SITZUNGSBERICHTE DER LEIBNIZ-SOZIETÄT

Band 57 • Jahrgang 2003

trafo Verlag Berlin ISSN 0947-5850 ISBN 3-89626-428-1

Inhalt

01 Gerhard Öhlmann: Katalyse und Automobil - Wege zur Nachhaltigkeit der Mobilität

02 Rolf Löther: Albrecht Daniel Thaer zum 250. Geburtstag

03 Heinz David: Rudolf Virchow - Naturwissenschaftler, Sozialmediziner und Berliner Stadtpolitiker und Lehren aus seinem Wirken für unsere Zeit

04 Hans-Heinz Emons: Jacobus Henricus van't Hoff 1852-1911 und die Chemie und Technologie der Mineralsalze

05 Wolfgang Knobloch: Heisenberg als Akademiemitglied

06 Winfried Hacker: Design Problem Solving und psychologische Unterstützungsmöglichkeiten

07 Bodo Krause: Erkennen diskreter Merkmalsstrukturen. Ein Beitrag zur Untersuchung und Modellierung menschlicher Lernprozesse

Wissenschaftliche Mitteilungen

08 Heinz Kautzleben: Die Zusammenarbeit der wissenschaftlichen Einrichtungen der ehemaligen sozialistischen Länder in Mittel und Osteuropa auf dem Gebiet der Geodäsie und einige ihrer Ergebnisse

09 Jens Taubenheim: Forschungskooperation auf dem Gebiet der solar terrestrischen Physik im Rahmen der KAPG, 1966-1990

10 Jürgen Oberst: Photographische Beobachtung und erfolgreiche Bergung des "Neuschwanstein" Meteoriten

Rezension

11 Günter Vojta: Werner Holzmüller: Hat Einstein recht? Versuch einer Kosmologie

Gerhard Öhlmann

Katalyse und Automobil – Wege zur Nachhaltigkeit der Mobilität

Vortrag in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 16. Mai 2002

1. Automobil und Gesellschaft

Das Automobil ist aus der modernen Welt nicht mehr weg zu denken. Sein gesellschaftliches Image jedoch ist sehr widersprüchlich. Die Wertungen reichen vom Objekt gesellschaftlichen Prestiges bis zur Verdammung als Verschmutzer der Umwelt. Bei allem Für und Wider müssen wir uns doch eingestehen, dass das Automobil uns eine Mobilität verleiht, die kaum jemand mehr missen möchte. Aufgabe kann es deshalb nur sein, diese Mobilität nachhaltig zu machen.

Das gilt um so mehr als die Entwicklungstrends der marktwirtschaftlichen Gesellschaft auf solchen Gebieten wie der Raum- und Landschaftsgestaltung, der Produktionslogistik sowie auch der Preise für Personen- und Gütertransportleistungen in Deutschland zu einer zunehmenden Entkopplung der wichtigsten Bereiche menschlicher Tätigkeit wie Arbeiten, Wohnen, Einkaufen und Freizeitgestaltung führen. Damit verbunden steigt die Gesamtfahrleistung im Straßenverkehr, wodurch fahrzeugtechnische Verbesserungen zur Emissionsminderung zum Teil wieder kompensiert werden.

So stieg die Fahrleistung aller Kraftfahrzeuge von 1991 bis 1999 um 70,6 Mrd km auf 680,9 Mrd km. Davon entfallen über 55 Mrd km allein auf Pkw und Kombi, deren Fahrleistung in dieser Zeit um ca. 10 % zunahm. Problematischer noch ist der sprunghafte Anstieg der Lkw-Fahrleistungen, der mit 26 % noch deutlich höher lag. Entsprechende Zuwächse der Verkehrsleistungen im Personen- und Güterverkehr (in Personen x km und Tonnen x km) lassen sich für diesen Zeitraum feststellen. Die Personenverkehrsleistung wuchs um 9,2 %, die Güterverkehrsleistung dagegen nahm um 23,5 % zu (ohne Rohrfernleitungen). Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs erhöhte sich um 7,3 %, wodurch seine dominierende Stellung an der gesamten Perso-

H. Keimel, C. Ortmann, M. Pehnt, "Nachhaltige Mobilität in einem integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung", Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; TA-Datenbank-Nachrichten, No. 4/9. Jahrgang, Dezember 2000, S. 43–50

nenverkehrsleistung (1991: 81,6 %; 1999: 80,1 %) nur geringfügig beeinflusst wurde. Dagegen erhöhte sich der Anteil der Güterverkehrsleistungen auf der Straße von 61,7 % 1991 auf 69,5 % 1999. Das geht im wesentlichen zu Lasten der Bahn deren Anteil an der Güterverkehrsleistung in dieser Zeit von 20,2 % auf 14,5 % gefallen war.²

Schaut man sich die Fahrzwecke des Personenverkehrs an, so stellt man fest, dass der Urlaubs- und Freizeitverkehr mit 48 % sowie der Berufs und Ausbildungsverkehr mit 21 % die größten Anteile ausmachen. Die Anteile von Dienst- und Geschäftsreisen sowie Einkaufsfahrten betragen 16 % bzw. 11 %.

Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch von Pkw sank in der Zeit von 1991 bis 1999 trotz erheblicher fahrzeugtechnischer Fortschritte nur um 0,3 1/100 km. Ursache hierfür ist die Tendenz der Kunden zum Erwerb von Kraftfahrzeugen mit höherer Leistung, die jedoch durch das entsprechend erhöhte Angebot des Automobilbaus nicht gerade gebremst wird. So wurden 1999 etwa 7,3 Mrd Liter Kraftstoff, d. h. 11,6 %, mehr verbraucht als 1991. Im Personenverkehr stieg der Kraftstoffverbrauch allerdings nur um 2,5 %, während er im Güterverkehr um fast 39 % anstieg. Damit wuchs der Anteil des Güterverkehrs an der im Straßenverkehr verbrauchten Kraftstoffmenge von 27 % (1991) auf 31 % (1999).

Nach Einschätzung des BMVBW³ werden die Verkehrsleistungen im Personenverkehr bis 2015 weiter ansteigen und zwar im Vergleich zu 1999 von 955 auf 1156 Mrd Personenkilometer (Laisser faire-Szenario). Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs wird sich ohne Einleitung von Gegenmaßnahmen nur unwesentlich verringern und nahe bei 80 % verbleiben. Obwohl bereits heute mehr als 70 % des Kfz-Bestandes aus schadstoffarmen Kraftfahrzeugen besteht, wird diese Entwicklung die Gesellschaft mit einer ganzen Reihe von Problemen konfrontieren, deren Lösung im Interesse einer nachhaltigen Entwicklung mit erheblichen Kosten verbunden sein wird. Dazu gehören:

- die Schädigung der Ökosysteme und der menschlichen Gesundheit durch Luftschadstoffemissionen,
- die Emissionen von Klimagasen, insbesondere von CO₂,
- Flächenverbrauch, Landschaftszerschneidung, Unfälle, Lärmbelastung, Verluste durch Behinderungen in den Verkehrsabläufen (Staus, u. a.).

² Umweltbundesamt, Daten zur Umwelt 2000

³ Verkehrsbericht 2000 des BMVBW, Kurzfassung, S. 25

In Rahmen dieses Vortrages steht die Katalyse mit ihren Lösungsmöglichkeiten im Vordergrund, die sich, wie leicht einsichtig, nur auf die ersten beiden Problemkreise beziehen können. Sieht man als wichtiges Kriterium der Nachhaltigkeit nicht nur die Vermeidung von Gefahren und unvertretbaren Risiken für den Menschen durch anthropogene Einwirkungen, sondern auch die Notwendigkeit, dass die Nutzung einer fossilen Ressource nicht größer sein sollte als die Rate der Substitution ihrer Funktion durch regenerative Quellen, so wird deutlich, dass dies, wenn überhaupt, nur in einem langerreicht werden wierigen Entwicklungsprozess kann. Es Chancengleichheit für alle Menschen heute und in Zukunft geben, Zugang zu einer Grundversorgung mit Verkehrsdienstleistungen zu haben.

In den nachfolgenden Darlegungen wird ausgehend vom gegenwärtigen Stand vor allem von näherliegenden, möglichen neuen Lösungen, soweit sie mit der Katalyse verbunden sind, die Rede sein. Mit ihnen allein ist das Problem der Nachhaltigkeit im oben genannten Sinne aber nicht lösbar. Deshalb wollen wir im nächsten Abschnitt auch kurz auf die längerfristigen Lösungsmöglichkeiten eingehen, die geeignet sein können, auch diesen Anforderungen gerecht zu werden. Wir werden uns außerdem auf Kraftfahrzeuge des motorisierten Individualverkehrs beschränken.

2. Ziele für einen nachhaltigen, motorisierten Individualverkehr

Die wichtigsten Ziele auf dem Wege zu einer nachhaltigen, also einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung der verkehrsmittelgebundenen Mobilität sind:

- Gewährleistung einer ausreichenden Luftqualität im regionalen und städtischen Bereich zum Schutz der menschlichen Gesundheit.
- Schutz des Klimas durch Reduzierung der Emission von Treibhausgasen, vor allem von CO₂,
- · Schonung der fossilen Ressource,
- Kontinuierliche Erweiterung der Nutzung regenerativer Ressourcen.

Obwohl die Katalyse grundsätzlich Beiträge zur Verwirklichung aller genannten Ziele leisten kann und auch leistet, soll im Rahmen dieses Vortrags nur von den Beiträgen zur Erreichung der drei erstgenannten Ziele die Rede sein. Schauen wir uns aber alle vier Ziele zunächst ein wenig genauer an.

2.1 Luftqualität und Emissionen

Eine weitere Verbesserung der Luft kann sich nicht allein an den derzeitigen technischen Möglichkeiten der weiteren Reduzierung der Emission der drei durch den Dreiwegekatalysator kontrollierten Schadstoffe, Kohlenmonoxid, flüchtige organische Verbindungen (VOM's) und Stickoxide orientieren. In den letzten Jahren hat sich viel mehr die Erkenntnis durchgesetzt, dass die Lösung des Emissionsproblems ausgehen muss von den gesundheitlichen Erfordernissen der Luftqualität, deren Charakterisierung auch sekundär gebildete Schadstoffe einbezieht, die in der bodennahen Atmosphäre unter Mitwirkung von direkt emittierten Schadstoffen gebildet werden. Gemeint ist hier in erster Linie das besonders gesundheitsschädliche, bodennahe Ozon, das wegen seiner relativ hohen Konzentration als Leitsubstanz für weitere. besonders im Sommer, über das natürliche Maß hinausgehend, gebildete Photooxydantien dient (Sommersmog). Ebenfalls besondere Aufmerksamkeit unter den unmittelbar gesundheitsgefährdenden Schadstoffen beansprucht die Konzentration der überwiegend von Dieselfahrzeugen emittierten Partikel (particulated matter, PM) mit einem Durchmesser < 10 nm. Diese sind die Hauptursache der krebserzeugenden Wirkung von Dieselabgasen.⁴ Die Abgase von Kfz mit Otto-Motoren enthalten ebenfalls krebsauslösende Schadstoffe. Hier sind vor allem Benzen und polyzyklische Aromaten zu nennen, die allerdings in den Fahrzeugen mit Dreiwege-Katalysator zu mehr als 90 % aus dem Abgas entfernt werden. Dennoch werden in Ballungsgebieten Benzolbelastungen der Luft zwischen 2 und 12 µg/m³ gemessen, während im ländlichen Bereich Werte um 1 µg/m³ normal sind.

Im europäischen Rahmen sind gemeinsam mit der WHO Grenzwerte und Zielgrößen für die entscheidenden gesundheitsgefährdenden Schadstoffe der Luft NOx, CO, Partikel < 10 nm, Benzen und Ozon erarbeitet worden, die eine bessere Luftqualität auch in Ballungsgebieten gewährleisten sollen. Sie sind in Tabelle 1 zusammengefasst.⁵

4 UBA-Berichte 02/99; Erich Schmidt Verlag Berlin, ISBN 3-503-04862-6

⁵ Europäische Umweltagentur, Umweltsignale 2001, Umweltbericht Nr. 8, S. 73

	Mittelungs-		Wert	Anzahl Über-	zu	
Schadstott		schützt		schreitungen(erreichen	EU Richtlinie
	periode		Mikro-g / m³	Ziel)	bis	
SO ₂	1h	Gesundheit	350	<25 mal	01-01-2005	1999/30/EC
SO ₂	24h	Gesundheit	125	<4 mal	01-01-2005	1999/30/EC
SO ₂	Jahr/Winter	Ökosysteme	20	keine	19-07-2001	1999/30/EC
NO ₂	lh	Gesundheit	200	< 19 mal	01-01-2010	1999/30/EC
NO ₂	Jahr	Gesundheit	40	keine	01-01-2010	1999/30/EC
NO ₂	Jahr	Ökosysteme	30	keine	19-07-2001	1999/30/EC
PM10 (1)	24h	Gesundheit	50	<36 mal	01-01-2005	1999/30/EC
PM10 (1)	Jahr	Gesundheit	40	keine	01-01-2005	1999/30/EC
Blei (2)	Jahr	Gesundheit	0.5	keine	01-01-2005	1999/30/EC
Ozon	8h	Gesundheit	120	<26 Tage	2010	COM (2000)613
						final (3)
Ozon	Mai-Juli	Ökosysteme	AOT40<18	keine		COM (2000)613
			mg/m ³ .h (4)			final (3)
Benzen	Jahr	Gesundheit	5	keine	01-01-2010	2000/69/EC
CO	8h	Gesundheit	10 mg/m ³	keine	01.01.05	2000/69/EC

Anmerkungen:

- (1): diese Grenzen sollten bis 2005 erreicht werden; strengere Werte später, abhängig von Prüfung 2003-2004
- (2): andere Werte in Umgebung von Industrieunternehmen
- (3): Aufgebessert in der Gemeinsamen Position. EEA 10-10-2000
- (4): AOT steht für "akkumulierte Ozon-Exposition" > 40 ppb (80 mikro-g/m3)

Tabelle 1: Luftqualität, Grenz- und Schwellenwerte der Umgebungsluft. Quelle: EEA

Die totale Emission von Ozon-Vorgänger-Substanzen war in der EU zwischen 1990 und 1998 vor allem als Folge der Einführung der katalytischen Konverter um 22 % zurückgegangen, in Deutschland sogar um ca. 39 %. Dennoch konnten die im 5. Umwelt Aktionsprogramm der EU für die Reduzierung von NOx geforderten 30 % zum Jahre 2000 nicht erreicht werden. Auch der in Tabelle 1 angegebene Schwellenwert für Benzol von 5 $\mu g/m^3$ im Jahresmittel wird, wie ein Vergleich mit den oben genannten Werten zeigt, vielerorts noch um mehr als 100 % überschritten. Dagegen ist verbleites Benzin an deutschen Tankstellen seit 1997 restlos verschwunden.

Zur Erreichung dieser Luftqualitäten sind für die einzelnen Länder der EU nationale Emissions-Höchstwerte für die jährlichen Emissionen von SO₂, NOx, VOM und NH₃ vereinbart worden, die bis 2010 zu erreichen sind. Für Deutschland sind diese in Tabelle 2 zusammengefasst und mit den Istwerten von 1998 verglichen. Die erforderlichen Senkungen sind für alle aufgeführten Schadstoffe beträchtlich. Man erkennt auch, dass der Straßenverkehr einen bedeutenden Anteil an den Gesamt-Emissionen von NOx und den flüchtigen organischen Verbindungen (VOM) hat und dem zufolge einen deutlichen Beitrag zur Erreichung dieser Grenzwerte leisten muss.

Schadstoff	Höchstwert kt	Stand 1998 kt	erforderl. Senkung um %	Straßen- verkehr 1998 kt	Anteil 1998 in %
SO ₂	463	1290	63	27	2
NOx	1051	1781	41	853	48
NMVOC	924	1725	45	409	28
NH ₃	413	632	35	0	0

Tabelle 2: Nationale Emissions-Höchstwerte für Deutschland im Vergleich zum Stand 1998⁶

Um dem gerecht zu werden, sind sowohl neue, höhere Anforderungen an die Senkung der Schadstoffkonzentrationen in den Autoabgasen als auch an die Kraftstoffqualität (98/70/EG) zu stellen. Für beides gibt es Richtlinien der Europäischen Kommission. Orientierten sich die Grenzwerte der Abgasvorschriften der EU bis zur Euro-II-Norm am technologisch umsetzbaren Standard, so war die Basis für die neuen Normen Euro III und Euro IV das Ergebnis des sogenannten Auto-Öl-Programms II, eines Forschungsprojektes, mit dem die Europäische Kommission gemeinsam mit der Automobilund Mineralölindustrie kosteneffektive Lösungen zu finden suchte, um die Vorgaben für die Luftqualität der EU für die Zeit bis 2010 zu erfüllen. In Tabelle 3 sind die Grenzwerte für Pkw-, Otto- und Dieselmotoren – wiedergegeben. Festgelegt wurden ebenfalls die Grenzwerte für leichte und schwere Nutzfahrzeuge.

		СО		Н	C	NOx		HC+NOx		PM
	Einführungs-	g/l	km	g/l	km	g/l	km	g/l	km	g/km
Kfz-Antrieb	Jahr	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Diesel
	1972	14		-		-		60		
EURO I	1993	3,16				-	-	1,13		
EURO II	1996/97	2,7		0,34		0,25		0,59		
EURO III	Jan 00	2,3	0,64	0,2	-	0,15	0,5	0,35	0,56	0,05
EURO IV	Jan 05	1	0,5	0,1	-	0,08	0,25	0,18	0,3	0,025
USA Stufe I	Jan 94	2,1	,	0,16		0,25				
USA Stufe II	Jan 04	1		0,08		0,12				

Tabelle 3: Pkw-Abgasgrenzwerte der Euro-III- und Euro-IV-Normen im Vergleich zu 1972, 1993 und 1996 (Richtlinie 98/69/EG)

Auffallend an den Grenzwerten der Tabelle 3 sind vor allem die deutlich höheren zulässigen NOx-Emissionswerte beim Diesel. Neben den Grenzwerten

⁶ Daten aus: National Emission ceilings of pollutants, EC, A5-0067/2001

werden in der EU Richtlinie weitere Anforderungen definiert. Dazu gehören ein neuer Prüfzyklus (ab Euro III), der den Startvorgang mit einbezieht und die Begrenzung der Emissionen bei tiefen Temperaturen (–7 °C) durch speziell hierfür festgelegte Grenzwerte regelt. Außerdem wird die Verdunstungsemission enger begrenzt und ab 2005 müssen Diagnosesysteme in den Kfz (OBD, onboard diagnostic) eingebaut sein.

In Europa soll nach Einschätzung des Bundesumweltamtes die Reduzierung der Emissionen von Benzinfahrzeugen entsprechend der Euro-IV-Norm dann ausreichen, um die notwendigen Luftqualitätsziele zu erreichen. Verbunden mit den Euronormen III und IV sind ebenfalls die Anforderungen an charakteristische Kennwerte der Kraftstoffe. Diese sind in Tabelle 4 wiedergegeben und den Forderungen der Assoziation der Europäischen Automobilproduzenten (ACEA) gegenüber gestellt.

	Euro 3	Euro 4	Forderung ACEA
Ottokraftstoffe			
Dampfdruck (Sommer)	< 60 kPa		< 58 kPa
Benzol	< 1 Vol %	< 1 Vol %	< 1 Vol %
Aromaten	< 42 Vol %	< 35 Vol %	< 35 Vol %
Schwefel	< 150 ppm	< 50 ppm	< 30 ppm
Dieselkraftstoffe			
Cetanzahl	>51	>51	> 58 / 55
Dichte	< 845 kg/m ³	< 845 kg/m ³	< 820-840 kg/m ^d
Aromaten	< 1 1 Gew. %		< 10 Vol %
Schwefel	< 350 ppm	< 50 ppm	< 30 ppm

Tabelle 4: Zukünftige Anforderungen an Kraftstoffe⁸

Neben der Senkung des Aromatengehalts ab 2000 auf < 42 % und 2005 auf < 35 % sowie der Herabsetzung des Benzen-Gehalts auf < 1 %, im Benzin, ist vor allem die Forderung nach einer deutliche Senkung des Schwefelgehalts sowohl im Benzin als auch im Dieselkraftstoff hervorzuheben. Die Wirkungen dieser Maßnahme sind eher indirekter Natur: sie führen zu einer effektiveren Funktion des Dreiwegekatalysators, erlauben den Einsatz von neuen Katalysatoren zur NOx-Reduktion in sauerstoffreichen Abgasen von Diesel- und Benzin-Kraftfahrzeugen, und bilden bei der Verbrennung im Dieselfahrzeug deutlich geringere Mengen pathogener Partikel. Aus diesen Gründen wurden in Deutschland ab November 2001 von der Erhöhung der Mineralölsteuer um 3 Pfennig Kraftstoffe mit < 50 ppm Schwefel ausgenom-

⁷ UBA, Internet, Kfz/Pkw der Zukunft

⁸ M. Pehnt, DLR, STB-Bericht 24, Stuttgart Juni 2001, S. 59

men. Seit dieser Zeit produzieren die deutschen Raffinerien nur noch in dieser schwefelarmen Qualität, wobei mit dem Tanken dieses Kraftstoffs die oben genannten positiven Effekte sofort wirksam werden. Die Bundesrepublik hat darüber hinaus bei der EU beantragt, ab Januar 2003 schwefelfreie Kraftstoffe mit einem Schwefelgehalt < 10 ppm auf den Markt zu bringen und diese neue Qualität dann steuerlich gegenüber der schwefelarmen Qualität zu begünstigen. Die in Tabelle 4 enthaltenen Grenzwerte für den Schwefelgehalt sind also offenbar kosteneffizient zu unterbieten.

2.2 Klimaschutz und Schonung fossiler Ressourcen

Bisher hatten wir es mit Spurenkomponenten der Luft zu tun, die wegen ihrer relativ kurzen Verweilszeit in der Luft von eher lokaler bzw. regionaler Bedeutung sind. Von globaler Bedeutung dagegen sind Spurenkomponenten mit Verweilszeiten von vielen Jahren wie, CO₂, N₂O, CH₄ und einige andere Gase, die aber in diesem Zusammenhang nicht relevant sind. Die Anwesenheit dieser Gase in der Atmosphäre führt, so weit sie anthropogen verursacht sind, zu einer Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes. Obwohl dieser Anteil nur 0,5–1,5 % ausmacht. steigt die CO₂-Konzentration in der Luft deutlich an und wird mit der vor allem im letzten Jahrzehnt registrierten globalen Erwärmung im Zusammenhang gesehen und diese wiederum auf den anthropogenen Treibhauseffekt zurückgeführt.

Die anthropogenen, globalen CO₂-Emissionen betrugen 1996 28 Mrd t/a. Davon entfielen auf den gesamten Verkehr etwa 18 %, 11,5 % allein auf den Straßenverkehr (Pkw und Lkw). Während weltweit die emittierte Menge CO₂ bis zum Jahr 2000 weiter anstieg, sanken in Deutschland die energiebedingten CO₂-Emissionen im Zeitraum von 1990 bis 1999 um 15,3 %. Von dieser Senkung nicht betroffen ist neben den Haushalten der Straßenverkehr, dessen Emissionen sich von 150 Mio t/a auf 168 Mio t/a also etwa um 11 % erhöhten. Erst im Jahr 2000 sanken die CO₂-Emissionen im gesamten Verkehr um 1,9 %. In wie weit davon der Straßenverkehr betroffen ist, geht aus den gegenwärtig bekannten Daten noch nicht hervor. Trotz dieser Minderung muss damit gerechnet werden, dass die CO₂-Emissionen 2030 deutlich über den heutigen liegen werden, wenn dem nicht entgegen gesteuert wird. ¹⁰ Deutschland strebt aber an, bereits bis 2005 eine Senkung der CO₂-Emissi-

^{9 3.} Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001

¹⁰ Umweltbundesamt, Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung, Nachhaltige Entwicklung in Deutschland, Erich Schmidt Verlag, Kurzfassung Februar 2002

onen um 25 % zu erreichen, was jedoch nach jüngsten Schätzungen ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen kaum zu realisieren sein dürfte. 11

Der Verkehr kann hierzu in folgender Weise einen Beitrag leisten:

- durch Senkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs der Automobile,
- durch Senkung der Fahrleistungen, vor allem im motorisierten Individualverkehr,
- durch stärkere Anwendung von klimaneutralen Kraftstoffen.
 Diese drei Wege beinhalten gleichzeitig die Schonung fossiler Ressourcen.

