für die Porzellanindustrie, in der Zinnanreicherung von wenig abbauwürdigen Zinnerzen und in der Wertmetallgewinnung erreicht. Maßgebend für die technischen Konzepte und das Trennverfahren werden in allen Fällen die Trenneffektivität und die Verfahrenskosten sein.

Literatur

"Membranes in Gas Separation and Enrichment", Proceedings 4. BOC Priestley Conference (1986), Royal Society of Chemistry, ISBN 0-85186 676-X

"Ultrafiltration Membranes and Applications" ed. by A.R. Cooper, Plenum Press New York and London (1979), ISBN 0-306-40548-2

"Reverse Osmosis/ Ultrafiltration Processes Principles" S. Sourirajan, T. Matsuura, National Council Canada Publications Ottawa, Canada (1985) NRCC No 24188

"Poro Cer" Cross-flow Filtration, Tridelta AG Filtrationskeramik, Hermsdorf, Firmenprospekte, (1995)

"Membranfilter", Sartorius AG Prozeßfiltration/ Laborfiltration, Firmenprospekte, (1995)

U. Ströder, R. Henne: "Entwicklung und Herstellung neuartiger Verbundschichten für elektrochemische Verfahren durch Unterdruckplasmaspritzen" 2. Symposium Materialforschung 1991 des BMFT (26. - 29.8.1991 in Dresden) s.1966 - 1991, ISBN 3-8249-0020-3

F. Harbach : "Hochleistungsfunktionskeramik für die rationelle schadstoffarme und sichere Energieversorgung" 2.Symposium Materialforschung 1991 des BMFT (26. - 29.8.1991 in Dresden), s. 961 - 984, ISBN 3 - 8249 - 0020 - 3

H. Nünburg, F. Harbach:"Pressure Filtration of Fine Ceramic Suspensions"; 4th. Intern. Conf. Ceramic Powder Processing Science, Nagoya, Japan 12. - 15.3.1991

Mayr W., Henne R.:"Investigation of a VPS Burner with Laval Nozzle by Means of an Automated Laser Doppler Measuring Equipment", in Proc. 1 st. Plasmatechnik Symposium Vol. 1 (1988) 87-97

O. Kustek, B. Bosserhoff, C. Stößel: "PVD-Beschichtung bei niedrigen Temperaturen und neue Schichtsysteme" 2. Symposium Materialforschung 1991 des BMFT (26.-29.8.1991 in Dresden), S. 2072-2088, ISBN 3 - 8249 - 0020 - 3

H. Nickel, F.J. Dias, K. Bach, W. Best, W. Simonis: "Entwicklung von Heißgasfiltern aus Siliciumkarbid auf der Basis des Coat-Mix-Verfahrens" 2. Symposium Materialforschung 1991 des BMFT (26.-29.8.1991 in Dresden), S. 2173-2175, ISBN 3 - 8249 - 0020 - 3

Kyo, O.: (NGK Insulations ltd.) "Recent Ceramic Filter" International Forum on Fine Ceramics 1990, Nagoya "Fine Ceramics - Challenging the Unknown"

H. Gasthuber: "Keramische Spritzschichten" 2. Symposium Materialforschung 1991 des BMFT (26. - 29.8.1991 in Dresden), s. 1947-1965, ISBN 3 - 8249 - 0020 - 3

Österreichische Keramische Rundschau 22(1985) 1/2, 6 - 12

T.Terpetschnig." Standzeit erhöht-verbesserte Membranen ", cav 12/95, S. 18

Keizer,K. ; Burggrau, A.J. "Ceramic Membranes:Preparation, Structure, Application" (1988)

Anonym Sol-Gel-Technology for Thin Films, Fibers, Preforms, Electronics and speciality Shopes, Noyes Publication, Park Ridge 1987

Kinna, J. Pleiade und Cabosep Cross flow Filtration, Review on industrial applications, Vortrag auf dem Seminar der Technischen Akademie Wuppertal 2.2. - 3.2.1989

Roth, L. Gefahrstoff-Entsorgung 2 Erg. Lfg. 12/90 II - 7.6.II - 8.1 II - 8.0

Gefahrstoffverordnung Deutschland

Heym,B.; Hippler,B.; Kreisel,G.; Scheer,H.; Walter,D., Anorganische Synthesechemie, 2.Auflage Springer Berlin 1990

Lehmann,R. ZIID Entwicklungstendenzen in Wissenschaft, Technik und Wirtschaft "Herstellung und Anwendung von Keramikmembranen" A 27/90 Reihe 02 06/1990

Verordnung über Höchstmengen für Phosphate in Wasch- und Reinigungsmitteln vom 4.6.1980

Roth, L. Wassergefährdende Stoffe, ecomed Verlagsgesell-schaft, Landsberg 1990

Sittig,M. Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens, Park Ridge New Jersey, USA 1985

Allg. VwV über die nähere Bestimmung wassergefährdender Stoffe und ihre Einstufung entsprechend ihrer Gefährlichkeit, vom 9.3.1990 (GMBL Nr. 8, S. 114)

Das neue Wasserrecht für die betriebliche Praxis Band 1 Teil 03 und Teil 05 sowie Band 3 Teil 07, WEKA Fachverlag für technische Führungskräfte GmbH 06/1991

G.Bauer, H.Nowak "Recycling elektrokeramischer Werkstoffe "Keramische Zeitschrift 34 (1982), 374-376

Workshop des BMFT "Laser 2000" am 3./4.2.1994 im VDE/VDI-Zentrum Düsseldorf - Ergebnisberichte:

Lindner Audi AG Abt. I/PK-P "Bearbeitung der Zylinderlauffläche mit dem Excimerlaser"

Young-Ae Lee, Norbert Hübner, Detlev Ganten*

Genetik des Bluthochdrucks

Einführung

Bluthochdruck ist eine Volkskrankheit, die in den westlichen Industrienationen mit einer Prävalenz von bis zu 30% (9) eine Hauptursache kardiovaskulärer Morbidität und Mortalität darstellt. Beim Bluthochdruck handelt es sich um ein vielschichtiges Geschehen. Mehrere unterschiedliche Organe, wie das Blutgefäßsystem, das Herz und die Niere sind an der Regulation des Blutdrucks beteiligt. Zudem üben bestimmte Regionen des Gehirns Einfluß auf die Höhe des Blutdrucks im Organismus aus. Störungen können sich in all diesen Teilsystemen ergeben. Bei nur etwa fünf Prozent aller Bluthochdruckpatienten lassen sich Fehlfunktionen der Niere, Blutgefäßveränderungen oder hormonelle Störungen als Ursache für das Leiden verantwortlich machen. Bei allen anderen Patienten sind die Ursachen der Erkrankung unbekannt. Vieles spricht jedoch dafür, daß erbliche Faktoren an der Entstehung dieser Herz-Kreislauf-Krankheit beteiligt sind. (12, 13)

Die Untersuchung genetischer Ursachen des Bluthochdrucks zielt darauf ab, solche Genorte *(Genotyp)* zu identifizieren, die regelmäßig mit einem bestimmten Merkmal *(Phänotyp)* auftreten. Die genetische Information ist in der Abfolge der vier DNS-Bausteine (Nukleotide) kodiert. Unterscheiden sich zwei Individuen in der Nukleotidsequenz an einem Chromosomenabschnitt, so kann dieser *Polymorphismus* als genetischer Marker zur Unterscheidung dieser Individuen herangezogen werden. Zu dieser *Genotypisierung* werden Restriktionslängenpolymorphismen *(RFLP), Variable Number Tandem Repeats (VNTR)* oder Mikrosatelliten verwendet.

---

* Vortrag, gehalten von D. Ganten vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät am 16. November 1995

Komplexe genetische Erkrankungen

Die genetische Untersuchung der Bluthochdruckerkrankung wird durch verschiedene Umstände erschwert: Im Gegensatz zu monogenetischen Erkrankungen, wie z.B der Mukoviszidose, bei der die Mutation eines einzelnen Genortes zu schwerwiegender Funktionsstörung des Genprodukts und somit zur Erkrankung führt, handelt es sich beim Bluthochdruck um eine *polygenetische* Erkrankung, an deren Entstehung mehrere Gene beteiligt sind. Krankheitsmerkmale können entweder als diskrete Merkmale (z.B. Herzinfarkt) oder als *kontinuierliche* Merkmale klassifiziert werden. Da der Blutdruck ein kontinuierliches Merkmal darstellt und innerhalb einer Bevölkerung normal verteilt ist, sind die Grenzen zwischen gesund und krank fließend. Die Diagnose Bluthochdruckkrankheit ist definiert als ein Grenzwert von 90 mm Hg diastolisch und 140 mm Hg systolisch. Die Unterscheidung zwischen „gesund" und „krank" ist damit jedoch auf einem arbiträren Niveau festgelegt, daß weitere klinische Parameter wie Alter, Geschlecht, Organbeteiligung, Zeitverlauf und andere Gesichtspunkte einbezogen werden müssen.

Da zusätzlich Umweltfaktoren den Blutdruck und die Entwicklung einer Hypertonie beeinflussen, spricht man man von *multifaktorieller* Pathogenese. Der Blutdruck ist ein sogenannter *komplexer Phänotyp*, der aus vielschichtigen Interaktionen zwischen blutdrucksteigernden und blutdrucksenkenden Genorten untereinander (*epistatisch*), sowie mit Umweltvariablen (*ökogenetisch*) resultiert. Solche komplexen Interaktionen werden beispielhaft durch Beobachtungen an Patienten deutlich, deren Blutdruck unterschiedlich stark von verschiedenen Umweltfaktoren, wie diätetischer Kochsalzbelastung, beeinflußt wird. Die genetische Analyse wird zusätzlich dadurch erschwert, daß die Bluthochdruckkrankheit kein homogenes Krankheitsbild, sondern eine *heterogene* Gruppe von Krankheiten darstellt, d.h., daß in verschiedenen Familien unterschiedliche Teilmengen an blutdruckrelevanten Genotypen zum gleichen Phänotyp Bluthochdruck führen.

Untersuchungen an Tiermodellen

Anhaltspunkte für gezielte genetische Untersuchungen werden in Modellsystemen wie Zellkulturen oder Versuchstieren gewonnen. In der Hypertonieforschung hat sich die Ratte als Modellorganismus bewährt, weil sie dem Menschen in einer Vielzahl biochemischer Eigenschaften

ähnelt, die für die Regulation des Blutdrucks von Bedeutung sind. Aufgrund der kurzen Generationsdauer und der einfachen Zucht- und Haltungsbedingungen, die eine weitgehende Kontrolle der Umwelteinflüsse ermöglichen, sind Ratten auch für genetische Studien gut geeignet. Allele, die zu hohem Blutdruck führen, wurden durch Inzüchtung (selektive Bruder-Schwester-Verpaarung von Tieren mit erhöhtem Blutdruck) in einem Tierstamm genetisch identischer Individuen fixiert. So wurden mehrere genetisch hypertensive Rattenstämme etabliert, die entweder spontan (z.B. spontan hypertensive Ratte, SHR (29)) oder nach diätetischer Belastung mit Kochsalz (z.B. Dahl-salzsensitive Ratte) Bluthochdruck entwickeln. Die einzelnen Abkömmlinge solcher Stämme entwickeln unterschiedliche Folgeerkrankungen, wie Hirnschlag (z.B. *SHRSP, stroke prone spontaneously hypertensive rat*) und Arteriosklerose, die in weiteren ingezüchteten Unterstämmen genetisch fixiert worden sind. Diese verschiedenen Modellorganismen für unterschiedliche Formen von erblichem Bluthochdruck und seinen Folgeerkrankungen sind nun Untersuchungen auf bestimmte Erbmerkmale zugänglich.

Die Verbindung klassischer genetischer Strategien mit molekularbiologischen Methoden ermöglicht es, blutdruckbestimmende Genorte zu identifizieren (14, 17). Ein quantitatives Merkmal wie der Blutdruck läßt sich in einzelne ihn bestimmende Genorte, die sogenannten *quantitative trait loci* (=*QTL*), aufschlüsseln. Größere chromosomale Abschnitte, die einen *QTL* enthalten, können durch sogenannte Kopplungs- oder Kosegregationsanalysen identifiziert werden.

Kosegregationsstudien

Für eine Kosegregationsanalyse werden zwei ingezüchtete Tierstämme verwendet, die sich im Phänotyp von Interesse unterscheiden. Zur Untersuchung des Bluthochdrucks werden also ein hypertensiver und ein normotensiver Rattenstamm verwendet.

Während der meiotischen Rekombination wird zwischen homologen väterlichen und mütterlichen Chromosomen genetisches Material ausgetauscht. Bei ingezüchteten Tieren werden hierbei identische Allele ausgetauscht, weil sie an allen Genorten homozygot sind. Bei der Verkreuzung eines ingezüchteten hypertensiven Tieres mit einem ingezüchteten normotensiven Tier, entsteht eine F_1-Generation, die an allen Genorten heterozygot ist. Während der Meiose in einem F_1-Tier wird das genetische

Material von hypertensivem und normotensivem Elternteil zufällig durchmischt und durch Verkreuzung von F_1-Tieren untereinander (Bruder-Schwester-Verpaarung) an die resultierende, segregierende F_2-Generation vererbt. Allele eines Genortes, die einem *QTL* entsprechen oder sehr nahe benachbart liegen, bleiben mit dem Phänotyp Bluthochdruck assoziiert, während ungekoppelte Genorte unabhängig vom Blutdruck segregieren und keine statistische Assoziation ihrer Allele mit dem Blutdruck aufweisen. Da es sich bei der Hypertonie um ein quantitatives, polygenetisch determiniertes Merkmal handelt, ist für eine solche Analyse eine große Anzahl informativer Rekombinationen erforderlich. Im Tiermodell sind Studien an ingezüchteten Stämmen und die Züchtung hinreichend großer F_2-Generationen (100-250 Tiere) möglich.

Kandidatengene

Kandidatengene kodieren für Genprodukte, deren Beteiligung an der Blutdruckregulation oder an der Pathogenese der Hypertonie aufgrund biochemischer und physiologischer Daten anzunehmen ist. Diese umfassen verschiedene Regelkreise endokriner Systeme (z. B. Renin-Angiotensin-System), des Nervensystems, der Niere (z. B. Ionenkanäle) und des Herz-Kreislauf-Systems (z.B. ANP, Endotheline). Diese Strategie setzt Vorkenntnisse über entsprechende Pathomechanismen voraus. Da nur etwa 5000 der geschätzten Gesamtzahl von etwa 100000 Genen des Säugetiergenoms bekannt sind, ist davon auszugehen, daß nur ein geringer Bruchteil der blutdruckregulierenden Gene bislang identifiziert und somit solchen Untersuchungen zugänglich ist. Das Renin-Angiotensin-System trägt durch die Regulierung der Elektrolyt- und Wasserhomöostase sowie des Gefäßtonus wesentlich zur Blutdruckregulation bei. Daher stellen alle Komponenten dieses Systems Kandidatengene für die Hypertonie dar. Positive Kopplungsresultate für den Renin- (30) und den ACE-Genort (14, 17) im Rattenmodell haben zu systematischen Untersuchungen des Renin-Angiotensin-Systems im Menschen Anlaß gegeben.

Im Rahmen der Untersuchung von Kandidatengenen sind bislang drei Gene, Angiotensinogen, Renin und das SA-Gen, in den Heidelberger Rattenstämmen der $SHRSP_{HD}$ und WKY_{HD} auf Kosegregation mit dem Blutdruck vor und nach diätetischer Kochsalzbelastung überprüft worden. Die Analyse ergab in unseren Untersuchungen keine Kosegregation eines Restriktionslängenpolymorphismus (*RFLP*) für das Renin-Gen mit den Blutdruckwerten (26). Eine andere Kosegregationsanalyse in einer F_2-Ge-

neration, die aus der Verkreuzung der hypertensiven Dahl-salzsensitiven mit der normotensiven Dahl-salzresistenten Ratte hervorgegangen war (30), zeigte hingegen einen kodominanten Effekt des Dahl-sensitiven Renin-Allels mit dem Blutdruck. Eine dritte Kreuzung zwischen dem hypertensiven SHR-Stamm und normotensiven Lewis-Ratten zeigte ebenfalls eine Assoziation des Markers mit dem Blutdruck (22). Diese augenscheinlich widersprüchlichen Ergebnisse widerspiegeln die Komplexität und Heterogenität des Blutdrucks. Die diskrepanten Befunde können dadurch erklärt werden, daß in verschiedenen ingezüchteten hypertensiven und normotensiven Rattenstämmen verschiedene Teilmengen hypertensiv, bzw. hypotensiv wirksamer *QTLs* genetisch fixiert sind.

Kosegregationsanalysen eines SA-Gen-Polymorphismus (25) zeigten in Übereinstimmung mit anderen Studien (31) eine Kopplung dieses Genorts mit Bluthochdruck. Dagegen kosegregierte in unserer Kreuzung von $SHRSP_{HD}$ und WKY_{HD} das $SHRSP_{HD}$-Allel des Angiotensinogen-Gens nicht mit dem Blutdruck (15).

Intervallkartierung

Bei der Intervallkartierung benutzt man eine möglichst große Zahl polymorpher Marker, deren Entfernung voneinander und von potentiellen *QTLs* aufgrund der Rekombinationshäufigkeit in einer segregierenden F_2-Generation berechnet wird. Die Wahrscheinlichkeit, daß eine berechnete Entfernung zweier Marker tatsächlich *Linkage* statt einer zufälligen Assoziation darstellt, wird als LOD-Wert (*logarithm of the odds*) ausgedrückt, wobei bei einem LOD-Wert von >3 *Linkage* angenommen wird.

Dieselbe Kohorte von F_2-Tieren, die zur Analyse der oben beschriebenen Kandidatengene benutzt wurde, wurde mit etwa 200 Mikro- und Minisatelliten genotypisiert. So wurden drei Genorte identifiziert, die mit erhöhtem Blutdruck gekoppelt sind. Eine 20-30 cM große Region auf Chromosom 10 (BP/SP-1), die sowohl mit dem systolischen, als auch dem diastolischen Blutdruck gekoppelt, und für 20% der Blutdruckvarianz verantwortlich ist, wies die höchsten LOD-Werte auf. Diese Region enthält neben dem Genort für das Wachstumshormon auch den des Angiotensin-Konversionsenzyms (ACE-Locus). Ein weiterer Genort auf Chromosom 18 zeigte Kopplung zum basalen Blutdruck (LOD=3.2), sowie eine tendentielle Kopplung mit dem salzinduzierten Blutdruck (LOD=2,64). Kandidatengene innerhalb dieser Region wurden bislang

nicht identifiziert. Schließlich wurde eine dritte Region auf dem X-Chromosom identifiziert, die mit dem basalen systolischen Blutdruck gekoppelt und in den weiblichen Tieren für etwa 65% der Gesamtvarianz des Blutdrucks verantwortlich war (14, 17).

Genetische Untersuchungen am Menschen

Wichtige Erkenntnisse über die Pathogenese des Bluthochdrucks können durch die Untersuchung seltener monogenetischer Formen der Hypertonie (23, 32) gewonnen werden. So konnte als Ursache des dominant erblichen glukokortikoid-sensitiven Hyperaldosteronismus, der bei den Betroffenen schon im Jugendalter zu ausgeprägtem Bluthochdruck führt, ein Defekt im Aldosteronsynthasegen identifiziert werden. Aldosteron ist ein Nebennierenrindenhormon, das durch die Erhöhung der Natriumrückresorption in den distalen Tubuli der Niere zur Zunahme des extrazellulären Flüssigkeitsvolumens und zur Blutdruckerhöhung führt. Bei den betroffenen Familien wurde eine Genduplikation beobachtet, bei der der kodierenden Sequenz der Aldosteronsynthase die regulatorische Sequenz des 11ß-Hydroxylasegens vorgeschaltet ist, so daß sie unter die Kontrolle des adrenokortikotropen Hormons (ACTH) gerät. Die Untersuchung solcher seltenen monogenetischen Formen der Hypertonie ermöglicht die Entwicklung neuer Ansätze für die klinische Therapie.

Da jedoch in der großen Mehrheit der Krankheitsfälle mehrere Gene in unterschiedlichen Kombinationen untereinander an der Entstehung des Bluthochdrucks beteiligt sind, sind im Gegensatz zu monogenetischen Erkrankungen Studien an einzelnen Familien nicht erfolgversprechend. Hierfür ist die Untersuchung sehr großer Kohorten nicht-verwandter Individuen in Fall-Kontrollstudien *(Assoziationsstudien)* oder verwandter Individuen in Geschwisterpaaranalysen erforderlich. Angesichts der großen Populationen ist derzeit nur die Untersuchung von Kandidatengenen möglich. Hierbei werden zwischen den Fall- und Kontrollpopulationen die Allelfrequenzen solcher Gene miteinander verglichen, von denen aufgrund von physiologischen und biochemischen Daten anzunehmen ist, daß sie an der Blutdruckregulation beteiligt sind.

In Geschwisterpaaranalysen und Assoziationsstudien in zwei verschiedenen Populationen aus Frankreich und den U.S.A. wurde eine signifikante Kopplung bestimmter Allele des Genorts für Angiotensinogen und der Hypertonie beschrieben (19). Durch vergeichende Sequenzierung des

Angiotensinogen-Gens mehrerer Individuen wurde eine Mutation, die M235T-Variante des Angiotensinogen-Proteins, identifiziert, die mit signifikant höheren Angiotensinogen-Plasmaspiegeln assoziiert war. Bei näherer Untersuchung korrelieren diese Daten jedoch nicht: Während die Kopplung des Blutdrucks mit dem Genotyp nur bei Männern gefunden wurde, war die Assoziation der Angiotensinogen-Plasmaspiegel mit der M235T-Mutation bei Frauen wesentlich stärker als bei Männern. Insgesamt schwächt die eingehendere Betrachtung dieser Studie die Hypothese, daß die M235T-Mutation bei Frauen und Männern zu erhöhten Angiotensinogen-Plasmaspiegeln und erhöhtem Blutdruck führt. Unabhängige Studien in anderen Populationen in Japan (6) und den U.S.A. (11) schrieben dem Angiotensinogen-Genort ebenfalls eine pathogenetische Rolle in der menschlichen Bluthochdruckerkrankung zu. Bislang wurde jedoch noch kein überzeugender Pathomechanismus für die Beteiligung der M235-Variante des Angiotensinogen-Genorts beim Bluthochdruck formuliert. Weiterführende Studien sind nötig, um zu klären, ob die M235T-Mutation lediglich einen Marker für eine weitere bisher unbekannte Mutation darstellt, mit der sie in *Linkage*-Disequilibrium steht (24). Studien über eine mögliche Assoziation des Angiotensinogen-Gens in der Präeklampsie (1, 36) liefern keine weiteren Hinweise auf eine Rolle der M235T-Mutation in der Pathogenese der primären Hypertonie, da diese beiden Krankheitsbilder als eigenständige Erkrankungen unterschiedlicher Ätiologie aufgefaßt werden. Epidemiologische Daten belegen, daß eine Präeklampsie während der ersten Schwangerschaft nicht mit einem erhöhten Risiko an einer primären Hypertonie zu erkranken verbunden ist. Auch im Tierexperiment zeigten Kosegregationsstudien mit der spontan hypertensiven Ratte (SHRSP) keine Kopplung des Angiotensinogen-Genorts mit erhöhtem Blutdruck (15).

Weitere Kandidatengene, wie das SA-Gen, der Angiotensin-II Rezeptor und die endotheliale Isoform der Stickoxyd-Synthase wurden, meist in Assoziationsstudien mit kleinen Patientenzahlen, als Kandidatengene für Bluthochdruck untersucht (28, 3, 4). In einer Studie war das SA-Gen nicht mit dem Blutdruck gekoppelt (28), während die Analyse eines *RFLP* in einer anderen Population eine Assoziation ergab (16). Der Angiotensin II Rezeptor war nur in einer Assoziationstudie, nicht jedoch in einer Geschwisterpaaranalyse mit dem Blutdruck gekoppelt. Weiterführende Studien sind zur Aufkärung dieser Diskrepanzen erforderlich. Die Untersuchung eines Polymorphismus der endothelialen Stickoxyd-Synthase zeigte weder in Assoziationsstudien, noch in Geschwister-

paaranalysen Kopplung mit dem Blutdruck. Negative Resultate können jedoch einen pathogenetischen Effekt eines gegebenen Genortes innerhalb bestimmter Subgruppen der untersuchten Bevölkerung nicht ausschließen. Im allgemeinen ist zu berücksichtigen, daß in allen genetischen Studien, die bisher zur Analyse der humanen Hypertonie durchgeführt wurden, die Anzahl der untersuchten Individuen (von weniger als 100 nicht verwandten Individuen bis hin zu etwas über 200 Geschwisterpaaren), bei weitem nicht ausreicht, um über die Beteiligung einzelner Gene an der Pathogenese der Hypertonie zu urteilen. In Anbetracht der Heterogenität der Erkrankung ist die Untersuchung erheblich größerer Kollektive erforderlich.