Seit 1998 existiert eine Selbstverpflichtung des Verbandes der europäischen Automobilhersteller, den mittleren CO₂-Ausstoß aller neu zugelassenen Pkw von 187 g/km im Jahre 1995 bis 2008 auf 140 g/km, d.h. um 25 % zu senken. Eine erste Überprüfung dieser Zusage durch die Europäische Kommission ergab für die Zeit bis 1999 eine Senkung der mittleren CO₂-Emission um etwa 1,5 % jährlich, ein Wert, der sich noch erhöhen müsste, wenn das Ziel von 25 % erreicht werden soll. Gleichzeitig hat aber die mittlere Motorleistung um durchschnittlich 4 % pro Jahr bei zusätzlich steigendem Fahrzeuggewicht zugenommen, was der CO₂-Reduktion entgegen wirkt. ¹²

Hinzu kommt, dass sich die Reduktion der Emission vor allem auf die deutliche Erhöhung des Anteils von Diesel-Pkw auf jetzt 28 % des Pkw-Bestandes erklärt. Diese werden heute überwiegend mit sparsamen, direkteinspritzenden und mit Turbolader ausgerüsteten Motoren gebaut, deren Emissionswerte zwar gerade noch die Grenzwerte Euro III, nicht aber die von Euro IV erfüllen. Ein solcher Diesel-Pkw besitzt im Durchschnitt eine etwa zehn mal höhere NOx-Emission als ein entsprechendes Kfz mit Ottomotor und Dreiwegekatalysator. Da die meisten heutigen Diesel-Pkw noch nicht mit Partikelfiltern ausgerüstet sind, kommt die erhöhte gesundheitsgefährdende Partikelbelastung noch hinzu. Das zeigt wie dringend notwendig hier Lösungen für beide Schadstoffe beim Dieselmotor sind.

Die Bundesregierung fördert verbrauchsarme Pkw im Rahmen der Kfz-Steuer (Förderung des 3-Liter-Autos und Fortführung der Förderung des 5-Liter-Autos). Die Europäische Kommission hat zur weiteren Senkung der spezifischen CO₂-Emission von Pkw als Ziel bis 2005 spätestens aber bis 2010 einen Wert von 120 g/km vorgegeben. Das entspricht einem Durch-

¹¹ Mineralölwirtschaftsverband, MWV Aktuell 10. Mai 2000

¹² UBA, Jahresbericht 2000, Kapitel 7

schnittsverbrauch von 5 1/100 km für Benzinfahrzeuge und von 4,4 1 für Dieselfahrzeuge. ¹³ Hierzu wird im Abschnitt 3 Näheres ausgeführt, da wesentliche Aspekte zu dieser Frage mit der Entwicklung neuer Abgaskatalysatoren verbunden sind.

Nach dem Effizienz-Szenario des Umweltbundesamtes kann durch diese und eine ganze Reihe anderer Maßnahmen die technische Effizienz der Verkehrsmittel so weit erhöht werden, dass unter diesen Voraussetzungen die CO₂-Emissionen des gesamten Verkehrs von 181 Mio t 1990 bis zum Jahr 2030 auf 141 Mio t sinken. Dennoch wird das nicht ausreichen, wenn es nicht zusätzlich auch zu einer Senkung der Fahrleistungen, d. h. zur Verkehrsvermeidung kommt. 14 Die Senkung der Fahrleistungen im motorisierten Individualverkehr und im Straßen-Güterverkehr ist nicht nur aus Gründen der Senkung des CO₂-Abstoßes erforderlich, sondern auch aus Gründen der Beherrschung der Verkehrsinfrastruktur und ihrer Entwicklung. Es ist daher ein Anliegen der Bundesverkehrswegeplanung, die in verschiedenen Szenarien 15 danach strebt, die Anteile der Verkehrsleistungen (ausgedrückt in Personenkm bzw. Tonnen-km) zwischen den Verkehrswegen Straße, Schiene, Luft und Wasser durch Veränderung der Kostenbelastungen der Nutzer zugunsten der Schiene bzw. des Busses im Stadtverkehr zu verändern. Mit keinem dieser Szenarien wird jedoch eine Senkung der absoluten Leistungen im Straßen-Personenverkehr erreicht, mit dem bevorzugten Integration-Szenario lediglich eine geringe Abnahme seines Anteils am gesamten Verkehr (von 79,6 % 1997 auf 77,3 % 2015). Ähnlich sieht es im Güterverkehr aus. Wegen des stark unterschiedlichen Primärenergieverbrauchs, bezogen auf Platz-Kilometer von Personenkraftwagen im Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln (z.B. Bus), ließe sich aber grundsätzlich auf diesem Wege eine Senkung des CO₂-Ausstoßes denken. Für den Stadtverkehr sind solche Abschätzungen vorgenommen worden. ¹⁶ Da die öffentlichen Verkehrsmittel unabhängig von ihrer tageszeitlichen Auslastung nach ihrem Zeitplan fahren, ist jeder Umstieg vom eigenen Pkw auf Bus oder Bahn ein Gewinn für die Umwelt. Ohne wirksame Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung wird eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes nicht zu erreichen sein.

¹³ Bulletin EU 10-2000, Umwelt (9/20)

¹⁴ Siehe Fußnote 2, S. 6

¹⁵ BMVBW, Verkehrsbericht 2000, November 2000

¹⁶ Udo Lambrecht, Harald Diaz-Bone, Ulrich Höpfner, "Bus, Bahn und Pkw auf dem Umweltprüfstand – Vergleich von Umweltbelastungen verschiedener Stadtverkehrsmittel", IFEU, Heidelberg

Im neuesten Nachhaltigkeitsszenario des Umweltbundesamtes ¹⁰ werden eine ganze Reihe von staatlichen Maßnahmen genannt, mit deren Einführung es gelingen könnte, den CO₂-Ausstoß des Verkehrs bis 2030 auf 50 % des Wertes von 1990 zu senken. Zu diesen Maßnahmen gehören z.B. die kontinuierliche Anhebung der Mineralölsteuer, eine nach CO₂-Ausstoß differenzierte Kfz-Steuer, emissionsabhängige Straßenbenutzungsgebühren für Lkw und Anreize zur Vermeidung bzw. Verlagerung von Individualverkehr auf den öffentlichen Verkehr durch Ausbau der Bahn und des öffentlichen Personennahverkehrs. Auch an den Entstehungsbedingungen des Verkehrs ist vieles zu verändern, ohne dass die Mobilität eingeschränkt wird.

Die Möglichkeiten zur Senkung des CO₂-Ausstoßes durch alternative Kraftstoffe sind natürlich nur dann gegeben, wenn diese pro Energieeinheit weniger CO₂ produzieren oder aus regenerativen Primärenergien gewonnen werden. Komprimiertes Erdgas ist ein Kraftstoff, der ein günstigeres Wasserstoff/Kohlenstoff-Verhältnis aufweist und theoretisch ca. 25 % weniger CO₂ pro erzeugter Energieeinheit bildet (56,1 kg CO₂/GJ im Vergleich zu 74,1 für Benzin), wenn dieser Vorteil im Motor von städtischen Autobussen und Taxen, für die er aus Gründen begrenzter Reichweite besonders geeignet scheint, auch nutzbar gemacht werden kann. Leider ist das bisher nicht der Fall, denn die mit Erdgasantrieb arbeitenden Otto-Motoren haben noch einen höheren spezifischen Verbrauch (bis zu 30 %) als Dieselmotoren, die sie ersetzen sollen. So kommt es, dass sie zwar nicht mehr, aber auch nicht weniger CO₂ ausstoßen¹⁷. Der Einsatz von Erdgasfahrzeugen besitzt jedoch eine Reihe anderer Vorteile, auf die hier aber nicht eingegangen werden soll.

Die Nutzung von Biokraftstoffen in Gestalt von Biodiesel oder Biogas ist bezüglich des CO₂-Ausstoßes klimaneutral, wenn der Energieaufwand zur Verarbeitung der pflanzlichen Rohstoffe nicht aus fossilen Energieträgern kommt, denn bei ihrer Verbrennung entsteht natürlich nicht mehr CO₂ als vorher beim Pflanzenwachstum aus der Atmosphäre entnommen wurde. Eine generelle Lösung des CO₂-Problems ist damit aber wohl kaum zu erreichen, denn aus Gründen, die hier nicht näher behandelt werden können, werden die Biokraftstoffe wohl nur eine Teillösung bleiben.

2.3 Substitution fossiler Kraftstoffe

Die Frage nach dem Kraftstoff der Zukunft, der den Anforderungen einer strengen Nachhaltigkeit gerecht wird, ist bereits heute von großer gesell-

¹⁷ Verkehrsclub Deutschland, "Alternative Antriebe"

schaftlicher Relevanz, denn in Abhängigkeit von ihrer Beantwortung müssen schon jetzt die Weichen gestellt werden. Außerdem sollte die Einführung dieses Kraftstoffs nach Möglichkeit bereits mittelfristig zur Senkung der CO₂-Emission im Verkehr beitragen. Die Ansichten darüber, welcher Kraftstoff das sein könnte und welches Antriebsaggregat am günstigsten sein wird, gehen noch auseinander. Vor allem betrifft das den Zeithorizont, über den die notwendigen Schritte und Maßnahmen zur kontinuierlichen Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien und zur sukzessiven Verminderung der Verwendung fossiler Primärenergieträger und der Schaffung der dadurch notwendigen neuen Infrastrukturen zu realisieren sind. Diese müssen nicht nur den ökologischen Anforderungen gerecht werden, sondern auch wirtschaftlichen Kriterien genügen, sozial verträglich sein, und müssen selbstverständlich Bestandteil eines mittel- und langfristigen volkswirtschaftlichen Gesamtkonzepts der Energieversorgung sein.

Grundsätzlich gibt es zwei Wege zur Herstellung von Kraftstoffen aus erneuerbaren Primärenergieträgern:

- die Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse mit erneuerbar erzeugtem Strom (Sonne, Wasser, Wind) als Sekundärenergieträger,
- die Erzeugung aus Biomasse als Primärenergieträger (Ethanol, Rapsöl, Biodiesel, Biogas, Methanol und Wasserstoff).

Auch eine Kombination beider Wege ist möglich. Eine 1998 von sieben Firmen aus dem Automobilbereich (BMW, Daimler-Chrysler, MAN, VW) und dem Energiesektor (ARAL, RWE, Shell) mit Unterstützung der Bundesregierung gestartete Initiative hat sich die Aufgabe gestellt, gemeinsam eine verkehrswirtschaftliche Energiestrategie¹⁸ zu erarbeiten, deren Ziel es ist, sich auf einen, maximal zwei nach technischen, ökonomischen und ökologischen Kriterien geeignete, alternative Kraftstoffe für Personen- und Nutzfahrzeuge zu einigen. Für die Auswahl gelten folgende Kriterien:

- · möglichst unabhängig vom Erdöl,
- herstellbar aus erneuerbaren Rohstoffen,
- herstellbar in Verbindung mit einer weiteren Reduktion von Schadstoffund CO₂-Emissionen in der gesamten Energiekette,
- einsetzbar für ein breites Spektrum von Antriebsaggregaten (Verbrennungsmotor, Brennstoffzelle plus Elektromotor).

_

¹⁸ BMVBW, "Kraftstoff der Zukunft" Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie. (Internet)

Ein abschließendes Ergebnis dieser Initiative liegt bis jetzt nicht vor. ¹⁹ Die Projektgruppe hat zunächst aus einer breiten Palette von zehn Kraftstoffen Erdgas, Methanol und Wasserstoff in die engere Wahl genommen. Bisher setzt nur BMW allein auf Wasserstoff und plädiert für seine direkte Verbrennung in Otto-Motoren als Antriebsaggregat, während eine zusätzliche Brennstoffzelle Strom nur für den Betrieb der Klimaanlage erzeugt. Entsprechende Versuchsmodelle laufen bereits einige Zeit. Sie arbeiten mit flüssigem Wasserstoff, der sich in einem doppelwandigen Kryo-Tank befindet und für ca. 350 km reicht. Je eine Wasserstoff-Tankstelle in Europa gibt es bisher erst in München und in Mailand. Ein Netz solcher Tankstellen aufzubauen würde etwa 20 Jahre dauern.

Bisher wird der Wasserstoff aus Erdgas gewonnen. In einer Kooperation von BMW mit der BP soll versucht werden, das in diesem Prozess entstehende ${\rm CO_2}$ nicht in die Atmosphäre zu entlassen, sondern zu binden. Das letztendliche Ziel von BMW aber besteht darin, den Wasserstoff durch Wasserelektrolyse mit regenerativem Strom zu erzeugen.

Eine andere Position wird von Daimler-Chrysler vertreten. Mit einer Reihe von Versuchsmodellen, die unter dem Namen Necar I-V bekannt geworden sind, experimentiert die Firma seit längerem mit Brennstoffzelle und Elektromotor, Als Kraftstoffe dienen Wasserstoff und Methanol, Die Brennstoffzelle hat mit ihrem hohen Wirkungsgrad (60–70 %) und dem niedrigen Schadstoffausstoß große Vorteile, allerdings findet die starke Fixierung auf die Anwendung im Automobil nicht überall Zustimmung.²⁰ So nimmt das Umweltbundesamt zur mobilen Anwendung der Brennstoffzelle eine kritische Haltung ein. ²¹ So lange Wasserstoff oder Methanol aus Erdgas hergestellt werden müssen, kann die Brennstoffzelle nur dann energetische Vorteile bringen, wenn die mit der Kraftstoffherstellung verbundenen Energieverluste durch den hohen Wirkungsgrad der Antriebseinheit selbst aufgewogen werden. Nach jetzigem Stand müsste ihr Wirkungsgrad mindestens 30-35 % über dem Wirkungsgrad eines Fahrzeuges mit Benzin- oder Erdgasmotor liegen. Das dürfte aber sehr schwer erreichbar sein, da der technische Fortschritt auch bei den konventionellen Motoren schnell voranschreitet.

¹⁹ Öffentliche Anhörung der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung", Beitrag von B. Nierhauve, Aral AG, Bochum

^{20 ...}Mit Wasserstoff in die ferne Zukunft", Neues Deutschland v. 08.12.2000

²¹ www.umweltbundesamt.de/uba-info/daten/brennstoffzelle

GERHARD ÖHLMANN

Leider ist bei der Herstellung und Aufbereitung von Wasserstoff durch Wasserelektrolyse selbst mit regenerativem Strom der Energiebedarf bisher mindestens doppelt so hoch wie bei der Herstellung und Aufbereitung von Benzin aus fossilem Rohöl. Daher ist aus der Sicht des Klimaschutzes der effektivere Weg, den Strom direkt zu nutzen und damit andere fossile Energieträger, wie Braun- und Steinkohle, bei der Stromerzeugung zu ersetzen. Beim Einsatz von Methanol, das aus Erdgas gewonnen werden soll, entstehen Vorteile nur durch die verminderte Emission von NOx. Der Primärenergiebedarf läge deutlich höher als bei der direkten Verbrennung des Erdgases im Otto-Motor. Durch die notwendigen Umwandlungen vom Erdgas über Methanol und Wasserstoff zum Strom wird der an sich hohe Wirkungsgrad der Brennstoffzelle nahezu vollständig kompensiert und der Wirkungsgrad des Gesamtsystems wird kaum günstiger als der eines direkt einspritzenden Turbodieselmotors. Die traditionellen Motoren sind also durchaus nicht aus dem Rennen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist aus all diesen Gründen weder die Frage nach dem zukünftigen Kraftstoff, noch die nach dem geeignetsten Antriebsaggregat endgültig entschieden.

3. Neue Entwicklungen in der Abgaskatalyse

Die in den vorangehenden Abschnitten beschriebenen Anforderungen an Luftqualität und Klimaschutz sind entscheidende Triebkräfte für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Motortechnologie und der Abgaskatalyse. Einerseits verlangen die neuen Abgasgrenzwerte von Euro III und Euro IV neue Lösungen auf Basis des Dreiwegekatalysators im traditionellen Otto-Motor, andererseits fordern Klimaschutz und Ressourcenschonung dessen Weiterentwicklung zu neuen, sparsameren Antriebsaggregaten, für deren Abgasreinigung der Dreiwegekatalysator nicht, oder nicht mehr allein ausreicht. Der Grund hierfür besteht darin, dass sich neue Ottomotoren mit Direkteinspritzung und Schichtladebetrieb als besonders sparsam erweisen, wenn die motorische Verbrennung bei deutlichem Luftüberschuss erfolgt. Die Arbeit des Dreiwegekatalysators ist aber sehr streng an ein stöchiometrisches Luft/ Kraftstoffverhältnis gebunden. Nicht umsonst wurde zur ständigen Kontrolle dieses Verhältnisses die Lambda-Sonde eingeführt. Unter den Bedingungen von Sauerstoffüberschuss kann der Dreiwegekatalysator den dritten Weg, die Reduktion des NOx nicht mehr realisieren. Hier sind neue Lösungen erforder-

²² Pressearchiv 1999/I, VDI Nachrichten vom 01.04.99, S. 14, Peter Weidenhammer/WOP

lich. Zugleich entstehen neue Parallelen zum Dieselmotor und seinen Abgasproblemen, da dieser ebenfalls mit Sauerstoffüberschuss arbeitet und seine NOx-Emissionen, obwohl deutlich geringer als beim Otto-Motor ohne Dreiwegekatalysator, durchaus zu einem Problem werden können, denn diese liegen deutlich über den Werten, wie sie in Euro III und IV für den Otto-Motor verlangt werden. Betrachten wir nun die in der Entwicklung befindlichen Lösungen bzw. Lösungsansätze im einzelnen.

3.1 Der Dreiwegekatalysator und die Euro-III- und Euro-IV-Normen

Erinnern wir uns zunächst an die wesentlichen Parameter, die mit der Autoabgaskatalyse an Dreiwegekatalysatoren verbunden sind. In der Tabelle 5 sind sie zusammengefasst:

	Arbeitsbedingungen : T (°C): 250 – 850, (400-600); RG (h-1): 5700-124000; Schadstoff-Konzentrationen: $0.02 - 1\%$; $O_2: \sim 1-0.5\%$; Stationarität selten. 1. CO + 0.5 $O_2 \rightarrow CO_2$;				
Reaktion	2. $C_xH_{2y} + (x+y/2) O_2 \rightarrow xCO_2 + yH_2O$; bevorzugt am Rhodium: 3. 2NO + 2CO (oder				
	$2H_2$) $\rightarrow N_2 + 2CO_2$ (oder $2H_2O$). Enges Luft/Kraftstoff-Fenster nahe 14,7:1 wegen				
	Konkurrenz zu NH_3 -Bildung bei $<$ 14,7 und O_2 (anstatt NO) + $CO(H_2)$ bei Luftüberschuss				
Reaktor	Monolith-Wabenkörper (Zellen/cm ²): 60-70, Wandstärken bis 0,15mm, Keramik				
Reaktor	(Cordierit) o. Metall; Reynolds-Zahl: 13-280; Volumen ~ Hubraum; Hohe Thermoschock				
	Beständigkeit + mechan. Festigkeit, höchste Lebensdauer				
Katalysator	Washcoat (γ-Al ₂ O ₃) + hochdisperse Edelmetalle (Pt, Rh: 5:1; im Durchschnitt 1,5 +				
Kataiysatoi	0,3 g/l;) aktive Oberfl.: 18000 m ² /l; Promotor: Ceroxid. Lebensdauer = der des Autos				
Integration ins	Unterboden Montage, λ - Sonde zur Einhaltung des Luft / Kraftstoffverhältnisses von ~				
Automobil	14,7 im Motor.				

Tabelle 5: Wesentliche Parameter der Katalyse am Dreiwegekatalysator

Im optimalen Arbeitsbereich des Dreiwegekatalysators lassen sich etwa 95–96 % der emittierten Kohlenwasserstoffe und des CO und ca. 75 % des NOx entfernen. Nach der seit 2000 gültigen Euro-III-Abgasnorm entfällt aber im Abgasprüfzyklus die 40 s Warmlaufphase zu Beginn des Zyklus. Da etwa 80 % der überhaupt emittierten Kohlenwasserstoffe in den ersten 1–2 Minuten nach dem Kaltstart, wenn der Katalysator noch nicht angesprungen ist, emittiert werden, steigen die so gemessenen Abgaswerte stark an und liegen über der neuen Norm. Ihre Einhaltung zwingt zu deutlicher Verkürzung der Anspringzeit des Katalysators, d. h. der Zeit, die der Konverter benötigt, um sich auf 250–280 °C aufzuheizen (als Anspringtemperatur bezeichnet man die Temperatur, bei der der Umsatz 50 % beträgt).

Es gibt unterschiedliche Konzepte zur Erreichung dieses Ziels, grundsätzlich unterscheidet man aktive und passive Systeme. ²³ Im ersten Fall wird die notwendige Wärme durch zusätzliche Maßnahmen zugeführt (z.B. elektrische Heizung, optimierte Sekundärlufteinblasung), bei der passiven Lösung dagegen wird die Abgaswärme effektiver genutzt. Das geschieht durch motornahe Anbringung (im Bereich des Abgaskrümmers) eines zusätzlichen, kleineren katalytischen Konverters, der sich durch eine geringe Wärmekapazität und eine deutlich erhöhte, geometrische Monolithoberfläche auszeichnet. Für ihn hat sich in der Literatur die Bezeichnung "Start- oder Vorkatalysator" eingebürgert. Erreicht wird das in der Regel vor allem durch Anwendung äußerst dünnwandiger metallischer (aber auch keramischer) Monolithe mit sehr hoher Zellendichte und dementsprechend großer geometrischer Oberfläche. Keramische Monolithe mit Zellendichten bis zu 140 Zellen/cm² und Wandstärken von nahezu 0.05 mm sind heute herstellbar (Ende der siebziger Jahre ca. 60 Zellen/cm²!). Stahlmonolithe ermöglichen sogar noch höhere Dichten (180-190) und Wandstärken bis 0,025 mm. Neben der Vergrößerung der geometrischen Oberfläche ist dabei auch eine deutliche Verringerung des Strömungswiderstandes (Druckverlust) wesentlich. Die vergrößerte geometrische Oberfläche wird für eine deutliche Erhöhung der katalytisch aktiven Oberfläche genutzt. Basierend auf dieser Technik lassen sich motornahe Konverter in weniger als 20 s auf die Anspringtemperatur (250–280 °C) des Katalysators bringen, wodurch in Kombination mit einem Unterboden-Dreiwegekatalysator die europäischen Abgasnormen Euro III und IV (auch die USA-Normen LEV, ULEV, und SULEV) erfüllt werden können.

Problematisch bei dieser Lösung ist aber die Tatsache, dass der Startkatalysator wegen seiner Nähe zum Motor, teilweise Temperaturen über 1000 °C aushalten muss (z.B. bei hochlastigen Autobahnfahrten), ohne Verlust an aktiver Oberfläche. Bei diesen Temperaturen verläuft aber bereits die Umwandlung der $\gamma\text{-Al}_2O_3$ Phase mit ihrer hohen spezifischen Oberfläche über verschiedene Zwischenstufen in die $\alpha\text{-Al}_2O_3$ Phase, die nur eine sehr geringe spezifische Oberfläche besitzt. Die Folge ist eine starke Abnahme der Al $_2O_3$ -Oberfläche und verbunden damit eine Verminderung der Edelmetall-Dispersität. Das Edelmetall wird teilweise sogar vom Aluminiumoxid eingeschlossen. Um das zu vermeiden, muss dieser Phasenübergang durch Zusätze von Erdalkalien, Seltenen Erden und Zirkonoxyd gehemmt werden. 24 Die Wir-

²³ T. Hauber, M. Keck, M. Nording, MTZ Motortechnische Zeitschrift 60 (1999) 4

²⁴ C. D. Keith, US Pat. No. 4, 171, 288

kung von z.B. Lanthanoxid und Bariumoxid wurde auf die Bildung einer Oberflächenschicht dieser Oxide auf dem Aluminiumoxid²⁵ bzw. auf die Substitution anionischer Leerstellen durch das Additiv zurückgeführt.²⁶ Diese Substitution behindert die Oberflächen- und Volumendiffusion im Aluminiumoxid und hemmt dadurch den Sinterprozess. Die letztgenannte Interpretation ist experimentell in der zitierten Arbeit überzeugend belegt. Ihr wird heute der Vorzug gegeben.²⁷ In diesem Sinne wirken sowohl die Seltenen Erden als auch alle Erdalkalien und zwar um so effektiver, je größer ihre Atommasse ist.

Die Frage nach der Natur der als Startkatalysator in der Praxis verwendeten Edelmetalle ist schwierig zu beantworten, offensichtlich ist dies Bestandteil des Know-how der Katalysatorfirmen und es gibt sicher unterschiedliche Lösungen. Allgemein aber lässt sich eine Tendenz feststellen, stärker Platin durch Palladium zu ergänzen oder gar zu ersetzen, d. h. Palladium in Kombination mit Rhodium einzusetzen. Das hat wohl z.T. ökonomische Gründe. denn weltweit werden derzeit etwa 40 % des Gesamtverbrauchs an Platin und sogar 90 % des Rhodiums²⁸ für die Herstellung von Auto-Abgaskatalysatoren benötigt – und die Vorräte sind nicht unbegrenzt (Lieferung hauptsächlich aus Südafrika und Russland). Sicher aber ist seine Verwendung als Startkatalysator auch den besseren Eigenschaften des Palladiums als Katalysator der Totaloxydation von Kohlenwasserstoffen (höhere Aktivität, daher geringere Anspringtemperaturen) zuzuschreiben, um die es ja beim Startkatalysator bevorzugt geht. Darüber hinaus besitzt Palladium im Vergleich mit Platin und Rhodium eine geringere Neigung zum Sintern in oxydierender Atmosphäre, ein Vorteil, der vor allem bei Motoren mit magerer Gemischzusammensetzung zum Tragen kommt. Die Kombination von Platin/Rhodium mit Palladium bringt offenbar eine so deutliche Herabsetzung der Anspringtemperatur des Katalysators, dass sich ein motornaher Startkatalysator u. U. auch erübrigen kann. So bietet die Fa. Engelhard einen Katalysator mit diesem Anspruch unter der Bezeichnung "TrimaxTM" an. Die Firma hat allerdings auch einen sogenannten "Hi-TempTM" Katalysator im Angebot, der speziell für motornahe Unterbringung entwickelt wurde.²⁹ Gleichzeitig wird

²⁵ H. Schaper, E. B. M. Doesburg, L. C. van Reijen, Appl. Catal. 1983, 7, 211

²⁶ J. S. Church, N. W. Cant, D. L. Trimm, Appl. Catal. 1993, 101,105

²⁷ D. L. Trimm, in "Handbook of Heterogeneous Catalysis" Band 3, Kapitel 7, S.1278, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim 1997

²⁸ Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Internet-Seite "Katalysatoren"

²⁹ Internet: www.engelhard.com

auf die von der Firma patentierte "segregierte Washcoat-Technologie" zur Herstellung solcher, besonders thermostabiler Katalysatoren verwiesen. Dabei handelt es sich um getrennte Deponierung der Edelmetalle (z.B. Pt, Rh) in einzelnen Schichten auf dem Monolith in der Weise, dass sich z.B. das Platin in einer unten liegenden ersten Schicht von stabilisiertem und mit Cerium als Sauerstoffspeicher promotierten Aluminiumoxids befindet, während sich das Rhodium in einer darüber liegenden Schicht aus Oxiden der Seltenen Erden und des Zirkons befindet. Diese ist wiederum kombiniert mit Platin (oder/und Palladium) auf stabilisiertem Aluminiumoxid. Das ist notwendig. weil Zirkonoxid selbst eine geringere spezifische Oberfläche besitzt als γ-Aluminiumoxid und ihre Thermostabilität auf Grund von Phasenübergängen (mono-klin zu tetragonal) in einem breiten Temperaturbereich nicht ausreicht. Auf diese Weise können Festkörperreaktionen zwischen den Edelmetallen (nichtuniforme Legierungsbildung) sowie zwischen dem Rhodium und dem modifizierten Aluminiumoxid (Migration des Rh³⁺ in das Al₂O₂) eingeschränkt werden. 30

3. 2 Abgaskatalyse bei Sauerstoff-Überschuss ($\lambda >> 1$)

Die Kraftstoffeinsparpotenzen eines direkt einspritzenden Otto-Motors (DISI-Motor, direct injection, spark ignited), die an sich schon z.B. durch die Eliminierung des Kraftstoffniederschlags im Saugrohr beim Kaltstart gegeben sind, erhöhen sich deutlich, wenn er mit Luftüberschuss betrieben wird. Erreicht man mit einem stöchiometrischen Gemisch Einsparungen von 5–9 % und gleich große CO_2 -Reduktionen, so liegen diese Werte für ein Luft/ Kraftstoffverhältnis von 24 : 1 (λ = 1,63) bei 11–15 % und für ein Verhältnis von 40–50 : 1 (λ = 2,7–3,4) sogar bei 17–20 %. Ein derartig hoher Lambda-Wert ist allerdings nur realisierbar, wenn der Motor mit Schichtladung betrieben wird, weil ein derartig mageres Gemisch sich als homogenes Gemisch nicht mehr zünden ließe.

Natürlich bringt ein Motor mit solchen Gemischen bei gleichem Hubvolumen eine geringere maximale Leistung, da der Gemischheizwert geringer wird. Er müsste also größer gebaut werden, um auf gleiche maximale Leistung zu kommen. Das aber bedeutet mehr Gewicht und mehr Reibungsverluste und hat damit seine Grenzen. Das Optimum, vor allem bei kleineren Motoren ist deshalb ein Motor, der nur im Teillastbetrieb, d.h. bei geringerem Leistungsbedarf (z.B. im Stadtverkehr) mit sehr magerem Luft/Kraftstoff-

³⁰ US Patentschrift 5, 057, 483

Gemisch und dann im Schichtladungsbetrieb gefahren wird, und bei Volllast mit stöchiometrischem Gemisch maximale Leistung erbringt.

Wie wir bereits sahen, kann der Dreiwegekatalysator unter diesen sauerstoffreichen Bedingungen die Reduktion des NO zu N2 nicht mehr realisieren, da im Bereich hoher λ-Werte am Rhodium praktisch nur noch die Reduktion des Sauerstoffs durch CO und H2 abläuft. Mit anderen Worten, in der Konkurrenz der Oxydationsmittel NO und O2 siegt der Sauerstoff. Platin allein reduziert NOx unter diesen Bedingungen nur in geringem Ausmaß (30–40 %) und in einem sehr schmalen Temperaturbereich (180–300 °C) mit Kohlenwasserstoffen im Abgas als Reduktionsmittel und außerdem noch bevorzugt zu N2O. Dieser Mangel ist auch durch motorische Maßnahmen, die an sich zur Absenkung der NO-Bildung beitragen, wie z.B. die Abgasrückführung, nicht ausreichend zu beheben. Zur Lösung des Problems bleibt daher nur die Entfernung des NOx aus dem Abgas. Der Ersatz des Rhodiums durch Iridium, das seine NOx reduzierende Wirkung auch unter oxydierenden Bedingungen behält, und deshalb von der Firma Mitsubishi 1996 in ihrem ersten Otto-Motor mit Direkteinspritzung und magerem Gemisch angewandt wurde, ³¹ führt auch nicht zum Ziel, unter anderem deswegen, weil es mit der Verfügbarkeit des Iridiums noch schlechter bestellt ist, als mit der des Rhodiums.

Zur Lösung des Problems werden gegenwärtig hauptsächlich drei Wege beschritten, die bisher noch einen sehr unterschiedlichen Entwicklungstand aufweisen. Es sind dies:

- die Anwendung von NOx-Speicherkatalysatoren mit diskontinuierlicher Reduktion des NOx zu Stickstoff am Dreiwegekatalysator,
- die selektive, kontinuierliche Reduktion des NOx durch Kohlenwasserstoffe im Abgas,
- die kontinuierliche Reduktion des NOx durch Zusatz von Ammoniak oder Verbindungen, aus denen dieser freigesetzt werden kann, an Vanadiumoxid/Titanoxyd-Katalysatoren, in Analogie zu dem in stationären Verbrennungsanlagen angewandten Verfahren.

Betrachten wir die ersten beiden Wege im einzelnen und verzichten auf eine nähere Behandlung des dritten Weges, deren Realisierung in Pkws ohnehin wenig wahrscheinlich sein dürfte

³¹ F. Zhao, M.-C. Lai, D. L. Harrigton, Progress in Energy and Combustion Science 1999, 25:5:437–562

3.2.1 Diskontinuierliche NOx-Reduktion, der NOx-Speicherkatalysator

Die ersten Aktivitäten, das Abgasreinigungssystem den Erfordernissen von Motoren mit magerer Gemischzusammensetzung anzupassen, waren auf eine kontinuierliche NOx-Reduktion mit Hilfe von Kohlenwasserstoffen gerichtet. Die Ergebnisse ließen auf eine schnelle Lösung aber nicht hoffen. Grundlegende Untersuchungen erschienen notwendig, die bis heute noch nicht zu einer technisch reifen Lösung geführt haben.

In den letzten Jahren ist daher ein anderer Weg immer mehr in den Vordergrund gerückt, der NOx-Speicher-Reduktions-Katalysator. Die offenbar ersten öffentlichen Verlautbarungen über eine mögliche Lösung des NOx-Problems bei Automobil-Motoren durch die Fa. Toyota mit Hilfe eines alternierenden Prozesses aus NOx-Adsorption und reduktiver Entfernung des adsorbierten NOx als N₂, stammen aus dem Jahr 1995 von S. Matsumoto. ³² Im gleichen Jahr wurden der Firma eine ganze Reihe von Patenten erteilt, ³³ in denen sie sich verschiedene Varianten dieser Abgastechnologie schützen ließ. Im Prinzip handelt es sich dabei um einen Dreiwege-Katalysator, der zusätzlich ein Erdalkali und/oder ein Alkalimetall als Oxid oder Carbonat enthält. Wenn auch zu Einzelheiten des genauen Reaktionsmechanismus noch Forschungsbedarf besteht, kann man sich die grundsätzliche Wirkungsweise dieser Katalysator-Technologie wie in Bild 1 schematisch wiedergegeben, vorstellen. ³⁴

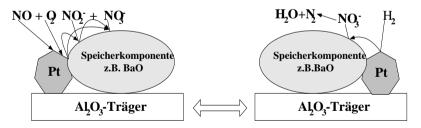


Abbildung 1: Schema der Wirkungsweise des NOx-Speicher-Reduktions-Katalysators

In der Adsorptionsphase des NOx aus dem sauerstoffhaltigen Abgas bilden sich an der Speicherkomponente, z.B. Barium als BaO, Ba(OH)₂ oder

³² S. Matsumoto, Catal. Today 29 (1996) 43; M. Misono, Appl. Catal. 129 (1995)

³³ z.B. US 5, 423, 181; US 5, 433, 074 und andere

³⁴ K. H. Glück, U. Göbel, H. Hahn, J. Höhne, R. Krebs, T. Kreuzer, E. Pott, MTZ Motortechnische Zeitschrift 61 (2000) 6

BaCO₃, je nach Zusammensetzung des Abgases, zunächst sowohl Nitrat-Ionen (NO₃-) wie auch Nitrit-Ionen (NO₂-), die aber im Verlauf der Adsorptionsphase nahezu vollständig zu Nitraten oxydiert werden³⁵. Für die Nitratbildung sind wahrscheinlich Platinzentren in unmittelbarer Nachbarschaft mit der Speicherkomponente, z.B. BaO, verantwortlich. Ein zweiter Zentrentyp am Platin bewirkt die Sauerstoffaktivierung. 36 Kurz bevor die Speicherkomponente völlig mit NO₂ gesättigt ist, erhält der Motor von einer NOx-Sonde ein Signal und schaltet für sehr kurze Zeit auf stöchiometrisches Gemisch um. Die Reduktion des gespeicherten NOx zu N2 ist z.B. mit Wasserstoff eine sehr schnelle Reaktion. Die Zeitdauer beider Betriebsphasen kann sich daher etwa wie 30: 1 verhalten. Als Speicherkomponente kommen vor allem die Erdalkalien, Alkalien aber auch Elemente der Seltenen Erden zum Einsatz. Je höher ihre Atommasse ist, um so besser sind sie geeignet. Entscheidend für die Speicherkapazität ist nicht nur die Optimierung ihrer Menge, sondern vor allem ihre Dispersität auf der Trägeroberfläche. Da die Speicherung des NOx in einem Temperaturbereich von 250–550 °C optimal wirksam sein muss (> 80 %), ist die Temperaturstabilität der Dispersitäten sowohl der Edelmetall-Phase, wie auch die der Speicherkomponente von großer Bedeutung. Der untere Bereich des Temperaturfensters wird durch die Edelmetallaktivität bestimmt, da Voraussetzung für die Adsorption die Oxydation des NO zu NO2 ist. Die Ausdehnung des oberen Temperaturbereichs hängt von der Speicherkomponente ab, die bei hohen Temperaturen (> 750 °C) sowohl an Dispersität verliert als auch durch Wechselwirkung mit Trägerkomponenten deaktiviert wird. Alterung durch hohe Temperaturen ist also mit einer Einengung des wirksamen Temperaturbereichs verbunden.³⁷ In dieser Beziehung ist hier der Entwicklungsstand des normalen Dreiwegekatalysators offenbar bis jetzt noch nicht erreicht. Im ersten deutschen Pkw, das diesen Speicherkatalysator in einem Serienfahrzeug einsetzt, dem VW Lupo FSI, geschieht dies in Reihe mit einem Startkatalysator, der nicht nur die Abgasgrenzwerte zu erfüllen hilft, sondern auch den Speicherkatalysator vor thermischer Überbelastung schützt.

Die Temperaturstabilität ließe sich durch die Verwendung von Kalium anstelle des Bariums deutlich erhöhen. Kalium bildet aber Sulfate, die erst bei deutlich höheren Temperaturen reduziert werden können. Damit sind wir bei einem weiteren Faktor der Leistungsbegrenzung des Speicherkatalysators,

³⁵ L. Lietti, P. Forzatti, I. Nova, E. Tronconi, J. Catal. 204 (2001) 1, S. 175-191

³⁶ H. Mahzoul, J. F. Brilhac, P. Gilot, Appl. Catal. B: Environmental 1999, 20:1:47–55

³⁷ M. Deeba, J. K. Hochmuth, MTZ 2/2002, Jahrgang 63

seiner Reaktivität gegenüber SO2, dessen Menge vom Schwefelgehalt des Kraftstoffs abhängt und das nach Oxydation zu SO3 am Platin als Sulfat in Konkurrenz zum Nitrat gespeichert wird. Die Regenerierung der Speicherkomponente durch Reduktion des Sulfats bedarf höherer Temperaturen, die bei höherer Motorlast auf natürliche Weise auftreten und somit eine Selbstreinigung des Katalysators bewirken. Im Teillastbetrieb dagegen sind aktive Maßnahmen erforderlich. 38 Im VW Lupo FSI wird die aktive Entschwefelung alternierend mit mageren und fetten Gemischen betrieben um zu vermeiden, dass sich unter reduzierenden Bedingungen an Stelle von SO₂, Schwefelwasserstoff bildet. Die Umschaltung erfolgt geregelt durch einen NO_v/O₂-Sensor in der Weise, dass für die fette Periode noch genügend gespeicherter Sauerstoff auf dem Katalysator vorhanden ist, um die Entstehung des H₂S zu verhindern. Natürlich verbraucht diese Regenerierung zusätzlich Kraftstoff und wird daher auf das notwendige Minimum beschränkt. Man erkennt, wie notwendig die weiter oben angesprochene Senkung des S-Gehalts im Kraftstoff ist.

Angesichts der Bedeutung dieser Frage hat es nicht an Versuchen gefehlt, die Schwefelresistenz des Speicherkatalysators durch seine Modifizierung zu verbessern. Mit Hilfe von thermogravimetrischen und Fourier-Transform-IR-Untersuchungen an gealterten NOx-Speicherkatalysatoren war festgestellt worden, dass die Desaktivierung sowohl durch die Bildung von Bariumsulfat als auch von Aluminiumsulfat verursacht wird. Die Wirkung von Zusätzen musste also in einer Verstärkung der Schwefeldesorption vom Katalysator bestehen. Tatsächlich wird für ein Gemisch aus TiO_2 und γ -Al $_2O_3$ die SO_2 -Adsorption vermindert. 39 Außerdem setzt die SO_2 -Desorption von γ -Al $_2O_3$, das mit Lithium anstatt mit anderen Alkali-oder Erdalkali-Metallen dotiert wurde bei tieferen Temperaturen ein.

Beschrieben ist in einer anderen Arbeit auch die Modifizierung eines Pt/Rh-Dreiwegekatalysators mit TiO₂, der sich als hocheffizient in der NOx-Reduktion und als hochschwefelresistent erwies⁴⁰. Schon bei 250 °C und einer GHSV (Gas hourly space velocity) von 30000 h⁻¹ lieferte er nach 5 Stunden im mager-fett Wechsel in Gegenwart von 100 ppm SO₂ und 2,3 % Wasser noch 90 % NOx-Umsatz. Selbst bei 400 °C wurden immer noch 70 % umge-

³⁸ M. Winterkorn, P. Bohne, L. Spiegel, G. Söhlke, MTZ Motortechnische Zeitschrift 61(2000) 6

³⁹ S. Matsumoto, Y. Ikeda. H. Suzuki, M. Ogai, N. Miyosha, Appl. Catal. B: Environmental 2000, 25:2–3:115–124

⁴⁰ H. Y. Huang, R. Q. Long, R. T. Yang, Appl. Catal. B: Environmental 2001, 33:2:127-136

setzt. Der Barium anstelle von ${\rm TiO_2}$ enthaltende Vergleichskatalysator setzte nach gleicher Vorbehandlung nur noch 30 % NOx bei 300 °C um. Allerdings ist die Speicherkapazität des ${\rm Pt/Rh/Ba/Al_2O_3}$ wesentlich höher als die des Katalysators mit ${\rm TiO_2}$, was bei seiner Anwendung im Abgas-System häufigere Reduktionsphasen und damit einen höheren Kraftstoffverbrauch zur Folge hätte. Letztlich wäre das also ein Optimierungsproblem. Immerhin sei hier aber daran erinnert, dass die Firma Honda in ihrem 2000 auf den Markt gebrachten Wagen "Insight" einen ${\rm Pt/Ti/Na/Al_2O_3}$ -Katalysator einsetzte. 41

Systematisch ist der Einfluss der Elemente Fe, Co, Ni, und Kupfer im Pt/Ba/Al₂O₃ Katalysator untersucht worden. ⁴² Dabei zeigte sich, dass der Zusatz von Eisen den Schwefelgehalt des Katalysators im Vergleich zum unmodifizierten Katalysator nach gleicher Vorbehandlung deutlich erniedrigt. Als Ursache fanden die Autoren eine Hemmung des Wachstums der Bariumsulfat-Partikel, eine Förderung der Zersetzung des Sulfats und der Desorption der Schwefelverbindung unter reduzierenden Bedingungen.

Auch der Ersatz des Platins im Speicherkatalysator Pt/Ba/Al₂O₃ durch Palladium ist untersucht worden. ⁴³ Der Palladium-Kontakt besitzt bei einer Temperatur um 300 °C eine höhere Speicher- und Reduktions-Kapazität, bei 400 °C ist der Platin-Kontakt jedoch etwas besser. Die Aktivität des Palladium gegenüber der Oxydation des NO zu NO₂ ist jedoch im Vergleich zum Platin deutlich weniger ausgeprägt. Eine Kombination beider Elemente könnte die Vorzüge beider Metalle vielleicht vereinigen.

NOx-Speicherkatalysatoren haben bis heute trotz aller Probleme einen Entwicklungsstand erreicht, der es in Kombination mit einem motornahen Startkatalysator möglich macht, in sauerstoffreichen Abgasen nicht nur die notwendigen Reduzierungen von CO und VOC's zu erreichen, sondern auch die Stickoxyde um ca 90 % zu senken. Dieser Fortschritt wird allerdings mit einem deutlichen Mehraufwand an Mess- und Regeltechnik erkauft. Zu den Hauptproblemen dieser Technologie scheint noch immer die präzise Steuerung des Einschubs der Regenerationsphase während ausgedehnter Perioden im Teillastbetrieb zu gehören. 44

⁴¹ Honda, Internet Hompage

⁴² K. Yamazaki, T. Suzuki, N. Takahashi, K. Yokota, M. Sugiura, Appl. Catal. B: Environmental 2001, 30:3–4:459–468

⁴³ S. Salasc, M. Skoglundh, E. Fridell, Appl. Catal. B: Environmental 2002, 36:2:145–160

⁴⁴ F. Zhao, M.-C. Lai, D. L. Harrigton, Progress in Energy and Combustion Science 1999, 25:5:437–562

3.3.2 Kontinuierliche, selektive, katalytische NOx-Reduktion durch Kohlenwasserstoffe (HC-SCR)

Das Ziel, einen kontinuierlich arbeitenden Dreiwege-Katalysator für sauerstoffreiche Abgase zu entwickeln, stand, wie bereits zu Beginn des vorigen Abschnitts erwähnt, am Anfang der Bemühungen, dem Otto-Motor mit Direkteinspritzung und hohen Lambda-Werten des Kraftstoff/Luftgemisches zum Durchbruch zu verhelfen. In wie weit das Prinzip des Speicherkatalysators dieser Entwicklung den Rang abläuft, bleibt abzuwarten. Hinsichtlich des Anteils von Patenterteilungen ist das in den letzten beiden Jahren schon geschehen. Es scheint, als habe die Industrie ihre Entscheidung bereits getroffen. Bei den wissenschaftlichen Publikationen überwiegen noch immer Arbeiten, die sich mit kontinuierlich arbeitenden Katalysatoren befassen. Im Mittelpunkt steht dabei die selektive Reduktion der Stickoxide durch Kohlenwasserstoffe (HC-SCR). In geringerem Umfang wird an der Übertragung der selektiven NOx-Reduktion durch NH3 an Vanadiumoxid/Titanoxid-Katalysatoren, wie sie von stationären Verbrennungsanlagen her bekannt ist, auf Kraftfahrzeuge gearbeitet. Hier steht allerdings der Dieselmotor größerer Leistung im Vordergrund.