Eine interessante Parallele zwischen Mensch und Tiermodell zeigten genetische Untersuchungen des Adducin-Gens. Im Tiermodell der Milan hypertensiven Ratte (MHS) war zunächst eine Kosegregation zweier Mutationen in der α-Untereinheit und der ß-Untereinheit des Adducingens, die auf verschiedenen Chromosomen lokalisiert sind, mit Bluthochdruck entdeckt worden (2). Eine Assoziationsstudie an einer menschlichen Population implizierte ebenfalls die α-Untereinheit des Adducingens mittels eines nahe benachbarten genetischen Markers in 190 hypertensiven Patienten und 126 Kontrollen (5). Dieses Beispiel zeigt, daß tierexperimentelle Ergebnisse wichtige Hinweise auf gestörte Regelsysteme im Menschen liefern können, deren pathogenetische Bedeutung bislang unbekannt und daher auch Kandidatengenuntersuchungen an menschlichen Populationen unzugänglich waren.

Weitere molekulargenetische Methoden

Bei der genetischen Analyse des Bluthochdrucks folgt der Identifizierung eines erblichen Krankheitsfaktors die Untersuchung des entsprechenden Gens und seines Genprodukts auf ihre Wirkungen im lebenden Organismus.

Die transgene Technik bietet neue Perspektiven zur Erforschung komplexer polygener Erkrankungen wie der Hypertonie. Durch eine Mikroinjektion kann ein artfremdes Gen in das Erbgut befruchteter Eizellen eingeschleust und seine Wirkung auf den resultierenden Gesamtorganismus untersucht werden (18). Das obengenannte Renin-Angiotensin-System konstituiert eine enzymatische Kaskade in der durch Renin vom Vorläufermolkül Angiotensinogen Angiotensin I abspaltet, das durch das

Angiotensinkonversionsenzym (ACE) in das Effektorpeptid Angiotensin II umgewandelt wird. Da Renin in dieser Reaktionskaskade den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt katalysiert, wurde es als Kandidatengen für die Hypertonie untersucht. Durch die Einführung des Maus-Reningens wurde ein *transgener* Rattenstamm TGR(mREN)27etabliert (27). Die Anwesenheit des Transgens hat eine fulminante Hypertonie zur Folge, die bei homozygoten stärker als bei heterozygoten Tieren ausgeprägt, und die mit einer erhöhten Mortalität infolge zerebrovaskulärer Insulte assoziiert war. Während die Reninaktivität im Plasma und in der Niere, dem Hauptsyntheseort des Renins, supprimiert war, war die Expression des Maus-Transgens in den extrarenalen Geweben stark erhöht. Dies wies darauf hin, daß der Bluthochdruck in diesem transgenen Rattenmodell nicht auf eine Beteiligung des zirkulierenden Renin-Angiotensin-Sytems, sondern auf eine Aktivierung lokaler gewebsständiger Renin-Angiotensin-Syteme zurückzuführen war.

Während man bei der Mikroinjektion zur Erzeugung eines transgenen Tieres die Anzahl der fremden Genkopien und den Insertionsort im Rattengenom nicht steuern kann, lassen sich bei der *homologen Rekombination* gezielt bestimmte Gene gegen mutierte Kopien austauschen (33). Durch die Einschleusung definierter genetischer Veränderungen können Krankheitsmodelle etabliert werden und die Wirkung dieser Mutationen auf den Gesamtorganismus untersucht werden. Eine Weiterentwicklung dieser Technologie ist die sogenannte *konditionale Genaktivierung*. Gene werden dabei nicht nur an einer bestimmten Stelle auf einem Chromosom eingebaut, sondern zusätzlich mit regulatorischen Sequenzen (*Promoter*) versehen, die es ermöglichen, die Herstellung eines bestimmten Genprodukts beispielsweise durch Verabreichung spezieller Substanzen an- und abzuschalten (21). Solche Steuerungssequenzen können auch bewirken, daß das nachgeschaltete Gen nur in einem speziellen Organ aktiviert wird (10)

Auch die sogenannte *Antisense-Technik* (8, 20, 35) ermöglicht gezielte funktionelle Studien an Genen. Sie führt zur Blockierung der Proteinsynthese. Die in der DNA-Sequenz kodierte Information über die Aminosäuresequenz eines Proteins, wird zunächst in eine mRNA *transkribiert*, die ihrerseits dem Proteinsyntheseapparat als Vorlage dient. Werden nun kurze DNA-Fragmente (*antisense oligodeoxynucleotides*) in die Zelle eingeschleust, die sich komplementär zur mRNA verhalten, lagern sie sich an die mRNA an und verhindern so die Übersetzung der mRNA in das Protein. Die Einführung von Antisense-DNA gegen Angiotensinogen führt

in Leberzellen *in vitro* (7) zur Reduktion der Angiotensinogen-Biosynthese. Am lebenden Tier führt die Verabreichung des Angiotensinogen Antisense-Konstrukts zur vorübergehenden Senkung der Angiotensinogen- und Angiotensin II-Spiegel und des Blutdrucks (34). Auch das Renin-Angiotensin-Systems des Gehirns ist mit diesem Verfahren untersucht worden. So führt in spontanhypertensiven Ratten die intraventrikuläre Injektion eines Angiotensinogen-Oligonukleotids in Mengen, die systemisch verabreicht keine Wirkung auf den Blutdruck zeigen, zur Senkung des Blutdrucks auf normotensive Werte (37).

Zusammenfassung

Der Bluthochdruck ist eine komplexe genetische Erkrankung, an deren Ausprägung mehrere genetische und exogene Determinanten in unterschiedlichem Ausmaß und in unterschiedlichen Kombinationen der einzelnen Determinanten untereinander beteiligt sind. In Anbetracht dieser Komplexität werden Tiermodelle auch in der Zukunft bei der Erforschung dieser Erkrankung eine wichtige Rolle spielen, weil sie eine vereinfachte Betrachtung des komplexen Phänotyps Hypertonie erlauben.

Mit den genannten Analysen verbindet sich ein gemeinsames Ziel: Bei der Behandlung von Bluthochdruck direkt an den jeweiligen Ursachen ansetzen zu können. Ein Beispiel für eine Therapie, die aufgrund genetischer Erkenntnisse entwickelt wurde, ist die oben beschriebene Fehlregulation der Aldosteronproduktion. Seit der Entdeckung des chimären-Gens, das durch DNA-Umlagerung unter die Kontrolle eines Streßhormons geraten ist, werden den Betroffenen Substanzen verabreicht, die gezielt die Wirkung dieses Hormons drosseln. Die Lebenserwartung der betroffenen Patienten steigt dadurch erheblich. Die internationalen Forschungsbemühen zielen jedoch nicht nur darauf ab, maßgeschneidert Medikamente zu entwickeln. Sie werden auch Aufschluß darüber geben, wie sich das Risiko, an Bluthochdruck und seinen gefährlichen Folgen zu erkranken, möglicherweise durch die eigene Lebensweise verringern läßt.

Abstract

Blood pressure is a multifactorial genetic trait that results from complex interactions between different genes and between genetic loci and environmental factors. Genetic approaches provide new insight into the understanding of biological mechanisms underlying blood pressure regulation and hypertension. Genetic studies of hypertension in humans are currently limited to the investigation of candidate genes. So far, the angigotensinogen gene is the only locus that has been implicated in the pathogenesis of human hypertension in association as well as sib-pair analysis. Due to the complexity of this trait the genetic study in humans requires large patient and family cohorts. Experimental crosses derived from inbred rat strains offer an ideal setting for the genetic dissection of hypertension. Cosegregation studies investigating candidate genes have been carried out for a number of genes. Moreover, systematic mapping of quantitative trait loci involved in blood pressure regulation has recently become possible in genetically hypertensive rat models. The physiologic role of genes this identified can may be studied *in vivo* by inducing targeted modifications in the genome of animals models.

Literatur

1 Arngrimsson, R., Walker, J.J., Soubrier, F., Kotelevtsev, Y.V., Geirson, R.T., Björnsson, S., and Connor, M. Angiotensinogen: a candidate gene involved in pre-eclampsia. Nature Genetics *4*, 114-5 (1993)

2 Bianchi, G., Grazia, T., Casari, G., Salardi, S., Barber, B.R., Garcia, R., Leoni, F., Toriella, L., Cusi, D., Ferrandi, M., Pinna, L.A., Baralle, F.E., and Ferrari, P. Two point mutations within the adducin genes are involved in blood pressure variation. Proc Nat Acad Sci U S A *91*, 3999-4003 (1994)

3 Bonnardeaux, A., Davies, E., Jeunemaitre, X., Clauser, E., Tiret, L., Cambien, F., Corvol, P., and Soubrier, F. Angiotensin II type 1 receptor gene polymorphism in human essential hypertension. Hypertension *24*, 63-9 (1994)

4 Bonnardeaux, A., Nadau, S., Charru, A., Jeunemaitre, X., Corvol, P., and Soubrier, F. Lack of evidence for linkage of the endothelial cell nitric oxide synthase gene to essential hypertension. Circulation *91*, 96-102 (1995)

5 Caseri, G., Barlassina, C., Cusi, D., Zagato, L., Muirhead, R., Righetti, M., Nembri, P., Amar, K., Gatti, M., Macciardi, F., Binelli, G., and Bianchi, G. Association of the alpha-Adducin Locus With Essential Hypertension. Hypertension *25*, 320-6 (1995)

6 Caulfield, M., Lavender, P., Farrall, M., Munroe, P., Lawson, M., Turner, P., and Clark, A.J.A. Linkage of angiotensinogen gene to human essential hypertension. N Engl J Med *330*, 1629-33 (1994)

7 Clouston, W.M., Lloyd, C.J., Richards, R.I. Inducible anti-sense RNA for angiotensinogen in stably transformed hepatoma cell lines. J-Mol-Endocrinol *4(2)*, 107-17 (1990)

8 Cooney, M., Czernuszewicz, G., Postel, E.H., Flint, S.J., Hogan, M.E. Site-specific oligonucleotide binding represses transcription of the human c-myc gene in vitro. Science *241*(4864): 456-9 (1988)

9 Dannenberg, A.L., Drizd, T., Horan, M.J., Haynes, S.G., and Leaverton, P.E. Progress in the battle against hypertension. Changes in blood pressure levels in the United States from 1960 to 1980. Hypertension *10*, 226-33 (1987)

10 Gu, H., Marth, J.D., Orban, P.C., Mossmann, H., Rajewsky, K. Deletion of a DNA polymerase beta gene segment in T cells using cell type-specific gene targeting. Science *265*, 103-6 (1994)

11 Hata, A., Namikawa, C., Sasaki, M., Sato, K., Nakamura, T., Tamura, K., and Lalouel, J.M. Angiotensinogen is a risk factor for essential hypertension in Japan. J Clin Invest *93*, 1285-7 (1994)

12 Havlik, R.J., Garrison, R.J., Feinleb, M., Kannel, W.B., Castelli, W.B., and McNamara, P.M. Blood pressure aggregation in families. Am J Epidemiol *110*, 304-12 (1979)

13 Higgins, M.W., Keller, J.B., Metzner, H.L., Moore, F.E., and Ostrander, L.D. Studies of blood pressure in Tecumseh, Michigan. II. Antecedents in childhood of high blood pressure in young adults. Hypertension 2 *(suppl I)*, I-117-23 (1980)

14 Hilbert, P., Lindpaintner, K., Beckmann, J.S., Serikawa, T., Soubrier, F., Dubay, C., Cartwright, P., DeGouyon, B., Julier, C., Takahasi, S., Vincent, M., Ganten, D., Georges, M., and Lathrop, G.M. Chromosomal mapping of two genetic loci associated with blood-pressure regulation in hereditary hypertensive rats. Nature *353*, 521-9 (1991)

15 Hübner, N., Kreutz, R., Takahashi, S., Ganten, D., and Lindpaintner, K. Unlike human hypertension, blood pressure in a heredetary hypertensive rat strain shows no linkage to the angiotensinogen locus. Hypertension *23*, 797-801 (1994)

16 Iwai, N., Ohmichi, N., Hanai, K., Nakamura, Y., and Kinoshita, M. Human SA gene locus as a candidate locus for essential hypertension. Hypertension *23*, 375-80 (1994)

17 Jacob, H.J., Lindpaintner, K., Lincoln, S.E., Kusumi, K., Bunker, R.K., Mao, Y.-P., Ganten, D., Dzau, V.J., and Lander, E.S. Genetic mapping of a gene causing hypertension in the stroke-prone spontaneously hypertensive rat. Cell *67*, 213-24 (1991)

18 Jaenisch, R. Transgenic animals. Science *240*, 1468-74 (1988)

19 Jeunemaitre, X., Soubrier, F., Kotelevtsev, Y.V., Lifton, R.P., Williams, C.S., Charru, A., Hunt, S.C., Hopkins, P.N., Williams, R.R., Lalouel, J., and Corvoi, P. Molecular basis of human hypertension: role of angiotensinogen. Cell *71*, 169-80 (1992)

20 Kitajima, I., Shinohara, T., Bilakovics, J., Brown, D.A.,Xu, X., Nerenberg, M. Ablation of transplanted HTLV-I Tax-transformed tumors in mice by antisense inhibition of NF-kappa B. Science *258*(5089), 1792-5 (1992)

21 Kuhn, R., Schwenk, F., Aguet, M., Rajewsky, K. Inducible gene targeting in mice. Science; *269*, 1427-9 (1995)

22 Kurtz, T.W., Simonet, L., Kabra, P.M., Wolfe, S., Chan, L., and Hjelle, B.L. Cosegregation of the renin allele of the spontaneously hypertensive rat with an increase in blood pressure. J Clin Invest *85*, 1328-32 (1990)

23 Lifton, R.P., Dluhy, R.G., Powers, M., Rich, G.M., Cook, S., Ulick, S., and Lalouel, J.-M. A chimaeric 11b-hydroxylase/aldosterone synthase gene causes glucocorticoid-remediable aldosteronism and human hypertension. Nature 355, 262-5 (1992)

24 Lindpaintner, K. Genes, hypertension, and cardiac hypertrophy [editorial; comment]. N Engl J Med 330, 1678-9 (1994)

25 Lindpaintner, K., Hilbert, P., Ganten, D., Nadal-Ginard, B., Inagami, T., and Iwai, N. Molecular genetics of the SA-gene: cosegregation with hypertension and mapping to rat chromosome 1. J Hypertens 11, 19-23 (1993)

26 Lindpaintner, K., Takahashi, S., and Ganten, D. Structural alterations of the renin gene in stroke-prone spontaneously hypertensive rats: examination of genotype-phenotype correlations. J Hypertens 8, 763-73 (1990)

27 Mullins, J.J., Peters, J., Ganten, D. Fulminant hypertension in transgenic rats harbouring the mouse Renin-2 gene. Nature 344:541-544 (1990)

28 Nabika, T., Bonnardeaux, A., James, M., Julier, C., Jeunemaitre, X., Corvol, P., Lathrop, G.M., and Soubrier, F. Evaluation of the SA Locus in Human Hypertension. Hypertension 25, 6-13 (1995)

29 Okamoto, K., Aoki, K. Development of a strain of spontaneously hypertensive rats. Jpn Circ J 27, 282-93 (1963)

30 Rapp, J.P., Wang, S.M., and Dene, H. A genetic polymorphism in the renin gene of Dahl rat cosegregates with blood pressure. Science 243, 542-4 (1989)

31 Samani, N.J., Lodwick, D., Vincent, M., Dubay, C., Kaiser, M.A., Kelly, M.P., Lo, M., Harris, J., Sassard, J., Lathrop, G.M., and Swales, J.D. A gene differentially expressed in the kidney of spontaneously hypertensive rat cosegregates with increased blood pressure. J Clin Invest 92, 1099-103 (1993)

32 Shimkets, R.A., Warnock, D.G., Bositis, C.M., Nelson-Williams, C., Hansson, J.H., Schambelan, M., Gill, J.R., Ulick, S., Milora, R.V., Findling, J.W., Canessa, C.M., Rossier, B.C., and Lifton, R.P. Liddle's Syndrome: Heritable human hypertension caused by mutations in the beta subunit of the epithelial sodium channel. Cell *79*, 407-14 (1994)

33 Thomas, K.R., Folger, K.R., Capecchi,M.R. High frequency targeting of genes to specific sites in the mammalian genome. Cell *44*(3): 419-28 (1986)

34 Tomita, N., Morishita, R., Higaki, J., Aoki, M., Nakamura, Y., Mikami, H., Fukamizu, A., Murakami, K., Kaneda, Y., Ogihara, T. Transient decrease in high blood pressure by in vivo transfer of antisense oligodeoxynucleotides against rat angiotensinogen. Hypertension *26(1)* 131-6 (1995)

35 Wagner, R.W. Gene inhibition using antisense oligodeoxynucleotides. Nature; 372(6504), 333-5 (1994)

36 Ward, K., Hata, A., Jeunemaitre, X., Helin, C., Nelson, L., Namikawa, C., Farrington, P.F., Ogasawara, M., Suzumori, K., Tomoda, S., Berrebi, S., Sasaki, M., Corvol, P., Lifton, R.P., and Lalouel, J.M. A molecular variant of angiotensinogen associated with preeclampsia. Nature Genetics *4*, 59-61 (1993)

37 Wielbo, D., Sernia, C., Gyurko, R., Phillips, M.I. Antisense inhibition of hypertension in the spontaneously hypertensive rat. Hypertension *25(3)*, 314-9 (1995)

Benno Müller-Hill

Wahrheit und Gerechtigkeit in Genetik*

1927 erschien in Frankreich ein ungewöhnliches Buch (1). Es hatte den Titel "La trahison des clercs". Sein Autor war der damals sechzigjährige Privatgelehrte Julien Benda (1867-1956). Der Titel läßt sich nur schwer ins Deutsche übersetzen. "La trahison" ist der Verrat, aber wer sind "les clercs"? Man könnte sie mit "die Schreiber", "die Intellektuellen", "die Gelehrten", "die Habilitierten" übersetzen. Was ist der Inhalt des Buches? Der Autor schreibt und belegt, daß zeitgenössische französische Philosophen, Soziologen und Psychologen die Wahrheit, die Vernunft oder die Gerechtigkeit oder alle drei verraten haben. Sie taten dies, indem sie Partei für eine Rasse (im allgemeinen die Weiße) oder eine Klasse (oft die Arbeiterklasse) ergriffen. Benda überlebte die deutsche Judenverfolgung 1940-44 in Paris und schrieb dort ein etwa hundertseitiges Vorwort für die Neuauflage seines Buches 1946 über den neuerlichen Verrat einiger von ihm bereits genannten Personen und anderer. Eine deutsche Übersetzung erschien - endlich - zweiundzwanzig Jahre nach seinem Tode, 1978. Ihr fehlt das Vorwort, das der Genetiker und alte Freund Bendas, André Lwoff, für die französische Neuauflage von 1975 schrieb. Ich werde nun im folgenden die Betrachtungsweise Bendas und Lwoffs auf die Genetik beschränken.

Genetik ist eine junge Wissenschaft. Sie existiert seit 1900, als die Arbeiten Mendels entdeckt und verstanden wurden. Die Arbeiten Morgans und seiner Studenten Sturtevant, Bridges und Muller enthüllten zwischen 1910 und 1920 die genaue Anordnung von über hundert Genen auf den vier Chromosomen von Drosophila melanogaster (2). Wahrheit und Vernunft zeigten sich hier aufs schönste. Gerechtigkeit ist abwesend. Sie wird im Zusammenhang dieser Arbeiten nicht gebraucht.

1921, im Jahr, in dem die deutsche Übersetzung des Buchs von Morgan erschien (2), erschien auch das erste Lehrbuch der Humangenetik (wie wir heute sagen würden) von Erwin Baur, Eugen Fischer und Fritz Lenz (3). Dort, wo das Lehrbuch allgemeine Prinzipien der Genetik und die

* Vortrag, gehalten vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät, am 21. Dezember 1995

Vererbung körperlicher Eigenschaften aufzählt und diskutiert, ist es vorzüglich. H.J. Muller nannte die englische Übersetzung der Neuauflage von 1927 "the best work on the subject" (4). Dort, wo von Rassen und über die Vererbung geistiger Eigenschaften, d.h. von Verhaltensgenetik die Rede ist, ist viel Interessant-Spekulatives, aber wenig Hart-Bewiesenes zu finden. Das ist, solange der spekulative Charakter der Darstellung klargestellt wird, zu ertragen und für sich kein Verrat von Wahrheit und Vernunft. Häufig schreiben allerdings die Autoren, als wären hier die Sachverhalte bewiesen, wo sie doch nur vermutet sind. Hier beginnt der Verrat von Wahrheit und Vernunft.

Es war die Vorstellung von Baur, Fischer und Lenz, daß eine erfolgreiche Sozialpolitik genaue Kenntnisse der Ergebnisse der menschlichen Verhaltensgenetik benötige. Baur, Fischer und Lenz behaupteten, es sei bewiesen, daß die genetisch minderbegabten "Asozialen" sich schneller vermehrten, als die genetisch Hoch- und Mittelbegabten. Sie prophezeiten den baldigen Untergang Europas und der USA, falls nicht die Vermehrung dieser unerwünschten "minderwertigen" Bevölkerungsgruppe verhindert würde. Zwangssterilisation war das von ihnen empfohlene Mittel. Keine der Weimarer Parteien, außer den Nationalsozialisten, folgten ihnen hier. Das führte dazu, daß Baur, Fischer und Lenz den gewaltätigen Antisemitismus der Nazis als kleineres Übel akzeptierten, als sie mit den Nazis paktierten. Lenz besprach 1931 Hitlers "Mein Kampf" und enthüllte dabei, daß Hitler in Landsberg die zweite Auflage des Baur-Fischer-Lenz mit Erfolg gelesen habe (5). Der Schlußsatz der Besprechung soll zitiert werden: "Zusammenfassend ist zu sagen: Hitler ist der erste Politiker von wirklich großem Einfluß, der die Rassenhygiene als eine zentrale Aufgabe der Politik erkannt hat und sich tatkräftig dafür einsetzt".

Die von den Nazis 1933 gesetzlich eingeführte und dann durchgeführte Zwangssterilisation von etwa 350.000 "minderwertigen" Schwachsinnigen, Schizophrenen und Manisch-Depressiven und Anderen war ein Verrat an der Gerechtigkeit. Daß die Rassenhygieniker sich auch noch dafür hergaben, den gewalttätigen Antisemitismus der Nazis wissenschaftlich zu begründen, war ein Verrat von Wahrheit, Vernunft und Gerechtigkeit.

Die deutschen Rassenhygieniker oder Humangenetiker, wie sie sich nach 1945 gerne nannten, schwiegen nach 1945 über diese Vergangenheit. Lenz äußerte sich 1953 zum ersten Mal zum Thema (6). Zunächst stellte er fest: "... Genetik wie alle Naturwissenschaften stellt fest, was ist und

geschieht, nicht aber was sein oder geschehen solle; sie ermittelt Tatsachen und deren Gesetzlichkeit, stellt aber keine Forderungen und begründet keine Werte". Nach diesen zweifellos richtigen Sätzen fährt er fort: "Die Eugenik als angewandte Genetik setzt Werte voraus, die nicht durch Genetik als solche begründet oder begründbar sind, vielmehr aus einem Glauben entspringen". Hier muß ich berichtigen. Es ist keinesfalls so, daß "Werte (nur) einem Glauben entspringen". Für gläubige Christen mögen die christlichen Werte untrennbar mit ihrem Glauben an die Wunder der Trinität verknüpft sein. Für viele Juden dagegen, sind die mosaischen Werte mit Überlieferung und Erinnerung verbunden, nicht mit dem Glauben. Es erhebt sich nun die Frage, was war nun der "Glaube" von Baur, Fischer und Lenz gewesen, als sie sich für die massenhafte Zwangssterilisierung einsetzten? War er mit Recht und Unrecht verbunden? Lenz verliert kein Wort darüber. Er kommt kurz auf die Judenverfolgung zu sprechen (6): "Daran (an der Judenverfolgung) ist aber keineswegs die Genetik schuld; die Judenverfolgung ist vielmehr von politischen Fanatikern betrieben worden, die von Genetik wenig oder nichts verstanden". Früher hatte er Hitler noch anders eingeschätzt. Hatte er selbst nicht die Judenverfolgung akzeptiert (3)?