Erwähnt sei schließlich noch, dass es sicher die einfachste Lösung wäre, den Zerfall des NO in seine Elemente zu katalysieren, denn NO ist unter den Bedingungen des Abgases thermodynamisch metastabil und existiert nur, weil sein Zerfall kinetisch gehemmt ist. Trotz intensiver Suche, konnte bisher aber kein Katalysator gefunden werden, der diesen Zerfall in Gegenwart von Sauerstoff hinreichend stark und nachhaltig beschleunigt. Es sollte aber gesagt werden, dass die Entdeckung der HC-SCR aus den Untersuchungen zum NO-Zerfall an Cu-ZSM-5-Katalysatoren hervorgegangen ist. 45

3.3.2.1. Charakter der Reaktionen

Wenn Sauerstoff in größerer Konzentration mit NOx im Abgas koexistiert, dann haben wir es mit zwei Oxydationsmitteln zu tun, die um die oxydierbaren Bestandteile des Abgases konkurrieren:

1. NOx
$$+ RH \rightarrow N_2 + CO_2 + H_2O$$

2. $O_2 + RH \rightarrow CO_2 + H_2O$

⁴⁵ M. Iwamoto, Studies in Surface Science and Catalysis, Vol.84, 1994, 1395–1410

Handelt es sich dabei um Kohlenwasserstoffe, dann hängt der Ausgang dieser Konkurrenz von folgenden Faktoren ab:

- Temperatur und Katalysatortyp
- Art des Kohlenwasserstoffs (Aromat, Olefin, Paraffin)
- Kohlenwasserstoff / NOx-Verhältnis
- Konzentration des Sauerstoffs und des Kohlenwasserstoffs

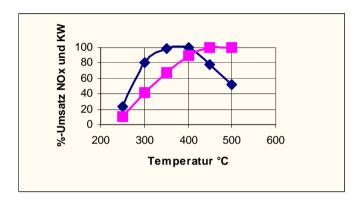


Abbildung 2: (n) NO-Umsatz zu N_2 , (u) n-Oktan zu CO_2 , 2% Ag- Al_2O_3 , HC: 6000 ppm, NO: 1000 ppm, 10% O_2

Bemerkenswert ist, dass trotz dieser Konkurrenz auch die Reaktion 1 nur in Gegenwart eines Überschusses von Sauerstoff abläuft und dass an den für diese Reaktion aktiven Katalysatoren CO und H_2 als Reduktionsmittel nicht geeignet sind. Die Abbildung 2 zeigt den typischen Verlauf der Umsatzkurven der konkurrierenden Reaktionen 1 (schwarz) und 2 (grau) in Abhängigkeit von der Temperatur. 46 Die Breite des Temperaturfensters, in dem der NOx-Umsatz z.B. > 80 % beträgt, hängt im Bereich der tiefen Temperaturen von der Aktivität des Katalysators in der NOx-Reduktion ab, im oberen Bereich von seiner Aktivität gegenüber der Oxydation des Kohlenwasserstoffs durch molekularen Sauerstoff. Im angeführten Beispiel ist n-Oktan oberhalb 425 °C praktisch völlig verbraucht und steht daher für die NOx-Reduktion nicht mehr zur Verfügung. Der Umsatz des NOx fällt also schnell ab. Gesucht wird demzufolge ein Katalysator, der die Reduktion des NOx bereits bei 200–250 °C gut katalysiert, und bis in den Bereich hoher Temperaturen die Oxydation

⁴⁶ K. Shimizu, J. Shibata, H. Yoshida, A. Satsuma, T. Hattori, Appl. Catal. B: Environmental 30 (2001) 151–162

des Kohlenwasserstoffs durch den Sauerstoff nur mäßig beschleunigt. Verlangt wird also eine hohe Selektivität der Wechselwirkung des Kohlenwasserstoffs mit dem NOx, wobei man möglichst mit den Kohlenwasserstoffen, wie sie im Abgas auftreten, auskommen möchte. Bei zu geringer Selek-tivität läßt sich die obere Temperatur zwar noch durch eine höhere Konzentration des Kohlenwasserstoffs (Erhöhung des HC/NOx-Verhältnisses) nach oben verschieben, leider ist das mit dem realen Abgas aber nur begrenzt möglich und würde bei Zusatz natürlich den Kraftstoffverbrauch erhöhen.

Die Aufgabenstellung erwies sich jedoch als noch schwieriger, denn aus einer Reihe experimenteller Fakten ließ sich schließen, dass der Reduktion des NO seine Oxydation zum NO₂ vorgelagert sein muss. ⁴⁷ Möglicherweise gilt das nicht für alle Katalysatoren und hängt wahrscheinlich auch von der Art des (in den Laboruntersuchungen) verwendeten Kohlenwasserstoffs und Katalysators, sowie sicher auch vom Temperaturbereich ab. Dennoch sollte der Katalysator zusätzlich noch die Fähigkeit besitzen, das NO zu NO₂ zu oxydieren, um die NOx-Reduktion vor allem schon bei tieferen Temperaturen zu katalysieren.

Hier soll zuerst auf ein interessantes Lösungskonzept eingegangen werden, in dem versucht wird, diese Funktionen des Katalysatorsystems durch räumliche Trennung besser zu beherrschen. Das kann auf zweierlei Weise geschehen. Erstens durch Verwendung von zwei hintereinander geschalteten Reaktoren, von denen der erste einen typischen Oxydationskatalysator z.B. auf Basis von Platin enthält und der zweite mit einem Katalysator gefüllt ist, der eine geringe Oxydations – aber eine gute Reduktionsaktivität für NO₂ besitzt. Das Reduktionsmittel, der Kohlenwasserstoff, wird erst zwischen den beiden Reaktoren zugeführt:

$$\begin{array}{ll} \text{HC------} & \\ \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2 & \rightarrow & \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \\ \text{Oxydationskatalysator} & \text{Reduktionskatalysator} \end{array}$$

Diese Verfahrensweise wurde von japanischen Forschern vorgeschlagen und im Labor erprobt. ⁴⁸ Dabei kann jeder Katalysator für seine spezielle Funktion optimiert werden. Mit einer Kombination eines Pt-MFI-Zeoliths im ersten Reaktor und eines Zn-MFI-Zeoliths im zweiten erreichten sie eine Umwand-

⁴⁷ M. Shelef, Chem. Rev. 1995, 95, 209-225

⁴⁸ M. Iwamoto, T. Zengyo, A. M. Hernandez, H. Araki, Appl. Catal. B: Environmental 17 (1998) 259–266

lung von NOx zu N_2 von 54 % bei 300 °C, im Vergleich zu 5 % mit dem Zn-MFI-Zeolith allein bzw. von 6 % mit dem Pt-MFI-Zeolith allein. Der Effekt ist also deutlich. Zu seiner kommerziellen Realisierung wäre jedoch eine zusätzliche, wenn auch geringe Kraftstoffeinspeisung notwendig, abgesehen davon, dass der Reduktionskatalysator noch keineswegs den Anforderungen genügt und es außerdem gezeigt werden konnte, dass unter den Bedingungen eines realen Abgases ein Teil des gebildeten NO_2 wieder in NO zurück verwandelt wird.

Der zweite Weg ist von Martens und Mitarbeitern beschritten worden.⁴⁹ Sie nutzen das Prinzip der Molekularsiebung an Zeolithen. Die räumliche Trennung der Oxydations- und Reduktionsfunktion erfolgt hier innerhalb eines Labor-Reaktors, der mit einem Gemisch aus einem die NO-Oxydationsfunktion (Pt) tragenden, kleinporigen Zeolith (0,5 % Pt/H-Ferrierit, Chabasit) und einem die NOx-Reduktion katalysierenden, großporigen Zeolithkatalysator (5 % Ag/H-Mordenit) gefüllt ist. Als Kohlenwasserstoffe dienten n-Oktan (typisch für Diesel) und Isooktan (typisch für Benzin) Der Zugang des Kohlenwasserstoffs zu den Platinzentren im kleinporigen Pt-Zeolith ist im Falle des Isooktans im Vergleich zum n-Oktan erschwert. Seine Oxydation wird daher an diesem Katalysator um etwa 50 °C zu höheren Temperaturen verschoben. Die Bildung von leichteren Crackprodukten des Isooktans (z.B. Isobuten) an der äußeren Oberfläche der Zeolithkristallite, für die die kleinen Poren leicht zugänglich sind, verhindert einen noch deutlicheren Molsieb-Effekt. Der großporige Silber-Mordenit Katalysator besitzt nur eine geringe Aktivität zur Oxydation von NO zu NO2. An ihm allein verläuft deshalb eine NOx-Reduktion durch die Kohlenwasserstoffe auch nur in geringem Umfang, da nicht genug NO2 gebildet wird. In einem mechanischen Gemisch beider Komponenten (30 : 70 Masse-%, Gas-Zusammensetzung: 500 ppm NO, 350 ppm Isooktan, 6 % O₂, 12 % Wasser, 10 % CO₂, 350 ppm CO, Rest Helium) dagegen erreichen die Autoren mit Isooktan als Reduktionsmittel bei 260 °C einen maximalen Umsatz des NOx von 86 %. Nur etwa 60 % davon zu N2, der Rest ist Lachgas, dessen Bildung für Platin charakteristisch ist, während Silber für sich genommen die Reduktion mit fast 100 %-iger Selektivität zu N₂ katalysiert. Mit n-Oktan als Reduktionsmittel im mechanischen Gemisch beider Katalysatoren werden nur maximale NOx-Umsätze von ca. 55 % erzielt, weil n-Oktan auch im kleinporigen Pt-Zeolith in höherem Maße

⁴⁹ J. A. Martens, A. Cauvel, F. Jayat, S. Vergne, E. Jobson, Appl. Catal. B. Environmental 29 (2001) 299–306

oxydiert wird und deshalb im Silber-Mordenit für die NOx-Reduktion weniger zur Verfügung steht. Ob diese interessante Herangehensweise auch unter realistischen Bedingungen im Abgas eines Automobils zum Ziel führt, bleibt abzuwarten. Schließlich kann man dort den Kohlenwasserstoff nur dann frei wählen, wenn man ihn dem Abgas zusetzt, was nicht gerade als erstrebenswert erscheint.

Darüber hinaus war schon Mitte der 90-er Jahre an Co-ZSM-5 Katalysatoren festgestellt worden, dass sich die Kohlenwasserstoffe unterschiedlicher Struktur und Größe zwar hinsichtlich ihrer Reaktivität gegenüber dem NOx (maximaler NOx-Umsatz und Temperatur bei der dieser erreicht wird) relativ stark unterscheiden, nicht aber hinsichtlich ihrer Selektivität in der Reduktion von NOx und O2. Das gilt selbst für solche Kohlenwasserstoffe, deren Zugang zu den Aktivzentren im ZSM-5 eigentlich begrenzt sein sollte, mit Ausnahme von Tetraethylmethan (Neononan)⁵⁰. Obwohl der Zeolith Ferrierit wegen seines kleineren Porenquerschnitts (0,42 x 0,54 nm) der Größe des KW-Moleküls sicher größere Beschränkung auferlegt als der hier untersuchte ZSM-5, muß dem Verhältnis von innerer Oberfläche und äußerer Oberfläche zur Erzielung von Selektivitätsunterschieden durch die Struktur des Kohlenwasserstoffs an Zeolithkatalysatoren sicher größere Aufmerksamkeit gewidmet werden (z.B. durch die Kristallitgröße). Außerdem sollte die Protonenkonzentration im Zeolith möglichst gering sein, um Spaltreaktionen weitgehend zu vermeiden.

Schauen wir uns nun den gegenwärtigen Entwicklungstand zur Katalysatorentwicklung etwas näher an, wobei der Aspekt des Fortschritts in Richtung einer praktischen Anwendbarkeit der Katalysatoren für die in diesem Rahmen beschränkte Auswahl ausschlaggebend sein soll.

3.3.2.2 Katalysatoren

Die selektive katalytische NOx-Reduktion wurde zuerst an kupfer-ausgetauschten Zeolithen von Iwamotos Gruppe⁵¹ in Japan sowie Held und Mitarbeitern⁵² in den USA entdeckt. Seit dieser Zeit ist eine kaum noch übersehbare Anzahl wissenschaftlicher Publikationen und Patente zur Anwendung von Katalysatoren auf Basis von ionen-ausgetauschten Zeolithen erschienen, über die Weitkamp⁵³ und Mitarbeiter für die Zeit bis 1998 in ei-

⁵⁰ F. Witzel, G. A. Sill, W. K. Hall, J. Catal. 149, 229–237 (1994)

⁵¹ siehe Fußnote 1, S, 16

⁵² W. Held et al., SAE paper 900496 (1990)

⁵³ Y. Traa, B. Burger, J. Weitkamp, Microporous and Mesoporous Materials 30 (1999) 3-41

ner Übersicht zusammenfassend berichten (mit Ausnahme der Cu-Zeolithe). Da eines der Hauptprobleme der bisher beschriebenen Zeolithkatalysatoren in ihrer für eine praktische Anwendung unzureichenden Standfestigkeit besteht, werden in neueren Arbeiten auch nichtzeolithsche Trägermaterialien, vor allem γ -Aluminiumoxid verstärkt untersucht. Die metallischen Komponenten sind meistens die gleichen wie in den Zeolithen:

Edelmetalle der Platingruppe vor allem Platin und Palladium, neuerdings verstärkt Silber, sowie Ionen bzw. Oxyionen des Kupfers, Kobalds und Eisens und einiger anderer, weniger häufig beschriebener Metalle wie Gallium, Indium, Cerium, Nickel und Mangan. Auch Kombinationen mehrerer dieser Metall-Ionen sind zu finden. Das gilt besonders für die umfangreiche Patentliteratur, in der beispielsweise solche Kombinationen wie Cu/Ag (US 5968466) oder Cu/Fe/Co (US 596861) beansprucht werden.

Unter den Zeolith-Typen findet man nahezu alles, was an Materialien auch sonst in die Katalyse Eingang gefunden hat: mikroporöse Zeolithe mit Porendurchmessern mittlerer Größe (0.45–0,60 nm) wie ZSM-5, Ferrierit, Zeolithe mit größeren Porenquerschnitten bzw. Fensteröffnungen (0,6–0,8 nm) zu den größeren Hohlräumen wie Mordenite und Faujasite, Zeolith beta; vereinzelt wird auch über die Anwendung von mesoporösen Materialien berichtet.

Zeolithe sind bekanntlich Gerüstsilikate, die sich aus Sauerstoff-Tetraedern, TO₄, des Siliciums und Aluminiums als primären Stuktureinheiten aufbauen, indem sie sich über Sauerstoffatome miteinander zunächst zu sekundären Struktureinheiten, einfachen Ringen und Prismen verschiedener Größe verbinden und daraus eine Vielzahl uniformer räumlicher Strukturen mit käfig- oder kanalförmigen Poren bilden. Da die Al-Tetraeder wegen der Dreiwertigkeit des Aluminiums eine negative Ladung tragen, ist das sich bildende Gerüst ein anionisches Gitter, dessen negative Ladungen durch Protonen oder andere Kationen kompensiert werden. Die Zahl dieser austauschbaren Kationen steht demzufolge in direkter Relation zu der Zahl der Al-Tetraeder im Gitter.

Der am häufigsten angewandte Zeolith, H-ZSM-5, gehört zur Familie der Si-reichen MFI- oder auch Pentasil-Zeolithe, dessen Si/Al-Verhältnis bei etwa 11 beginnt und der bis zum praktisch aluminiumfreien Silikalit hergestellt werden kann. Seine Porenstruktur besteht aus geraden Kanälen 10-gliedriger Ringe entlang der kristallographischen c-Achse, deren leicht elliptischer Querschnitt die Maße 0,53 x 0,56 nm besitzt und die von zick-zackförmigen Kanälen gleicher Ringstruktur gekreuzt werden. Diese haben einen

etwas stärker elliptischen Querschnitt (0,51 x 0,56 nm). Mordenite haben ein Si/Al-Verhältnis von 5 und besitzen ebenfalls kanalförmige Poren aus 12-gliedrigen Ringen mit schwach elliptischem Querschnitt (0,67 x 0,7 nm) entlang der kristallographischen c-Achse. Die kanalförmigen Poren entlang der b-Achse bestehen aus Taschen mit einem stark elliptischen Querschnitt von 0,29 x 0,57 nm und sind für die meisten Moleküle unzugänglich. Von den Faujasiten sind hier nur die Zeolithe vom Typ Y sowie deren stabilisierte Form USY von Interesse. Im Unterschied zu den vorgenannten Typen besitzen sie keine ein- oder mehrdimensionalen kanalförmigen Poren, sondern ein durch Fensteröffnungen miteinander verbundenes dreidimensionales Hohlraumsystem. Diese sogenannten Superkäfige, deren Volumen fast 50 % des Volumens des dehydratisierten Kristalls ausmacht, haben einen Durchmesser von 1,2 nm und die Fenster bestehen aus 12-gliedrigen Ringen mit einer Weite von 0,8 nm. Das Si/Al-Verhältnis liegt zwischen 1,5–3.

Für eine Katalysatorentwicklung nach Maß bieten die Zeolithe wegen ihrer gut definierten Strukturen und der gut realisierbaren Variationsbreite ihrer Eigenschaften große Vorteile. Im Vordergrund steht hier natürlich die Austauschfähigkeit der Kationen, die Methode des Ionenaustauschs, die Größe und Form der Poren in Abhängigkeit vom Zeolith-Typ, das Si/Al-Verhältnis, mit dem die maximale Konzentration der ausgetauschten Ionen, sowie die räumliche Distanz zwischen ihnen vorgegeben werden kann. Diese Vielfalt der Möglichkeiten kann von Vorteil sein, wenn man bedenkt, welche Anforderungen an einen der Praxis genügenden Katalysator gestellt werden. Im einzelnen seien genannt:

- ein möglichst breites Temperaturfenster der katalytischen Aktivität (250–550 °C) im Bereich von Raumgeschwindigkeiten zwischen 15000–120000 h⁻¹,
- mittlere Umsätze in diesem Temperaturbereich von mindestens 60 %,
- hohe Selektivität der NOx-Umwandlung zu N₂,
- gute Selektivität der NOx-Reduktion (in Relation zu der Oydation des KW durch Sauerstoff,
- geringe Abhängigkeit von der Natur des Kohlenwasserstoffs als Reduktionsmittel,
- geringe Empfindlichkeit der Aktivzentren gegenüber anderen Abgasbestandteilen wie H₂O und SO₂
- hohe thermische und hydrothermale Stabilität des Trägers und damit der Dispersität der Aktivphase.

Zum Einfluss der Kationen

Die Edelmetalle Platin und Palladium in Zeolithen und auf anderen Trägern sind sehr aktiv und katalysieren sowohl die NOx-Reduktion wie auch die Totaloxydation der Kohlenwasserstoffe im niederen Temperaturbereich von 200–250 °C. Der bisher nicht überwundene Nachteil besteht allerdings darin, dass sich dabei zu überwiegend nicht N_2 , sondern N_2 O bildet. Außerdem ist das Temperaturfenster auf Grund der hohen Oxydationsaktivität der Edelmetalle sehr schmal. Katalysatoren auf Basis der Übergangsmetalle dagegen reduzieren NOx erst im höheren Temperatur-Bereich oberhalb von 300 °C und nahezu vollständig zum Stickstoff. Ihre Aktivität ist jedoch noch nicht ausreichend. Hinzu kommt, dass einige von ihnen unzureichend schwefelresistent sind und in Gegenwart von Wasser (Cu-, Co-, aber auch Ga-, In-ZSM-5) reversibel oder irreversibel deaktiviert werden.

Von besonderem Interesse sind Fe-ZSM-5 Katalysatoren. Es wurde ausgelöst durch eine Arbeit von Feng und Hall, ⁵⁴ die für ein auf besondere Weise hergestellten Fe/ZSM-5 Zeolith (Eintausch von [FeOH]⁺ aus einer wässrigen Oxalatlösung) mit Isobutan als Kohlenwasserstoff Umsätze zu N₂ von 95 % bei 500 °C in Gegenwart von 20 % Wasser und 150 ppm SO₂ gefunden haben. Selbst nach 2500 Stunden Dauertest konnte noch keine Desaktivierung des Katalysators festgestellt werden. Die Autoren schrieben dieses Verhalten der Tatsache zu, dass der Zeolith keine Protonen mehr enthält.

Versuche anderer Autoren, dieses Ergebnis zu reproduzieren, schlugen allerdings fehl. Sie führten den Misserfolg darauf zurück, dass die Eigenschaften solcher Katalysatoren sehr stark von der Vorgeschichte des jeweiligen Zeoliths abhängen. Möglicherweise geht es dabei um Unterschiede in der Konzentration von herstellungsbedingten Strukturdefekten der Zeolithe, einem Umstand, der unter dem Aspekt der Langzeitstabilität bisher vielleicht zu wenig beachtet wurde.

Die Autoren der zitierten Arbeit kamen aber dennoch zu Fe-ausgetauschten Proben mit einem Fe/Al-Verhältnis von 1 und sehr guten Eigenschaften, und zwar durch Sublimation von FeCl₃. Sie beobachteten ebenfalls mit Isobutan eine Umwandlung von NOx zu N₂ von 76 % bei ca. 350 °C. Auch die Anwesenheit von 10 % H₂O veränderte dieses Ergebnis nicht. Im Gegenteil, im unteren Bereich des Temperaturfensters ließ sich sogar eine Erhöhung der Aktivität beobachten. Ähnlich gute Eigenschaften wurden auch an durch

⁵⁴ X. Feng, W. K. Hall, J. Catal. 166,368–376 (1997)

⁵⁵ H.-Y. Chen, W. M. H. Sachtler, Catalysis Today 42 (1998) 73-83

Festkörper-Ionenaustausch hergestellten Fe-ZSM-5 Katalysatoren für die simultane Reduktion von NO und N₂O gefunden. ⁵⁶

Deutliche Verbesserungen der Eigenschaften können sich auch durch Eintausch eines zweiten Kations ergeben. Im Falle des Eisenzeoliths erbrachte die Einführung geringer Mengen Lanthan (La/Al = 0,003, bei Fe/Al = 1) eine Erhöhung der NOx-Reduktion mit Isobutan bei 350 °C auf 90 %. Dieser Effekt kommt zustande, weil das Lanthan die Aktivität des Katalysators gegenüber der Oxydation des Isobutans vermindert. Auch hier haben 10 % $\rm H_2O$ keinen negativen Einfluss, bei tieferen Temperaturen sogar eher einen positiven Effekt. Nach 100 Stunden Testlauf ließen sich noch keine Anzeichen einer Zerstörung der Zeolithstruktur nachweisen. $\rm ^{57}$

Viel Aufmerksamkeit ist in den letzten 2–3 Jahren auch der Verbesserung der Selektivität der NOx-Reduktion von Edelmetall-Katalysatoren gewidmet worden. Es lag nahe, die guten N₂-Selektivitäten der NOx-Reduktion an Katalysatoren mit Übergangsmetallen mit der hohen Aktivität und Stabilität des Platinkatalysators zu kombinieren. So konnte am System Co/ZSM-5 mit 2,74 Masse-% Co durch Zusatz von optimal 0,13 Masse-% Platin die Aktivität der NOx-Umwandlung fast verdoppelt werden, wobei die N₂-Selektivität (bei 350 °C mit Propen als Reduktionsmittel) von 85 % für den reinen Co/ZSM-5 Katalysator nur auf 80 % zurückging, was gegenüber den 45 % am Pt/ZSM-5 unter gleichen Bedingungen ein erheblicher Fortschritt ist. ⁵⁸ Die Autoren realisierten mit diesem Katalysator bei 300 °C mit Propen im wasserfreien Testgas einen Dauertest über mehr als 20 Stunden ohne Aktivitätsverlust. Dabei lagen die NOx-Umsätze bei 67 % mit ca 87 %-iger N₂-Selektivität. Zusätze von bis zu 6 % H₂O wurden bei 350 °C untersucht und beeinflussten weder den NO-Umsatz noch die N₂-Selektivität.

Schon früher war gezeigt worden, dass bei Verwendung von niederen organischen Verbindungen, wie z.B. Propen als Reduktionsmittel Katalysatoren auf Basis von Silber zu den aktivsten und beständigsten gehören, 59 obwohl eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber der Vergiftung durch $\rm H_2O$ und $\rm SO_2$ beobachtet wurde. In neueren Veröffentlichungen werden die guten Eigenschaften mit Propen aber auch für Methan und für höhere Paraffine wie

⁵⁶ M. Kögel, V. H. Sandoval, W. Schwieger, A. Tissler, T. Turek, J. Catal. Vol. 182, 2, March (1999)

⁵⁷ H.-Y. Chen, W. M. H. Sachtler, Catalysis Letters 50 (1998) 125–130

⁵⁸ S. E. Maisuls, K. Seshan, S. Fast, J. L. Lercher, Appl. Catal. B: Environmental 29 (2001) 69–81

⁵⁹ siehe Arbeit von Li und Flytzani-Stephanopoulos

n-Oktan bestätigt und hinsichtlich der Wasser- und SO₂-Toleranz Fortschritte erzielt. Beide Kohlenwasserstoffe besitzen ja als Reduktionsmittel ein großes Interesse: Methan u.a. im Zusammenhang mit der NOx –Reduktion von Abgasen von Gasturbinen oder Erdgasmotoren, und n-Oktan als typischer Bestandteil von Diesel-Abgasen. An einem mit Cerium promotierten Silber-Zeolith, Ce-Ag-ZSM-5, und Methan als Reduktionsmittel wurde zwar eine deutliche Verminderung der katalytischen Aktivität nach hydrothermaler Vorbehandlung gefunden, aber die danach verbliebenen Umsätze von NOx zu N₂ von 30-40 % im Temperaturbereich von 550-600 °C sind in Gegenwart von Wasser und SO₂ stabil. Wasser fördert die Migration des Silbers im Zeolith und das Sintern zu Silberpartikeln, die kaum aktiv sind in der SCR-Reaktion, wohl aber in der Oxydation des Methans. SO2 verursacht bei 500 °C zwar durch starke Chemisorption eine deutliche Abnahme der Aktivität, die aber bei höherer Temperatur wiederhergestellt wird. 60 Eine promotierende Wirkung des Ceriums wurde auch für Pd-HMOR und Pd-ZSM-5 beobachtet, wobei im Falle des Ce-Pd-HMOR nicht nur die Aktivität im trockenen Testgas mit Dodekan als Reduktionsmittel bei 350 °C von 10 % auf ca. 70 % erhöht wurde, sondern auch in Anwesenheit von 15 % Wasser und 40 ppm SO₂ dauerhafte Umsätze zu N₂ von ca. 60 % erzielt wurden. 61

Mit n-Oktan, das sich im Vergleich zu kürzerkettigen Vertretern der Aliphaten hier als bestes Reduktionsmittel erwies, wirkt sich die Anwesenheit von Wasser im Reaktionsgas an einem Ag-Al $_2$ O $_3$ -Katalysator sogar positiv aus. Als Ursache der höheren Aktivität wird die Unterdrückung der Vergiftung der Aktivzentren durch Carbonat- und Carboxylat-Spezies nachgewiesen. Allerdings betrug der Wassergehalt im Reaktionsgas in diesen Untersuchungen nur 2 %. Negative Einflüsse verstärken sich aber oft mit zunehmender Wasserkonzentration. So wird der Maximalwert der Umwandlung von NOx zu N $_2$ mit Propen als Reduktionsmittel an einem Katalysator von 1,2 % Silber auf γ -Al $_2$ O $_3$ durch Zusatz von 12 % Wasser von 90 % bei 450 °C reversibel auf ca. 70 % bei 520 °C gesenkt (was signifikant weniger ist als für Nickel, Kobalt und Indium auf gleichem Träger gemessen!). Dieser Wert blieb aber in einem Testlauf bei 542 °C über 50 Stunden nicht nur stabil, sondern schien sich mit der Betriebszeit sogar noch zu erhöhen. Die Anwesenheit des Wassers führt zugleich zu einer erhöhten Nutzung des Redukti-

60 Z. Li, M. Flytzani-Stephanopoulos, Appl. Catal. B: Environmental 22 (1999) 35–47

L. F. Cordoba, M. Flytzani-Stephanopoulos, C. M. de Correa, Appl. Catal. B: Environmental 33 (2001) 25–33

⁶² K. Shimizu, A. Satsuma, T. Hattori, Appl. Catal. B: Environmental 25 (2000) 239–247

onsmittels für die NOx-Reduktion. Die Reversibilität der partiellen Deaktivierung durch $\rm H_2O$ lässt auf eine konkurrierende Adsorption desselben mit zumindest einem der Reaktanden schließen. 63

Zum Trägereinfluss

Der Träger dient nicht nur, wohl aber in erster Linie der optimalen Verteilung und Stabilisierung der Aktivkomponenten. Entscheidend hierfür ist bei dieser Reaktion – wegen der Anwesenheit von Wasser – seine eigene hydrothermale Beständigkeit auch bei sehr hohen Temperaturen. Wenngleich auch der Mechanismus der Einbeziehung des Trägers in die Reaktion selbst noch nicht hinreichend geklärt ist, so besteht eine Möglichkeit doch darin, dass seine sauren Brönsted- oder Lewis-Zentren für die Aktivierung des Kohlenwasserstoffs verantwortlich sind. Bei den Zeolithen sollte außerdem die Zugänglichkeit zu den Poren von Bedeutung sein.

In jüngster Zeit sind Pt-Katalysatoren auf Basis von γ -Al $_2$ O $_3$, ZSM-5, USY und Aktivkohle untersucht und mit einander verglichen worden. Das Ergebnis zeigt, dass sich die Aktivitäten der beiden Zeolith-Katalysatoren kaum unterscheiden, sie erreichen gemeinsam mit dem Katalysator auf Aktivkohle bei ca. 200 °C einen fast hundertprozentigen NOx-Umsatz. Deutlich hebt sich hiervon die Aktivität des Katalysators auf γ -Al $_2$ O $_3$ ab, der bei 250 °C nur etwa 50 % NOx-Umsatz bringt. Die N $_2$ -Selektivitäten genügen jedoch auf keinem der Träger praktischen Anforderungen, sie liegen zwischen 15–30 %.

Neben der Wahl verschiedener Zeolith-Typen ist auch das Si/Al-Verhältnis ein veränderlicher Parameter, mit dem sich z.B. bei Crackreaktionen Aktivität und thermische Stabilität signifikant beeinflussen lassen. Es konnte am Vergleich von Cu-Katalysatoren auf Basis von synthetischem Mordenit, natürlichem Mordenit und ZSM-5, sowie an unterschiedlich dealuminierten, synthetischen Mordeniten gezeigt werden, dass Aktivität und hydrothermale Stabilität auch in der SCR-Reaktion mit Propen um so besser sind, je höher das Si/Al-Verhältnis ist. 65 Mit maximalen NOx-Umsätzen von ca. 60 % im Bereich von 350–500 °C genügen die Katalysatoren den Zielvorstellungen allerdings noch nicht, um so mehr als die künstliche Alterung durch 24-stündige Behandlung bei 800 °C in einer Atmosphäre von 10 % Wasserdampf

⁶³ F. C. Meunier, R.Ukropec, C. Stapleton, J. R. H. Ross, Appl. Catal. B: Environmental 30 (2001) 163–172

⁶⁴ J. M. Garcia-Cortes, J. Perez-Ramirez, M. J. Illan-Gomez, F. Kapteijn, J. A. Moulijn, C. Salinas-Martinez de Lecca, Appl. Catal. B: Environmental 30 (2001) 399–408

⁶⁵ S. Y Chung, S.-H. Oh, M. H. Kim, I.-S. Nam, Y. G. Kim, Catalysis Today 54 (1999) 521–529

eine Verschiebung des auf ca. 50 % verminderten, maximalen NOx-Umsatzes in Richtung höherer Temperaturen (ca. 500 °C) bewirkt.

3. 3 Besonderheiten der Abgasnachbehandlung von Dieselmotoren

Es war bereits darauf hingewiesen worden, dass die Untersuchungen zur Entwicklung von DeNOx-Katalysatoren für sauerstoffreiche Abgase auch die Lösung dieses Problems für Dieselmotoren mit verfolgen. Nicht zuletzt deswegen wurden in vielen Arbeiten ja auch sehr langkettige Paraffine als Reduktionsmittel getestet. Dieselabgase unterscheiden sich aber von Abgasen normaler Otto-Motoren durch eine Reihe wesentlicher Besonderheiten:

- sie enthalten neben den üblichen gasförmigen Bestandteilen auch flüssige Komponenten aus unverbranntem Kraftstoff, Schmieröl vermischt mit Wasser und SO₃, verbunden mit relativ großen Mengen von Feststoff-Partikeln auch im Bereich unter 10 nm, die eine besonders große Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen und deren Ausstoß durch die Euro-III-Norm bereits ab Januar 2000 für Diesel-Pkw auf 0,05 g/km begrenzt wurde (ab 2005 nur noch 0,025 g/km),
- ihre Temperaturen sind niedriger, sie liegen im Teillastbetrieb zwischen 180–350 °C und stellen damit höhere Anforderungen an die Aktivität von Katalysatoren und bei den zur Zeit noch üblichen Schwefelgehalten im Dieselkraftstoff.
- sie enthalten höhere Konzentrationen von SO₂ (20–50 ppm).
 Die Stickoxyde betragen nur etwa 10–20 % von dem, was der Otto-Motor ohne Katalysator emittiert, bei diesem aber durch Katalysatoren weit unter die Dieselwerte reduziert wird. Es ist also sowohl das Partikel-Problem wie auch das NOx-Problem zu lösen.

Gegenwärtig eingesetzte Oxydationskatalysatoren beseitigen CO, die gasförmigen Kohlenwasserstoffe und die Flüssigbestandteile der Feststoffpartikel. Dabei sollen sie möglichst geringe Aktivität gegenüber der Oxydation von SO₂ zu SO₃ besitzen. Platin und Palladium sind für mittlere und schwere Lkws wenig geeignet, da beide Metalle auch SO₂ sehr gut oxydieren. Als sehr erfolgreich hat sich für diese Fahrzeugklasse die Verwendung von CeO₂ auf γ-Al₂O₃ erwiesen. Beim Diesel-Pkw ist das Problem der SO₂-Oxydation weniger relevant (kälteres Abgas, weniger SO₂), hier werden Platinkatalysatoren mit höheren Metallbeladungen verwendet.⁶⁶

⁶⁶ R. M. Heck, R. J. Farrauto, Appl. Catal. A: General 221 (2001) 443-457

GERHARD ÖHLMANN

Die Oxydationskatalysatoren lösen das Problem der Partikelreduktion nicht, oder nicht vollkommen genug. Zur Erfüllung der Anforderungen der Euronormen III und erst recht IV ist der Einbau von Partikelfültern unumgänglich. Solche Filtersysteme auf Basis von Monolithen aus Cordierit, Siliciumcarbid, Sintermetall oder keramischen Geweben sind bekannt. Sie alle sind sehr effektiv, verursachen aber einen nicht zu vernachlässigenden Strömungswiderstand, der mit zunehmender Partikelbeladung wächst. Eine periodische Regenerierung des Filters durch Abbrennen der Kohlenstoffpartikel ist daher unumgänglich. Die zu ihrer Verbrennung erforderliche Temperatur liegt aber oberhalb von 600 °C, die in modernen Dieselmotoren selbst im Volllastbetrieb kaum erreicht werden. Zur Lösung des Problems werden deshalb zur Zeit folgende Wege der diskontinuierlichen bzw. kontinuierlichen Filter-Regeneration beschritten ⁶⁷:

- 1. Diskontinuierlicher Zusatz von Additiven zum Kraftstoff kombiniert mit einer diskontinuierlichen Zusatzeinspritzung von DK zur Anhebung der Temperatur in einem vor dem Filter befindlichen Oxydationskatalysator (auf etwa 500 °C) mit elektrischer Vorheizung. Die Additive enthalten Kupfer, Eisen oder Cerium, die sich im Filter abscheiden und als Katalysatoren die Temperatur um ca. 100° senken. Nachteilig ist die allmähliche Anhäufung von Asche. Zur Vermeidung von Porenblockierungen muss das Filter nach etwa 80 000 km gereinigt werden. Erstmalig haben Peugeot und Citroen gemeinsam ein solches System zur Serienreife geführt⁶⁸.
- 2. Kontinuierlich regenerierendes Filtersystem, bei dem kombiniert mit motorischen Maßnahmen das aktivere Oxydationsmittel NO₂, erzeugt über einem Oxydationskatalysator vor dem Filter aus dem NO des Abgases, zur Verbrennung der Rußpartikel genutzt wird. Diese Reaktion verläuft mit NO₂ bereits ab ca. 220 °C. Allerdings ist dazu ein NO₂/C-Massenverhältnis von 8–12 : 1 erforderlich, das zwar überwiegend aber dennoch nicht in allen Betriebszuständen des Motors erreicht wird.
 - Das von der Firma Johnson Matthey entwickelte CRT-System (Continous Regenerating Trap) arbeitet nach diesem Prinzip und verwendet zur NO-Oxydation einen Platinkatalysator. Das System ist sehr schwefelintolerant, einerseits weil der Umsatz von NO zu NO₂ in Gegenwart von SO₂ geringer ist und höhere Temperaturen zur Rußverbrennung notwendig sind, und zum anderen weil der Pt-Katalysator das SO₂ sehr effektiv zu

⁶⁷ H. O. Herrmann, O. Lang, I. Mikulic, V. Scholz, MTZ 9 (2001) Jahrg. 62, 652-660

⁶⁸ Internet: Johnson Matthey, Catalytic Systems Division, Continuously Regenerating Technology (CRTTM)

 ${
m SO_3}$ oxydiert und dieses nach Bindung von Wasser auf dem Filter absorbiert wird. Verlangt wird daher ein Dieselkraftstoff mit < 20 ppm Schwefel. Hinzu kommt, dass nicht unter allen Betriebsbedingungen das erforderliche ${
m NO_2/C-Verh\"{a}ltnis}$ trotz zusätzlicher motorischer Maßnahmen (Anpassung der Einspritzparameter, Abgasrückführungs-Verh\"{a}ltnis, Ladedruck) erreicht wird (unterhalb 4 bar Mitteldruck) und der dabei angestaute Ruß auf dem Filter diskontinuierlich verbrannt werden muss. Zu diesem Zweck kann eine elektrische Heizung das Abgas schnell bis zur Anspringtemperatur aufheizen. Selbstverständlich sind solcher Art aktiver Eingriffe in das System mit einem erhöhten Kraftstoffverbrauch verbunden.

Die Entwicklung auf dem Gebiet der Dieselfilter ist noch in vollem Gange. Zahlreiche Untersuchungen und andere Lösungsvorschläge zur Senkung der notwendigen Oxydationstemperaturen des gefilterten Rußes sind bekannt und werden aktiv bearbeitet. Dazu gehören die Erzeugung aktiver Radikale im Abgas mit Hilfe von nicht-thermischem Plasma, gekoppelt mit katalytisch aktiven Filtern oder auch nur die Anwendung katalytischer Filter allein.

Eine interessante Entwicklung auf diesem letztgenannten Gebiet sind Lösungsansätze auf Basis von Katalysatoren, die unter Betriebsbedingungen als flüssige Phasen auf dem Filter vorliegen, da diese durch Umfließen der C-Partikel mit ihnen einen besonders intensiven Kontakt herstellen können. Dabei handelt es sich um Mehrkomponenten-Katalysatoren wie zum Beispiel Caesiummetavanadat (CsVO₃), Caesiumpyrovanadat (Cs₄V₂O₇) und Kombinationen dieser Verbindungen mit Silber-, Caesium- oder Kaliumchlorid. ⁶⁹ Probleme bereiten die noch nicht ausreichend katalytische Aktivität der Systeme und die Optimierung der Porenstruktur des Filters, die eine möglichst hohe Dispersität der Partikelverteilung erhalten sollte, um die katalytisch aktive Phase maximal zu nutzen.

4. Abschlussbemerkungen

Auf dem Weg zu nachhaltiger Mobilität kann die Katalyse wichtige Beiträge leisten. Neue Lösungen in der Abgaskatalyse werden neue Möglichkeiten in der Motortechnologie zur Kraftstoffeinsparung anzuwenden gestatten. Über die Reinhaltung der Luft hinaus kann damit die Katalyse zur Schonung fossiler Ressourcen beitragen. Auch auf anderen Gebieten, wie der Kraft-

⁶⁹ G. Sarraco, N. Russo, M. Ambrogio, C. Badini, V. Specchia, Catalysis Today 60 (2000) 33–41

stoffherstellung und Verarbeitung, oder bei der weiteren Entwicklung von Brennstoffzellen, Probleme also, die im Rahmen dieses Vortrages ausgespart wurden, sind die Beiträge der Katalyse gefragt.

Das Problem der Nachhaltigkeit der Mobilität aber ist außerordentlich komplex und bedarf besonders im Hinblick auf die Substitution der fossilen Kraftstoffe durch regenerative Energieträger weiterer Diskussion und Forschung. Dabei sind auch alle Rohstoffe, die zur Produktion eines Kfz gebraucht werden, einzubeziehen (volle Ökobilanz), einschließlich der Probleme ihrer Rezyklisierung. Das gilt auch, und vielleicht sogar – wegen des kürzeren Zeithorizonts – besonders, für die Rohstoffe der Katalysatorherstellung, vor allem der Edelmetalle Platin, Rhodium und Palladium. Stärkere Beachtung ist auch möglichen Nebeneffekten der Katalysatoranwendung (z.B. N₂O-Bildung, Pt-Staub-Ablagerung u. a.) zu schenken.

Angesichts dieser Sachlage muss es oberstes Handlungsgebot sein, alles zu tun, um der eingangs zitierten Entkopplung der verschiedenen Bereiche menschlicher Tätigkeiten planmäßig entgegen zu wirken, da dies ein wichtiger Weg ist, um unnötigen Verkehr vermeiden zu helfen. Hierzu ist jedoch in erster Linie die Politik auf allen gesellschaftlichen Ebenen gefragt.

Rolf Löther

Albrecht Daniel Thaer zum 250. Geburtstag

Heuer jährte sich zum 250. Mal der Geburtstag Daniel Albrecht Thaers, Mitglied der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften seit 1804. Er war Wegbereiter der Landwirtschaftswissenschaft und wissenschaftlich fundierter Landwirtschaft. Mit seiner Agrarökonomie trug er zur Ablösung der Kameralistik durch modernes ökonomisches Denken und zur Rezeption der politischen Ökonomie von Adam Smith in Deutschland bei.

Thaer wurde am 14. Mai 1752 in Celle im Kurfürstentum Hannover als Sohn eines Hofmedicus geboren. Als Kind war er häufig schwer krank. Bis zu seinem zwölften Lebensjahr ließ ihn der wohlhabende Vater durch Hauslehrer unterrichten. Später besuchte er die städtische höhere Bürgerschule. Er erhielt eine solide naturwissenschaftliche Allgemeinbildung. Wie einige Mitschüler schwänzte er häufig den Unterricht, besonders in Latein und alten Sprachen. Gegen pietistische Religiosität hatte er schon früh Abneigung gezeigt, konfirmieren ließ er sich nur dem Vater zuliebe. Sein spezielles Interesse galt der Mathematik, der neueren Geschichte sowie Englisch und Französisch. In diesen Fächern belegte er Privatkurse. Sein Sprachlehrer brachte ihm auch die Gedankenwelt der Aufklärung, vor allem der französischen, nahe, Schon als Schüler las Thaer Schriften Voltaires und anderer französischer sowie englischer Aufklärer. Für den Abschluss der Schule musste er das dort Versäumte in Privatstunden nachholen, wofür er nur ein Jahr brauchte. Auch sonst war Thaer kein Musterschüler und erregte durch sein Betragen das Missfallen der Celler Bürger. Von Trinkgelagen in Dorfgasthäusern ist die Rede, von Schulden bei Wucherern, von Fechtübungen und Duellen. Älteren Pennälern galt dergleichen als Vorbereitung auf das Studentenleben.

1770 ging der Achtzehnjährige nach Göttingen, um an der hannoverschen Landesuniversität Medizin zu studieren. "Sein ganzes Wesen damals, im Gegensatz zu seinen reiferen Jahren war genialisch und excentrisch; er hatte etwas Wunderkindartiges an Gaben wie an Unarten. Er begann nun mit großem Eifer Medicin zu studiren und schien namentlich bestimmt, in der Chirurgie Bedeutendes zu leisten. Er verweilte Tage lang, das Secirmesser in der Hand

44 ROLF LÖTHER

auf dem anatomischen Saal, sah aber bei der ersten Operation, der er beiwohnte, dass er seltsamerweise wohl zum Anatomen am leblosen, aber nie und nimmer zum Chirurgen am lebendigen Organismus bestimmt sein könne, denn er fiel in Ohnmacht; – eine Erscheinung, die sich wiederholte, so oft er den Versuch machte, die angeborene Scheu zu überwinden", berichtet Theodor Fontane. So konzentrierte sich Thaer auf die weniger blutigen Seiten der Medizin, entwickelte seine diagnostischen und therapeutischen Fähigkeiten und wurde dafür schon als Student sehr geschätzt. 1774 beendete er das Studium und promovierte mit einer Dissertation über die Tätigkeit des Nervensystems bei Fieberanfällen.

Im gleichen Jahr ließ sich Thaer als praktischer Arzt in Celle nieder. Der Anfang war schwierig, da er weder die Stadt und ihre Bürger noch diese ihn sonderlich mochten. Wie Fontane schreibt: "Ihm erschien Alles klein, beschränkt, krähwinklig; er erschien Allen eitel und eingebildet."² Sein Verhältnis mit einer verheirateten Frau war Gegenstand des Stadtklatsches. Dank seines ärztlichen Könnens konnte er sich durchsetzen und wurde nach einigen Jahren zum gefragtesten Arzt der Stadt an der Aller, brachte es zum Stadtphysicus (und Zuchthausarzt) und zum Hofmedicus. Eine seiner Patientinnen war Philippine von Willich, Tochter des Vizepräsidenten am königlich-braunschweigisch-lüneburgischen Opperappelationsgericht zu Celle, die er bald nach seiner Rückkehr in die Vaterstadt kennen gelernt hatte. Nachdem er ihr bei einer schweren Krankheit erfolgreich ärztliche Hilfe geleistet hatte, fand 1785 die Verlobung und im folgenden Jahr die Hochzeit statt. Der Ehe entstammten vier Söhne und zwei Töchter. Thaers Biographen Volker Klemm und Günther Mever bemerken: "Die Brautzeit und die Heirat mit Philippine haben das gesamte Leben Thaers entscheidend verändert. Die Zeit des "Sturm und Drang' war für ihn beendet. Er fand sein seelisches Gleichgewicht wieder. Der empfindsame, sich teilweise in philosophische Grübeleien verlierende, romantisierende Jüngling verwandelte sich in den aktiven, nüchtern denkenden und handelnden Tatmenschen, der sich mit Energie und Konsequenz über die Standesgrenzen hinwegsetzte. Jeder Erfolg reizte den energiegeladenen, geistvollen, vor Lebendigkeit sprühenden, aber auch mit gesundem Ehrgeiz ausgerüsteten Mann zu neuen kühnen Plänen."³

¹ Theodor Fontane: Denkmal Albrecht Thaer's in Berlin. Berlin 1862, S. 7. Reprint in Peter Bloch et al.: Denkmal Albrecht Thaers. Berlin 1992 (Dahlemer Materialien 3). Den Text über Thaer verwendete Fontane auch für die "Wanderungen durch die Mark Brandenburg".

² Ebenda, S. 8.

³ Volker Klemm, Günther Meyer: Albrecht Daniel Thaer. Pionier der Landwirtschaftswissenschaften in Deutschland. Halle (Saale) 1968, S. 26.