Und sein Kollege Eugen Fischer? Entließ dieser nicht als Rektor der Berliner Universität seine jüdischen Kollegen? Forderte dieser nicht schon 1933 die Nürnberger Gesetze? Begrüßte er sie nicht? Saß er nicht als Ehrengast am 28. März 1943 im "Frankfurter Institut zur Erforschung der Judenfrage" und hörte die Vorträge über die geplante Gesamtlösung der Judenfrage? Sagte er nicht Rosenberg 1944 zu, daß er gerne als "Präsident einer rassenbiologischen Arbeitsgemeinschaft" auf einem geplanten "antijüdischen Kongress" teilnehmen wolle (7)? Hatten die Rassenhygieniker und auch Lenz nicht mehr oder weniger die Werte, oder den Glauben der Nazis, um in der Lenz'schen Sprache zu bleiben, übernommen?

Es ist bemerkenswert, wie Eugen Fischer sich selbst 1955 zur Vergangenheit äußerte (8): "Es ist sicher nicht die Schuld der Eugenik, wenn im Nationalsozialismus heilloser und verbrecherischer Mißbrauch unter gänzlicher Verkennung der wirklichen erbbiologischen Tatsachen und unter Mißachtung jeder Menschenwürde betrieben worden ist. Und es ist tief zu bedauern, daß als Reaktion darauf die wahre eugenische Forschung schwer getroffen wurde, am schwersten natürlich in Deutschland. Sie ist in Wahrheit als solche und in ihrer Internationalität nicht anzuklagen. Man beschuldigt auch nicht die christliche Glaubenslehre, wenn man Greuel

der Inquisition, Hexenprozesse, blutige Glaubensverfolgung und Religionskriege für menschliche Verirrungen hält".

Wie hatte er doch, gerade emeritiert, 1943 geschrieben (9): "Es ist ein besonderes und seltenes Glück für eine an sich theoretische Forschung, wenn sie in eine Zeit fällt, wo die allgemeine Weltanschauung ihr anerkennend entgegenkommt, ja, wo sogar ihre praktischen Ergebnisse sofort als Unterlage für staatliche Maßnahmen willkommen sind. Als vor Jahren der Nationalsozialismus nicht nur den Staat, sondern unsere Weltanschauung umformte, war die menschliche Erblehre gerade reif genug, Unterlagen zu bieten. Nicht als ob etwa jener eine 'wissenschaftliche' Unterbauung nötig gehabt hätte als Beweis für seine Richtigkeit - Weltanschauungen werden erlebt und erkämpft, nicht mühsam unterbaut -, aber für wichtige Gesetze und Maßregeln waren die Ergebnisse der menschlichen Erblehre als Unterlagen im neuen Staat nicht zu entbehren". Wer sich gegen die Gerechtigkeit vergangen hat wie Fischer, vergeht sich dann, wenn er auf seine Taten und die Taten von Seinesgleichen so zurückblickt und sie leugnet, auch an Vernunft und Wahrheit.

Und was wurde aus Erwin Baur, mag der Interessierte fragen? 1933 hoffte Baur vergeblich, Landwirtschaftsminister in der ersten Regierung Hitlers zu werden (10), aber Hitler nahm statt seiner den Scharlatan Darré. In Baurs Institut revoltierten Assistenten, die der SS beigetreten waren, gegen ihren Direktor. Das war zuviel. Baur starb an einem Herzinfarkt im Dezember 1933.

In Deutschland herrschte nach 1945 Schweigen über die Vergangenheit der Genetiker, im Ausland kannte man die Details nicht, und wo man sie kannte, wollte man sie auch lieber vergessen. So wird es verständlich, daß André Lwoff, ein alter Freund Julien Bendas, in seiner Einleitung zur Ausgabe von 1975 von "La trahison des clercs" kein Wort über die Eugeniker und Rassenhygieniker verlor. Nicht einmal der französische Nobelpreisträger Alexis Carrel wird genannt, der in seinem vielgelesenen, auch ins Deutsche übersetzte Buch "Der Mensch, das unbekannte Wesen" (11) bezüglich der Geisteskranken und Asozialen geschrieben hatte: "Wozu erhalten wir alle diese unnützen und schädlichen Geschöpfe am Leben?" und gefolgert hatte "... mit dem sollte in humaner und wirtschaftlicher Weise Schluß gemacht werden: in kleinen Anstalten für schmerzlose Tötung, wo es die dazu geeigneten Gase gibt".

Innerhalb der Geschichte der Genetik wandte sich Lwoff einem anderen Kapitel zu, das es allerdings ebenfalls verdient, ausführlich behandelt zu

werden: Dem Versuch in der Sowjetunion, ein für alle mal die Genetik zu beseitigen und durch eine Pseudo-Wissenschaft zu ersetzen (12). Die Anfänge dieses Prozesses gehen bis in den Anfang der dreißiger Jahre zurück. Im allgemeinen Wahnsinn der dreißiger Jahre setzte sich ein Bauer, Trofim Lyssenko, gegen die Genetiker durch. Er behauptete, innerhalb kürzester Zeit den Nutzpflanzen neue Eigenschaften anerziehen zu können. Die Genetik des "Mendelismus" und des "Morganismus" sei von Obskuranten der katholischen Kirche und des Großkapitals erfunden. Der Beginn des zweiten Weltkrieges verhinderte, daß der Betrüger sich völlig durchsetzte. Nach dem Ende des zweiten Weltkrieges nahm er einen neuen Anlauf. Auf einer Tagung 1948 verkündete er, daß Stalin seine Lehre nun als die einzig wahre Wissenschaft anerkannt habe (13). In den sowjetischen Instituten für Genetik wurden daraufhin die Sammlungen und Bücher zerstört. Professoren, die nicht bereuen wollten, wurden entlassen. Eine kleine Anzahl von Genetikern fand Zuflucht bei den Atombomben-Konstrukteuren: Strahlengenetik war aktuell.

In Europa führte die Verkündung des Ergebnisses der 1948er Tagung (13) zum Bruch fast aller Genetiker mit der Kommunistischen Partei. Um nur die bedeutensten zu nennen: Jacques Monod, J.B.S. Haldane und H.J. Muller trennten sich von den ideologischen Weggefährten. Die Sowjetunion verkündete Erfolg über Erfolg mit der neuen Genetik und trieb ins landwirtschaftliche Chaos. Hier war der Verrat der wissenschaftlichen Vernunft und Wahrheit (die Anhänger Lyssenkos mußten betrügen) und der Verrat der Gerechtigkeit (die Entlassung der Kollegen) von Anfang an evident.

Es ist im übrigen bemerkenswert, daß der Lyssenkoismus in der ehemaligen DDR nie richtig Fuß fassen konnte. Dies hatte jedoch seinen Preis. Es war nicht opportun, von den Verbrechen zu reden, die im Namen der Genetik im Dritten Reich begangen worden waren. Es hätte die nie ganz schlafenden Hunde Lyssenkos geweckt. So herrschte in der DDR weitgehendes Schweigen über die Greuel der Genetik. Und in der Bundesrepublik gab die Lyssenko-Geschichte genügend Anlaß zur Beunruhigung und Selbstbefriedigung. Warum also in der Vergangenheit wühlen?

Genetik ist die Wissenschaft vom anderen. Humangenetik ist die Wissenschaft der Unterschiede zwischen den Menschen. Die jüdische Tradition betont, daß alle Menschen von einem Vater, Adam, abstammen. Daraus wird rechtliche Gleichheit aller als Selbstverständlichkeit gefordert. Rechtliche Ungleichheit ist aus diesem Gesichtspunkt ungerecht.

Diesen rechtlichen Gleichheitsanspruch versuchten die Rassenhygieniker durch die Betonung der Rassenunterschiede aufzuheben. Für den reinen Genetiker, der durch keine Religion, Philosophie oder Aufklärung gebunden ist, ist die biologische Ungleichheit der Menschen ein Hinweis darauf, daß rechtliche Gleichheit fehl am Platze ist. Rechtliche Gleichheit ist nicht genetisch-biologisch ableitbar, wohl aber rechtliche Ungleichheit. Die Ungleichheit wird willkürlich definiert, aber sie ist definiert, d.h. genau festgelegt. Diejenigen, die aus der biologischen Ungleichheit rechtliche Ungleichheit fordern, denken hier wie die Nazis.

Der reine Genetiker, der keinerlei Beziehung zur Religion, Philosophie oder Aufklärung hat, ist gezwungen, sein eigenes Wertesystem zu begründen. Es ist dann naheliegend, die Wertmaßstäbe nach den Unterschieden zu definieren. Hohe Intelligenz und emotionale Stabilität sind wertvoll, niedere Intelligenz und emotionale Instabilität sind weniger wertvoll, d.h. "minderwertig". Der Wertvolle hat mehr Rechte als der Wertlose, und wenn er sie nicht hat, dann sollte er sie bekommen. Man kann das auch darwinistisch sehen. Der, der sich, wie auch immer, durchsetzt, hat das Recht, wer sich nicht durchsetzt hat keines. Er soll untergehen, so lautet die Moral des reinen Genetikers ohne religiöse, philosophische oder Gewissens-Bindung.

Nachdem Deutschland und die Nazis besiegt waren, stellte sich die Frage, wie man gegen das Wertesystem der Nazis argumentieren sollte. Sollte man sagen, die biologische Ungleichheit sei irrelevant, was die Einsetzung gleicher Rechte angehe? Oder sollte man sagen, die von den Nazis behauptete biologische Ungleichheit sei nicht bewiesen gewesen, oder gar, sie existiere prinzipiell nicht? Leider siegten die, die aus Bequemlichkeit und Opportunismus die verhaltens-genetische Gleichheit aller Menschen als bewiesen erklärten. Die UNESCO Deklaration von 1952 stellt fest, daß es keine Unterschiede innerhalb von rassischen Gruppen gäbe, was die Verhaltens-Genetik angehe. Dies war damals unbewiesen und ist heute unbewiesen. Die zwei großen genetischen Projekte unseres Jahrzehnts, das Human Genome Project und das Human Diversity Project werden jedoch diese Frage beantworten.

Heute kann eben nicht nur das Verhalten der Mitglieder einer Großfamilie einer bestimmten ethnologischen Gruppe untersucht werden, heute können auch Genotypen, d.h. die möglicherweise relevanten DNA Sequenzen, untersucht werden. Hier wird sich früher oder später die Wahrheit herausstellen.

Menschliche Verhaltensgenetik ist, was die Beschreibung der Genotypen angeht, problemlos. Einmal richtig gemacht, kann ein solches Resultat wieder und wieder reproduziert werden. Dasselbe kann nicht von der Formulierung der Phänotypen gesagt werden. In die Formulierung der Phänotypen fließen die Werte des Beschreibers mit ein. Eine Beschreibung, die davon ausgeht, daß der Betroffene innerhalb vorgegebener Grenzen frei entscheiden kann, unterscheidet sich von einer die davon ausgeht, daß der Betroffenen eben nicht frei entscheidet, sondern in seinem Verhalten mehr oder weniger determiniert ist. Eine Verhaltensgenetik, die davon ausgeht, daß das Verhalten von Mausmutanten für menschliches Verhalten maßgeblich und erhellend ist, geht eben davon aus, daß der betroffene Mensch nicht frei entscheiden kann, sondern in seinem Verhalten mehr oder weniger determiniert ist.

Ein gutes Beispiel hierfür ist die Genetik der "Aggression". Augenblicklich sind mindestens drei Mausmutanten beschrieben, deren Phänotyp Aggression genannt wird (14-16). In einem Fall (14) ist die entsprechende Mutation schon vorher beim Menschen gefunden worden (17). Hier haben die Autoren kriminelle Akte aufgezählt, um den Phänotyp zu definieren. Diese Art der Beschreibung spricht den Betroffenen den freien Willen ab und entwürdigt sie. Es ist zu erwarten, daß mehr und mehr verhaltensgestörte Mausmutanten durch die knock-out Technik beschrieben werden. Es ist unentschieden, welche Art der Phänotyp-Beschreibung sich durchsetzen wird. Eine, die den freien Willen der Betroffenen leugnet oder drastisch einschränkt oder eine andere, die von ihm ausgeht. Heute sieht es so aus, als ob die Leugner des freien Willens in der Humangenetik überwiegen.

Werden die Parlamente und Rechtssysteme der Völker diese deterministische Beschreibung akzeptieren und dadurch mehr und mehr Menschen psychiatrisieren, d.h. entmündigen und entrechten? Werden ethnologische Unterschiede in der Verbreitung solcher Mutationen gefunden werden? Wird dann der Rassismus zurückkommen? Dies ist möglich, aber nicht nötig. Was ethnologische Unterschiede angeht, argumentiere ich z.B., daß diese zwar untersucht werden dürfen, daß aber der Name der betroffenen Ethnien nicht genannt werden darf. Ich erinnere: über den einzelnen Patienten der Humangenetik darf auch nicht mit Namensnennung publiziert werden.

Ich habe versucht, Ihnen über die Vergangenheit der Humangenetik unter dem Aspekt von Wahrheit, Vernunft und Gerechtigkeit zu berichten. Ich

habe gezeigt, daß diese drei Prinzipien aufs schlimmste verraten wurden. Ich habe weiterhin gezeigt, daß das nicht irrelevante Geschichten der Vergangenheit sind, sondern daß sie uns wieder aufs Neue angehen. Wenn wir uns nicht klar aussprechen, wird sich die Geschichte des Nazismus wiederholen. Die moderne, grüne Wissenschaftsfeindlichkeit ist, wie das Beispiel Lyssenkoismus zeigt, ein Ausweg in den Abgrund.

Anmerkungen

(1)Benda, J.: La trahison des clercs. Editions Bernard Grasset, Paris, 1927, 1946, 1975. Der Verrat der Intellektuellen, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1978.

(2)Morgan, T.H.: Die stoffliche Grundlage der Vererbung. Deutsche Übersetzung von H. Nachtsheim, Verlag Gebrüder Borntträger, Berlin, 1921.

(3)Baur, E., Fischer, E. & Lenz, F.: Grundriß der menschlichen Erblichkeitslehre und Rassenhygiene. Bd. I: Menschliche Erblichkeitslehre. Bd. II: Menschliche Auslese und Rassenhygiene. J.F. Lehmanns Verlag, München, 1921, 1923, 1927, 1936.

(4)Muller, H.J.: Human heredity, birth control. Review 17, 19-21. Reprinted in H.J. Muller: Studies in genetics: the selected papers of H.J. Muller. Indiana University Press, Bloomington, Ind., 541-545, 1962.

(5)Lenz, F.: Die Stellung des Nationalsozialismus zur Rassenhygiene. Arch.f.Rassen u.Gesellscahftsbiologie 25, 300-308, 1931.

(6)Lenz, F.: Diesseits von Gut und Böse. Bemerkungen über das Verhältnis von Genetik und Glauben. Deutsche Universitätszeitung Heft VIII/23, 9-12, 1953.

(7)Müller-Hill, B.: Tödliche Wissenschaft. Die Aussonderung von Juden, Zigeuner und Geisteskranken 1933-1945. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek, 1984.

(8)Fischer, E.: Die Wissenschaft vom Menschen. Anthropologie im XX. Jahrhundert. In: Gestalter unserer Zeit Bd. 4: Erforscher des Lebens. Gerhard Stallung Verlag, Oldenburg, 272-287, 1955.

(9)Fischer, E.: Erbe als Schicksal. Deutsche Allgemeine Zeitung v. 28.3.1943.

(10) Kröner, H.P., Toellner, R. & Weisemann, K.: Erwin Baur. Naturwissenschaft und Politik. Max-Planck-Gesellscahft zur Fördeung der Wissenscahften e.V., München, 1994.

(11) Carrel, A.: Der Mensch, das unbekannte Wesen. Dt.Verl.Anst., Stuttgart, S.241f., 1936, 1939, 1950, 1955.

(12) Medwedjew, S.A.: Der Fall Lyssenko. Eine Wissenschaft kapituliert. Hoffmann & Campe, Hamburg, 1971.

(13) The situation in biological sciences. Proceedings of the Lenin Academy of Agricultural Sciences of the U.S.S.R. Session: July 31 - August 7, 1948, verbatim report. Foreign Languages Publishing House, Moscow, 1949.

(14) Cases, O. et al.: Aggressive behavior and altered amounts of brain serotonine and norepinephrine in mice lacking MAO A. Science 268, 1763-1766, 1995.

(15) Chen, C., Rainnie, D.G., Greene, R.W. & Tonegawa, S.: Abnormal fear response and aggressive behavior in mutant mice deficient for Â-calcium-calmodulin kinase II. Science 266, 291-294, 1994.

(16) Saudou, F., Amara, D.A., Dierich, A., LeMeur, M.; Ramboz, S., Segu, L., Buhot, M.-C. & Hen, R.: Enhanced aggressive behavior in mice lacking 5-HT_{1B} receptor. Science 265, 1875-1878, 1994.

(17) Brunner, H.G., Nelen, M., Breakefield, X.O., Ropers, H.H. & van Oost, B.A.: Abnormal behavior associated with a point mutation in the structural gene for monoamine oxydase A. Sciecne 262, 578-580, 1993.

Hertmut Kegler und Dieter Spaar

Die ökologische Bedeutung der quantitativen Resistenz von Kulturpflanzen gegen Krankheitserreger unter besonderer Berücksichtigung von Pflanzenviren*

1. Einleitung und geschichtlicher Überblick

Nicht selten begegnet man der Ansicht, daß unsere Kulturpflanzen erst infolge der Ertragssteigerung so anfällig gegenüber Schadorganismen geworden sind. Früher wären sie noch robust und widerstandsfähig gewesen, heute dagegen „ernten wir nur, was die Schädlinge übrig lassen" (Theodor Roemer, zitiert bei Klinkowski, 1960).

Diese Ansicht ist nur zum Teil richtig. Zutreffend ist, daß alte Landsorten über ein natürliches Resistenzpotential verfügen, das bei den modernen Hochleistungssorten zu einem großen Teil verloren gegangen ist. Landsorten stellen neben Wildformen daher auch wichtige Genressourcen für die Pflanzenzüchtung dar, um deren Erhaltung man sich bemühen sollte (Sneyd, 1982; Kegler, 1994).

Andererseits gibt es Hinweise dafür, daß an unseren ältesten Kulturpflanzen, insbesondere dem Weizen, bereits vor Tausenden von Jahren Krankheiten aufgetreten sind, auf deren Erreger wir aufgrund von Symptombeschreibungen mit ziemlicher Sicherheit schließen können. Ein Zauberspruch der Sumerer vor 5000 Jahren läßt es als wahrscheinlich gelten, daß Brand- und Rostpilze bereits damals Getreide befielen. Theophrast, ein Schüler Aristoteles', berichtete sogar dazu über die unterschiedliche Anfälligkeit von Gerste und Weizen gegenüber Rost, was erste Rückschlüsse auf unterschiedliche Anfälligkeit und womöglich Resistenz zuläßt (Redlhammer, 1987).

Noch weiter zurück reichen Indizien für das Vorkommen von Pflanzenviren anhand der sogenannten Proteinuhr: Aminosäuresequenzen unterliegen im Verlaufe der Evolution bestimmten Veränderungen. Auf deren

* Vortrag, gehalten in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 16. November 1995

Grundlage ist es möglich, von Unterschieden zwischen den Sequenzen bei den Viren gleicher taxonomischer Gruppen auf deren Alter zu schließen (Gibbs, 1980). Demnach kann angenommen werden, daß die primäre Divergenz der Tobamoviren vor etwa 120 - 200 Millionen Jahren erfolgt sein müßte (Kegler & Rabenstein, 1987). Diese Annahme deutet auf eine seit der Entstehung höheren Lebens auf der Erde stattfindenden Koevolution von Wirt und Virus im Pflanzenbereich hin. Diese wahrscheinliche Koexistenz, die das Überleben beider Partner gewährleistet, erscheint uns für das Verständnis der Wirkungsweise der quantitativen Virusresistenz sehr wichtig.

Zum allgemeinen Verständnis seien die quantitative und die qualitative Resistenz zunächst kurz difiniert:

Qualitative Resistenz ist in der Wirtspflanze mono- oder obligogenisch kontrolliert und wirkt gegen spezifische Pilzrassen oder Virusstämme. Sie wird alternativ bewertet: Befall oder Nichtbefall.

Quantitative Resistenz ist in der Wirtspflanze polygenisch kontrolliert und wirkt gegen viele Pilzrassen oder Virusstämme. Sie wird graduell bewertet: mehr oder weniger geringer Befall.

2. Schadwirkung und wirtschaftliche Bedeutung

Nicht nur die Existenz, sondern auch die Schadwirkung von Krankheitserregern ist schon seit Urzeiten belegt. Im Alten Testemant wird verschiedentlich über Ernteverluste zur Zeit König Davids (um 1007 und 968 v.u.Z.) durch Rost- und Brandbefall bei Getreide berichtet. Im Mittelalter verbreitete das „Sankt-Antonius-Feuer" bei den Menschen Angst und Schrecken. Heute wissen wir, daß diese Krankheit durch den Mutterkornpilz *Claviceps purpurea* hervorgerufen wird, der an Roggen und Weizen auftreten kann. Vom Ende des 16. Jahrhunderts stammt der Bericht des mexikanischen Schriftstellers José de Acosta (1540 - 1600) über das Auftreten einer Art „Brand" oder „Mehltau" aun der Kartoffel, deren Ursache wahrscheintlich Befall durch den Erreger der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel, *Phytophthora infestans*, gewesen ist, der 1848 in vielen europäischen Ländern Hungersnöte hervorrief und im Jahr 1917 zu dem schrecklichen „Kohlrübenwinter" beitrug (Redlhammer, 1987).

Bereits 50 bis 100 Jahre zuvor gibt es Hinweise darauf, daß Viruskrankheiten die Ursache erheblicher Ertragsverluste im Kartoffelbau gewesen

sein können (Spaar, 1980). Damals wurde von „Abbau" gesprochen. Diese Bezeichnuns hat sich bis heute erhalten und umschreibt den virusbedingten Ertragsrückgang dieser vegetativ vermehrten Kulturpflanze.

Zur Schadwirkung von Pflanzenviren liegen inzwischen umfangreiche Belege vor (Spaar, 1993), von denen hier nur einige wenige aufgeführt werden können. Dabei ist zunächst auf die Vielfalt der möglichen Verluste hinzuweisen, die durch Viren verursacht werden und in folgenden Bereichen auftreten können:

- Wachstumsminderung (Ertragsverluste und -ausfall, Absterben der Pflanzen)
- Vitalitätsminderung (erhöhte Anfälligkeit gegenüber Frost und Trokkenheit)
- Qualitätsminderung (Beeinträchtigung des Geschmacks und Aussehens, Verminderung der Keim- und Lagerfähigkeit)
- Kostenerhöhung (Mehrkosten für Feldhygiene, Vektorbekämpfung, Düngung, Rodung, Bodendesinfektionen oder Transport)

Welche volkswirtschaftlichen Verluste mit Virusbefall verbunden sein können und daß Virusbefall - zumindest vorübergehend - zum Niedergang von Kulturpflanzen in ganzen Regionen führen kann, geht aus den Tabellen 1 und 2 hervor.

Tabelle 1: Beispiele für volkswirtschaftliche Verluste durch Pflanzenviren (nach Spaar, 1993)

Virus	*Kulturpflanze*	*Land*	*Verluste p.a.*
Barley yellow dwarf	Gerste	USA	6,3 Mio $
Barley yellow dwarf	Gerste, Weisen, Hafer	England	120 Mio Pfund
Beet yellows	Zuckerrübe	England	4,2 Mio Pfund
Beet yellows	Zuckerrübe	Deutschland	50 Mio DM
Kartoffelviren	Kartoffel	BRD	200 Mio DM
Kartoffelviren	Kartoffel	DDR	40 Mio M
Tobacco musaic	Tabak	North Carolina	1,2 Mio $

Tabelle 2: Beispiele für virusbedingten Niedergang von Kulturpflanzen (nach Spaar, 1993)

Virus	*Kulturpflanze*	*Land*	*Zeiraum*
Cacao swollen shoot	Kakao	Ghana	1945/1946
Plum pox	Zwetsche	Balkan	1940-1960
Sugarcane fiji	Zuckerrohr	Fidschi-Inseln	1920-1925

Demgegenüber zeigen Beispiele aus den USA, daß kontinuierliche und systematische Virusresistenzzüchtung dem verheerenden Einfluß von Pflanzenviren nachhaltig entgegenwirken kann. Das zikadenübertragbare *beet curly top virus* verursachte in den Staaten westlich der Rocky Mountains völlige Mißernten, so daß der Zuckerrübenanbau merklich zurückging und viele Zuckerfabriken schließen mußten. Mit der Zulassung der ersten resistenten Sorte *„US 1"* setzte eine Trendwende ein. Nachfolgende resistente Sorten mit höherer Ertragsfähigkeit führten schließlich zur Ertragsstabilisierung (Mc Farlane, 1969; Spaar, 1993) (Tabelle 3).