Die zitierte Metapher vom Ende der "Sturm-und-Drang"-Zeit ist doppeldeutig, bezieht sich nicht nur auf Thaers "wilde Jahre". War Thaer doch als Student mit dem gleichaltrigen Johann Anton Leisewitz (1752-1806) befreundet, einem der führenden Köpfe des Göttinger Hainbundes, der zur literarischen Strömung des "Sturm und Drang" und damit zur deutschen Aufklärung gehörte. Auch nachdem Thaer Göttingen verlassen hatte, bestand die Freundschaft fort. Durch Leisewitz lernte Thaer auch Gotthold Ephraim Lessing (1729–1781) kennen. 1776 unternahmen die beiden Freunde eine Reise nach Berlin, ausgestattet mit einem Empfehlungsschreiben Lessings an führende Vertreter des Geisteslebens der preußischen Metropole. Thaer blieb ein Vierteljahr in Berlin, vorwiegend mit philosophischen Studien und Diskussionen beschäftigt. Er scheint sich hauptsächlich für religionsphilosophische Fragen interessiert zu haben. Aufklärer wie Moses Mendelsohn (1729-1768), Johann Jakob Engel (1741-1802) und Friedrich Nicolai (1733–1811) gehörten zu seinem Umgang. Die baldige Übersiedlung nach Berlin war im Gespräch, kam aber nicht zustande. Auf der Rückreise machte Thaer zwei Tage in Wolfenbüttel bei Lessing Station. 1780 besuchte er zusammen mit Leisewitz Lessing ein letztes Mal. Ob die erste Konzeption zu Lessings "Erziehung des Menschengeschlechts" auf Thaer zurückgeht, ist umstritten.⁴ Seine Verbindung mit der Aufklärung und ihren Vordenkern blieb im selbständigen Gebrauch seines Verstandes und in seiner durch Vernunft, Liberalität und humanistisches Ethos bestimmten Weltorientierung bewahrt.

Mit seinen philosophischen Studien, bei denen die Beschäftigung mit der Kantschen Philosophie nicht zu vergessen ist, suchte Thaer nach Ausgleich für die widrigen Seiten seines Berufes und seines gesellschaftlichen Milieus. Mit der Zeit traten sie gegen eine andere Freizeitbeschäftigung zurück: Botanik und Pflanzenzüchtung. Im geräumigen Hof seines Hauses legte er einige Blumenbeete an und stellte Kreuzungsversuche mit Nelken und Aurikeln an. Davon nahm Thaers Metamorphose vom Arzt zum forschenden und lehrenden Landwirt ihren Ausgang. Nach der Hochzeit schenkte er seiner Frau ein 16 Morgen großes Grundstück vor den Toren Celles und legte darauf nicht nur einen schönen Garten an, sondern auch eine nützliche Obstplantage, und begann mit Versuchen zu Pflanzenwachstum und Bodenfruchtbarkeit. Bald wurde ihm der Garten zu klein und er erwarb nahebei weitere Ländereien, insgesamt etwa 110 Morgen Ackerland und 18 Morgen natürliche Wie-

⁴ Ebd. S. 21 ff.

46 ROLF LÖTHER

sen. Dort ließ er Wohnhaus und Wirtschaftsgebäude errichten und zog mit seiner Familie ein. Fortan lebten sie nur noch im Winter in der Stadt und Thaer verbrachte seine Freizeit mit der Landwirtschaft. Schon 1784 war er der königlichen Landwirtschaftsgesellschaft in Celle beigetreten und wurde zu einem ihrer führenden Vertreter.

Thaers Anliegen war, mit seinem Gut zu demonstrieren, dass eine Wissenschaft und Technik anwendende, rationell betriebene Landwirtschaft besser ist als die alte Dreifelderwirtschaft und besonders die in der Gegend um Celle übliche primitive Feld-Gras-Wirtschaft, um den gesellschaftlichen Bedarf an Nahrungsmitteln zu befriedigen. Vor allem mit dem Anbau von Futterfrüchten, besonders Kartoffeln, für die Nutztiere, und deren Stallhaltung, und einem immer mehr verbesserten System des Fruchtwechsels auf den Äckern bewies Thaer das praktisch und entwickelte sein Gut zum Modellbetrieb mit weithin ausstrahlender Vorbildwirkung. Dabei stieß er auf zahlreiche Probleme, die naturwissenschaftliche Grundlagen ebenso betrafen wie Betriebswirtschaft und Buchhaltung und die feudalen Produktionsverhältnisse auf dem Lande. "Sein Leben war ein sehr angestrengtes, die Frühstunden von 4–7 und der Spätabend gehörten seinen landwirthschaftlichen Studien, der Tag seinem ärztlichen Beruf. Nur die Passion half ihm über Alles hinweg", vermerkte Fontane.⁵

Das Sammeln praktischer Erfahrungen verband Thaer mit der gründlichen und umfassenden Auswertung der deutschen und englischen landwirtschaftlichen und ökonomischen Literatur. Während ihm die deutsche wenig brachte, wurde die englische zur Fundgrube. Aufgrund seiner Literaturkenntnis und der eigenen Praxis schrieb er das viel Aufsehen erregende Werk "Einleitung zur Kenntniß der englischen Landwirthschaft und ihrer neueren praktischen und theoretischen Fortschritte, in Rücksicht auf Vervollkommnung der deutschen Landwirthschaft für denkende Landwirthe und Cameralisten", dessen erster Band 1798 erschien. Der zweite Band folgte in zwei Halbbänden 1800 und 1801, der dritte Band 1804. Zudem brachte er von 1799 bis 1804 die sechs Jahrgänge der "Annalen der niedersächsischen Landwirthschaft" heraus. Kurz vor dem Erscheinen des ersten Bandes der "Englischen Landwirthschaft" hatte er Schleswig-Holstein und Mecklenburg bereist, um die dortige Landwirtschaft kennenzulernen, was sich in den weiteren Bänden auswirkte.

⁵ Theodor Fontane, wie Anm. 1, S. 9.

Thaers Modellwirtschaft und seine Publikationen ließen ihn zum viel beanspruchten Gesprächs- und Korrespondenzpartner werden. Der dabei zutage tretende Bildungsbedarf motivierte ihn, ein Projekt zu verwirklichen, über das er schon lange nachgedacht hatte: die Gründung eines akademischen landwirtschaftlichen Lehrinstituts, des ersten in Deutschland. Im Sommer 1802 fand der erste umfangreichere Lehrkursus statt. Bei den Teilnehmern wurde abgeschlossene Allgemeinbildung und landwirtschaftliches Grundwissen vorausgesetzt. Unterrichtet wurden weitgehend Fächer, die auch heute noch an landwirtschaftlichen Hochschulen und Fakultäten gelehrt werden, so (in heutiger Terminologie) Bodenkunde, Acker- und Pflanzenbau, Tierzucht und Agrarökonomie, dazu naturwissenschaftliche Grundlagendisziplinen und Mathematik. Physikalische Geräte und ein chemisches Laboratorium gehörten zur Ausstattung des Instituts.

1804 unternahm Thaer einen folgenreichen Schritt: Er siedelte mit seiner Familie und einer Gruppe enger Mitarbeiter nach Preußen über. Die hannoverschen Behörden vermochten nicht, ihn davon abzubringen. Seine Unzufriedenheit mit den Zuständen in seiner Heimat hatte sich durch die französische Besatzung infolge des Krieges zwischen Frankreich und England – Kurfürst von Hannover war ja der englische König – verstärkt. Andererseits war es in den Jahren zuvor zu zunehmenden Kontakten mit Vertretern der preußischen Reformpartei gekommen. Den aus hannoverschem Adel stammenden späteren preußischen Kanzler Karl August Freiherr von Hardenberg (1750-1822) kannte er schon seit seiner Göttinger Studentenzeit und scheint Anfang der 1790er Jahre wieder mit ihm zusammengetroffen zu sein. 1798 hatte er König Friedrich Wilhelm III. ein Exemplar der "Englischen Landwirthschaft" geschickt, der sich – gut beraten – in einem Schreiben herzlich dafür bedankte. 1801 verlieh er ihm die goldene Medaille der Preu-Bischen Akademie der Wissenschaften. Mit mehreren preußischen Gutsbesitzern, die für landwirtschaftliche Neuerungen aufgeschlossen waren, hatte er korrespondiert. 1799 und 1801 hatte er die Mark Brandenburg und dort vor allem das Oderbruch besucht, um die hier betriebene Landwirtschaft kennenzulernen. Dabei hatte er auf Schloss Kunersdorf beim Landrat des Kreises Havelland Peter Alexander Graf von Itzenplitz (1786-1834) Aufnahme gefunden und war mit ihm in Verbindung geblieben. Nach Kunersdorf hatte Thaer auch 1803 sicherheitshalber Frau und Töchter geschickt, als französische Truppen das Kurfürstentum Hannover besetzten. Schließlich kam es durch die Vermittlung des Grafen zur Übersiedlung.

48 ROLF LÖTHER

Ein Brief Hardenbergs im Februar 1804 führte Thaer nach Berlin. Diesmal kam er nicht als philosophierender Arzt, sondern als Deutschlands führender und europaweit bekannter Landwirtschaftsexperte. Am 19. März erhielt er ein Schreiben des Königs. Darin heißt es: "Mein Herr Leibmedicus! Ich habe mit Vergnügen vernommen, dass Sie entschlossen sind, sich in Meinen Staaten niederzulassen und Ihr landwirthschaftliches Lehrinstitut hierher zu verlegen, wenn Sie für die mit dieser Veränderung verbundenen Schäden und Kosten entschädigt und in den Stand gesetzt würden, Ihre gemeinnützlichen Arbeiten für die Verbesserung der Landwirthschaft, welche künftig vorzüglich die Landescultur in den preussischen Staaten bezwecken werden, fortzusetzen."6 Dem Schreiben beigefügt war eine königliche Ordre, die Thaer drei- bis vierhundert Morgen Acker des Amtes Wollup in Erbpacht gab, dazu die Erlaubnis, diese Erbpacht zu veräußern und dafür (als Bürgerlicher!) ein Rittergut zu kaufen, auch Schutz und Begünstigung des landwirtschaftlichen Lehrinstituts versprach. Weiter wurde Thaer zum Geheimen Kriegsrat ernannt und last not least in die Akademie der Wissenschaften aufgenommen. Thaer verkaufte die Erbpacht, erwarb dafür das Rittergut Möglin bei Wriezen im Oderbruch mit insgesamt etwa 300 Hektar und zog dort mit 23 Personen ein.

In Möglin wurde Thaer ganz zum forschenden und lehrenden Landwirt. Er setzte die in Celle begonnene Arbeit in wesentlich größerem Maßstab fort und schuf aus dem ziemlich heruntergekommenen Gut in mühevoller langjähriger Arbeit eine Musterwirtschaft. Sie sollte der praktische Beweis für seine Anschauungen sein und zugleich dem Lehrinstitut dienen. Mannigfaltige Hemmnisse wie witterungsbedingte Ernteausfälle, Tierseuchen, schlechte Marktlagen für den Absatz von Agrarprodukten und nicht zuletzt Auswirkungen des preußisch-französischen Krieges, der nachfolgenden französischen Besatzung und der Befreiungskriege behinderten die Entwicklung. Zur wichtigsten Einnahmequelle wurde die 1811 begonnene Schafzucht. Mit aus Sachsen importierten Merinoschafen baute Thaer unter Anwendung fortgeschrittenster Züchtungsmethode eine Herde auf, mit der er deutschlandweit die beste Wolle produzierte.

Auch für die 1806 eröffnete Lehranstalt, die ab 1819 "Königlich Preußische Akademische Lehranstalt des Landbaus zu Möglin" hieß und bis 1861 bestand, waren in den ersten Jahren große Schwierigkeiten zu überwinden. Hier wurden in einjährigen zweisemestrigen Kursen vor allem zukünftige

⁶ Zit, nach Theodor Fontane, wie Anm. 1, S. 13.

Großgrundbesitzer, Gutsverwalter und höhere Beamte ausgebildet. Die private Institution brachte es auf insgesamt 773 Absolventen, darunter viele

Ausländer.⁷ Thaer gehörte auch zu den von Wilhelm von Humboldt (1767-1835) zur Berufung an die zu gründende Berliner Universität vorgeschlagenen Persönlichkeiten. Den Vorschlag verband Humboldt mit der Erwartung einer engen Verbindung zwischen der Universität und dem Mögliner Institut. Thaer lehrte von 1810 bis 1819, als er diese Tätigkeit 67-jährig auf eigenen Wunsch beendete, als Extraordinarius für Kameralistik jeweils im Wintersemester Landwirtschaft an der Universität. Danach wurden die Beziehungen zwischen der Mögliner Akademie und der Universität ausgebaut. Der Hauptteil des Jahres gehörte Möglin. Hier entstanden auch zahlreiche Publikationen, die das Einkommen in schwierigen Zeiten aufbessern halfen, darunter Bücher und Broschüren über Schafzucht und Wollproduktion. Von 1809 bis 1812 erschienen die vier Bände des Thaerschen Hauptwerkes "Grundsätze der rationellen Landwirthschaft", 1815 der "Leitfaden der landwirthschaftlichen Gewerbslehre". Zudem gab Thaer die "Annalen des Ackerbaus" und die "Annalen der Fortschritte der Landwirthschaft" heraus, die er selbst redigierte und für die er viele Artikel schrieb. Sein Veröffentlichungsverzeichnis umfasst einschließlich der verschiedenen Auflagen und Übersetzungen seiner Schriften 429 Titel. Die "Rationelle Landwirthschaft" beispielsweise erschien außer in Deutsch in 10 Ländern in Übersetzungen und zumeist mehreren Ausgaben.

Thaers Lebenswerk ist untrennbar verbunden mit der kapitalistischen Modernisierung der feudalgesellschaftlichen Landwirtschaft, für die ihm die englische Landwirtschaft Vorbild war. Den Grundsatz der von ihm begründeten Agrarökonomie, formuliert bereits in der "Englischen Landwirthschaft", lautete: "Die Landwirtschaft ist ein Gewerbe. Der Zweck der Landwirtschaft ist also nicht, die möglichst höchste Produktion aus dem Boden zu erzielen, sondern den möglichst höchsten Gewinn daraus zu erhalten."⁸ Das entscheidende Hemmnis dafür erkannte er in den feudalen Produktionsverhältnissen, im feudalen Grundeigentum. 1789 hatte er die französische Revolution und besonders die Befreiung der Bauern von den feudalen Fesseln begeistert begrüßt. Doch mit dem weiteren Fortgang der Revolution, vor allem mit der Jakobinerdiktatur, ging Thaer zunehmend auf Distanz und wandte sich gegen

⁷ Vgl. Volker Klemm: Von der Königlichen Akademie des Landbaus zu Möglin zur Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin. Berlin 1998.

⁸ Zit. nach Volker Klemm und Günther Meyer, wie Anm.3, S. 49.

50 ROLF LÖTHER

revolutionäre gesellschaftliche Veränderungen. Für den gesellschaftlichen Fortschritt setzte er auf Aufklärung und Reformen aufgeklärter Eliten im Rahmen von Gesetz und Ordnung, speziell unter strikter Respektierung der bürgerlichen Eigentumsrechte. Aus dieser Einstellung heraus engagierte er sich als Befürworter, Berater und Kritiker für die preußischen Agrarreformen, deren Initiatoren u.a. von seinen Schriften beeinflusst waren. Von 1809 bis 1815 war er zusätzlich zu seinen anderen Aktivitäten als preußischer Beamter im Rang eines Geheimen Staatsrats für das Innenministerium mit Fragen der Agrarreformen befasst. 1819 wurde er zum Geheimen Oberregierungsrat ernannt.

Thaer erfuhr zahlreiche öffentliche Ehrungen. Einen Höhepunkt bildeten die Feierlichkeiten zu seinem 50. Doktorjubiläum, das mit vielen Gästen aus ganz Deutschland 1824 in Möglin und Bad Freienwalde begangen wurde. Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832) verfasste aus diesem Anlass ein Gedicht. Seinen Freund Karl Friedrich Zelter (1758-1832), den Berliner Komponisten und Leiter der Singakademie, bat er, es zu vertonen und dem Jubilar zu überbringen, damit es "von einer großen Zahl Landwirthe bey Tafel" gesungen werden könne. "Der Mann gehört zuerst Preussen, sodann aber auch der Welt an, sein Ruf und Ruhm sind gründlich, und so darf man denn wohl etwas unternehmen, um sich mit ihm und den Seinigen zu erfreuen", schrieb Goethe an Zelter. ⁹ In Thaers letzten Lebensjahren verschlechterte sich sein Gesundheitszustand immer mehr. Trotz eines Augenleidens, das zur Erblindung führte, und schmerzhafter körperlicher Beschwerden versuchte er seine Arbeit fortzusetzen. Seit dem Winter 1826/27 führte er seine Lehrveranstaltungen vom Bett aus immer noch durch. Am 28. Februar 1828 verstarb er im Alter von 76 Jahren in Möglin. Unter den Mitgliedern der Preußischen Wissenschaftsakademie war er eines der hervorragendsten.

_

⁹ Zit. nach Jürgen Gruß: Ein Glückwunsch vom "Stapelort deutscher Dichtkunst". In: Peter Bloch et al.: Denkmal Albrecht Thaers, wie Anm. 1, S. 98.

Rudolf Virchow – Naturwissenschaftler, Sozialmediziner und Berliner Stadtpolitiker und Lehren aus seinem Wirken für unsere Zeit

Vortrag vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät am 19. September 2002

Wie kaum einmal vorher oder auch danach folgten zehntausende Einwohner einer Stadt dem Sarg eines Wissenschaftlers, wie am 9. September 1902, dem des am 5. September 1902 im Alter von 80 Jahren verstorbenen Rudolf Virchow. Die Beerdigung des Ehrenbürgers erfolgte auf Kosten der Stadt, – eine Ehre, die zuvor noch niemand zuteil geworden war –, nachdem er vorher im Rathaus aufgebahrt worden war.

Am 21. Juli 1874 hielten Rudolf Virchow und Werner von Siemens nach dem Aufnahmebeschluss des Plenums der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin im Dezember 1873 auf Grund einer Laudatio von Emil du Bois-Reymond ihre Antrittsreden. Für Virchow war es der zweite Antrag, nachdem der erste im Jahre 1864 abgelehnt worden war, weil die Mitglieder der Meinung waren, dass das Spektrum der Medizin mit den Fächern Anatomie und Physiologie ausreichend besetzt sei und die Pathologie nicht zu den Gebieten gehöre, die in der Akademie vertreten sein müssten.

Der vom Sekretar der Physikalisch-Mathematischen Klasse Emil du Bois-Reymond 1873 begründete Antrag enthielt unter anderem folgende Aussagen: "Beide [Siemens und Virchow] gehören nicht zu den gewöhnlichen Ereignissen im Leben unserer Körperschaft. In der Regel füllt diese die Lücken, welche das Verhängnis in ihrem Kreis rissen, mit jüngeren Kräften aus, deren reiche Entfaltung in der Zukunft sie sich versichert hält: doch geschieht dies meist bei deren Übersiedlung nach Berlin. Die Namen Siemens und Virchow dagegen waren längst eine hervorragende Zierde Berlins. Könnte am heutigen Vorgang etwas die Außenstehenden befremden, so wäre es, dass er erst heute vor sich ging. Aber die Verdienste, mit denen die Welt gewohnt ist, beide Namen zu verknüpfen, sind zum Theil einer Art, der Akademien naturgemäß fremd bleiben; und indem ihr Glanz den doch darin enthaltenen akademischen Kern blendend verdeckte, trugen sie seltsamerweise eher dazu bei, den heutigen Tag zu verspäten, als ihn rascher herbeizuführen

Der Umstand, dass die Krankheit Gegenstand der ärztlichen Kunst ist, und dass von der höchsten und strengsten Betrachtung Vorgänge bis zur gemeinsten Marktschreierei eine in unmerklichen Stufen abwärts führende Reihe sich erstreckt, dieser Umstand ist zwar geeignet, Akademien zur Vorsicht bei der Wahl von Männern aufzufordern, die ein so unsicheres Grenzgebiet vertreten sollen, am Wesen des pathologischen Problems, als eines naturwissenschaftlichen Problems höchster Ordnung, ändert er nichts. ...

Danach erscheint es vollends ungerechtfertigt, die Krankheit vom Kreis akademischer Forschung ausschliessen zu wollen. Aber bei dem oft bis zur Knechtung gehenden Einfluss, die die Ärzte auf Laien üben, ist die Sitte unserer Akademie doch wohl weise zu nennen, nach welcher sie nicht, wie manche andere, ausdrücklich Stellen für pathologische Forscher hat, sondern ihr nur freisteht, solche Forscher als Anatomen und Physiologen oder als freie Akademiker in ihre Mitte berufen, deren Leistungen in der Pathologie einen akademischen Charakter tragen. Sie, Herr Virchow, sind ein solcher, nicht allein durch rein wissenschaftliche Auffassung der pathologischen Aufgaben, sondern auch durch den schöpferischen Schwung ihrer naturwissenschaftlichen Anschauung

Diese vollschwellende Ruhmesernte tragen Sie heute der Akademie als Morgengabe zu. Die Akademie begrüßt Sie durch mich in ihrer Mitte, und spricht die Zuversicht aus, dass, wenn sie spät Sie in ihrem Kreis lud, es nie zu spät gewesen sein kann, um nicht an noch ferneren, gleich dankenswerthen Ernten ihres Fleisses theilzunehmen." [2]

Virchow führte in seiner Antrittsrede aus: "Wenn in diese höchste wissenschaftliche Körperschaft unseres Landes, in welcher ein ganzes Menschenalter hindurch kein pathologischer Vortrag gehört worden ist, durch die freie Wahl dieser Körperschaft ein Patholog berufen wird, dessen wissenschaftliche Thätigkeit nahezu in dieselben zeitlichen Grenzen fällt, so darf er ohne Unbescheidenheit annehmen, dass eine so seltene Ehre nicht bloss dem Zweige der Wissenschaft, welchen er vertritt, sondern auch seiner eigenen Arbeit zugedacht ist …". [2]

Die Einstellung der Akademie gegenüber den Pathologen ändert sich im 20. Jahrhundert. So waren neben einigen anderen vier (Johannes Orth, Robert Rössle, Louis-Heinz Kettler, Heinz David) der sieben Nachfolger Mitglieder der Akademie.

Wohl niemals ist ein Mitglied der Akademie nicht nur zu seiner Lebenszeit sondern auch in dem Jahrhundert nach seinem Tode in einem derartigen Umfang von der wissenschaftlichen Welt wie auch durch die einfachen Bürg-

er geehrt worden. Höhepunkte waren zum einen die Feiern zu seinen 60., 70., zu dem die "Goldene Rudolf-Virchow-Medaille" gestiftet wurde, und er die Ehrenbürgerschaft der Stadt Berlin erhielt, zum anderen der 80. Geburtstag.

Schon ein Jahr vor diesem Geburtstag Virchows war unter dem Sekretar der Akademie der Wissenschaften Professor Waldeyer als Vorsitzendem ein geschäftsführender Ausschuss zur Ordnung der "eigentlichen Geburtstagsfeierlichkeiten" gebildet worden, über die ein 40-seitiger Bericht veröffentlicht wurde. Die Feierlichkeiten erstreckten sich vom 11.–13. Oktober 1901. An dem Hauptfestakt am 12. Oktober von 8 Uhr abends bis 1 Uhr morgens des nächsten Tages im Sitzungssaal des Preußischen Abgeordnetenhauses nahmen 1000 Personen teil, darunter ausländische Abordnungen aus 16 Ländern. 800 Depeschen aus 22 Ländern wurden von wissenschaftlichen Vereinigungen und Gesellschaften sowie Universitäten gesandt, so z.B. auch von Studierenden aus Charkow. Zu seinen zahlreichen Ehrendoktorwürden erhielt er anläßlich des Geburtstages weitere.