Tabelle 3: Erträge resistenter und anfälliger Typen unter starkem Infektionsdruck (nach Mc Farlane; 1969)

Jahr	*Standort*	*Sorte*	*Rübenertrag (t/ha)*
1941	Buhl, Idaho	Alter Typ (Rabethge und Giesecke)	0
		US 1	14,2
		US 12	25,2
		US 22	32,1
		US 22/2	37,2
1949	Shafter, Kalifornien	Alter Typ (Rabethge und Giesecke)	3,3
		US 15	16,1
		US 56	63,0
		US 22/3	106,5
		US 22/4	110,3

Ein ebenso drastisches Beispiel bietet das *sugarcane mosaic virus*, das zwischen 1923 - 1927 fast zum Zusammenbruch der Zuckerindustrie im US-Staat-Louisiana geführt hat. Über die durch diese Virose verursachten Verluste bei Zuckerrohr gibt Tabelle 4 Auskunft.

Tabelle 4: Durch das *sugarcane mosaic virus* verursachte Verluste bei Zuckerrohr (nach Earle, 1928)

Anbau- und Nutzungsjahr	*Ertrag (t) auf vergleichbaren Flächen*		*Verluste (%)*
	krank	*gesund*	
1925/1	4.509,1	12.173,5	62
1926/1	1.322,1	8.321,75	84

Auch hier konnte der Anbau der Kulturpflanze Zuckerrohr und damit ein wichtiger Volkswirtschaftszwei nur dadurch gerettet werden, daß tolerante und resistente Sorten gezüchtet und angebaut wurden (Spaar, 1993).

3. Grundtypen der Krankheitsresistenz und epidemiologisch-ökologische Bedeutung

Die Resistenzzüchtung mit ihren Ergebnissen, den resistenten Sorten, ist bereits heute die am breitesten und mit größtem Erfolg eingeführte Maßnahme des biolobischen Pflanzenschutzes. Von den verschiedensten Pflanzenschutzverfahren ist der Anbau von resistenten Sorten die wirksamste, wirtschaftlichste und umweltschonendste Methode. Aber auch er ist nicht problemlos. Seit der Entdeckung von Biffen (1905) am Anfang umseres Jahrhunderts, daß die Resistenz von Weizen gegen Gelbrost durch ein spezifisches Gen kontrolliert wird, wurde die qualitative, differentielle, vertikale und pathogenspezifische Resistenz in der Züchtung bevorzugt. Sie war züchterisch einfacher zu handhaben und schneller zu verwirklichen, da man es mit definierten (Major-)Genen zu tun hatte, deren Vererbung bekannt oder berechenbar war. Allerdings hat dieser Resistenztyp den Nachteil, daß er oft nicht dauerhaft ist und durch neuentstehende Pathotypen durchbrochen werden kann. Zum Verständnis dieses Sachverhaltes sei auf das Gen-für-Gen-Prinzip von Flor (1946) verwiesen, nach dem Resistenzgenen des Wirtes Avirulenzgene des Parasiten und dessen Virulenzgenen Anfälligkeitsgene des Wirtes entgegensprechen. Ein Grundschema dieses Sachverhaltes gibt Tabelle 5 wieder:

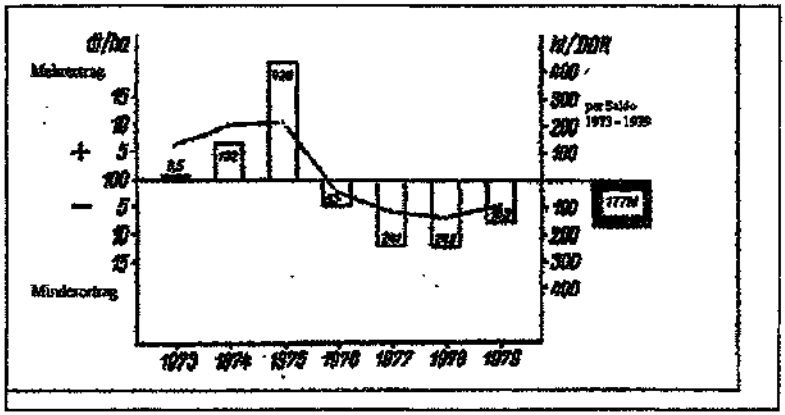
Tabelle 5: Grundschema der genetischen Wechselwirkungen bei Unterscheidung von Wirt und Parasit durch 1 Allel (nach Ellingboe, 1982)

Parasitengenotyp	*Wirtslinie*	
	R1 R1	*r1 r1*
P1	+	-
p1	-	-
P = Gen für Avirulanz	+ = Resistenz	
p = Gen für Virulanz	- = keine Resistenz	

Die aus ökonomischen Gründen bei allen wichtigen Kulturpflanzen in der Vergangenheit erfolgte Konzentration auf wenige ertragreiche Sorten, ihre resistenzgenetische Uniformität und die bevorzugte Nutzung der leichter handhabbaren rassen- oder biotypspezifischen Resistenz durch die Pflanzenzüchter schuf ideale Bedingungen für die Selektion und Ausbreitung neuer physiologischer Rassen bei vielen Pflanzenpathogenen und damit für das Entstehen von Epidemien, wie das insbesondere bei den sich schnell vermehrenden luftbürtigen krankheitserregern der Getreidearten, wie Mehltau- und Rostpilzen, der Fall ist. Die Kurzlebigkeit dieser Form der Resistenz bei bestimmten Pflanzenkrankheiten ließ das Wort vom „Wettlauf" der Resistenzzüchtung mit den sich dynamisch entwickelnden Rassen des Erregers entstehen. Suneson (1960) spricht von „boom and bust cycles of pure-line varieties". Der daraus entstehende Schaden ist um so größer, als sich der Mehrertrag der neuen Sorten in den ersten Anbaujahren nur auf geringem Flächenumfang auswirkt, während die Ertragsverluste zum Zeitpunkt der Resistenzüberwindung große Flächen betreffen. Das sei an den Sommergerstensorten „Trumpf" und „Nadja" gezeigt (Abbildung 1), deren monogen bedingte Mehltauresistenz bereits nach dreijährigem Anbau durch neue Pathotypen überwunden werden konnte (Kleinhempel & Spaar, 1983).

Auf Grund des vor allem bei Pilzparasiten, aberauch bei einer Reihe von Pflanzenviren auftretenden Resistenzdurchbruchs nahm bei Pflanzenzüchtern und Pflanzenbauern das Interesse an einer dauerhaften Resistenz zu.

Abbildung 1: Ertragsauswirkungen (dt/ha und kt) aus dem Anbau der Sommergersten „Trumpf" und „Nadja" in den Jahren 1973-1979



Diese Stabilität und Erhaltung vorhandener Resistenzen ist daher eine genau so wichtige Aufgabe wie die Schaffung neuer Resistenzen. Auf diese Aufgabe wies bereits im Jahre 1911 der bekannte amerikanische Pflanzenzüchter und Phytopathologie E.M. Freemann (1911) hin, als er in der Gründungsnummer der Zeitschrift „Phytopathology" schrieb: „... *the possible variations or mutations of the disease organism must be constantly kept in mind. An established or at least apparant resistance may be completely upset by such developments in the parasite. Resistance therefore must not only be established, but must also be maintained.*"

Zur Erhaltung der Resistenz bzw. zur Schaffung dauerhafter Resistenz werden unterschiedliche Strategien verfolgt.

- Hinsichtlich ihrer Resistenzgrundlage gezielte Sortenvielfalt (Genedisplayment, Diversifikation) in Raum und Zeit
- Anbau von Vielliniensorten oder polyresistenten Sortenmischungen
- Anbau von Sorten mit quantitativer Resistenz (Spaar & Hartleb, 1990)

Während es sich bei den ersten Strategien um das Management von vorhandenen Genotypen mit qualitativer Resistenz handelt, stellt die dritte, die quantitative, partielle, polygenische, allgemeine, horizontale oder pathotyp-unspezifische Resistenz eine Alternative zur qualitativen Resistenz dar.

Dieser Resistenztyp erfordert einen höheren züchterischen und zeitlichen Aufwand, der aber durch die größere Dauerhaftigkeit gerechtfertigt ist.

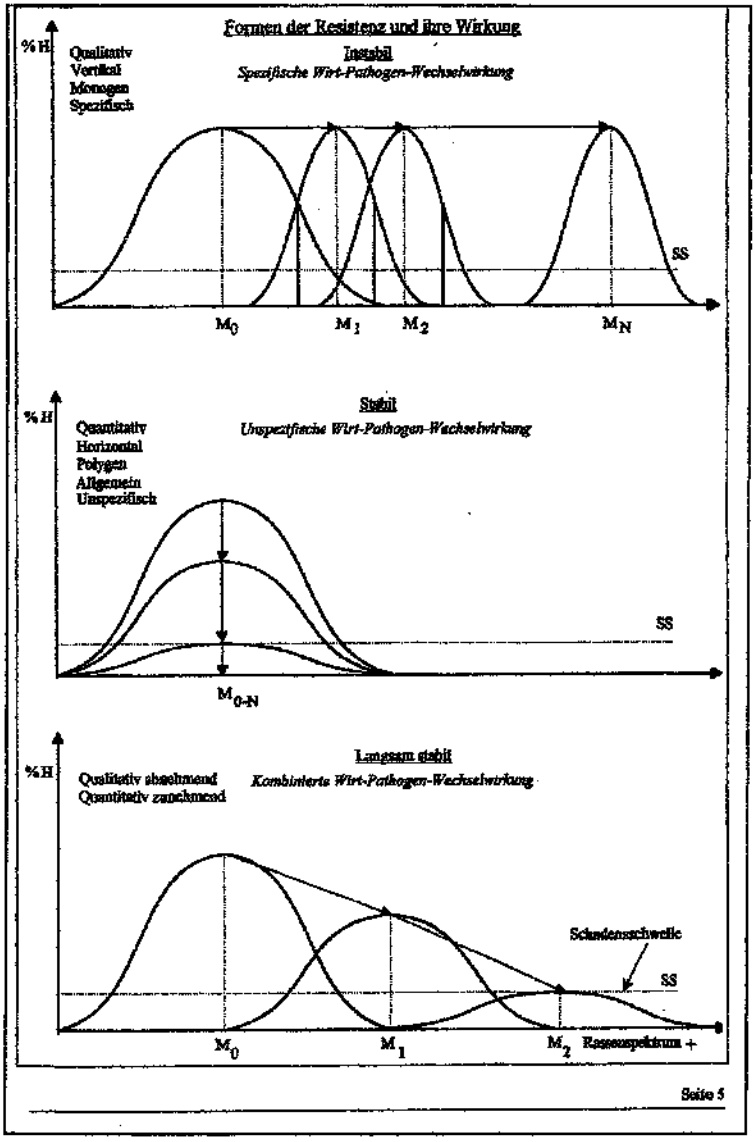
Bavor auf epidemiologisch-ökologische Probleme der beiden Resistenztypen eingegangen wird, soll auf eine Besonderheit in der Phytomedizin hingewiesen werden. Sie besteht im Vergleich zur Human- und Tiermedizin darin, daß es der Pflanzenarzt in der Regel nicht mit Individuen, sondern mit dem Gesundheitszustand von Pflanzenbeständen zu tun hat, die aus Hunderttausenden oder Millionen von Individuen bestehen. Deshalb faßt Robinson (1976) innerhalb des Wirt-Parasit-Systems die Population der Wirtspecies als Pathodem zusammen und stellt sie dem Pathogen gegenüber, das die Population des Parasiten darstellt. Pathodem und Pathogen sind Bestandteile (oder „Partner") des Pathosystems. Innerhalb eines Kulturbestandes können demnach die verschiedenen Pathosysteme existieren, wie zum Beispiel:

- Solanum tuberosum - potato leafroll virus
- Solanum tuberosum - Phytophthora infestans
- Solanum tuberosum - Corynebacterium sepedonicum
- Solanum tuberosum - Heterodera rostochienses

Die Dynamik der Wechselwirkungen zwischen Pathodem und Pathogen wurde sehr anschaulich von Walther (1988) als Modell dargestellt (Abbildung 2).

Die obere Grafik zeigt die Anpassungsfolge beim Einsatz qualitativer Resistenz, bei der das Rassen-(Pathotypen-)Spektrum des Pathogens, verteilt um den Mittelwert M_o, durch den Einsatz von spezifischen Resistenzgenen eingeschränkt wird. Damit tritt ein Selektionsdruck auf Pathotypen ein, die über Virulenzgene verfügen, welche die Resistenzgene der Wirtspopulation überwinden können. So entsteht eine neue Pathogenpopulation mit verändertem Pathogenitätsspektrum (M_1). Die ursprünglich eingesetzten Resistenzgene sind unwirksam geworden. Werden neue spezifische Resistenzgene eingesetzt, folgt ein erneuter Anpassungszyklus. Beim Wettlauf von Züchter und Parasit hat erster meist das Nachsehen.

Abbildung 2: Verteilungsmodell von Pathogen-Populationen und deren Dynamik in Abhängigkeit von der Einführung verschiedener Resistenzformen (nach Walther 1988)



Durch die Anpassungsfähigkeit des Parasiten folgt in der Regel in unterschiedlichen zeitlichen Abständen eine Epidemie der anderen. Die wirtschaftliche Schadensschwelle (SS) zu unterschreiten, gelingt auf die Dauer nicht.

Wenn jedoch die gleiche Pathogenpopulation eine Sorte befällt, die viele, meist additiv wirkende, pathotypunspezifische (Minor-)Resistenzgene besitzt, besteht kein Selektionsdruck gegenüber der Pathogenpopulation. Dafür wird der Populationsumfang das Pathogens reduziert und damit der Befall insgesamt veringert. Werden weitere unspezifische Resistenzgene in das Genom der Sorte eingebaut, folgen weitere Befallsrückgänge (mittlere Grafik), wodurch die Resistenzstabilität gleichzeitig zunimmt und eine Annäherung an die wirtschaftliche Schadensschwelle stattfindet. Der Ausbruch einer Epidemie wird dadurch immer weniger wahrscheinlich.

Da im Züchtungsprozeß aber oft nicht zwischen spezifischen und unspezifischen Resistenzgenen, die in der Regel gemeinsam im selben Genotyp vorkommen, unterschieden werden kann, erfolgt die züchterische Auslese zunächst zugunsten der spezifischen Resistenzgene und im Verlauf des weiteren Züchtungsprozesses zunehmend zugunsten der unspezifischen Resistenzgene. Dadurch kommt es zu einer Kombination der beiden geschilderten Prozesse (untere Grafik). Das Ergebnis entspricht aber dem Effekt der quantitativen Resistenz. Der umweltfreundliche, also ökologische Aspekt dieses Resistenztyps besteht nun darin, daß die ökonomische Schadensschwelle seltener oder später erreicht wird und somit die Notwendigkeit abnimmt, Pestizide einzusetzen. Wird diese Schadensschwelle nicht erreicht, kann zum Beispiel bei Pilzkrankheiten der Einsatz von Fungiziden entfallen. Der epidemiologische Effekt der quantitativen Resistenz besteht in der Verkleinerung der Erregerpopulation und damit der Verringerung des Infektionspotentials und -druckes. Dieser Sachverhalt ist aber nur dann gegeben, wenn eine großräumige Nutzung dieses Resistenztyps vorliegt. Kleinflächiges Nebeneinander von qualitativ resistenten bzw. anfälligen Sorten schwächt die Vorzüge der quantitativen Resistenz ab oder läßt sie unwirksam werden. Hier deutet sich ein Zusammenhang von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und agrarpolitischen Konsequenzen an.

Im Blick auf die Anwendung molekular- oder gentechnischer Methoden in der Pflanzenzüchtung besteht bei der quantitativen Resistenz das Problem, daß sie sie bewirkenden (Minor-)Gene nicht lokalisierbar und deshalb auch nicht experimentell transferierbar sind. Die durch den Transfer von (Major-)Genen zu erzielende Beschleunigung des Züchtungsprozesses ist - bisher jedenfalls - bei der Schaffung quantitativ resistenter Sorten nicht zu erwarten. Wenn man bedenkt, daß die meisten Eigenschaften höherer Pflanzen polygenisch kontrolliert werden, erkennt man auch bestimmte

Grenzen, die der Gentechnik in der Pflanzenzüchtung gesetzt sind. Sie kann die konventionelle Züchtung deshalb auch nie ersetzen, wohl aber unter bestimmten Voraussetzungen wirksam ergänzen und beschleunigen.

4. Merkmale und Einflußfaktoren der quantitativen Virusresistenz

Verschiedentlich wurde bereits angedeutet, daß die quantitative Resistenz der ökonomisch und ökologisch vorteilhaftere Resistenztyp ist. Er ist aber schwieriger und zeitaufwendiger züchterisch zu verwirklichen. Die Probleme und Schwierigkeiten liegen zum einen in der Erkennung, Messung und Bewertung der Resistenzmerkmale und zum anderen in deren Modifikation durch vielfältige Einflußfaktoren. Dies soll am Beispiel der quantitativen Virusresistenz so kurz und verständlich wie möglich erläutert werden.

Vorausgeschickt sei der Hinweis, daß pflanzenpathogene Viren nicht aktiv in die Pflanze eindringen können, sondern zur Infektion einer Zelle Vektoren oder Wunden benötigen. Als Vektoren fungieren die verschiedenen Insektenarten, vor allem Blattläuse sowie Nematoden oder Pilze. Darüber hinaus können einige Viren durch Pollen, Samen, Seide oder Kontakt, und alle Viren (mit Ausnahme der Cryptic-Viren) durch Pfropfung übertragen werden. Schließlich können zahlreiche Viren auch vom Boden oder aus Nährlösungen ohne Vektoren über die Wurzeln in die Pflanze gelangen (Kegler et al., 1995).

Die Krankheitssymptome als eine der wichtigsten Anfälligkeits- oder Resistenzmerkmale sind so mannigfaltig wie die Wirt-Virus-Kombinationen und reichen von Blattverfärbungen, Frucht-, Blatt- und Triebdeformationen bis hin zum Absterben der Pflanzen. Die Bewertung der Symptomstärken erfolgt überwiegend subjektiv. Nur bei den Blattverfärbungen können remissionsspektroskopische Messungen exakte Daten liefern (Kegler et al., 1990).

Die Viruskonzentration im Wirt als ein weiteres wichtiges Indiz für vorliegende Anfälligkeit oder Resistenz kann mit unterschiedlichem experimentellen Aufwand und unterschiedlicher Nachweisempfindlichkeit mit biologischen (Testpflanzen), immunologischen (ELISA) oder molekularbiologischen (PCR) Methoden ermittelt werden (Kegler & Eppler, 1993).

Um die quantitative Virusresistenz in die Vielfalt der Wechselwirkungen zwischen Pflanze und Viren einordnen zu können, sei auf die Resistenzmodelle von Fraser (1986) verwiesen, der drei Grundmechanismen unterschied (Tabelle 6):

Tabelle 6: Typen der Virusresistenz der Pflanzen

Nichtwirts-	*genetisch kontrollierte Virusresistenz*		*Induzierte*
verhältnis	*qualitative Resistenz*	*quantitative Resistenz*	*Resistenz*
Immunität	Hypersensibilität extreme Resistenz nichtsystemische Infektion	Feldresistenz Toleranz Altersresistenz Leistungsresistenz	auslösende Faktoren Umweltfaktoren Pathogene
Vererbung in der Regel	monogen oder oligogen	polygen	

1. **Die Nichtwirts-Immunität**
   Sie tritt auf der Artebene auf. Die Pflanzen einer Art sind für ein bestimmtes Virus keine Wirte, und das Virus ist ihnen gegenüber nicht pathogen, denn nach der Inokulation sind weder Virusvermehrung noch Krankheitserscheinungen festzustellen.

2. **Die generisch kontrollierte Resistenz**
   Sie wirkt innerhalb einer Art. Bei genetisch kontrollierter Resistenz handelt es sich um Sorten, die über ein Gen oder Gene verfügen, die Resistenz gegenüber einem Virus verleihen, das normalerweise pathogen für Pflanzen dieser Art ist.

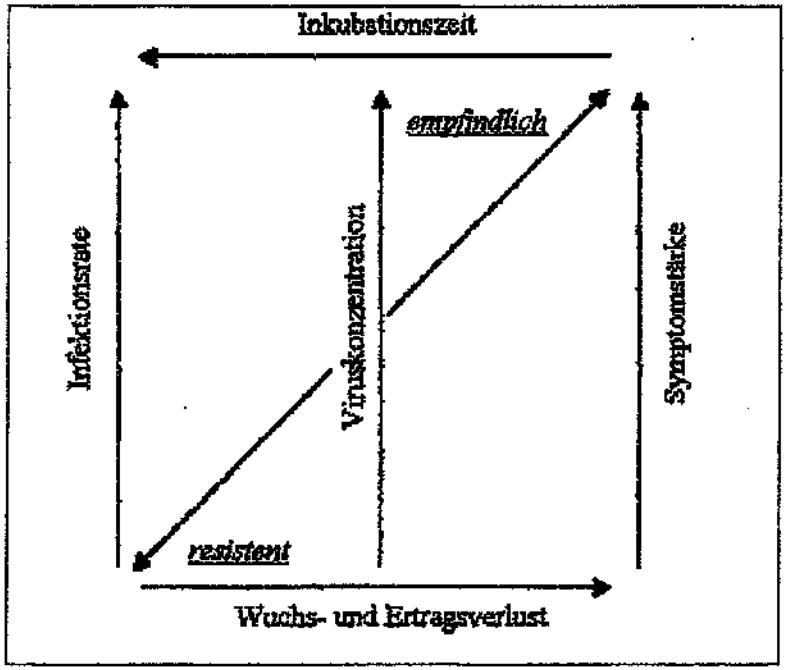
3. **Die induzierte Resistenz**
   Die Ebene ihrer Wirkung ist die Einzelpflanze. Einem anfälligen Individuum wird durch eine vorausgehende Infektion oder andere Faktoren Resistenz verliehen. Die Resistenzinduktion kann von den unterschiedlichsten Faktoren ausgehen. Hierzu zählen neben einem breiten Spektrum von Pathogenen verschiedenste chemische Substanzen, Umweltbedingungen und auch bestimmte Entwicklungsstadien der Pflanzen selbst. Normalerweise ist dieser Typ der Resistenz nicht erblich, obwohl seine Phänomene auch eine genetische Basis haben.

Die zur zweiten Kategorie zählende quantitative Virusresistenz wurde als „unvollständige Resistenz" bezeichnet (Skiebe & Kießling, 1986). Sie bewirkt also nicht Befallsfreiheit, sondern graduell unterschiedlich ausgeprägte Verminderung des Befalls oder der Schädigung. Im Gegen-

satz zur qualitativen Resistenz, die alternativ bewertet wird (Befall/ Nichtbefall), erfolgt die Bewertung der quantitativen Resistenz graduell: schwach resistent, mittel resistent, hoch resistent (mit fließenden Übergängen).

Gegenstand der Bewertung sind die verschiedenen Resistenzmerkmale, in denen sich dieser Resistenztyp äußern kann. Maßstab sind für jede Wirt-Virus-Kombination geeignete Standards. Zwischen den einzelnen Resistenzmerkmalen können Korrelationen auftreten. So ist schwache oder fehlende Symptomausbildung oft mit niedriger Viruskonzentration, verlängerter Inkubationszeit und geringer oder fehlender Ertragsminderung verbunden. Diese Korrelationen verlaufen nicht linear. Allgemein gilt, daß ein Genotyp um so resistenter ist, je geringer die Infektionsrate, länger die Inkubationszeit, niedriger die Viruskonzentration, schwächer die Symptome und geringfügiger die Wuchs- und Ertragsdepressionen sind (Abbildung 3).

Abbildung 3: Zusammenhänge von Merkmalen der quantitativen Virusresistenz



Ebenso vielfältig wie die Resistenzmerkmale sind die deren Ausprägung beeinflussenden Faktoren (Tabelle 7).