Für die "Virchow-Stiftung" – gegründet anläßlich seines 60. Geburtstages – zur Unterstützung seiner anthropologischen, ethnologischen und prähistorischen Arbeit schenkte ihm die Stadt zum 80. Geburtstag 100.000 Mark; zudem trafen Spenden von Vereinen, Gesellschaften und Einzelpersonen aus der ganzen Welt ein.

Die Stadtväter Berlins ließen ihn von Hugo Vogel porträtieren und hängten sein Bild im Rathaus auf. Weitere Porträts malten Franz von Lenbach und Max Liebermann. Über das 1906 errichtete Herkules-Denkmal des Bildhauers Fritz Klimsch mit dem Virchow-Bild im Sockel auf dem Platz vor der Charité lässt sich mit Recht streiten.

Seine Majestät, der Kaiser Wilhelm II., sandte ein Handschreiben: "Ich spreche Ihnen zu dem heutigen Tage, an welchem es Ihnen durch Gottes Gnade, vergönnt ist, Ihr achtzigstes Lebensjahr in Rüstigkeit und geistesfrisch zu vollenden, meine wärmsten Glück- und Segenswünsche aus. Der unermüdlichen Arbeit Ihres langen Lebens verdankt die medizinische Wissenschaft grundlegende und bahnbrechende Forschungen durch welche Ihr Name in markigen Zügen in die Tafeln der Geschichte der Medizin für alle Zeiten eingegraben und weit über die Grenzen des deutschen Vaterlandes hinaus geehrt ist. Aber auch mit nie rastender Fürsorge haben Sie in Kriegs- und Friedenzeiten Ihre ärztliche Kunst und Erfahrung in den Dienst der leidenden Menschheit gestellt und sind ihr stets ein treuer Arzt und Helfer gewesen. Als Zeichen Meines Dankes und Meiner Anerkennung für Ihr ausgezeichnetes Wirken habe Ich Ihnen die Große Goldene Medaille für Wissenschaft verlie-

54 HEINZ DAVID

hen und freue Ich Mich, Ihnen dieselbe an Ihrem heutigen Ehrentage hierneben zugehen zu lassen." [3]

Seinen Dank für die Ehrungen veröffentlichte Rudolf Virchow kurze Zeit danach im "Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medicin": "Der Inhalt derselben [der Glückwunschschreiben] ist so verschiedenartig, dass sie mir ein Spiegelbild meines ganzen, recht unruhigen Lebens vorgeführt haben und dass sie für jeden anderen verwirrend erscheinen mögen. Das kommt daher, dass ich im Laufe der Zeit recht verschiedene Richtungen der Forschung und der Thätigkeit eingeschlagen habe, und dass nicht bloss der Ort meines Amtssitzes gewechselt hat, sondern dass ich auch auf grösseren Reisen ganz Europa und wichtige Theile von Africa und Asien besucht habe. Von jedem dieser Plätze sind mir persönliche Beziehungen geblieben, und zwar zum grossen Theil recht innige, welche durch treffliche Menschen getragen sind. Ich erinnere mich nur an Dürkheim in der Rheinpfalz. Aber auch fast jeder dieser Plätze hat mir Gelegenheit geboten, neue Gebiete des Wissens für mich zu erschliessen und denselben selbständige wissenschaftliche Arbeiten zu widmen. Nicht wenig hat dazu beigetragen, dass meine häufige Betheiligung an den periodischen wissenschaftlichen, sei es nationalen oder internationalen Versammlungen, insbesondere der deutschen Gesellschaft der Naturforscher und Ärzte und der deutschen Anthropologischen, mich direkt zu praktischer Mitarbeit zwang. So hat der Gang meiner Forschungen nicht nur die Länder und deren Bewohner in den Kreis meiner Darstellung gebracht, sondern ich habe je nach Umständen sowohl die Medicin und die Naturwissenschaften, als auch die Anthropologie und die Archäologie, gelegentlich auch die Literatur, die Philosophie, die Politik und die socialen Zustände zum Gegenstand meiner Studien gemacht ...". [52]

Ansehen und wissenschaftliche Achtung Virchows fanden im gesamten 20. Jahrhundert unzählige Niederschläge in Monographien und Publikationen. In regelmäßigen Abständen fanden Veranstaltungen zu seiner Ehre statt, so 1921 zum 100. Geburtstag, 1946 zum 125. Geburtstag, 1952 zum 50. Todestag, 1971 zum 150. Geburtstag und in diesem Jahr zum 100. Todestag.

Das noch nach Konzepten Virchows 1906 fertiggestellte Krankenhaus im Wedding erhielt den Namen Virchow-Krankenhaus. Anfang der 50-er Jahre wurde dem Pathologische Institut der Charité der Namen Rudolf-Virchow-Haus verliehen. Durch das Ministerium für Gesundheitswesen der DDR wurden von 1960–1990 jährlich zu Virchows Geburtstag der Rudolf-Virchow-Preis an junge Wissenschaftler verliehen, insgesamt 193-mal. In Jahre 1989 gründete sich der Rudolf-Virchow-Bund von Ärzten und Zahnärzten.

Es ist die Frage zu stellen, worauf die internationale und nationale Berühmtheit Virchows zu Lebzeiten und im gesamten nachfolgenden Jahrhundert beruht. Ich will versuchen, diese Frage an Hand von 15 Komplexen seiner Tätigkeit zu beantworten, die das gesamte Spektrum seines wissenschaftstheoretischen Gebäudes bis zu seinem aktiven Wirken und Handeln umfassen, die sowohl zeitbezogen als auch von höchster Aktualität sind.

1. Die Medizin als Naturwissenschaft

"Die Medizin will nicht bloß eine einige Wissenschaft, sie will Naturwissenschaft, und zwar die höchste und schönste Naturwissenschaft sein". (1845) [10]

Naturwissenschaft definiert Virchow als methodische Verknüpfung von Kenntnis der Tatsachen, logischem Denken und Experiment. "Es ist bekannt, dass während der letzten drei Decennien der denkende Theil der deutschen Aerzte die alte Brücke zwischen Medicin und den übrigen Naturwissenschaften wieder aufzubauen gewesen bestrebt ist, und dass alle tonangebenden Schulen in Deutschland darin übereingestimmt haben und noch übereinstimmen, dass die Medicin im Range einer Naturwissenschaft als Wissenschaft vom Menschen, als Anthropologie im weitesten Sinne, also ideal (prophetisch) als höchste Naturwissenschaft gefasst werden müsse." (1849) [19]

"Die eigenthümliche Entwicklung der neuesten Zeit hat in allmälig immer größerer Ausdehnung die kirchlichen und politischen Parteien auch in die Wissenschaft eingeführt, und namentlich die Naturwissenschaft ist in denselben Maasse, als sie sich in den letzten Decennien ausgebreitet hat, in die Parteikämpfe des täglichen Lebens hineingezogen worden. Jeder bedeutende Fortschritt der Naturwissenschaften bringt ein solches Ereignis mit einer gewissen Nothwendigkeit mit sich, indem er eine Reihe von Voraussetzungen zerstört, auf denen ein Theil der kirchlichen und politischen Dogmen errichtet ist." (1856) [24]

"Die Staatsmänner unserer Tage, die sich allmählich daran gewöhnt haben, die Naturwissenschaften als wenigstens legitimiert anzusehen, haben in erster Linie doch immer noch den Gesichtspunkt, daß die Naturforscher gewissermaßen nutzbare Haustiere seien, welche der Staat, da sie eigentlich etwas Wildes an sich haben, im Laufe der Zeit zu zähmen sich bemühen müsse, um sie dann in derjenigen Weise, welche je nach der Natur des einzelnen Haustieres gerade erforderlich ist, zu verwenden." (1865) [32]

56 HEINZ DAVID

Es ist aber auch erkennbar, dass nicht nur für Virchows medizinische Zeitgenossen sondern auch für ihn selbst, die naturwissenschaftliche Methode noch schwer verständlich ist.

"Aber der Naturforscher hat es nicht so leicht, diese Einheit zu begreifen … Die Wissenschaft vereint wohl, aber erst, nachdem sie getrennt hat; die erste Aufgabe des Forschers ist die Zerlegung, die Analyse, die Anatomie; nachher erst kommt die Zusammenfügung, die Synthese, die Physiologie. Wie lang ist dieser Weg und wie viel Täuschungen bringt er uns! Wir suchen die Einheit und wir finden die Vielheit; unter unseren Händen zerfällt und zerbröckelt das organische Gebäude und am Ende halten wir die Atome. Ist das wirklich der rechte Weg, der uns zur Erkenntnis des Individuums bringt? Dürfen wir da die Wissenschaft vom Leben suchen, wo wir nur den Tod finden? Ist nicht wirklich diese ganze zerfetzende Naturwissenschaft ein Irrweg, und ist nicht in Wahrheit die höchste Zeit, dass man umkehre zu anderen Pfaden." (1862) [28]

"Die Medicin ist in der That in den Rang einer Naturwissenschaft eingetreten, und damit hat sich nicht blos ihr äusseres Ansehen, sondern auch ihr Wesen so sehr verändert, dass sie mit der alten Medicin kaum noch eine Aehnlichkeit besitzt." (1890) [45]

"Wir waren nun in dem wirklich naturwissenschaftlichen Zeitalter der Medicin angelangt. Und wir waren freie und unabhängige Naturforscher, keinem System und keiner Schule in dem alten Sinne angehörig. Beobachtung und Experiment. Die alten Postulate der Wissenschaft, hatten die Alleinherrschaft, vor ihr musste sich jede Autorität beugen." (1895) [49]

2. Die Zellularpathologie

1856 hielt Virchow vor praktischen Ärzten seine berühmten Vorlesungen zur Zellularpathologie, in denen er die zentrale Rolle der Zelle bei krankhaften Prozessen herausarbeitete. Die grundlegenden Thesen wurden in der Publikation "Die Cellular-Pathologie" (1855) und in der Monographie "Die Cellularpathologie in ihrer Begründung auf die physiologische und pathologische Gewebelehre" (1858) publiziert.

"Was das Individuum im Grossen, das und fast noch mehr als das ist die Zelle im Kleinen. Sie ist der Heerd, an dem die Action mechanischer Substanz gebunden ist und innerhalb dessen allein sie jene Wirkungsfähigkeit zu bewahren vermag, welche den Namen des Lebens rechtfertigt … Um daher die Erscheinung des an sich cellulären Lebens zu begreifen, müssen wir die

Zusammensetzung der Zellsubstanz, ihre mechanische Eigenschaften, ihre Veränderungen bei der Funktion feststellen." (1855) [23]

"Alle Versuche der früheren Zeit, ein solches einheitliches Prinzip zu finden, sind daran gescheitert, dass man zu keiner Klarheit darüber zu gelangen wusste, von welchen Theilen des lebenden Körpers eigentlich die Action ausgehe und was das Thätige sei. Dies ist die Cardinalfrage aller Physiologie und Pathologie. Ich habe sie beantwortet durch den Hinweis auf die Zelle als die wahrhafte organische Einheit. Indem ich daher die Histologie, als die Lehre von der Zelle und den daraus hervorgehenden Geweben in eine unauflösliche Verbindung mit der Physiologie und Pathologie setzte, forderte ich vor allem die Anerkennung, dass die Zelle wirklich das letzte Form-Element aller lebendigen Erscheinungen, sowohl im Gesunden als auch im Kranken sei, von welcher alle Thätigkeit des Lebens ausgehe …". (1858) [25]

Trotz der Konzentration auf die Zelle stellt Virchow jedoch schon 1852 fest, dass er dabei immer die Zelle mit ihrer Umgebung versteht: "... allein schon gegenwärtig können wir mit großer Bestimmtheit sagen, dass alle Anschauung über die elementaren Veränderungen der Theile, bis auf die einzelnen Gewebs-Elemente, die Zellen und Zellenderivate, wenn ich so sagen darf, auf Zellenterritorien zurückgeführt werden muß." (1852) [21]

Die Cellular-Pathologie stellt den Abschluss seiner Lehre dar; denn ein weiterer Ausbau seines Prinzips erfolgte durch ihn nicht mehr. Auch seine beiden Aufsätze "Die Kritiker der Cellular-Pathologie" (1860) und "Der Stand der Cellular-Pathologie" (1891) bedeuten nur Rückblick, nicht aber neue Theorie.

Doerr (1958) [5] interpretierte Rössles Anschauung zur Zellularpathologie: Die Lehre vom menschlichen Organismus als eines Zellenstaates, eines föderativen Verbandes Virchowscher Sicht habe etwas "Pflanzenhaftes" beibehalten. Virchow habe übersehen, dass das Leben nicht allein aus Zellsummen besteht. Damit hänge es zusammen, dass Virchow die Lehre vom Individuum und damit die Konstitutionspathologie nicht genügend gepflegt habe.

Virchow stellte sich aber schon 1854 die Frage: "Jede anatomische Veränderung ist auch materiell, aber ist deshalb jede materielle auch anatomisch? Kann sie nicht moleculär sein? Kann nicht mit Erhaltung der Form und des äußeren Ansehens eine durchgreifende moleculäre Aenderung in der inneren Zusammensetzung des Stoffs eingetragen sein? Diese feineren moleculären Veränderungen der Materie sind kein Gegenstand der Anatomie, sondern nur

58 HEINZ DAVID

der Physiologie, sie sind rein funktionell, wenn man den verpönten Ausdruck gebrauchen will, dynamisch ...". (1854) [22]

"... so ist auch der letzte Grund alles pathologischen Wissens in der Physik und Chemie zu suchen. Das sind die grundlegenden Wissenschaften, und ihre Einführung in den täglichen Gebrauch der Ärzte war der größte und sicherste Fortschritt, den die Medizin gemacht hat." (1879) [39]

"... Diese Elemente oder, wie wir sie in der Kürze nennen, die Zellen sind gegenwärtig der Gegenstand der ernstesten Studien, wie die Cellularpathologie die Grundlage der modernen Medizin geworden ist, so bildet die Cellulartheorie auch die allgemein anerkannte Voraussetzung aller Deutungen in der Physiologie und in der Pathologie." (1897) [50]

Kritik gegen die Zellularpathologie gab es und gibt es bis zum heutigen Tag, vielfach ideologisch motiviert, wie in den 50-er Jahren des vorigen Jahrhunderts durch Lepeschinskaja [8] in der Sowjetunion.

Aber schon 1855 äußerte sich Henle in einem Brief zu Virchow in folgender Weise: "Virchow werden wir wohl gewähren lassen müssen. Einem so rührigen und gewissenlosen Gegner gegenüber fehlt es uns an der nötigen kleinlichen Bissigkeit, um ihn in alle Schlupfwinkel seines Dachsbaus zu verfolgen. Doch habe ich mit wahrer Befriedigung den Aufsatz über die Zellularpathologie gelesen, in welchem sich der eitle Geck die Stelle, die er in der Entwicklung unserer Wissenschaft einzunehmen wünscht, selbst zurechtmacht. Wenn ich zu einer neuen Auflage und Umarbeitung meiner rationellen Pathologie komme …, will ich Virchow den ihm gebührenden Platz in einer Art processus vermiformis der Geschichte anweisen." (1855) (zit. [7])

Zusammenfassend nahm Virchow 1891 zur Bedeutung der Zellularpathologie für die moderne Medizin Stellung: "Wenn trotzdem der menschliche Organismus uns als ein einheitlicher erscheint, so beruht dies auf dreierlei Umständen. Erstens ist in der Einrichtung des Gefäßystems und des in ihm circulierenden Blutes ein durch den ganzen Körper zusammenhängendes System gegeben, welches den materiellen Verkehr der Stoffe vermittelt und eine gewisse Abhängigkeit der verschiedenen Theile vom Blute bedingt, zweitens besitzen wir in den Einrichtungen des Nervensystems, an welches auch die höchsten Leistungen des Menschen, die geistigen, geknüpft sind ... Allein außer dem Blut nebst dem Gefäßapparat und außer dem Nervensystem mit seinen Mittelpunkten giebt es noch ein Drittes. Das ist die große Masse der Gewebe, aus welchen sich der Körper aufbaut." (1891) [46]

Die Entwicklung der fundamentalen Ergebnisse der Zellforschung als Basis der Zellularpathologie ist als eine Säule der naturwissenschaftlichen Me-

dizin anzusehen. Sie zeigt den engen Zusammenhang zwischen Ideen, Experiment und Methode. Sie ist das entscheidende naturwissenschaftliche Paradigma der Medizin des 19. und 20. Jahrhunderts.

Es ist immer noch begründet, von der Zelle als Einheit zu sprechen, der Leitsatz Virchows "Omnis cellula a cellula" konnte trotz mehrfacher Versuche auch im Jahrhundert danach nicht umgestoßen werden. Natürlich ist das Konzept dieser Einheit fundiert und verändert worden. Die Fragestellungen liegen jetzt bei der Adaptationsfähigkeit, Partnerschaft, Antagonismen und Agonismen der Einheit und auf der anderen Seite auf der Unterteilung der Zelle in kleinere Untereinheiten.

Die Zellularpathologie Virchows ist kein Dogma, sondern die unumgängliche und unwiderrufbare Erkenntnis, dass die Medizin eine naturwissenschaftliche Grundlage hat, die auf den Strukturen und Funktionen der Zelle als kleinster lebender Einheit beruht.

Virchow versteht unter Pathologie nicht nur pathologische Anatomie, sondern gleichzeitig pathologische Physiologie und auch pathologische Chemie (aus seinem Institut gingen die ersten Lehrstuhlinhaber für Physiologische Chemie hervor).

"Ich glaube, diese Bezeichnung in dem Satze gefunden zu haben, dass die Medizin und vor allem die Grundwissenschaft derselben, die Pathologie, eine biologische Wissenschaft geworden ist." (1897) [50]

"Darüber aber sind, wie es mir scheint, alle Einsichtigen einverstanden, dass die pathologische Anatomie die Vorhalle der eigentlichen Medizin ist." (1847) [13]

3. Fragen der Tumorpathologie

Eins der wichtigsten Ergebnisse der Zellularpathologie ist die darauf aufbauende Interpretation der Pathogenese und Morphologie von Tumoren.

1863 veröffentlichte Virchow sein mehrbändiges Werk "Die krankhaften Geschwülste", mit dem er die Grundlagen für eine wissenschaftliche Bearbeitung von Tumoren legte. Die von ihm formulierten Kriterien für Malignität haben im Wesentlichen auch heute noch Gültigkeit.

"Die Merkmale, welche man, wie gesagt für die Heterologie einer Geschwulst anzuführen pflegt, sind folgende:

1) die lokale Progression, das Wachsthum durch Bildung neuer accessorischer Heerde im Umfang des Mutterknotens, das, was man, wenn die Geschwulst ulcerös wird, das Fressen nennt, und worauf seit dem Mittelalter der Name Cancer besonders hinweist. Denn Cancer im mittelalterlichen Sinne

bedeutet das Fressen des geschwürig gewordenen, nicht das des geschlossenen Tumors.

- 2) die Recidivierung in loco nach der Exstirpation,
- 3) die Erkrankung der Lymphdrüsen,
- 4) die Bildung der metastatischen Heerde in entfernten Organen, wie Generalisation." [30]

Die Bedeutung der Vorstellungen Rudolf Virchows für die Tumorpathologie liegt sicher nicht in der Darstellung und Diagnostik spezieller Tumoren einschließlich ihrer Genese und Interpretation, die vielfach fehlerhaft waren und von falschen Vorstellungen ausgingen.

Diese heute nicht mehr akzeptablen Vorstellungen zur Morphologie der Tumoren waren sicher auch Ursache für seine Fehlinterpretation der histologischen Präparate aus dem Kehlkopfkrebs des Kronprinzen und späteren Kaisers Friedrich III. Damit unterstützte er die klinische Diagnose des englischen Arztes Mackenzie gegen die der deutschen Ärzte und besiegelte das Schicksal Friedrichs III mit. (zit. in [4])

Die Gültigkeit von Virchows Vorstellungen in der Tumorpathologie sind eher in den allgemeinpathologischen Schlussfolgerungen zu sehen. Schon 1847 stellte er fest:

"Die Bedingungen der Entstehung, des Wachsthums und des Unterganges des Krebses gehören zu den höchsten Fragen, welche die medicinische Praxis an die medizinische Wissenschaft stellen kann, und es könnte verwegen erscheinen, ihre Lösung jetzt auch nur versuchen zu wollen." (1847) [11]

"... Die Gesetze des Körpers beherrschen auch die Geschwulst. Daher ist sie kein Naturobjekt, was man neben den Körperbestandteilen betrachten kann, sondern man hat sie innerhalb der einmal gegebenen Grenzen des Körpers aufzufassen. ... Ich glaube, dass wir gegenwärtig in der Lage sind, überall zeigen zu können, dass eigentlich specifische Geschwulst-Elemente, welche gar keine Analogie hätten, mit etwas, was sonst im Körper vorkommt, überhaupt gar nicht existieren." (1863) [31]

"Wollte man auch Jemand auf das Blut pressen, dass er sagen sollte, was Geschwülste eigentlich seien, so glaube ich nicht, dass man irgend einen Menschen finden würde, der in der Lage wäre, dies sagen zu können." (1863) [31]

4. Zu Problemen der Bakteriologie und Immunologie

Auf keinem anderen Bereich der medizinischen Wissenschaft hat es soviel Kritik und emotionell subjektive Angriffe gegen Virchow sowohl zu seinen Lebzeiten als auch danach gegeben, wie in der Mikrobiologie. Hier stießen zwei grundsätzlich unterschiedliche Auffassungen zum Krankheitsprozess zusammen, hier wurden aber auch die Meinungen der Kontrahenten oder der Gegenseite bewußt oder unbewusst verfälscht.

Virchow stellt 1897 fest: "Wenige Entdeckungen haben so unmittelbar und so glückliche Erfolge geliefert, wie die bakteriologischen, die in der Hand eines so geschickten Experimentators, wie es Pasteur war, in zahlreichen technischen Gewerben eine förmliche Revolution hervorbrachten und zugleich für die praktische Hygiene neue Gesichtspunkte eröffneten." (1897) [50]

In Moskau nennt er 1897 die Kenntnis der Bakterien, verglichen mit der Kenntnis der Zellen "ein anderes, nicht geringeres, vielleicht sogar wichtigeres Produkt der wissenschaftlichen Bemühungen unserer Zeit:" Die Hälfte seiner Huxley-Vorlesung 1898 "Neue Fortschritte in der Wissenschaft und ihr Einfluss auf Medizin und Chirurgie" ist einem positiven Überblick über die Leistungen der Bakteriologie gewidmet.

"Daher habe ich die Überzeugung, dass auch der Sitz der dauernden Immunität im Gewebe sein muss, und da das lebende Gewebe seine vitalen Eigenschaften überall den Zellen verdankt, dass auch die Immunität an bestimmten Zellen haften muss." (1900) [51]

Paul Ehrlich wies auf seinem Nobelpreis-Vortrag (1909) darauf hin, dass der Zellbegriff die Achse sei, um die die ganze Wissenschaft vom Leben gravitiere. Im Gegensatz dazu veröffentlichte der spätere Nobelpreisträger Emil von Behring 1893 in seinen "Gesammelten Abhandlungen zur ätiologischen Therapie" einen 71-seitigen Angriff gegen Virchow und die Zellularpathologie und forderte "Zurück zu Sydenham und der Humoralpathologie", wobei er sich auf Virchows Arbeiten aus den vierziger Jahren bezog, die Publikationen der siebziger und achtziger Jahre aber nicht zur Kenntnis nahm.

Mit Recht wurde Virchow dafür kritisiert, dass er die Verdienste Semmelweis' aus dem Jahre 1847 bei der Beseitigung des Kindbettfiebers nicht anerkannte, womit er jedoch mit fast der gesamten medizinischen Welt in Übereinstimmung stand. In der Realität benutzte er die Reinigungsmethoden von Semmelweis schon seit 1854, weshalb er in seiner klinischen Abteilung keine derartigen Fälle hatte, obwohl er gleichzeitig mit Leichen umging.