Tabelle 7: Merkmale und Einflußfaktoren der quantitativen Virusresistenz

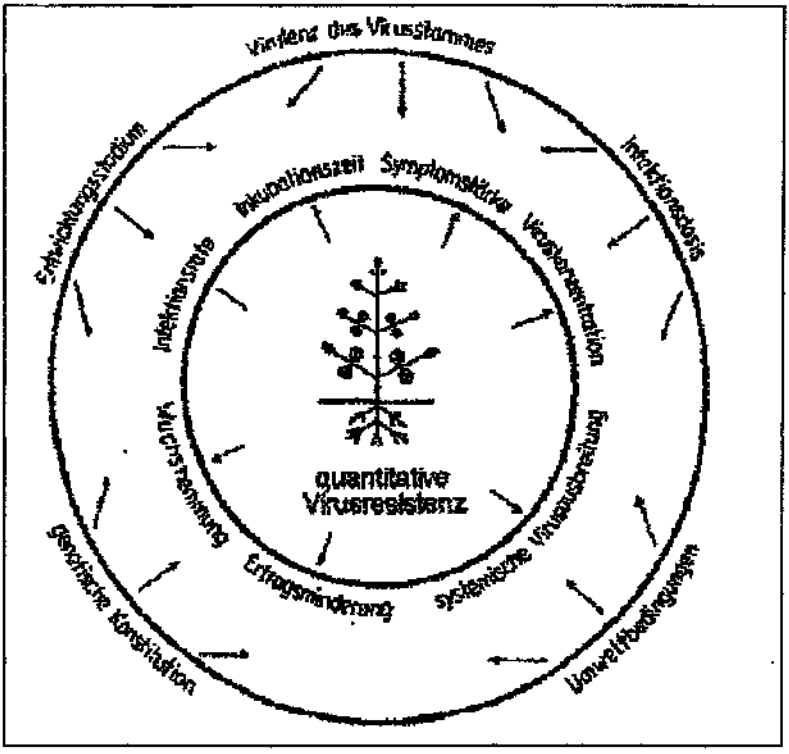
Merkmale	*Einflußfaktoren*		
	Virus	*Wirt*	*Umwelt*
Infektionsrate Inkubationszeit Viruskonzentration Symptomstärke Wuchshemmung Ertragsverlust	Virulenz Infektionsdosis	Pflanzenalter Resistenzniveau	Temperatur Licht

So erscheint eine Pflanze um so resistenter, je schwächer virulent der Virusstamm oder je niedriger die Infektionsdosis, je älter die Pflanze zur Zeit der Inokulation und je höher die Temperatur während des krankheitsverlaufs ist und umgekehrt. So sollten bei der Virusresistenzprüfung die Prüfungsbedingungen (=Einflußfaktoren) auf die jeweilige Wirt-Virus-Kombination und das vorliegende Resistenzniveau eingestellt und möglichst standardisiert werden. Anderenfalls sind keine reproduzierbaren Ergebnisse zu erwarten.

Die Vielfalt der Korrelationen und Wechselwirkungen, die bei der quantitativen Virusresistenz auftreten können, veranschaulicht die nachfolgende Abbildung 4.

Aus der Übersicht läßt sich nicht nur die Vielfalt, sondern auch die Dynamik der Ausprägung und Wechselwirkung von Resistenzmerkmalen und Einflußfaktoren ablesen. Wäre es möglich, beide Größen in allen Varianten durch exakte, reproduzierbare Daten zu belegen, würde deren Fülle wahrscheinlich Ansatzpunkte für die Anwendung der Chaostheorie liefern. Für den praktischen Züchter gilt jedoch die Devise, daß in der Beschränkung der Meister liegt. Sein Ziel besteht in der dauerhaften Verhinderung von krankheitsbedingten Ertragsverlusten. Sein Weg ist die schrittweise Akkumulation von breit wirkenden Resistenzgenen durch wiederholte Selektion und Kreuzung.

Abbildung 4: Merkmale (innerer Kreis) und Einflußfaktoren (äußerer Kreis) der quantitativen Virusresistenz



Welche Fortschritte hierbei erzielt werden können, sei am Beispiel der Virusresistenzzüchtung bei Kartoffeln in der DDR kurz aufgezeigt. In Deutschland haben im Kartoffelanbau vor allem die in Tabelle 8 aufgezeigten Viren wirtschaftliche Bedeutung. Nach dem Ausmaß des verursachten Schadens unterscheidet man zwischen schweren und leichten Virosen.

Ein hohes Niveau komplexer quantitativer Resistenz gegenüber den wirtschaftlich wichtigen Viruskrankheiten der Kartoffel zu erreichen, war über Jahre das Ziel der Kartoffelzüchtung der DDR. Dabei wurde (nach Walther, 1987) eine Strategie der „Resistenzzüchtung durch Integration mehrerer quantitativer Resistenzen" verfolgt. Alle anderen geforderten Merkmale wurden mit einer möglichst guten Virusreistenz kombiniert. Aufbauend auf einem hohen Niveau komplexer quantitativer Resistenz

wurde die Einführung spezifischer qualitativer Resistenzen gegen *potato virus X* und *potato virus Y* begonnen.

Tabelle 8: Durch Kartoffelviren verursachte Schäden

Virusart	Ertragsminderung (%)	Stärkegehaltsminderung (%)
1. Viren, die schwere Virosen verusachen		
Kartoffelblattroll-Virus (PLRV)	20 - 87	2,0
Kartoffel-Y-Virus (PVY)	14 - 90	1,8
Kartoffel-A-Virus (PVA)	38 - 46	1,6
Kartoffel-M-Virus (PVM)	9 - 50	1,9
2. Viren, die leichte Virosen verusachen		
Kartoffel-S-Virus (PVS)	0 - 23	0,9
Kartoffel-X-Virus (PVX)	0 - 57	1,9

Nach dem II. Weltkrieg erkannten Rudolf Schick und seine Mitarbeiter, daß eine entscheidende Verringerung des Virusbesatzes bei Kartoffeln nur durch Züchtung und Neuzulassung virusresistenter Sorten erreicht werden kann. Dabei wurde konsequent das bereits auf K.O. Müller (1925) zurückführbare Konzept verwirklicht, die Züchtung auf quantitative Resistenz in Gesundheitsgebieten und die Prüfung unter starken spontanen Virusinfektionsbedingungen durchzuführen. Die Grundlage der Bestimmung quantitativer Virusresistenzen im Kartoffelzuchtprogramm der DDR bestand in Freilanduntersuchungen zur Ermittlung der Infektionsrate (Abbauversuche) (siehe Abbildung 5).

Der Nachteil dieser Methode bestand und besteht in ihrer Abhängigkeit vom qualitativ und quantitativ stark schwankenden natürlichen Infektionsdruck. Deshalb wurden in zunehmendem Maße die Feldprüfungen durch Labortests unter Gewächshausbedingungen ergänzt. Durch jahrelange konsequente Züchtung auf quantitative Virusresistenz wurde das Resistenzniveau erhöht, wie folgende Tabelle 9 zeigt.

Abbildung 5: Organisation der Freilandresistenzprüfung von Kartoffelzuchtstämmen

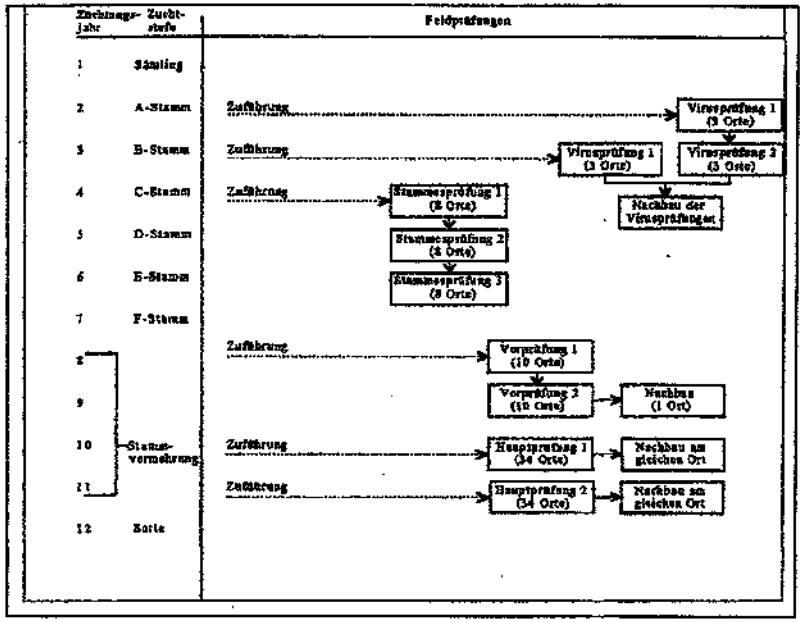


Tabelle 9: Entwicklung der quantitativen Virusresistenz im Kartoffelsortiment der DDR (prozentualer Anteil der Sorten in den Virusresistenzgruppen)

Jahr	*Anzahl Sorten*	*Virusresistenz*		
		gering	*mittel*	*hoch*
1950	23	61	30	9
1955	23	57	26	17
1960	20	40	25	35
1965	22	19	45	36
1970	25	20	52	28
1975	20	5	55	40
1980	18	-	22	78
1985	21	-	29	71
1989	30	-	27	73

Dies betraf besonders die Resistenz gegen PVY, PVX und PLRV, gegenüber dem PVS und PVM gelang dies nicht in gleichem Maße.

Mit der Verbesserung der Resistenz ging eine Verringerung des Anteils der wegen überhöhter Virusbelastung abgestuften bzw. aberkannten Kartoffelvermehrungsflächen einher, was von großer ökonomischer Bedeutung für die Pflanzkartoffel-produzierenden Betriebe war (Abbildung 6).

In anderen Ländern, wie zum Beispiel in der alten Bundesrepublik, in den Niederlanden, in Großbritannien und in Polen wurden Resistenzstrategien verfolgt, bei denen Sorten mit monogen bedingten Resistenzen oder Überempfindlichkeitsreaktionen gegen einzelne Viren im Mittelpunkt der Züchtung stadnen, deren generelles Resistenzniveau gegen den Gesamtkomplex der schweren Virosen aber ungenügend ausgeprägt ist. Das zeigt auch ein Vergleich der Resistenzeinstufung durch das Bundessortenamt im Jahre 1995. Sorten, die nach den Merkmalen der quantitativen Resistenz in der ehemaligen DDR gezüchtet worden waren, sind mit dem Sortiment von zwei Zuchtbetrieben in der alten Bundesrepublik verglichen worden (Tebelle 10 und 11)

Abbildung 6: Anteil der in den Jahren 1969 bis 1990 auf Grund überhöhter Virusbelastungen abgestuften bzw. aberkannten Kartoffelvermehrungsflächen in % zur gesamten Vermehrungsfläche in der DDR

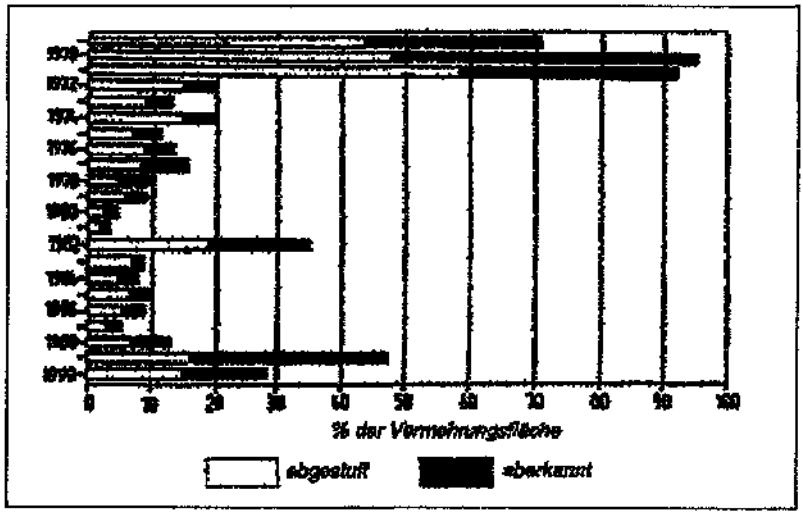


Tabelle 10: Resistenzeinstufung durch das Bundessortenamt 1995 von Sorten, die nach den Merkmalen der quantitativen Virusresistenz in der DDR gezüchtet wurden

Erläuterung zur Virusanfälligkeit:

1 = sehr gering
2 = sehr gering bis gering
3 = gering
4 = gering bis mittel
5 = mittel

Sorte	*Jahr der Zulassung*	*Anfälligkeit für*		
		PLRV	*PVY*	*PVA*
Arkula	1975	3	5	2
Adretta	1975	4	1	1
Karat	1981	2	2	1
Maxilla	1981	4	2	1
Koreta	1983	3	1	1
Libara	1985	1	2	1
Likara	1986	4	5	1
Andra	1987	1	1	1
Larissa	1987	2	1	1
Karlena	1988	2	1	1
Liu	1988	3	1	1
Karla	1989	4	1	1
Anneli	1989	4	2	3
Karatrop	1990	2	1	1
Ivetta	1990	2	3	2
Karolin	1990	3	1	1
Karsta	1993	5	1	1
Valisa	1994	1	5	1
Molli	1995	5	1	3
Agava	1995	5	1	1
Delikat	1995	3	3	2
	x	**3,0**	**1,9**	**1,3**

Tabelle 11: Resistenzeinstufung des Sortiments von 2 Züchtungsfirmen aus der alten Bundesrepublik durch das Bundessortenamt 1995

Erläuterung zur Virusanfälligkeit:

1 = sehr gering
2 = sehr gering bis gering
6 = mittel bis stark
1+ = extreme Resistenz

Sorte	*Jahr der Zulassung*	*Anfälligkeit für*		
		PLRV	*PVY*	*PVA*
Siglinde	vor 1953	9	3	2
Amigo	1970	5	7	5
Quarta	1979	7	5	2
Ponto	1984	7	3	1
Rebecca	1984	3	2	1
Agria	1985	5	2	2
Lyra	1987	6	1	1
Franca	1987	5	3	1
Solara	1989	5	1	1
Tomensa	1989	2	2	2
Afra	1990	3	3	1
Quinta	1990	5	3	1
Samara	1990	3	1	1
Calla	1990	5	2	1
Helena	1991	7	1	1
Rosella	1991	6	1	1
Pareka	1992	4	5	1
Marabel	1993	6	1	1
Filea	1993	4	1	2
Colette	1995	6	1	2
Marena	1995	7	2	2
Tomba	1995	2	1	1
	x	**5,1**	**2,3**	**1,5**

Während bei der Resistenz gegenüber den Kartoffel-Y- und A-Viren sich das Niveau nicht wesentlich unterscheidet, ist die quantitative Resistenz gegenüber dem Kartoffelblattroll-Virus bedeutend geringer. Von den gegenwärtig in Deutschladn zugelassenen 161 Kartoffelsorten haben 49 eine sehr geringe bis geringe Virusanfälligkeit gegenüber allen drei Erregern schwerer Viruskrankheiten. Von 21 aus der ehemaligen DDR-Züchtung stammenden Sorten sind es nur 10, keine Sorte hat gegenüber einem der in der Resistenzprüfung einbezogenen Viren eine höhere als mittlere Anfälligkeit. Extrem PVY-resistentes Material ist häufig noch anfällig gegen PLRV und PVM. Von den 4 mit extremer Resistenz gegenüber PVY gegenwärtig in Deutschland zugelassenen ist die extreme Resistenz nur bei zwei Sorten mit hoher quantitativer Resistenz genüber dem PLRV verbunden (Tabelle 12).

Tabelle 12: Sorten des Kartoffelsortiments der BRD mit extremer Resistenz für das Kartoffel-Y- und Kartoffel-A-Virus und mit unterschiedlicher quantitativer Virusresistenz (Bundessortenamt 1995)

Sorte	*Anfälligkeit für*		
	PLRV	*PVY*	*PVA*
Forelle	6	1+	1
Ute	2	1+	1
Bettina	6	1+	1
Assia	2	1+	1+

5. Schlußbetrachtungen

Eine wesentliche Voraussetzung dafür, genügend Nahrung für die Menschheit zu erzeugen, besteht darin, krankheitsbedingte Ertragsverluste zu verringern. Ein ökonomisch wie ökologisch vorteilhafter und effektiver Weg besteht in der Nutzung der quantitativen Resistenz. Sie ist zuden ein „natürliches Bekämpfungsmittel", weil sie die seit Jahren bestehende „friedliche Koexistenz" von Wirt und Parasit berücksichtigt. Nur auf dieser Grundlage konnten beide überleben. Und nur dadurch, daß man auch dem Parasiten (ein Begriff, der lediglich aus menschlicher Sicht negativ belastet ist) eine Überlebenschance läßt, kann man das Gedeihen

der Kulturpflanze auf die Dauer ermöglichen. Schließlich sind beide, Wirt und Parasit, *„Leben inmitten von Leben, das Leben will"* (Albert Schweitzer).

Der Vielfalt von Erkenntnissen über die Merkmale der quantitativen Virusresistenz und ihre Wechselwirkungen mit den verschiedensten Einflußfaktoren stehen noch erhebliche Wissenslücken gegenüber. Sie beginnen beim molekularbiologischen Vergleich der Genome anfälliger und quantitativ resistenter Genotypen. Dieser Vergleich könnte auch zur Identifizierung der diesen Resistenztyp prägenden Polygene führen. Weitestgehend unaufgeklärt sind auch die physiologischen Ursachen der Resistenz, die sowohl in einer gehemmten Virusreplikation als auch in einem verlangsamten Virustransport liegen können. Schließlich sind die physiologischen Reaktionen des Wirtes auf die Existenz des Virus, die in den Schadminderungen erkennbar werden, ein weites, wenig bearbeitetes Feld. Es zu bearbeiten, brächte nicht nur praktischen Nutzen, sondern auch vertiefte Einblicke in das Miteinander von Wirt und Parasit.

Den Herren Helmut Böhme und Steffen Schwarz danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und wertvolle Hinweise zum Inhalt. Herrn Jens Schwarz sind wir für die für Gestaltung des Manuskriptes dankbar.

6. Literatur

Briefen, R.H.: Mendel's laws of inheritance and wheat breeding. J.agr.Sci., Cambridge, 1 (1905): 4 - 48

Earle, F.S.: Sugar-cane and its culture. New York (1928)

Flor, H.H.: Inheritance of pathogenicity in *Melampsora lini*. J.agr.Res., 73 (1946): 335 - 357

Fraser, R.S.S.: Genes for resistance to plant viruses. C RC Critical Reviews in Plant Sciences; 3 (1986): 257 - 294

Freeman, E.M.: Resistance and immunity in plant diseases. Phytopathology, 1 (1911): 109 - 115

Gibbs, A.: How ancient are the Tobamoviruses? Intervirology, 14 (1980): 101 - 108

Johnson, R.: A critical analysis of durable resistance. Ann. Rev. Phytopathology, 22 (1984): 309 - 330

Kegler, H.: Wildformen als genetische Ressourcen für Virusresistenz. Vorträge für Pflanzenzüchtung, H 27 (1994): 188 - 199

Kegler, H.; Eppler, A.: Pflanzenpathogene Viren und virusbedingte Pflanzenkrankheiten, in: Kegler, H.; Friedt, W.: Resistenz von Kulturpflanzen gegen pflanzenpethogene Viren; Gustav-Fischer-Verlag Jena (1993): 35 - 54

Kegler, H.; Fuchs, E.; Spaar, D.; Kegler, J.: Viren im Boden und Grundwasser. Arch. Phytopatol. Pflanzenschutz, 29 (1995): 349 - 371

Kegler, H.; Kontzog, H.-G., Spaar, D.: Charakterisierung der Virusresistenz, in: Kegler, H.; Friedt, W.: Resistenz von Kulturpflanzen gegen pflanzenpathogene Viren; Gustav-Fischer-Verlag Jena (1993): 55 - 155

Kegler, H.; Meyer, U.; Berka, K.: Messung virusbedingter Blattverfärbungen mit Hilfe oder UV-VIS-Remissionsspektroskopie, Jenaer Rundschau, 35 (1990): 36 - 38

Kegler, H.; Rabenstein, F.: Anpassung und Entwicklung in Virus-Wirt-Systemen bei Pflanzen. Vorträge aus dem Bereich der AdL, 6 (1987): 32 - 35

Kleinhempel, H.; Spaar, D.: 30 Jahre Entwicklung des Institutes für Phytopathologie Aschersleben - Entwicklung und Resistenzforschung (Einführungsvortrag). Tagungsbericht AdL, 216 (1983): 17 - 38

Klinkowski, M.: Die wirtschaftliche Bedeutung pflanzlicher Viren. Angewandte Botanik, 34 (1960): 165 - 178

Mc Farlane, H.S.: Breeding for resistance to curly top. I.I.R.B., 4 (1969): 73 - 83

Müller, K.O.: Neue Wege und Ziele der Pflanzenzüchtung. Beiträge Pflanzenzüchtung, 8 (1925): 45 - 72

Redlhammer, D.: Pflanzenkrankheiten und Schadinsekten haben viele Hungersnöte verursacht, in: Die Pflanzen schützen, die Menschen nutzen. Eine Geschichte

des Pflanzenschutzes. Industrieverband Pflanzenschutz e.V., Frankfurt am Main (1987): 7 - 37

Robinson, R.A.: Plant Pathosystems. Adv. Ser. Agricult. Sci., Springer-Verlag Berlin, 3 (1987)

Schenk, G.; Spaar, D.: Die Züchtung auf quantitative Virusresistenz und das System ihrer Prüfung bei Kartoffeln in der ehemaligen DDR - eine rückblickende Bewertung. Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz, 28 (1993): 505 - 522

Schmelzer, K.: Ökologie und Epidemologie, in: Spaar, D.: Pflanzliche Virologie, Bd. 1, Einführung in die allgemeinen Probleme, (1980): 183 - 211

Skiebe, K.; Kiessling, D.: Untersuchungen zur Genetik der unvollständigen Resistenz von Lycopersicon esculentum Mill. gegen *Cladosporium fulvum coake*. Arch. Züchtungsforschung, 16 (1986): 179 - 187

Sneyd, J.: Langjährige Züchtungsarbeit und Landsorten; erste Teilerfolge bei Winter-Grünfuttererbsen, 3-blütigem Roggen und extrem frühem Weizen. Vortrag Pflanzenzüchtung, 25 (1992): 206 - 209

Spaar, D.: Geschichtliche Entwicklung und Definition des Virusbegriffes, in: Spaar, D.: Pflanzliche Virologie, Bd. 1, Einführung in die allgemeinen Probleme, (1980): 1 - 20

Spaar, D.: Wirtschaftliche und epidemologische Bedeutung der Virusresistenz, in: Kegler, H.; Friedt, W.: Resistenz von Kulturpflanzen gegen pflanzenpathogene Viren; Gustav-Fischer-Verlag Jena (1993): 21 - 34

Spaar, D.; Hartleb, H.: Strategien zur Erhaltung der Resistenz gegenüber Blattkrankheiten bei Getreide als Bestandteil integrierter Pflanzenproduktion. Postepy nauk rolniczych, 238 (1992): 107 - 116

Suneson, C.A.: Genetic diversity - a protection against plant diseases and insects. Agronomy J., 52 (1960): 319 - 321

Walther, H.: Strategies for quantitative resistance breeding and their impact on resistance assessement techniques. Plant Research and Development, 27 (1988): 115 - 127

Weber, L; Döring, U.; Meyer, U.; Richter, J.: Ein Beitrag zur Bewertung der Resistenz von Gurken-Genotypen gegenüber dem Gurken-Mosaik-Virus *(Cucumber mosaic virus)* anhand der Virusvermehrung. Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz, 21 (1985): 251 - 257

Karl F. Alexander

Erinnerungen an den Physiker Robert Rompe

Am 10. September 1995 wäre Robert Rompe, Mitglied der Berliner Akademie der Wissenschaften seit 1953, neunzig Jahre alt geworden. Er starb zwei Jahre vorher, am 6. Oktober 1993. Der nachfolgende Text wurde auf dem Kolloquium zum Gedenken an Robert Rompe am 1. November 1993 vorgetragen.

Robert Rompe war Physiker aus Passion, der noch die große Zeit der deutschen Physik Ende der zwanziger Jahre hautnah erlebt hatte. Der Geist dieser Gründerjahre unserer heutigen Physik prägte ihn für sein ganzes Leben und bewahrte ihn davor, den jeweils aktuellen Modetrends in der inzwischen scheinbar so unübersichtlich gewordenen Wissenschaftslandschaft hinterherzulaufen.

Er war kein "Spezialist", der sein enges Fachgebiet kontinuierlich weiter ausbaut, bis er, vielleicht gemeinsam mit ein paar Kollegen, dieses Gebiet international als unbestrittene Autorität repräsentiert. Dazu waren seine Interessen zu vielfältig. Ihn interessierte der Fortschritt der gesamten Physik in Grundlagen und Anwendungen, und gelegentlich wilderte er auch auf fremdem Gebiet, z.B. in der Biophysik.

Und eine "Autorität" im Stil eines klassischen deutschen Professors war er schon gar nicht! Sein Metier war nicht das Dozieren und Anleiten, sondern das lebendige Gespräch, aus dem sich neue Gesichtspunkte und Denkansätze ergeben. Sogar das Schreiben von Gutachten zu von ihm betreuten Diplom- und Doktorarbeiten überließ er möglichst anderen.

Schließlich war Robert Rompe ein politischer Mensch, der sich 1932 zur KPD bekannte und sich während der Nazizeit im Widerstand betätigte. So

fiel ihm die Aufgabe zu, sofort nach der Befreiung den Wiederaufbau der Hochschulen und Forschungsinstitutionen in der Sowjetischen Besatzungszone an verantwortlicher Stelle mitzugestalten. Ich glaube, es war ein besonderer Glücksumstand, daß diese Aufgabe einen Mann traf, der nicht nur ein politisch dafür geeigneter "Kader" war, sondern der auch die Persönlichkeitseigenschaften hatte, die ich versucht habe zu charakterisieren. Ich habe immer wieder Robert Rompes Geschick bewundert, mit Diplomatie und Konzilianz auch aus einer ganz kontroversen Diskussion einen konsensfähigen Ausweg zu finden, ohne seinen Widerpart dabei über den Tisch zu ziehen. Die nach dem Kriege entstandene "Forschungslandschaft" der Physik nicht nur in Berlin, sondern auch in anderen Zentren der DDR, ist auf diese Weise wohl von keinem anderen einzelnen Menschen so geprägt worden wie von ihm.

Meine persönlichen Erinnerungen an Robert Rompe beziehen sich größtenteils auf Gespräche und Diskussionen zu wissenschaftlichen, politischen, wissenschaftsorganisatorischen oder auch philosophischen Problemen.

Unsere erste Begegnung muß etwa 1950 gewesen sein, nachdem ich mein Diplom an der Universität Göttingen gemacht hatte und meine Rückkehr nach Berlin plante. Mit einem Empfehlungsbrief meines Diplomvaters Karl Wirtz erschien ich bei Rompe im II. Physikalischen Institut, und er riet mir, eine Aspirantur zu beantragen, für die er die Betreuung übernehmen würde. Da ich meine Diplomarbeit am Max-Planck-Institut für Physik gemacht und schon etwas von Kernphysik gehört hatte, schlug er mir zunächst vor, meine Dissertation mit dem in Berlin-Buch im Bau befindlichen Hochspannungsgenerator zur Neutronenerzeugung zu machen. Nachdem ich mich aber sachkundig gemacht hatte und feststellen mußte, daß diese Maschine wohl erst in einigen Jahren betriebsbereit sein würde, ließ ich dieses Projekt fallen. Auch einer weiteren Aufgabe, der Untersuchung der Lumineszenzeigenschaften von in Greifswald hergestellten Leuchtstoffproben im neu gegründeten Institut für Strahlungsquellen, konnte ich nach einigen Vorversuchen keinen Geschmack abgewinnen.

Schließlich begann ich, an einem mir näher liegenden Thema zu arbeiten, das sich aus meiner Arbeit in Göttingen über Thermodiffusion in Flüssigkeiten ergeben hatte. Ich kann mich nicht erinnern, daß Rompe darüber ärgerlich gewesen wäre oder sonstige Einwände machte, im Gegenteil, er schien zufrieden, daß man sich selber um sich selber kümmerte. Ich bekam aber bald einen Lehrauftrag zu einer Vorlesung über Kernphysik.

Und sobald das Institut Miersdorf gegründet wurde, in dem Vorbereitungen zur Aufnahme von Arbeiten zur Kernphysik getroffen werden sollten (die formal noch durch Kontrollratsbestimmungen verboten waren), veranlaßte Rompe mich, dort meine Arbeit an der Dissertation fortzusetzen. So konnte ich schon im Frühling 1954 an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Humboldt-Univer-sität als einer der ersten Doktoranden nach dem Kriege promovieren. Eine "Betreuung" der Arbeit fand nicht statt, wurde aber auch von mir nicht vermißt.

Ungewöhnlich war auch meine Promotionsprüfung. Ich sollte vor dem Prüfungsgremium einen Vortrag halten über ein Thema, das nicht mit meiner Dissertation korrelierte. Ich ging zu Rompe ins Institut, um dieses Thema mit ihm abzustimmen. Er saß gerade mit einigen Kollegen des Fakultätsrates zusammen. Als ich mit meiner Frage hereinplatzte, sagte er spontan, wir könnten das doch gleich erledigen, wenn ich einverstanden wäre und sich die anwesenden Herren zur Prüfungskommission erklärten. So blieb mir nichts anderes übrig, als den von mir zwar geplanten, aber noch nicht ausgearbeiteten Vortrag über das Schalenmodell der Atomkerne zu extemporieren. Offenbar zur Zufriedenheit der Kommission, trotz der Fehler, die ich erst später zu Haus merkte.

Obwohl meine anschließende Habilitationsarbeit sich auch noch mit der Thermodiffusion in Flüssigkeiten beschäftigte, wenn auch immerhin schon mit dem Spezialproblem der Isotopentrennung, so ging doch Rompes langfristiges Konzept auf, mich in der Kernphysik zu etablieren. Der offizielle Startschuß war die erste Genfer Atomkonferenz 1955, wo wesentliche Grundlagen der entstehenden Kernenergetik offengelegt wurden. Kaum waren die Tagungsunterlagen im Lande, da organisierte Rompe eine Gruppe junger Leute, die dieses Material auswerten und Vorschläge machen sollten über den Aufbau entsprechender Forschungsrichtungen in der DDR. Parallel dazu hatten schon Verhandlungen in Moskau stattgefunden, zu denen Rompe Karl Lanius mitgenommen hatte. Karl Lanius war auch in Miersdorf und hatte zusammen mit Irene Hauser experimentelle Arbeiten zur kosmischen Höhenstrahlung mit Hilfe von Kernspuremulsionen aufgenommen. Unsere Gruppe, zu der außer Lanius noch Helmut Abel, Dieter Naumann, Jürgen Wolf und Christian Keck gehörten, wurde in die Außenstelle des Instituts für Strahlungsquellen auf Hiddensee eingeladen, und wir schmiedeten dort mit einer bewundernswerten Naivität die ersten Pläne. Die wurden dann tatsächlich die Grundlage für Struktur und Themenprofil des Zentralinstituts für Kernforschung (ZfK).

Ich war mit meinen 30 Jahren in diesem Kreis der Älteste und der einzige, der bereits promoviert war.

Das ganz selbstverständliche Vertrauen in die Selbständigkeit und Kompetenz der jungen Leute war ein hervorstechender Charakterzug Rompes, der ihn auch später auszeichnete, als es bereits genügend ältere und arrivierte Kollegen gab. Diese Atmosphäre im Umkreis von Robert Rompe hat wesentlich zur Formierung der ersten Nachkriegsgeneration der Physiker in der DDR beigetragen.

Danach erfolgte der Aufbau der Kernforschung in der DDR in schnellem Tempo. Das Amt für Kernforschung wurde gegründet, die Vorarbeiten für den Bau des ZfK Rossendorf liefen an. Ich bekam u.a. den Auftrag, im Dresdner Raum nach geeigneten Fachleuten für die Betriebsmannschaft des zu errichtenden Forschungsreaktors zu suchen und wurde dann gemeinsam mit diesen Kollegen zu einem mehrmonatigen Lehrgang nach Moskau delegiert.

Mit meinem Umzug nach Dresden 1956 wurden die Beziehungen zu Rompe natürlich schwächer, aber ich wußte immer, daß man sich in kritischen Situationen an ihn um Rat wenden konnte. Wenn ich das auch nicht im einzelnen belegen kann, so bin ich doch davon überzeugt, daß Rompe mit seiner diskreten diplomatischen Taktik viel zur Dämpfung und schließlichen Bereinigung des Mitte der 60er Jahre ausbrechenden erbitterten Streits um die Perspektive der Kernforschung in der DDR beigetragen hat. Dieser Streit - personalisiert durch die Namen Fuchs und Rambusch - führte zu einer tiefen Spaltung der Rossendorfer Scientific Community und hinterließ schmerzende Narben. Ich selbst zog mich zu einem mehrjährigen Arbeitsaufenthalt ins Vereinigte Institut für Kernforschung nach Dubna bei Moskau zurück.

1968 bekam ich dort einen Brief von Rompe mit der Bitte, seine Nachfolge als Direktor des Physikalisch-Technischen Instituts anzutreten, das bald darauf zum Zentralinstitut für Elektronenphysik (ZIE) der Deutschen Akademie der Wissenschaften wurde. Dieser Vorschlag hat mich zunächst überrascht und dann doch sehr gereizt, obwohl ich auf keinem der Arbeitsgebiete dieses Instituts bisher selbst gearbeitet hatte. Mir war natürlich klar, daß ich dorthin nicht meine bisherige Thematik, die experimentelle Untersuchung niedrig angeregter Kernzustände, mitnehmen konnte, zumal dieses Gebiet nach meiner Auffassung auch schon relativ erschöpft schien. Nach einigem Suchen schaltete ich mich in eine im Institut bereits laufende Diskussion um mögliche Beiträge zu den seit Anfang der 70er

Jahre international stark anwachsenden Arbeiten zur Erschließung der Thermonuklearen Kernfusion ein.

Besonders interessant dafür erschienen mir die Arbeiten, die in dem von Rompe ursprünglich als "Direktoriallabor" gegründete und von Helmut Wolff geleitete Abteilung Grenzflächen zu sein, die sich mit der Wechselwirkung von Plasmen mit Metalloberflächen beschäftigte. Es zeigte sich, daß diese mehr auf technologische Probleme als auf die Fragestellungen der "reinen" Plasmaphysik orientierte Arbeitsrichtung (im Sinne des von Rompe formulierten Begriffs des "realen" Plasmas) in den Zentren der plasmaphysikalischen Fusionsforschung zu wenig beachtet worden war, aber für die neuen großen Experimente sehr an Bedeutung gewann. Durch Nutzung des darin begründeten Vorsprungs, Erweiterung der Thematik durch neue experimentelle Techniken und mit Hilfe der gut ausgebauten technischen Infrastruktur des Instituts ist es uns dann in wenigen Jahren gelungen, zu einem anerkannten und gesuchten Partner der großen ausländischen Fusionslabors mit eigenen Experimenten an dortigen Tokamak-Anlagen zu werden, zunächst in Moskau, Budapest und Prag, später auch in Garching und Culham.

Aus der Zerschlagung des Instituts in seine Bestandteile nach dem Ende der DDR ist der Bereich "Plasma-Wandwechselwirkung" des ZIE, sogar noch personell verstärkt, als "Bereich Berlin" des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik Garching hervorgegangen. Dies ist auch eine Frucht des Wirkens Robert Rompes, der schon vor mehr als 30 Jahren den Grundstein für diese perspektivreichen Arbeiten gelegt hatte. Ähnliches kann man übrigens auch von den weiteren Bestandteilen des ehemaligen ZIE sagen. Nach meiner Übersicht gibt es kaum eine tragende Arbeitsrichtung unseres damaligen Instituts, die nicht fortgeführt würde, wenn auch in Instituten oder Arbeitsgruppen unterschiedlicher Struktur und Zuordnung und teilweise mit neuen, aus dem Westen importierten Leitern.

Robert Rompe hat nach seiner Emeritierung noch zwanzig Jahre lang sein Dienstzimmer in der Mohrenstraße fast täglich benutzt. Dort fanden häufig Diskussionen in Kreisen wechselnder Zusammensetzung zu Themen statt, die ihn interessierten und mit denen er hoffte, in der Wissenschaft oder der Wissenschaftspolitik etwas bewegen zu können. So z.B. die umfangreichen Gespräche, die zur Ausarbeitung des "Memoran-dums Physik 1986" führten. Wenn man in sein Zimmer trat, wurde man in der Regel sofort in ein Gespräch verwickelt über ein Problem, das ihn gerade beschäftigte, oder ein Buch, das er gerade las. Auch der Fortgang der Arbeiten im

Institut interessierte ihn natürlich sehr, doch er achtete peinlich darauf, daß sein Interesse oder auch seine Ratschläge nicht als Einmischung in die Kompetenzen der jeweils Verantwortlichen mißverstanden werden konnten.

Bin ich ein Schüler Robert Rompes? Im engen Sinne dieses Begriffs sicher nicht. Ich glaube, es war auch nicht sein Bestreben, in dem Sinne Schüler zu haben, daß sie sich am Wort des Meisters orientieren und ihm bedingungslos unterordnen. Aber von Rompes Stil, Wissenschaft zu betreiben, habe ich sehr viel gelernt und auch versucht, dies in der Praxis anzuwenden. Das gilt vor allem für sein tiefes Verständnis von den inneren Wechselbeziehungen zwischen Physik und Technologie, zwischen Theorie und Praxis. Diese Auffassungen haben nicht nur mich, sondern viele Kollegen meiner und der nachfolgenden Generationen von Physikern in der DDR geprägt. Sie lagen sehr deutlich dem insgesamt erfolgreichen Konzept der verschiedenen Physikalisch-Technischen Institute der Akademie der Wissenschaften der DDR zugrunde. Auch über den Tod hinaus ihres vielleicht konsequentesten Verfechters werden sie weiterwirken.

Wolfgang Schirmer

Die Klasse Chemie und Havemann. Gedanken beim Lesen der Havemann-Dokumente*

Historische Aus- und Aufarbeitungen, besonders der jüngeren deutschen Geschichte seit dem Ende des 2. Weltkrieges, sind gegenwärtig aktuell. Wir Deutsche haben allen Anlaß, unsere Geschichte der vergangenen 40 Jahre zu analysieren, nicht zuletzt, um die Zukunft gestalten zu können.

Zwei Voraussetzungen sind bei historischen Betrachtungen zu erfüllen:

1. es müssen überprüfbare Dokumente und Unterlagen vorliegen, und
2. es muß eine Methode der Analyse der zu beschreibenden Ereignisse gewählt werden, die den damaligen Zeitumständen gerecht wird und nicht etwa heute gewonnene Erfahrungen und Erkenntnisse auf die damaligen Ereignisse überträgt.

Beiden Voraussetzungen wird die in der Schriftenreihe des Robert-Havemann-Archivs als Nummer 1 herausgegebene Dokumentation von Silvia Müller und Bernd Florath in hohem Maße gerecht. Es werden 156 Dokumente im Wortlaut (z. T. faksimiliert) wiedergegeben, die die Beziehungen zwischen Robert Havemann, Professor mit Lehrstuhl für physikalische Chemie der Humboldt-Universität, und der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (so die korrekte Bezeichnung dieser Institution) betreffen. Dazwischen sind Passagen und Fußnoten eingestreut, die die konkreten Ereignisse erläutern und im wesentlichen der Voraussetzung 2) gerecht werden.

Im damals geltenden Statut der DAW vom 2. Mai 1963 bezeichnet sich die Akademie als „eine Gesellschaft hervorragender Wissenschaftler und Persönlichkeiten mit anerkannten schöpferischen Verdiensten um die Wissenschaft". Ich wurde 1961 zum Ordentlichen Mitglied der Klasse für Chemie, Geologie und Biologie gewählt und habe die wissenschaftliche

---

* Silvia Müller - Bernd Florath (Herausg.): Die Entlassung - Robert Havemann und die Akademie der Wissenschaften 1965/66. Schriftenreihe des Robert-Havemann-Archivs Nr. 1. Berlin 1996. (ISBN 3 - 980 - 49201 - X)

Atmosphäre und das Niveau der gehaltenen Vorträge und der Diskussionen stets mit großer Anteilnahme verfolgt. Die Plenarveranstaltungen weiteten den Blick über das eigene Spezialgebiet hinaus und wurden von mir ebenfalls gern angenommen. Nicht selten wurde das Prinzip der Autonomie der Wissenschaften für die Erforschung der Grundlagen der Natur und Gesellschaft und der Auswertung ihrer Ergebnisse besonders betont, was ich aus Überzeugung unterstützte.

Ein Blick auf die veröffentlichten Dokumente zeigt jedoch, daß von einer Autonomie der Institution DAW nicht die Rede sein konnte. Besonders die Auswertung der Protokolle der Sitzungen der leitenden Organe hinsichtlich der Behandlung Havemanns belegt anschaulich, daß die damalige Akademieleitung jeden Anspruch auf Autonomie der Wissenschaft gegenüber leitenden Partei- und Staatsorganen aufgegeben hatte. Es ist erschütternd zu lesen, daß viele Wissenschaftler das eigene Statut verletzten und mißachteten (Dok. 93-101). Die Diskussionen erwecken oft den Eindruck, als ob man den Bär waschen wollte, ohne das Fell naß zu machen (Dok. 12). Hier müssen Zeitzeugen befragt werden, die diese unwürdigen Erscheinungen deuten können. Dabei sollten keine individuellen Motive und Charakterdefekte wie Feigheit, mangelnde Zivilcourage, Karrieredenken oder Unehrlichkeit im Vordergrund stehen (sie spielen natürlich eine Rolle), sondern es sollten schon allgemeine gesellschaftliche Phänomene hervorgehoben werden.

Wie konnte eine Institution von „hervorragenden Wissenschaftlern und Persönlichkeiten" zu Befehlsempfängern herabsinken?

Ja mehr noch: wie konnten Politbüro und Zentralkomitee der SED die Autonomie dieser Wissenschaftler-Institution so verletzen in einer Zeit, da man im Rahmen des Neuen Ökonomischen Systems (NÖS) um eine bessere wissenschaftliche Fundierung der Produktion und der Technik bemüht war, also jeden Wissenschaftler dringend benötigte? Beginnen wir also mit der politischen Führung des Landes!

Ich habe durch 13jährige leitende Tätigkeit in Industriebetrieben zur Genüge erfahren, daß viele Arbeiter, besonders aber die politisch aktiven, ein gestörtes Verhältnis zur sogenannten „Intelligenz" hatten. Sie waren allgemein intellektuellenfeindlich. Ich führe das z.T. auf eine verfehlte Politik der KPD in den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts zurück. In dieser Zeit hatte die KPD einen nicht geringen Einfluß auf die Arbeiterklasse. In chemischen Großbetrieben lernte ich noch eine andere Ursache für die Intelligenzfeindlichkeit der Arbeiter kennen. Sie hatten er-

lebt, daß eine große Zahl von leitenden Mitarbeitern, von Direktoren, Chemikern und Ingenieuren in der Zeit nach 1933 zu Trägern der nationalsozialistischen Ideologie wurden und Grundsätze wie das „Führerprinzip", die „Volksgemeinschaft", „Volk ohne Raum" aktiv vertraten. Oft blieben dieselben Leute auch nach 1945 ihre Vorgesetzten. Was sollten die Arbeiter davon halten?

Als es nach 1945 zur Bildung von SED aus SPD und KPD kam, wurden in einer „Partei neuen Typs" unglücklicherweise (sicher mit aktiver Unterstützung der sowjetischen Besatzungsmacht) alte KPD-Prinzipien neu belebt. Sie bestanden, mit meinen Worten ausgedrückt, u.a. in:

1. dem Anspruch der SED, die einzige führende politische Kraft der Arbeiterklasse zu sein,
2. der Forderung, auf ideologischem Gebiet allein zu bestimmen und von jedem Mitglied Parteidisziplin verlangen zu können,
3. innerhalb der Partei keine Fraktionen zu dulden,
4. die vom Politbüro vorgegebenen Ziele auch ohne Diskussion unbedingt durchzuführen,
5. auch Einsprüche von Intellektuellen nicht zu beachten und diese bei Hartnäckigkeit in der Nähe von Parteifeinden zu rücken.

Diese Grundsätze hatte wohl jedes Parteimitglied verinnerlicht, auch R. Havemann dürfte sie vor 1956 akzeptiert haben. Die konsequente Befolgung dieser Prinzipien (und wir Deutsche sind ja für Konsequenz und Disziplin bekannt!) konnte nur zu einem Debakel für die Freiheit der Wissenschaft führen, besteht sie doch im wesentlichen aus freier Diskussion und Gegenüberstellung verschiedener Auffassungen und Theorien. Aus den Dokumenten (Dok. 112, 120, 133, 140, 149) geht hervor, daß das Politbüro und die ausführenden Organe der Partei, wie z.B. die Abteilung Wissenschaft des ZK, für die Kurt Hager zuständig war, gar nicht daran dachten, der Wissenschaft in irgendeiner Form Autonomie zu gewähren. Sie „stellten" in der Angelegenheit R. Havemann rücksichtslos einsam gefällte Entscheidungen „durch". Und der Präsident der Akademie, das Präsidium und die Klassen gehorchten. Wir wollen zu Gunsten der Verantwortlichen annehmen, daß sie ihre „Treuepflicht" gegenüber der Regierung und ihre „Parteidisziplin" zu diesem Gehorsam verleiteten. Nachdem der peinliche und folgenschwere Ausschluß Ernst Blochs (Dok. 48) zwei Jahre zuvor gezeigt hatte, daß derartige Willkürakte dem

internationalen Ansehen der DAW schweren Schaden zugefügt hatten, ist es der SED-Führung im Grunde nie gelungen, zu Künstlern und Wissenschaftlern ein gutes Verhältnis herzustellen, so daß J. Kuczynskis Tagebuchnotizen (zitiert als Fußnote auf S. 392): „Seit Jahren war die Parteispitze nicht so isoliert von der Intelligenz wie heute" wohl als kompetentes Urteil eines Insiders gelten müssen. Daß die Ereignisse um R. Havemann erst der Auftakt zu späteren Ereignissen sein sollten (W. Biermann, St. Heym u.a.) konnte man 1965 nicht wissen. Daß Differenzen mit Akademie-Wissenschaftlern auch anders als durch Ausschluß ausgetragen werden konnten, zeigen die Beispiele G. Lukacs in Ungarn und A. Sacharow in der UdSSR. Beide nationalen Akademien schlossen ihre Mitglieder nicht aus. In dieser Hinsicht erwies sich die Führung der SED als nicht lernfähig.

Auf einen Umstand muß ich in diesem Zusammenhang hinweisen, der uns Deutschen zu schaffen machte: der Mangel an demokratischen Umgangsformen. Wann hatten wir in Deutschland jemals Gelegenheit, Demokratie zu „lernen" ? Bis auf 14 Jahre Weimarer Republik eigentlich nie! Wir im Osten konnten auch nach 1945 nichts dazulernen, und auch im Westen Deutschlands trat ein Rückschlag ein, als der Ausbruch des Kalten Krieges den Prozeß der Auseinandersetzung mit der Ideologie der NS-Zeit vorübergehend zum Erliegen brachte. Demokratische Umgangsformen prägen unser tägliches Verhalten. Es ist ein Unterschied, ob zunächst Autoritätsglaube oder Appell an die eigene Verantwortung gefordert werden - und auch darin bestand unser Versagen ganz allgemein. Sich nicht der „amtlichen" Meinung anzupassen, ist eine demokratische Tugend, die uns R. Havemann vorgelebt hat (Dok. 43). Auch heute besteht bei uns in dieser Hinsicht, so will mir scheinen, ein gewisser Nachholbedarf. Die Deutsche Akademie der Wissenschaften hätte sich in die Angelegenheit Havemann gar nicht hineinziehen lassen dürfen (Dok. 43). Sie hätte endlich ihr Korrespondierendes Mitglied R. Havemann vor unsachlichen Angriffen schützen müssen! Vor allem aber hätte sie ihr eigenes Statut achten müssen und es nicht wie ein wertloses Stück Papier beiseiteschieben dürfen! Aber eine Persönlichkeit, die die DAW vor diesen Fehlern bewahrte, war nicht in Sicht, jedenfalls nicht in verantwortlicher Stellung.

Der zweite Fall dieser Buchbesprechung sei der Betrachtung von unten gewidmet! Wie haben wir als Havemanns Kollegen zu ihm gestanden? Uns war Havemann als begeisterter Kommunist, der gegen Hitler gekämpft hatte und der noch in Westberlin konsequent für eine Friedens-

politik eintrat, bekannt geworden. Hier seien zunächst einmal persönliche Erinnerungen des Rezensenten, der an beiden Sitzungen der Klasse für Chemie, Geologie und Biologie am 13. Januar und am 14. Februar 1966 (Dok. 50, 73) teilgenommen hat, in denen die Frage Havemanns behandelt wurde, gegeben.

Unter vielen Mitgliedern der Klasse herrschte Unbehagen darüber vor, sich überhaupt mit der Frage R. Havemann befassen zu müssen. Diejenigen Mitglieder, die bereits dem Vorschlag von P. A. Thießen aus dem Jahre 1961, Havemann zum Korrespondierenden Mitglied zu wählen, nicht zugestimmt hatten und dies auch mit dem ungenügenden Nachweis der naturwissenschaftlichen Leistungen Havemanns begründet hatten, zeigten eine gewisse Schadenfreude gegenüber den Initiatoren des Vorschlags von 1961: „Jetzt habt ihr den Salat". Viel größer war jedoch die Befürchtung, daß die Arbeit der Klasse in politische Verwicklungen hineingezogen werden konnte, die unabsehbar waren.

Keines der Klassenmitglieder hatte sich eingehender mit Havemanns Kritik am Politbüro befaßt. Es genügte, daß sich die Vorlesung Havemanns „Philosophische Aspekte naturwissenschaftlicher Probleme" nannte, um Desinteresse auszulösen. Entscheidend waren die im Vordergrund der Diskussion stehenden Punkte: Konflikte mit der Staatsgewalt und Publikationen in den westlichen Medien. Dazu kam für einige Klassenmitglieder das Unbehagen über erhaltene Briefe, die sie zu einer unmittelbaren Stellungnahme herausforderten. Ein deutlicher Druck der Abteilung Wissenschaft des ZK auf die Parteimitglieder in der Klasse, besonders auf die, die Funktionen in der DAW und in der Forschungsgemeinschaft innehatten, erhöhte die Brisanz der Situation. Je nach ihrem Charakter versuchten einzelne Mitglieder, mit der Lage fertigzuwerden. Der pflichtbewußte parteilose H. Klare stellte seine Loyalität gegenüber der Staatsmacht in den Vordergrund, der sehr exakte, ebenfalls parteilose Sekretar E. Lehmann legte Wert auf Einhaltung der Statuten, uns alle bewegte die Überzeugung, wenn nur die Klasse bald aus dieser ungeliebten Situation heraus wäre. Kurzum die Klasse für Chemie erwies sich nicht als besser als die anderen Institutionen der Akademie. Aus heutiger Sicht bleibt festzustellen, daß wir als Mitglieder der Klasse Chemie zwar unser Fachgebiet repräsentierten, aber der Forderung, gleichzeitig auch politisch aktive Bürger zu sein, nicht gerecht wurden.

Seinen Fachkollegen wurde R. Havemann durch das Lehrbuch „Einführung in die chemische Thermodynamik", Berlin 1957, bekannt. Im Vor-

wort dieses Lehrbuches äußert er die Absicht, die von ihm vertretene Philosophie, den dialektischen Materialismus, an geeigneter Stelle zu behandeln. Tatsächlich finden sich auf den Seiten 153 - 165 des Lehrbuches philosophische Betrachtungen anläßlich der Besprechung des Entropiesatzes und der Schlußfolgerung eines allgemeinen Wärmetodes des Universums. Havemanns Beweisführung in dieser bereits von F. Engels aufgeworfenen Frage wirkt auch heute nicht ganz überzeugend. Von einem Gewinn der Naturwissenschaften durch die Philosophie des dialektischen Materialismus kann keine Rede sein. Wenn jedoch Havemann auf Seite 165 schreibt:" Diese Behauptungen sind vielmehr ein Ausdruck dafür, daß die Vertreter rückständiger Gesellschaftsverhältnisse wohl die allgemeine Auflösung ihrer Ordnung bemerken, für die Entstehung einer neuen Ordnung aber blind sind", so lehnten wir als Kollegen derartige weitgehende Schlußfolgerungen ab.* Wir Naturwissenschaftler wenden zwar Elemente des dialektischen Materialismus in unserer eigenen experimentellen und theoretischen Arbeit an, je nach Problem auch Methoden der mathematischen Logik, aber die Erfahrung lehrt uns, daß der dialektische Materialismus als Philosophie kaum einen Einfluß auf unsere einzelnen Spezialdisziplinen hat. Auch im Jahre 1980 konnte H. Hörz in einer Plenarsitzung der Akademie lediglich feststellen: „Die Entwicklung der materialistischen Dialektik als Methode (Denkweise) ... erfordert große Anstrengungen" (Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften der DDR 6 G, 1980, H. Hörz „Materialistische Dialektik und Wissenschaftsentwicklung", S. 27).

Lange Zeit hatten die Wissenschaften im Mittelalter die Rolle einer „Magd der Theologie" (ancilla theologiae) zu spielen, jetzt wollten wir nicht die Naturwissenschaften zu einer „ancilla philosophiae" machen. Das wurde in der UdSSR nach 1945 versucht. Im Jahre 1947 begann der Kampf gegen moderne Forschungsrichtungen der Biologie, die unwissenschaftliche Anschauung eines Lyssenko wurde zum ideologischen Leitbild erhoben. Neue Forschungsgebiete wie die Kybernetik, die Informationstheorie oder die Psychologie wurde geächtet. In der Chemie richteten ab 1950 die Dogmatiker ihren Kampf gegen die von hervorragenden Gelehrten wie L. Pauling, J. C. Slater und E. Hückel seit 1931 entwickelte Resonanztheorie der Molekülstruktur. In allen diesen Fällen erlitten die dogmatischen Philosophen Niederlagen. Auf den Gebieten

* Das betrifft die Ableitung aus einem naturwissenschaftlichen Gesetz. Unsere heutige Erfahrungen zeigen, daß H. so unrecht nicht hatte.

Kybernetik und Informationstheorie fügte diese Entwicklung der sowjetischen Wissenschaft ernsthafte Schäden zu. Deswegen war es nicht verwunderlich, daß wir Naturwissenschaftler der DDR die Beschäftigung mit der Philosophie zum größten Teil für eine „brotlose" Kunst hielten. Sicher war das etwas übertrieben, und darf keineswegs als eine generelle Philosophie-Feindschaft aller Naturwissenschaftler verstanden werden, aber als unser Fachkollege R. Havemann zu einer Zeit, da wir nach Wegen zur besseren wissenschaftlichen Fundierung von Produktion und Technik suchten, und zwar im Rahmen des Neuen Ökonomischen Systems, sich mit Philosophen in Leipzig (September 1962) über philosophische Fragen herumschlug, da brachte ich z.B., um nur von mir zu sprechen, kein Verständnis für sein Vorgehen auf. Dieselbe Haltung bezog ich gegenüber der im Oktober 1963 begonnenen Vorlesung „Philosophische Aspekte naturwissenschaftlicher Probleme" an der Humboldt-Universität. Daß die angeschnittenen Probleme bald in allgemeine Fragen zur Bekämpfung von dogmatischen Entstellungen des Marxismus übergehen würden, erkannte ich damals nicht. Dank des Wirkens von G. Klaus und anderen Philosophen waren wir Naturwissenschaftler in der DDR vor Angriffen gegen Theorien und Vorstellungen, die man hätte idealistisch interpretieren können, auf unseren Fachgebieten weitgehend verschont geblieben. Ich trug also in meinen Vorlesungen über physikalische Chemie weiterhin über die Resonanztheorie der chemischen Struktur vor, ohne daß jemand daran Anstoß nahm.

Besonderen Unwillen hatte R. Havemann bei der SED-Führung mit seinem im Dezember 1965 im „Spiegel" veröffentlichen Artikel „Die Partei ist kein Gespenst. Plädoyer für eine neue KPD" (Dok. 15) erregt. In der Tat war dieser Artikel zum damaligen Zeitpunkt sehr brisant. In der Bundesrepublik Deutschland war die alte KPD seit 10 Jahren verboten, die Veröffentlichung im „Spiegel" konnte mißverstanden werden, jedenfalls war sie vor Mißbrauch nicht geschützt.

R. Havemann entwirft in seinem Artikel ein Konzept für eine neue KPD (Dok. 15), wobei er folgende Prinzipien entwickelt: Auf der Grundlage einer breiten Demokratisierung unter Wahrung öffentlicher Kritik und bei Bestehen einer Opposition kann der schädliche Zentralismus überwunden werden. Der Dogmatismus sollte durch eine Koexistenz auf ideologischem Gebiet unter Einbeziehung aller aktueller Ideen abgelöst werden. Da der Stalinismus tief in der Parteistruktur begründet ist, muß eine Herrschaft des Parteiapparates unmöglich gemacht werden. Die neue Partei sollte ihre Stellung zum Pazifismus und zur parlamentarischen

Demokratie klären. Die sozialistische Gesellschaft, die als Ziel bleibt, sollte den Bürgern mehr demokratische Rechte bieten als der bürgerliche Staat. Unentwickelt bleiben in dem Konzept Fragen der Volkswirtschaft, der Planung und der Wissenschaft. Der Entwurf Havemanns richtete sich gegen eine doktrinäre Anwendung des Marxismus. Allgemein neigen Ideologien dazu, in schnellebigen Perioden der Entwicklung zu erstarren und dabei ihren Aufgaben nicht mehr gerecht zu werden. Die Grundsätze seines Konzeptes sind heute noch modern und sollten auch heute von linken Parteien sorgfältig zur Kenntnis genommen werden.

Es ging R. Havemann um ein breites öffentliches Forum für die Diskussion seiner Ideen. Er fand diese Öffentlichkeit z.B. unter den Studenten, die seine Vorlesung „Philosophische Aspekte naturwissenschaftlicher Probleme" hörten. Aber das war natürlich nicht genug. Da ihm die Öffentlichkeit in der DDR versperrt blieb, benutzte er westdeutsche Medien für seine Publikationen (Dok. 15, 34). Im Zeichen des Kalten Krieges, der im wesentlichen über die Medien geführt wurde, war das natürlich mit gewissen Risiken verbunden. Tatsächlich sind entsprechende Mißdeutungen aufgetreten. In der Mehrzahl mißbilligten wir damals Havemanns Vorgehen (Dok. 43, 80, 140). Wir sahen und hörten zwar regelmäßig das Westfernsehen oder den Westrundfunk, aber sie verwendeten oft eine „kämpferische" Sprache, die uns Intellektuellen schon bei Sendungen der Medien der DDR mißfiel. Wie dem auch sei: R. Havemanns Publikationen im Westen fanden keine mehrheitliche Zustimmung bei uns. Mit unserem heutigen Wissen sehen wir das natürlich anders. Auch das stellt ein Problem dar, das man nur aus der Sicht der damaligen Zeit sehen und bewerten sollte.

R. Havemann war ein typischer Einzelkämpfer. Bundesgenossen in seinem ideologischen Kampf systematisch zu suchen, lag ihm nicht. Er vertraute ganz auf die Überzeugungskraft seiner Argumente. Mit ihrer Hilfe gewann er zwar Mitstreiter, aber sein Impetus hinderte ihn, wirkliche Bündnispartner zu haben, ja oft überraschte er selbst seine Freunde durch Spontaneität. Er liebte schroffe Formulierungen, sicherlich um damit seine ideologischen Gegner zu eindeutiger Stellungnahme herauszufordern. Aber in der Strategie des Herangehens an die Probleme war er der Diplomatie (und dem Monopol der Gewalt) seiner Gegner nicht gewachsen. Seine Reaktionen auf einzelne Phasen der Gewaltanwendung gegen ihn wirken oft etwas blauäugig und naiv. So bestürmte er monatelang das Politbüro-Mitglied Kurt Hager (Dok. 7, 9, 10) um eine Aussprache, die ihm nie gewährt wurde, ohne zu erkennen, daß K. Hager

längst schon durch entsprechende zentrale Festlegungen nicht mehr Herr selbständiger Entscheidungen war. Auch war der Zeitpunkt der Havemannschen Angriffe ungünstig gewählt. Wenn er nur bis 1968 hätte warten können, so hätte er zweifellos eine größere Wirkung erzielt.

Aber das sind Überlegungen von Leuten mit 30 Jahren mehr Erfahrungen im historischen Geschehen. Welche Gründe Robert Havemanns Vorgehen wirklich beeinflußten, werden wir wohl nie ganz erfahren.

Die abgedruckten Dokumente vermitteln über das Vorgehen R. Havemanns hinaus eine Fülle von Einblicken in das Verhalten angesehener Wissenschaftler. So diskutierte die Klasse Medizin ernsthaft die Frage, ob die Hartnäckigkeit Havemanns nicht auf geistige Defekte schließen lasse (Dok. 106). Auch andere Wissenschaftler wollten das Unbehagen, das ihnen die politische Diskussion mit Havemann bereitete, mit Hinweisen auf die geistige Zurechnungsfähigkeit des Autors begründen. Andererseits vermitteln zahlreiche Einsprüche, unter anderen z.B. von M. Steenbeck und K. Mothes einen Einblick, daß der Kampf um Einhaltung des Statutes doch wenigstens in Ansätzen geführt wurde. Diese Diskussionen führten auf die brisanten Fragen zu: "Wie ist die Loyalität gegenüber der Regierung der DDR mit dem gesamtdeutschen Charakter der Akademie zu vereinbaren"? Oder: „Welche Pflichten hat ein an der Akademie tätiger Wissenschaftler gegenüber dem Staat und der Gesellschaft"? Es wurde sehr bald erkannt, daß diese Fragen auch in dem erst wenige Jahre alten Statut nicht ausreichend beantwortet wurden. Schließlich wurde die Arbeit an einem neuen Statut aufgenommen, das dann auch im Jahre 1984 eingeführt wurde. Der Name der Akademie war bereits 1970 in „Akademie der Wissenschaften der DDR" geändert worden. Das neue Statut führte zu einem neuen Status der Mitglieder, die in der Bundesrepublik wohnten („Auswärtige"), aber leider auch zu einer ausdrücklichen Bindung an die Beschlüsse der SED. Daß damit ein Argument geliefert wurde, nach der Vereinigung beider deutscher Staaten der Akademie mit juristischen Spitzfindigkeiten das Recht abzusprechen, als Nachfolgerin der Preußischen Akademie zu gelten, und sie kurzerhand aufzulösen, gehört zu den bedauerlichen Entwicklungen der jüngsten Zeit.

Beeindruckend für mich ist z.B. der Brief von Heinrich Böll und Martin Walser an den Staatsratsvorsitzenden Walter Ulbricht vom 25.01.1966 (Dok. 35). Sie weisen auf den gemeinsamen Kampf um den Frieden hin (..."in einer gefährlich geteilten Welt").

Intellektuelle tragen auch unter schwierigen Bedingungen Verantwortung für die Politik in Deutschland („...nur mit äußerster Vorsicht ist politische Macht zu gebrauchen"). Dabei störe die Behandlung Havemanns und die Maßregelung von Schriftstellern und Künstlern in der DDR erheblich.

Oft wird Havemann im selben Atemzug mit Stefan Heym genannt. In der Tat ist ihr Anliegen meist identisch: beide wollen eine bessere leistungsfähigere sozialistische Gesellschaft. Besonders St. Heym wurde als Dissident in der DDR in allen Medien der Bundesrepublik hochgelobt. Nach der Vereinigung beider deutscher Staaten las man es vielen Orts anders. St. Heym mußte um offizielle Drucklegung seiner Eröffnungsrede als Alterspräsident des Bundestages monatelang kämpfen, und auch das Schweigen, das die Bundesregierung seiner Antrittsrede entgegenbrachte, zeigte die veränderte Lage an. Man muß den Herausgebern des Materials dankbar sein für die Bereitstellung von 156 Dokumenten im Wortlaut. Sie haben damit die Grundlage für die Analyse eines wichtigen Details des wissenschaftlichen Lebens in der DDR geschaffen. Sparsame Kommentare zwischen den einzelnen Dokumenten führen zu einem besseren Verständnis für den tatsächlichen Ablauf der Ereignisse. Die einleitenden Artikel „Vom Zweifel zum Dissens" (Bernd Florath) und „Ein ´akademie-internes´Szenario" (Sylvia Müller) sind von den Erfahrungen, die wir mit den Ideen Havemanns bis heute machten, bestimmt. Sie beleuchten als politische Retrospektive die damaligen Ereignisse. Zweifellos kann man aus ihnen die Lehre ziehen, daß ohne Demokratie in der Gesellschaft, ohne Freiheit der Wissenschaft und des Individuums, ohne Treue der Institutionen zu ihren Statuten eine moderne Gesellschaft nicht bestehen kann.

Karl-Heinz Bernhardt

Die Entdeckung der Stratosphäre - ein Ereignis der Berliner Wissenschaftsgeschichte[1]

In Mitteilungen vom 28. April des Jahres 1902 an die Französische bzw. vom 1. Mai des gleichen Jahres an die Preußische Akademie der Wissenschaften berichteten L. Teisserenc de Bort (1855-1913) und R. Assmann (1845-1918) über den Nachweis einer warmen Luftschicht in Höhen oberhalb etwa 10 km.

Die Entdeckung der seit dem Jahre 1908 so genannten Stratosphäre gehört somit gleichermaßen der Pariser wie der Berliner Wissenschaftsgeschichte an, mit der sie ideengeschichtlich durch die Beiträge großer Berliner Physiker des 19. Jahrhunderts (H.W. Dove, H.v. Helmholtz, W.v. Bezold u.a.) zur Begründung der Meteorologie als exakter Wissenschaft, institutionengeschichtlich durch das 1847 gegründete, 1885 reorganisierte Preußische Meteorologische Institut und dessen seit Oktober 1899 in Reinickendorf betriebene Aeronautische Observatorium verknüpft ist, dem noch der 1881 gebildete "Deutsche Verein zur Förderung der Luftschiffahrt in Berlin" erwähnend hinzuzufügen wäre.

Die von Sir Napier Shaw im Jahre 1926 rückblickend als "the most surprising discovery in the whole history of meteorology" apostrophierte Entdeckung der Stratosphäre fiel zeitlich annähernd mit den großen Entdeckungen der experimentellen (Röntgenstrahlen, Elektron, Radioaktivität) und den Umwälzungen im Weltbild der theoretischen Physik (Quantenhypothese, Relativitätstheorie, statistische Physik) um die Jahrhundertwende zusammen. Die genannte Entdeckung selbst erfolgte demgegenüber mit klassischen physikalischen Meßmethoden an Bord unbemannter Registrierballone und überschritt in keiner Weise die Begriffs- und Vorstellungswelt der klassischen Physik, bezeichnete aber für die Meteorologie einen Meilenstein in der Erschließung der dritten Dimension, die sich im weiteren als Ereignis- und Nachweisfeld globalen Wandels (solar-terrestrische Einflüsse über photochemische Prozesse und

---

1 Zusammenfassung eines Vortrages, gehalten vor der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 20. Januar 1994

dynamische Koppelung verschiedener Atmosphärenschichten) und als von existentieller Bedeutung für den irdischen Lebensraum erweisen sollte (stratosphärische Ozonschicht).

Die Erforschung der freien Atmosphäre hatte mit den zu wissenschaftlichen Zwecken unternommenen Freiballonfahrten begonnen, wie sie Lavoisier gemeinsam mit anderen französischen Gelehrten noch im Jahre 1783, dem Jahr der ersten Ballonaufstiege überhaupt, vorgeschlagen hatte. Besondere Aufmerksamkeit galt während des gesamten 19. Jahrhunderts dabei der Suche nach einem einfachen Gesetz für die vertikale Temperaturabnahme in der Atmosphäre bzw. der Diskussion verschiedener formelmäßiger Ansätze, die eine Temperaturabnahme nach Art einer arithmetischen oder einer geometrischen Reihe mit der Höhe oder etwa als lineare Funktion des Luftdruckes postulierten. Unregelmäßigkeiten im vertikalen Temperaturprofil, wie z.B. die bereits während einer Ballonfahrt von Gay-Lussac im September 1804 über Paris beobachteten Inversionsschichten (Temperaturzunahme mit der Höhe), wurden von den meisten Bearbeitern als Störungen des normalen Temperaturverlaufs mit der Höhe betrachtet und bei der statistischen Aufbereitung der Meßwerte eliminiert. Erst Assmann und Berson teilten bei ihrer Bearbeitung des voluminösen Datenmaterials der "Berliner Wissenschaftlichen Luftfahrten" (1888-1899, "Hauptfahrten" 1893/94) nicht nur alle Meßwerte in extenso mit, sondern widmeten den "Störungs-schichten" im vertikalen Temperaturverlauf als einem Element des Schichtenbaus der Atmosphäre - nach heutiger Terminologie vornehmlich im Bereich der unteren Troposphäre - besondere Beachtung.

Die genannten wissenschaftlichen Luftfahrten bezeichneten aber auch insofern eine neue Qualität in der Erforschung der freien Atmosphäre, als erst mit Hilfe des von Assmann konstruierten und noch im Jahre der entsprechenden Akademiemitteilung (1887) erstmals bei einer Freiballonfahrt erprobten Aspirationspsychrometers - bis heute ein Standardinstrument für die meteorologische Temperatur- und Feuchtemessung - eine einwandfreie Lufttemperaturbestimmung im Freiballonkorb möglich und bei allen folgenden bemannten Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten realisiert wurde.

Bei den vorangegangenen wissenschaftlichen Ballonfahrten waren demgegenüber Strahlungsschutz und Ventilation der Temperaturmeßfühler, von wenigen Ausnahmen abgesehen, unzureichend, was als Folge intensiver Sonnenbestrahlung und fehlender Luftbewegung im Ballonkorb, evtl.

noch zusätzlich der Körperwärme des Beobachters, zu einer erheblichen Überhöhung der Temperaturmeßwerte gegenüber der wahren Lufttemperatur in Fahrthöhe geführt hatte, welcher Umstand lange Zeit unbeachtet blieb. Die Zunahme dieses systematischen Temperaturmeßfehlers mit der Höhe, verursacht durch Abnahme der Luftdichte und der Steiggeschwindigkeit des Ballons bei im Mittel zunehmender Insolation, täuschte eine Abnahme des vertikalen Temperaturgefälles mit der Höhe vor und nährte die Annahme, die Temperatur nähere sich mit zunehmender Höhe in der Atmosphäre asymptotisch dem Wert an ihrer Obergrenze bzw. der "Weltraumkälte", was immer man darunter verstehen wollte.

Die im Rahmen der Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten ausgeführten Temperaturmessungen mit außerhalb des Ballonkorbes installiertem Aspirationspsychrometer mit doppeltem Strahlungsschutz und federwerkgetriebenem Zentrifugalaspirator, die praktisch frei von Strahlungsfehlern waren, zeigten dagegen eine bis in die größten Aufstiegshöhen unverändert starke oder mit der Höhe sogar noch gesteigerte Temperaturabnahme. Den Bearbeitern der Aufstiegsdaten war zwar klar, daß sich die beobachtete Temperaturabnahme nicht unbegrenzt fortsetzen konnte, da ansonsten in 30 oder 40 km Höhe der absolute Nullpunkt der Temperatur erreicht wäre; jedoch griffen sie zur Lösung dieses Widerspruches wiederum nur auf die Hypothese einer asymptotischen Temperaturabnahme mit der Höhe oberhalb eines vermuteten Wendepunktes der Temperaturprofilkurve zurück, offenbar ohne die Existenz einer Schichtgrenze nach Art der - in heutiger Bezeichnungsweise - Tropopause in Betracht zu ziehen. Letztere hätte als Untergrenze der Stratosphäre bei den Aufstiegshöhen der bemannten Freiballonfahrten des 19. Jahrhunderts (maximal 9155 m bei der Alleinfahrt von A. Berson mit Sauerstoffbeatmung am 4.Dezember 1894) freilich nur unter besonders günstigen Umständen erreicht werden können.

Tatsächlich aber drangen bereits im vergangenen Jahrhundert unbemannte Ballone mit Registriergeräten an Bord in die Stratosphäre ein, ohne daß die zur Erde zurückgelangten Aufzeichnungen richtig interpretiert worden wären.

Die zuerst von Hermite und Besançon in Frankreich seit 1892 erfolgreich gestarteten volumenkonstanten Registrierballone aus Papier oder Goldschlägerhaut zeigten eine mit der Höhe abnehmende Steig- und damit Ventilationsgeschwindigkeit am Temperaturmeßfühler, was wiederum

einen erheblichen Strahlungsfehler in großen Höhen - ganz besonders während des "Schwimmens" des Ballons in Gipfelhöhe - nach sich zog. So erbrachte die Barothermographenregistrierung während des vermutlich ersten Stratosphärenaufstieges der Geschichte vom 21. März 1893 (angegebene Steighöhe 16 km, nach Neuberechnung ca.14,5 km) oberhalb 12,5 km Höhe keine brauchbaren Temperaturaufzeichnungen.

Assmann führte im Rahmen der Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten in den Jahren 1894-97 insgesamt 9 Registrierballonaufstiege unter Einsatz einer photographischen Registrierung für Luftdruck und -temperatur sowie einer selbsttätigen Aspirationseinrichtung durch, von denen erstmals die Aufstiegskurve vom 7. Juli 1894 und später noch weitere Registrierungen eindeutig das Eindringen des Ballons in die Stratosphäre belegen. Assmann selbst aber deutete die von ihm veröffentlichten Meßdaten als strahlungsverfälscht, glaubte an ein Versagen der künstlichen Aspiration und stellte die vermeintlich gescheiterten Versuche, einwandfreie automatische Temperaturregistrierungen aus großen Höhen zu erhalten, schließlich ein!

Teisserenc de Bort begann im Jahre 1896 an seinem Privatobservatorium in Trappes bei Paris mit Registrierballonaufstiegen unter Verwendung mechanisch registrierender Barothermographen, wobei durch regulierte Ballastabgabe eine gleichmäßige Steiggeschwindigkeit gewährleistet werden sollte und überdies zur Vermeidung des Strahlungsfehlers zahlreiche Nachtaufstiege durchgeführt wurden. So erreichte im Rahmen der ersten internationalen wissenschaftlichen Ballonfahrten ein französischer Ballon in der Nacht vom 13. zum 14. November 1896 unzweifelhaft die Stratosphäre, ohne daß T. de Bort oder die anderen Autoritäten jener Zeit die wahre Bedeutung der Meßergebnisse erkannt hätten.

In seiner eingangs genannten Akademiemitteilung konnte sich Teisserenc de Bort schließlich auf eine große Zahl von Registrierballonaufstiegen aus den Jahren 1899-1902 berufen, von denen 236 eine Höhe von 11 km überschritten hatten, so daß der Autor bereits die unterschiedliche Höhenlage der "isothermen Zone" in den einzelnen Sektoren der Hoch- und Tiefdruckgebiete erkannte und insofern am Anfang einer Tropopausenklimatologie steht.

Assmann hingegen war im Jahre 1901 zur Verwendung geschlossener Gummiballone übergegangen, die mit steigender Geschwindigkeit bis zur Platzhöhe steigen und so eine ausreichende natürliche Ventilation des Temperaturmeßfühlers trotz mit der Höhe abnehmender Luftdichte sicher-

stellen. Seine Mitteilung "über die Existenz eines wärmeren Luftstromes in der Höhe von 10 bis 15 km" enthält eine detaillierte Diskussion von lediglich 6 Registrierballonaufstiegen, wobei Assmann zusätzlich auf die gute Übereinstimmung einer Temperaturregistrierung mit den simultanen Aspirationspsychrometermessungen verweisen konnte, die A. Berson und R. Süring während ihres denkwürdigen Hochaufstieges vom 31.Juli 1901 angestellt hatten, der die Ballonfahrer im offenen Ballonkorb und mit einer primitiven Sauerstoffbeatmung zwar nicht bis in die Stratosphäre, wohl aber bis in eine von der bemannten Luftfahrt über nahezu drei Jahrzehnte nicht wieder erreichte Rekordhöhe von über 10500 m geführt hatte.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, daß von der erstmaligen zweifelsfreien Registrierung eines entsprechenden Temperaturprofils bis zur Publikation über die fundamentale Entdeckung einer wärmeren oder zumindest isothermen Atmosphärenschicht in großer Höhe fast 8 Jahre vergingen. Voraussetzung für diese Entdeckung waren die Entwicklung eines vom Strahlungseinfluß freien Temperaturmeßverfahrens in der freien Atmosphäre - also unter anderen als den geläufigen experimentalphysikalischen Laboratoriumsbedingungen - sowie der Einsatz selbstregistrierender Meßgeräte für unbemannte, freifliegende Ballone. Eine bedeutsame Rolle spielte dabei die Möglichkeit eines Vergleiches zwischen in situ Messungen durch erfahrene Forscher und mittels Registriergeräten, wenn auch die Stratosphäre selbst für bemannte Aufstiege zunächst noch unzugänglich blieb.

Die Anteile Teisserenc de Borts und Assmanns an der Entdeckung der Stratosphäre sind angesichts differenzierter Beiträge zur Meß- und Aufstiegstechnik sowie unterschiedlicher Verfügbarkeit, Bearbeitungsweise und Interpretation von Beobachtungsdaten als jeweils eigenständig zu werten. Im Gegensatz etwa zum erstmaligen Nachweis der Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe im Jahre 1648, der zur experimentellen Bestätigung der neuen Lehre vom Luftdruck als Folge des Gewichtes der Luft geplant und geführt worden war, kam die Entdeckung der Stratosphäre gänzlich unerwartet. Sie verlangte nach einer theoretischen Deutung, die zunächst mit der Anwendung der Konzeption des Strahlungsgleichgewichtes durch Gold, Humphreys und vor allem durch Emden auf die Erdatmosphäre unternommen wurde, die später eine Erweiterung zur Theorie des strahlungskonvektiven Gleichgewichtes der Atmosphäre erfuhr.

Schließlich illustriert die Entdeckungsgeschichte der Stratosphäre den Charakter der Meteorologie als einer wesentlich empirisch begründeten Naturwissenschaft, der bis in unsere Zeit durch weitere, nicht minder überraschende und unvorhergesehene Entdeckungen bestätigt wird. Wir nennen in diesem Zusammenhang nur die ein halbes Jahrhundert nach der Stratosphäre von Scherhag entdeckten plötzlichen stratosphärischen Erwärmungen ("Berliner Phänomen", 1952), die annähernd 26-monatige Schwankung im Strömungsregime der äquatorialen Stratosphäre (QBO, 60er Jahre), den drastischen stratosphärischen Ozonabbau im antarktischen Frühling ("Ozonloch", 80er Jahre, in Bodenmeßdaten bis in die zweite Hälfte der 70er Jahre rückdatierbar) und die durch Eisbohrkerndaten nachgewiesene Existenz abrupter Klimaänderungen im Glazial-Interglazial-Zyklus.

Ausführliche Darstellung mit Aufstiegsdiagrammen und Literaturnachweisen in:

Bernhardt, K.: 100 Jahre Ballonflüge in der Stratosphäre? In.: Schröder, W., Colacino, M., (eds.): Geophysics: Past achievements and future challenges. Newsletters of the Interdivisional commission of IAGA, No. 24, 1994, 89-103.

Bernhardt, K.: Die Entdeckung der Stratosphäre. In: Hoffmann, D., Bevilacqua, F., Stuewer, R. (eds.): The emergence of modern physics. Proc. Conf. Commemorating Century Phys., Berlin 22-24 March 1995. La Goliardica Pavese, Pavia (1996), 327 - 346.

Mitteilung der Leibniz-Sozietät

Höhere gesellschaftliche Legitimität für die Orthographiereform nötig

Die Leibniz-Sozietät hat auf ihrem Februar-Plenum 1997 in einer Erklärung zu der beabsichtigten Orthographiereform Stellung genommen. Darin wird gefordert, die Reform nicht vornehmlich als Verwaltungsakt zu behandeln, sondern ihr wegen der Tragweite der von ihr erfaßten Veränderungen eine höhere gesellschaftliche Legitimation zu verleihen. Die demokratische und wissenschaftliche Öffentlichkeit dürfe in dieser Frage nicht mißachtet werden. Es sei zu berücksichtigen, daß die Reform weiteste Bereiche der geistig-kommunikativen Tätigkeit der Gesellschaft, von der schönen Literatur, dem Bildungswesen und der Presse bis zu den schriftlichen Mitteilungen, berühre.

Die Sozietät als eine wissenschaftliche Vereinigung stelle fest, daß die Reform auch unter linguistischen Gesichtspunkten erhebliche Mängel zeigt und vorhandenen wissenschaftlichen Vorlauf nicht ausschöpft. Die Wissenschaftler warnen vor der Gefahr, daß sich ein Provisorium durch administrativ verfügte Überführung in den Alltag geschichtlich verfestigen könne. Zwar würden für die Schule bestimmte Probleme gelöst, es entstünden jedoch zugleich neue. An einigen Punkten verstoße die Reform zweifellos auch gegen derzeitige Tendenzen der spontanen Sprachentwicklung.

Abschließend heißt es in der Erklärung:

„Durch die Orthographiereform von 1996 werden in einer gesellschaftlichen Situation, in der mit ökonomischen Begründungen soziale Rechte und humanitäre Leistungen abgebaut werden, beträchtliche finanzielle Mittel, Aufwendungen und individuelle Anstrengungen vertan, wodurch für lange Zeit die Möglichkeit einer wissenschaftlich fundierten und durch einen weitreichenden Konsens bekräftigten Neuregelung versperrt wird. Dagegen machen wir als wissenschaftliche Gesellschaft unsere Bedenken geltend."

Die Leibniz-Sozietät hat den Wortlaut der Erklärung verschiedenen zuständigen Bundesministerien sowie staatlichen Stellen des deutschsprachigen Auslands zugestellt.

Karl Lanius: Die Erde im Wandel, Grenzen des Vorhersagbaren. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg-Berlin-Oxford 1995, 337 Seiten

Es gibt immer noch relativ wenige Bücher, die „interdisziplinär" genannt werden können; das vorliegende Buch gehört dazu. Der Autor, ein Hochenergiephysiker, dessen Forschungen in Zeuthen, Dubna und am CERN in Genf in der Fachwelt bekannt sind, unternimmt hier den Versuch einer Prognose des „komplexen Systems der Erde". Nachdem wir am Ende des 20. Jahrhunderts infolge der bewußten und unbewußten Tätigkeit des Menschen das natürliche Gleichgewicht unseres Heimatplaneten bedroht sehen, besteht kein Zweifel an der Aktualität eines solchen Vorhabens. Lanius macht deutlich, daß ein Ausweg aus der Krise in erster Linie mehr Wissen über die komplexen Zusammenhänge und verantwortungsvolles Handeln erfordern. Schon ein Blick auf das Inhaltsverzeichnis verrät die Breite der Sicht des Autors: Entstehung des Sonnensystems, Dynamik der Erdkruste und des Klimasystems, Evolution des Lebens, Bevölkerungsentwicklung, Ozonabbau, Treibhauseffekt usw. Das Werk enthält nur wenige Formeln, dafür aber viele Abbildungen und Tabellen, die eine hohe Dichte von Informationen vermitteln.

Natürlich trägt ein solches Vorhaben immer persönliche Züge und läßt auch Wünsche offen. Als Leser hätte man von einem Physiker auch einen Blick auf den ganzen Kosmos, seine Geschichte und Prognose erwartet. Möglicherweise hätte man auch statt der „Grenzen des Vorhersagbaren" stärker auf die „Möglichkeiten der Prognose" komplexer Systeme orientieren können. Aber der Autor Karl Lanius liebt Spekulationen nicht, er hält sich an das wissenschaftliche Gesicherte.

Das Material des Buches ist ausgezeichnet recherchiert, am besten gefallen dem Rezensenten die Kapitel über Sonnensystem, Erddynamik und Klimasystem. Das Werk ist eine ausgezeichnete Informationsquelle über den modernen Stand der Wissenschaft vom „komplexen System der Erde". Wer sich für die Möglichkeiten der Gestaltung der Zukunft unseres Planeten interessiert und aktiv werden möchte, kann sich in Lanius' Buch die soliden wissenschaftlichen Grundlagen dafür holen.

Werner Ebeling, Berlin

Winfried Schröder und Hans-Jürgen Treder (Hrsg.): Ertel's Potential Vorticity. Interdivisional Commission on History of IAGA and History Commission of the German Geographical Society. 175 S. Bremen-Rönnebeck 1997.

Im Jahre 1996 jährte sich zum 50. Male der Tag der Ernennung von Hans Ertel zum Professor für Geophysik und Direktor des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Humboldt-Universität zu Berlin. Zu diesem Anlaß haben Wilfried Schröder und Hans-Jürgen Treder im Auftrag von Geschichtskommissionen der IAGA und der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft Beiträge, Briefe und Kommentare zu den Veröffentlichungen von Ertel zu hydrodynamischen Wirbelsätzen gesammelt und herausgegeben.

Rund das erste Drittel der Broschüre gibt ausgewählte Veröffentlichungen Ertels mit Bezug auf die im Vordergrund stehende Thematik wieder. In einem Fall ist auch eine Kopie der in spanisch und deutsch handschriftlich gegebenen „Zusammenfassung" beigefügt (S. 43 und 44). Die rezensierte Broschüre reiht sich als 3. Band in eine Reihe von ausgewählten Veröffentlichungen Ertels ein. Diese Zusammenstellung der Ertelschen Originalarbeiten wird grundsätzlich begrüßt, da diese Beiträge sonst nur in verschiedenen zum Teil schwer zugänglichen Publikationsreihen zu finden sind.

Besonders wertvoll, für sich allein und als Material für wissenschaftsgeschichtliche Untersuchungen, sind in einem zweiten Abschnitt Beiträge namhafter Wissenschaftler u.a. auch den USA, Großbritannien und Rußland zum Problemkreis der potentiellen Vorticity sowie im dritten Abschnitt Belege der dankenswerterweise von den Herausgebern angeregten Briefwechsel mit jenen Wissenschaftlern (einschließlich weiterer Kommentare) zusammengefaßt, die jeweils etwa ein weiteres Drittel des vorliegenden Bandes einnehmen. Zwischen dem 2. und 3. Abschnitt gibt es naturgemäß enge Beziehungen und auch Überschneidungen; für den interessierten Nutzer wäre es angenehm, wenn Querverweise angebracht wären. Zum Beispiel ist auf den Seiten 81 bis 83 aus einer Arbeit von J. Reed und F. Sanders ein Abschnitt „5. Application of Ertel's vorticity theorem" reproduziert, ohne daß der Titel dieser Arbeit angegeben wird.

Die zugehörigen Begleitschreiben sind dann auf den Seiten 135 und 136 wiedergegeben.

Die zumeist im 2. Abschnitt des vorliegenden Bandes eingeordneten Beiträge unter anderen vom G.P. Cressmann, R. Hide, B. Hoskins, D.D. Houghton, J. Katz, M.V. Kurgansky, H. Pichler, J. Reed, H. Reuter, C. Truesdell und V. Vitek sind nur zum Teil schon zurückliegende Veröffentlichungen (auch Auszüge aus Büchern, wobei die Quellenangaben für diese Bücher recht lückenhaft sind), im wesentlichen jedoch Arbeiten, die hier zum ersten Mal veröffentlicht werden. Die Herausgeber haben sich eines detaillierten, über die kurze würdigende Einleitung auf Seite 7 bis 11 hinausgehenden Kommentare weitgehend enthalten; die Beiträge belegen schon von sich aus Fruchtbarkeit und wissenschaftliche Reichweite der Ertelschen Ansätze insbesondere zu den Wirbeltheoremen und die ständige Zunahme ihrer Bedeutung in der synoptischen Meteorologie, der Wettervorhersage und anderen Wissenschaftszweigen. Unter anderem werden in einer 1996 erschienenen Arbeit von R. Hide (S. 74 - 76) Analogien zwischen der potentiellen Vorticity in der atmosphärischen Dynamik und dem potentiellen Magnetfeld in der Elektrodynamik ausgewiesen, wovon eine Vereinfachung diagnostischer und prognostischer Studien grundlegender magnetohydrodynamischer Prozesse erwartet wird. W. Schröder und H.-J. Treder legen auf den Seiten 77 bis 80 des rezensierten Bandes unter dem Titel „On Hide's magnetic analogue of Ertel's vorticity theorem" eine relativistische Verallgemeinerung dieser Analogie vor, die mit der 1951 veröffentlichten „neuen klassischen Theorie des Elektrons" von P.A.M. Dirac identisch ist. An anderer Stelle (S. 116) wird von M.V. Kurgansky auf formale Analogien zur Plasmaphysik aufmerksam gemacht. Eine Erweiterung von Ertels Wirbeltheorem im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie wird von J. Katz erwähnt (S. 134).

Das beim Nachweis solcher Analogien angewandte Vorgehen entspricht dem von Ertel oft und mit Erfolg verwendeten Wissenschaftlichen Grundsatz, die Erscheinungen auf einem Teilgebiet der Wirklichkeit (z.B. auf dem der Meteorologie) auf allgemeinere Theoreme eines übergeordneten Wissenschaftsbereichs (u.a. Physik, Mathematik) zurückzuführen.

Mehrfach hervorgehoben und belegt wird, daß die Beschreibung der realen atmosphärischen Vorgänge durch Felder der potentiellen Vorticity und der potentiellen Temperatur (als substantiell invariante Größen bei

adiabatischen Vorgängen) die Erfassung von klimatischen Änderungen erleichtert, die gerade mit diabatischen Vorgängen verbunden sind.

In den Briefen der Wissenschaftler, die Beiträge zu dem vorliegenden Band geliefert bzw. Kommentare verfaßt haben, werden zum Teil Fragen aufgeworfen, die die Motivation Ertels bei seinen wissenschaftlichen Aktivitäten betreffen. Der amerikanische Meteorologe Cressmann stellt sich in seinem Brief vom 8. August 1995 (wiedergegeben auf S. 123/124) die Frage, warum Ertel die Arbeit „Die Unmöglichkeit einer exakten Wetterprognose auf Grund synoptischer Luftdruckkarten von Teilgebieten der Erde" (Meteorol. Z., 58 (1941), 309 - 313) gerade zu dieser Zeit veröffentlichte. Cressmann äußert den interessanten Gedanken, daß die deutsche militärische Führung wegen gelegentlicher meteorologischer Fehlvorhersagen extrem unbefriedigt gewesen sein und zur Bestrafung der Meteorologen tendiert haben könne, Er vermutet, Ertel habe mit dieser Veröffentlichung seinen betroffenen Kollegen und Schülern dabei helfen wollen, zu erklären, warum Fehlvorhersagen nicht zu vermeiden sind. Ertel setzte sich stets für seine Mitarbeiter und Schüler ein, er wird aber schon von der fundamentalen Bedeutung der Erkenntnis der Unmöglichkeit einer exakten Wettervorhersage auf einem Teilgebiet der Erde beeindruckt und auf eine rasche Veröffentlichung bedacht gewesen sein. - M.V. Kurgansky vom Obuchov-Institut für Atmosphärenphysik der Russischen Akademie der Wissenschaften, der mehrere Beiträge zu der vorliegenden Veröffentlichung beigesteuert hat, fragt, warum Ertel im Zeitraum 1957 bis 1967 viele seiner Arbeiten original in spanischer Sprache veröffentlicht hat. Soweit ich mich erinnere, hat hierbei die Erkenntnis der bedeutenden Rolle des Spanischen als Weltsprache im Kreise der Entwicklungsländer eine Rolle gespielt. Seine Wertschätzung, die er Alexander von Humboldt entgegenbrachte, dürfte die Verwendung des Spanischen ebenfalls gefördert haben.

Die vorliegende wissenschaftshistorische Veröffentlichung vermag viele Anregungen auch zu aktuellen Fragen der Wissenschaft zu vermitteln. Die erwähnten redaktionellen Mängel und der etwas leichtfüßige Umgang mit gebotenen bibliographischen Grundsätzen, die verbreitet anzutreffen sind, vor allem aber in der Einleitung und im 1. Abschnitt deutlich werden, wären bei Hans Ertel sicher auf wenig Verständnis gestoßen. Sie sind aber in Bezug auf die Anregungen kaum hinderlich. Es wäre, der leichteren Orientierung halber, zweckmäßig gewesen, auch in diesem Band auf das von G. Kobe zusammengestellte (Gesamt)-„Verzeichnis der wissen-

schaftlichen Veröffentlichungen" Hans Ertels auf den Seiten 319 bis 328 des Bandes 22(1972) der Zeitschrift für Meteorologie zu verweisen.

Wolfgang Böhme, Potsdam

Anzeige

Lassen Sie Ihr Geld hart arbeiten. Und nutzen Sie die Möglichkeit, bis 7,75% oder mehr zu verdienen.

Sie möchten ab 5.000DM gewinnbringend anlegen? Dann sollten Sie folgende Ertragsangebote für eine Kapitalbeteiligung nutzen:

6,25% p.a. bei kurzfristiger Verfügbarkeit
6,50% p.a. + möglicher Gewinnbeteiligung
7.75% p.a.

Rufen Sie uns an: 030/ 4 41 42 25,
Mo. - Do. von 10.00 - 18.00 Uhr
Ihre Ansprechpartnerin: Frau Dr. Christine Kruppke

Weitere Informationen erhalten Sie bei
spree finanz ® ***AG*** Danziger Straße 64, 10435 Berlin

Annotiert:

Dorothea und Günter Stenzel: Das große Lexikon der Nobelpreisträger Verlag Dr. Kovac Hamburg. 2. Auflage 1994

Kernstück des 342 Seiten starken Buches ist das Verzeichnis sämtlicher Nobelpreisträger von 1901 bis 1993. Von Laura Jane Addams bis Richard Adolf Zsigmondy sind alle 638 Laureaten der insgesamt 441 Nobelpreisvergaben aufgeführt. Jedes Stichwort enthält eine kurze wissenschaftliche Vita sowie Verleihungsjahr und wissenschaftliche Disziplin, in vielen Fällen wird auch das wissenschaftlichen Ergebnis genannt, das zur Auszeichnung führte.

Die Autoren haben um das Verzeichnis der Preisträger herum eine Menge nützlicher Informationen gruppiert. In einer Einleitung kann man eine Kurzbiographie von Alfred Nobel, das Schicksal seines Firmenimperiums und eine knappe Entstehungsgeschichte des Nobelpreises nachlesen. Abgedruckt ist auch das Testament Nobels aus dem Jahre 1895. In die aktuelle Auseinandersetzung um Sinn und Widersinn der Nobelpreise mischen sich die Autoren nicht ein.

Der Anhang bereitet das Material nach verschiedenen Gesichtspunkten weiter auf und reichert es mit zusätzlichen Informationen an. So erfährt der Leser, daß die Dotierung der Nobelpreise 1901 150 000 schwedische Kronen betrug und wie die Summe bis 1993 auf 6,7 Mio skr (= 1.340000 DM) anwuchs, weiterhin, in welchen Jahren und Disziplinen keine Nobelpreise vergeben wurden, wer jüngster und wer ältester Laureat in den Preisarten war, wer Mehrfachpreisträger und wie hoch der Frauenanteil war (4,2%). Jüngster Nobelpreisträger war der britische Physiker William Lawrence Bragg mit 25 Jahren, ältester der deutsche Verhaltensforscher Karl Ritter von Frisch, der den Medizinnobelpreis im Alter von 87 Jahren erhielt. Dreimal ausgezeichnet wurden die Organisation ROTES KREUZ der Schweiz und das NANSEN-Amt für Flüchtlingsfragen, Schweiz, das spätere UNO-Flüchtlingskommissariat. Beigefügt ist ebenfalls ein knappes Verzeichnis weiterführender Literatur.

Aufgeführt ist die Verteilung der Nobelpreisträger nach Ländern und ihre namentliche Auflistung nach Land, Jahr und Preisart . Die USA liegen mit 217 Nobelpreisen (= 34,83 % aller vergebenen Preise) vorn, gefolgt von

Großbritannien mit 84 (=13,48%), Deutschland mit 71 (= 11,39) und Frankreich mit 47 (=7,54%). Deutschland hatte bis 1945 44 Laureaten, die Bundesrepublik ab 1950 27. Für Rußland vor 1917 werden 2 Nobelpreise notiert, die Sowjetunion brachte es auf 15 Preisträger (2,41 %). Japan taucht mit 7 Preisträgern erst an 14. Stelle auf, die DDR überhaupt nicht, ihre Wissenschaftler gingen, wie bekannt, bei Nobelpreisverleihungen stets leer aus. Die meisten Preise gab es für Leistungen in der Medizin (157 Preise), in der Physik (144) und in der Chemie (119). Von den deutschen Forschern brachten die Chemiker die meisten Preise ein (27), ihnen am nächsten kamen die Physiker (20).

Die angebotenen Daten eignen sich durchaus zu weiterem Querlesen über das Lexikon hinaus. Naheliegend für diese Zeitschrift war der Vergleich mit der Mitgliederliste der Preußischen / Deutschen Akademie der Wissenschaften / Akademie der Wissenschaften der DDR. Von den 44 deutschen Forschern, die in der Zeit von 1901 bis 1945 einen Nobelpreis erhielten, waren 28, fast zwei Drittel, Mitglieder der Preußischen Akademie der Wissenschaften. 11 von ihnen waren nach 1945 Mitglieder der Deutschen Akademie der Wissenschaften (und, sofern sie 1972 noch lebten, der Akademie der Wissenschaften der DDR): Adolf Butenandt, Otto Hahn, Werner Heisenberg, James Franck (1951 aus der DAW ausgetreten), Gustav Hertz, Richard Kuhn, Max v. Laue, Max Planck, H.-Otto Wieland, R. A. O. Windaus und Otto Warburg. Max Born und Georg Bothe, beide ebenfalls Mitglieder der DAW, erhielten 1954 den Nobelpreis für Physik. Hinzu kam Manfred Eigen, seit 1967 Nobelpreisträger für Chemie, der 1990 zum Auswärtigen Mitglied gewählt wurde (Ordentliches Mitglied seit Oktober 1990), dessen Mitgliedschaft aber schon zwei Jahre später, wie die aller anderen Mitglieder der Gelehrtensozietät der ehemaligen Akademie der Wissenschaften der DDR, von der Berliner Wissenschaftsverwaltung für erloschen erklärt wurde.

38 Nobelpreisträger aus anderen Ländern gehörten der Preußischen Akademie als Auswärtige Mitglieder an. Die Deutsche Akademie der Wissenschaften führte in ihrem Mitgliederverzeichnis 1946 davon noch 20 Laureaten. Mitte 1992 befanden sich unter den Auswärtigen Mitgliedern der Gelehrtensozietät noch 5 Nobelpreisträger: Prigogine (Belgien), Perutz (Großbritannien), Ochea (USA, verstorben 1993), Basow und Prochorow (GUS).

(H. W.)