In seiner Rede auf dem internationalen medizinischen Kongress in Paris im Jahre 1900 über "Traumatismus und Infektion" erkannte er die Rolle der Bakterien voll an. Er warnte jedoch davor, alle ansteckenden Krankheiten allein auf Bakterien zurückzuführen, was durch die nachfolgenden Entwicklun-

gen bestätigt wurde. Insgesamt kann man Virchows Haltung zur Bakteriologie eher als eine positive, nachdenkliche und nützliche Kritik als eine Fundamentalopposition bezeichnen.

Problematisch bleibt seine Haltung zu Robert Kochs Entdeckung der Tuberkelbakterien, wenn er auch mit seinen Einwänden Recht hatte, dass Entstehung und Verlauf der Tuberkulose von den zellulären und geweblichen Reaktionen des Organismus und nicht allein von dem Infektionserreger abhinge.

Die Leistungen Virchows auf diesem Gebiet sind hinsichtlich ihres Einflusses auf die Medizin zusammenfassen.

- Virchows Vorstellungen und Interpretationen über die Rolle von Mikroorganismen im Krankheitsgeschehen haben sich als grundsätzlich richtig erwiesen. Sie sind Ursachen von Krankheiten, ihre Existenz allein macht aber die Krankheit nicht aus.
- Für die Entstehung einer Infektionskrankheit ist das Verhalten von Zellen und die Wechselwirkung zwischen Krankheitserregern und den Zellen sowie die Gesamtreaktion des Organismus notwendig.
- Virchow prognostizierte trotz seines Widerspruchs gegenüber den theoretischen humoralpathologischen Vorstellungen der Entdecker der Serumtherapie und der Vakzination diese als wichtige weiterführende Entwicklung für die Medizin.
- Aufbauend auf seinen zellularpathologischen Vorstellungen sah Virchow im besonderen in der zellulären Immunologie ein wichtiges Prinzip der zukünftigen Medizin. [53]

5. Stellungnahmen und Tätigkeit in der praktischen und klinischen Medizin

Die Herzen der praktischen Ärzte jubelten Virchow mit Recht zu, je mehr die Zellularpathologie bekannt wurde, weil er dem therapeutischen Chaos ein Ende machte und ihnen eine ausreichende Basis für die Behandlung schuf, ein Vertrauen, das von der modernen Pharmakologie mit der Erkenntnis von der spezifischen Wirkung bestimmter Medikamente auf bestimmte Zellen glänzend gerechtfertigt wurde.

"Es ist heute nicht mehr nötig darüber zu schreiben, dass die wissenschaftliche Medicin auch die beste Grundlage für die ärztliche Praxis ist. Es genügt, darauf hinzuweisen, wie vollständig sich selbst der äussere Charakter der ärztlichen Praxis in den letzten Jahren geändert hat. Überall sind Methoden

der Wissenschaft in die Praxis eingeführt worden. Die Diagnose und Therapie des Arztes stützt sich auf die Erfahrungen des pathologischen Anatomen und Physiologen. Die Arzneimittellehre ist eine biologische und damit eine experimentierende Wissenschaft geworden. Die Lehre von den Heilprozessen ist nicht mehr geschieden von der Lehre der physiologischen Regulationsvorgänge. Und selbst die chirurgische Praxis ist bis in den Grund verändert worden, nicht durch die Empirie der Kriege, sondern in einer viel mehr eingreifenden Weise durch eine ganz theoretisch aufgebaute Therapie." (1877) [37]

"Als Methode in der Behandlung erkennen wir ferner nur zwei: welche entweder durch direktes Hinwegnehmen der krankmachenden Ursachen wirkt (der größte Teil der Chirurgie) oder durch Aufhebung ganzer Gruppen von abnormen Bedingungen dem primären Krankheitsprozess ein schnelles Ende setzt (die abortive Methode); und eine zweite, welche die Ausgänge der Krankheiten besorgt und die Bedingungen für das Eintreten spontaner Heilungen durch Neubildung, Vernarbung, Rückbildung etc. herbeizuführen strebt (die exspektative Methode)." (1849) [19]

"Neben dem Kliniker hat aber der praktische Arzt ein natürliches, wenn nicht angestammtes, so doch wohl erworbenes Recht, seine Erfahrungen für ebenso positiv zu halten und der Welt vorzulegen als der Kliniker. Nichts begünstigt die Verbauerung des praktischen Arztes mehr als die Ueberschätzung des eigenen Gedächtnisses; nichts erleichtert den steten Fortschritt in der Erkenntnis, das Sammeln eigener Erfahrungen, ja selbst die Entdeckung neuer Thatsachen in so hohem Maasse, als die sofortige Niederschreibung des Erlebten." (1890) [44]

"Aber der practische Arzt ist ganz übel daran, wenn er in der Fluth immer neuer Erscheinungen, welche der Zufall ihm entgegenführt, jedes Fadens entbehrt, um den Zusammenhang der Einzelereignisse verfolgen zu können. Nur zu leicht wird er dann missmuthig über die überschwängerte Fülle von Detail, in welcher er keine Ordnung zu bringen weiss, und er wendet sich endlich von der Wissenschaft ab, um in einem empirischen Eklektizismus zu enden." (1880) [41]

Der Lokalismus, der von der Virchowschen Lehre ausging, führte unter anderem dazu, dass Geisteskrankheiten als Gehirnkrankheiten klassifiziert wurden und ihr Substrat in geschädigten Hirnzellen gesucht wurde. Er führte aber letzten Endes in Verbindung mit der Entdeckung der Narkose und der Einführung von Antisepsis und Asepsis zu den bis dahin unvorstellbaren Erfolgen der Chirurgie. Erst unter dem neuen Paradigma war es ja sinnvoll, ein erkranktes Organ zu entfernen oder in seine gestörte Funktion einzugreifen.

64 HEINZ DAVID

"Denn das letzte Ziel der cellularpathologischen Untersuchung ist die Localisation der Krankheit. Indem wir davon ausgehen, dass niemals der ganze Körper, d.h. alle einzelnen Bestandtheile des Körpers krank sein können, so ergibt sich als Aufgabe die Auffindung desjenigen Theiles oder derjenigen Theile, welche Träger der Krankheit sind. Dies ist der Punkt, von wo aus die Cellularpathologie ihre größten Einwirkungen auf den Gesamtgang der Medizin ausübt. Der Schritt von der Localpathologie zu der Lokaltherapie ist ein kleiner, und doch bedeutet es nicht weniger, als den Umsturz der alten Therapie." (1891) [46]

"Nach unserer Anschauung involviert der Begriff der Medizin, der Heilkunde, ohne weiteres den des Heilens. Das Anstreben einer realen Ausführung dieses Zweckes [d.h. des Heilens] enthält die Aufgabe der praktischen Medizin. Die praktische Medizin ist eigentlich nie, auch nicht in den Händen der größten Meister, die wissenschaftliche Medizin selbst, sondern nur eine Anwendung derselben." (1847) [13]

"Gymnastik, Arbeit, Turnen, und Ventilation sind die großen Regulatoren dieser Störungen. Ohne sie krankt das Blut, ohne sie das Leben, ohne sie gewinnt der Tod immer reichere Beute und die fieberhafte Arbeit unserer Civilisation beschleunigt nur den Verfall der Generation." (1862) [29]

"Vergeblich wird man sich darauf berufen, dass noch keine einzige Schule der Medizin existiert hat, welche ohne gründliche Kenntnisse der Anatomie dauernde Fortschritte der Wissenschaft oder der Kunst des Heilens begründet hätte. Die Homöopathen und die sogenannten Naturärzte, die schon jetzt auf dem Platze sind, um die Reihen der Antivivisectoren zu verstärken, werden hervortreten und ihre Erfolge preisen. Der Scepticismus, der von Zeit zu Zeit in den Kreisen der Aerzte selbst um sich greift, und der nur zu leicht unter denen Anhänger findet, die für sich selbst oder ihre Angehörigen vergeblich die ärztliche Hülfe angerufen haben, er wird höhnend darauf hinweisen, wie oft der Arzt machtlos der Krankheit gegenübersteht. Man wird die Therapie als ein werthloses Gerümpel verwerfen und uns vorhalten, wie es jetzt schon Petitionen der Thierschutzvereine thun, dass die Therapie durch die Hygiene, die Behandlung der einzelnen Kranken durch die öffentliche Gesundheitspflege zu ersetzen sei. Und man wird den Glauben zu erwecken suchen, dass die Prophylaxe ohne Anatomie und Thierversuch bestehen könne." (1881) [43]

Virchow wendet sich gegen eine Gesetzgebung gegen die Kurpfuscherei, weil sie die Kranken nur in die Hände dieser oder neuer treiben würde. "Denn die "öffentliche Meinung" fragt wenig nach dem inneren Werth einer Metho-

de, für sie existirt kein Bedürfnis nach einer eingehenden Erfahrung über den Hergang der Heilung, oder nach dem wissenschaftlichen Grunde der sogenannten Heilung; sie will nur ein summarisches Urteil über den Erfolg und dazu gehört nicht so sehr ein thatsächliches Verständnis, als vielmehr ein rechter Glaube an den Heilkünstler und an die Wirkungen seines Verfahrens. Wenn die alten Zauberer, die Medicin-Männer der Wilden und die Schamanen der culturlosen Stämme Glauben finden und gefunden haben, warum sollten nicht die modernen Zauberärzte Gleiches verlangen dürfen?" (1900) [51]

"Schon hat man begonnen, die Schulmedicin als veraltet und unbrauchbar darzustellen, und ihr gegenüber eine Volksmedicin als das Desiderat der Gegenwart zu schildern. Die sogenannte Natur-Heilkunde beansprucht schon das Verdienst, den Ersatz gefunden, und an die Stelle der gelehrten Medicin, der Medicin der Universität und der akademisch geschulten, eine Medicin der Ungelehrten, der Laien und der selbstdenkenden Praktiker gesetzt zu haben." (1900) [51]

Diese Zitate Virchows aus dem Jahre 1900 sind auch heute noch in gleicher Weise gültig. Die Gegensätze haben sich z.T. noch verschärft, insbesondere weil die Schulmedizin bei allen Erfolgen auch sichtliche Angriffspunkte bietet, denen sie zu wenig Aufmerksamkeit widmet. "... und wenn die Homöopathie mit ihren Decilliontel-Gaben und die 'scheidekünstige' Erfahrungsheillehre mit adäquaten Wässern die Aufmerksamkeit der Aerzte zu erregen gewusst haben, so dürfte es vielleicht als eine gewisse Bescheidenheit aufgenommen werden, wenn wir uns mit einer nur dreihundertmaligen Verdünnung und Vertheilung ihrer Anschauung begnügen." (1852) [21]

"Weniger groß, doch um so bedeutungsvoller durch ihren Einfluss auf leicht bewegliche Volksmassen, ist die Kohorte der Propheten des Aberglaubens. Homöopathie und Hydropathie, Magnetismus und Exorzismus-Phantome des Mittelalters – erheben ungestört ihr Haupt, und das Licht der Wissenschaft ist noch nicht klar genug, um sie ungesäumt zerstreuen zu können." (1845) [10]

6. Aufgaben des Hochschullehrers

"Wir Professoren der Naturwissenschaften haben daher die schwierige Aufgabe, die jungen Gemüter zu naturwissenschaftlichen Beobachtung zu erziehen, und zwar nicht bloss bis dahin jungfräuliche Gemüter, in denen unsere Samenkörner schnell Wurzeln schlagen, sondern vorzugsweise solche Gemüter, deren Boden durch die voraufgegangene Bearbeitung unfruchtbar ge-

worden oder mit nachteiligem Stoff und Material erfüllt worden ist." (1890) [44]

"Gedächtnis, Geistesgegenwart, ja sogar ein gewisses Maass von Kühnheit werden dem öffentlichen Lehrer wohl anstehen. Wir verlangen keine Professoren, die nur ihr Heft abzulesen verstehen und denen, sobald sie an einen ungewohnten Fall treten, das Gedächtnis, die Geistesgegenwart und die Courage ausgehen." (1848) [17]

"Die Hochschulen müssen aufhören, bloße Anstalten für das Brot- und Fachstudium zu sein, auf denen man allenfalls noch nebenbei einige für den menschlichen Geist überhaupt wichtige Gegenstände kennenlernt, sie müssen wieder das sein, was ihr Name sagt: Herde der allgemeinen menschlichen Bildung, Anstalten des höchstens Unterrichts. Der höchste Unterricht aber ist derjenige, welcher das ganze geistige und ethische Bewußtsein in den Lernenden entwickelt. … war es in der neueren Zeit immer mehr Sitte geworden, dass die höchsten Staatsbehörden selbst die Sache in die Hand nahmen. Aus der Gefahr der Clique verfiel man auf diese Weise in die Gefahr des Nepotismus, was vielleicht beides gleich schlimm ist. Allein man machte damit zugleich jede natürliche, consequente Entwicklung unmöglich, und das war etwas für die Medicin fast Deletäres." (1848) [15]

7. Vorkämpfer und Begründer der Sozialmedizin

"Entscheidend dafür ist eine Mission geworden, mit der ich im Beginn des Jahres 1848 durch einen Auftrag des damaligen preussischen Medicinalministers betraut wurde. Sie galt der Erforschung der in Oberschlesien ausgebrochenen schweren Epidemie des sogenannten Hungertyphus. Bei der Erörterung der Ursachen dieser Epidemie kam ich zu der Ueberzeugung, dass die schlimmsten derselben in socialen Missständen beruhten und dass der Kampf gegen diese Missstände nur auf dem Wege tiefgreifender, socialer Reformen geführt werden könne." (1902) [52]

"Bald im amtlichen Auftrag, bald durch den Zufall der Ereignisse, bald in freiwilliger Entschliessung angesichts bedeutender Erscheinungen, kam ich dahin, eine Reihe verwickelter Probleme zum Gegenstand meiner Studien zu machen, welche mit meinen sonstigen Aufgaben manchmal einen sehr lockeren Zusammenhang hatten. Eine ganze Reihe der schwersten Epidemien ist unter meinen Augen verlaufen. Harte Calamitäten, von denen ganze Bevölkerungen heimgesucht wurden, habe ich als officieller Berichterstatter zu erforschen gehabt. Krieg, Hunger und Pestilenz wurden der Gegenstand meiner Betrachtungen. Diese Studien haben einen entscheidenden Einfluss ausgeübt

auf die Stellung, welche ich im öffentlichen Leben eingenommen habe. Sie waren es, die mich zur praktischen Politik führten; sie lenkten die Aufmerksamkeit meiner Mitbürger auf mich, als es sich darum handelte, die großen Aufgaben der communalen Tätigkeit zu lösen; sie brachten mich in amtliche Stellungen durch welche ich die Pflicht übernahm, in mancherlei Geschäften der Verwaltung und der Gesetzgebung einen Einfluss zu üben." (1902) [52]

Der Begriff sozial ist bei Virchow in drei Ebenen zu verstehen:

- in seiner Bezogenheit auf die sozial Benachteiligten der Gesellschaft,
- in seinem Verständnis der Medizin als sozialer Wissenschaft vom Menschen.
- in der Berücksichtigung der sozialen Existenz des Menschen in der Gesellschaft. [53]

"Preußen war stolz auf seine Gesetze und seine Beamten. In der That, was stand nicht Alles gesetzlich fest! Nach dem Gesetz durfte der Proletarier die Mittel fordern, die ihn vor dem Hungertode sicherten; das Gesetz garantirte ihm Arbeit, damit er sich jene Mittel selbst erwerben könne; die Schulen, die so gepriesenen preußischen Schulen waren da, um ihm die Bildung zu gewähren, welche für seinen Stand nothwendig war; die Sanitätspolizei endlich hatte die schöne Bestimmung, über seine Wohnung, seine Lebensart zu wachen. Und welches Heer geschulter Beamten stand bereit, diesen Gesetzen Ausdruck zu verschaffen! Wie drängte sich dieses Heer überall in die privaten Verhältnisse ein, wie überwachte es die geheimsten Beziehungen der Unterthanen, um ihr geistiges und materielles Wohlsein vor einer zu großen Steigerung zu bewahren, wie eifrig bevormundete es jede voreilige oder ungestüme Regelung des beschränkten Unterthanen-Verstandes! Das Gesetz war da, die Beamten waren da und das Volk - starb zu Tausenden Hungers und an Seuchen. Das Gesetz half nichts, denn es war nur beschriebenes Papier; die Beamten halfen nichts, denn das Resultat ihrer Thätigkeit war wiederum nur beschriebenes Papier." (1849) [19]

Für Virchow war es selbstverständlich, dass es eine enge Verbindung zwischen Politik und Medizin geben muss, weil nur so die Verantwortung des Arztes verwirklicht werden kann.

"Unsere Politik war die der Prophylaxe; unsere Gegner haben die Palliative vorgezogen. Das Leben und die Gesundheit von Hunderttausenden gilt ihnen nichts, wenn die Bequemlichkeit und der Genuß Hunderter auf dem Spiel steht." (1848) [16]

"Die Aufnahme in ein Krankenhaus muss demnach jedem Kranken, der dessen bedarf, frei stehen, gleichviel ob er Geld hat oder nicht, ob er Jude oder

Heide ist. Meldet sich jemand zur Aufnahme, so handelt es sich darum, ob er krank ist und ob seine Verhältnisse die Aufnahme in ein Krankenhaus verlangen. Bis jetzt war es aber umgekehrt; man fragte zuerst, ob der Mensch bezahlen könne oder ob ein anderer für ihn zu bezahlen die Verpflichtung habe." (1848) [16]

Rastlose Tätigkeit, Ungeduld und Unduldsamkeit, sein Wunsch nach rascher und unbürokratischer Entscheidung machte Virchow sehr unbequem. In den Personalakten Virchows findet sich eine Beschwerde des damaligen Magistrats-Sekretärs Meixner aus dem Jahre 1857 mit folgendem Wortlaut: "Heute Vormittag erschien der Herr Professor Dr. Virchow im Bureau der Königlichen Charité, um die Aufnahme des an Krämpfen leidenden Kaufmanns Haese aus Stargard zu veranlassen. Herr Professor Dr. Virchow wandte sich an mich und ich theilte demselben auf Befragen mit, daß, da der Kranke von außerhalb, die sofortige Einzahlung des Kostenvorschusses von 20 gr. in Folge ausdrücklicher Bestimmung der Königlichen Charité-Direction erforderlich sei. Herr Professor Dr. Virchow erwiderte mir darauf, daß es auf den Geldpunkt gar nicht weiter ankomme, daß er vielmehr nur wissen wolle, ob die Aufnahme des Kranken sogleich erfolgen könne. Meine Bemühungen, den Herrn Professor Dr. Virchow davon zu überzeugen, daß zunächst gerade der Geldpunkt erörtert werden müsse, indessen hiervon die Aufnahme des Patienten abhängig sei, hatte nicht nur keinen Erfolg, sondern veranlaßte den Herrn Professor noch zu einem ganz unangemessenen und unpassenden Benehmen gegen mich. Derselbe äußerte unter anderem in einem unpassenden Ton: ,wiederholen Sie mir doch nicht immer die Frage nach Geld, ich will nichts mehr davon hören, ich verbitte mir das usw. " (zit. [54])

8. Organisation von gesundheits- und kommunalpolitischen Aufgaben

Die Situation in Berlin stellt sich auf diesem Gebiet 1869 für Virchow in folgender Weise dar: "Keine deutsche Schrift über die vorliegende Frage erscheint, ohne haarsträubende Dinge über die Unreinlichkeit von Berlin, den schrecklichen Zustand seiner Abtritte und Gossen zu erzählen. Aber ist denn nicht die große Mehrzahl unserer Dörfer in einem bei Weitem schlimmeren Zustande? Berlin ist trotz seiner Abtritte, Nachtstühle und Rinnsteine eine verhältnismäßig gesunde Stadt ... An der Unterbaumbrücke, wo der in dem Gutachten der Wissenschaftlichen Deputation erwähnte, sämmtliche Auswurfstoffe des grossen Charité-Krankenhauses in zum Theil noch fester Form führende Graben in die Spree mündet, sieht man unmittelbar an dem Rande der schwarzen und zur Sommerzeit brodelnden Massen zahlreiche kleinere

und grössere Fische munter umherschwimmen und von den Auswurfstoffen zehren." (1869) [35]

Virchow hat sich besonders für die Entwicklung des Kanalisationssystems in Berlin eingesetzt. Es ist heute kaum vorstellbar, dass in einer Stadt mit fast 1 Million Einwohner 1870 Senkgruben und Aborte im Freien die Stadt beherrschten. Nur in einem Viertel der Häuser gab es Wasserklosetts, und auch diese entleerten sich in tiefe Gossen, die alle flüssigen und häuslichen sowie industriellen Abfälle beförderten und in die Spree und den Kanälen der Stadt endeten. Aufbauend auf langdauernden Studien schlug Virchow, entsprechend der Entwicklung in anderen europäischen Staaten, vor, eine Kanalisation zu bauen, mit der gleichzeitig die Herde für die Entwicklung und Ausbreitung von Infektionskrankheiten beseitigt werden sollten.

1902 schildert er seine Leistungen für Berlin: "Ich verdanke die Möglichkeit, bei einer so großen Veränderung bestimmend mitzuwirken, in erster Linie dem Umstande, dass ich Stadtverordneter von Berlin geworden war, und, demnächst dem großen und dauernden Vertrauen, welches ich durch fast 50 Jahre bei meinen Mitbürgern gefunden habe. Wenn sie mir später das Ehrenbürgerrecht ertheilten, so darf ich auch darauf hinweisen, dass seit meiner Mitarbeit die ganze Physiognomie der deutschen Hauptstadt sich verändert hat. Denn die Städtereinigung erforderte nicht bloss eine umfassende Wasserzuleitung, eine durchgreifende Canalisation und weit ausgedehnte Rieselfelder, sondern auch eine entsprechende Regulierung und Nivellierung sämmtlicher Straßen und einen Umbau in jedem Haus. Das hat Hunderte von Millionen gekostet, aber meine Mitbürger haben die große Last übernommen in dem unverbrüchlichen Vertrauen, dass jede Geldsumme durch ein Aeguivalent an Gesundheit und Lebensdauer belohnt wird. So ist Berlin zugleich eine der reinlichsten und schönsten, aber auch der gesundesten Grossstädte geworden." (1902) [52]

Virchow war der Initiator des Baus der ersten vier städtischen Krankenhäuser, des Krankenhauses Moabit (eröffnet 1872) des Krankenhauses im Friedrichshain (eröffnet 1874), des Krankenhauses Urban (eröffnet 1890) und des ersten Berliner Kinderkrankenhauses. Auf seine Initiative entstanden Genesungsheime in Blankenburg und Heinersdorf (beide eröffnet 1887) sowie die Städtische Irrenanstalt in Dalldorf (eröffnet 1878), später in Lichtenberg und Biesdorf. "Dabei muss ich mit grosser Genugthuung bemerken, dass die städtischen Behörden Berlins, das neue, von ihnen erbaute Krankenhaus, das grösste unserer Stadt, mit meinem Namen versehen haben". (1902) [52]

Das Netz der Berliner Markthallen sowie der Bau des Zentralen Berliner Vieh- und Schlachthofes sind ebenfalls untrennbar mit seinem Namen verbunden. Ihm ist es zu verdanken, dass schon 1877 für ganz Preußen die gesetzliche Trichinenschau vorgeschrieben wurde.1879 stellte er dazu fest, dass ihm das gegen den "Aberglauben der Gelehrten und der populären Kreise", die "Sonderinteressen der Schlächter und Händler" und die "Bequemlichkeit der Behörden" gelungen sei.

1859 wurde Virchow in Abwesenheit zum Stadtverordneten von Berlin gewählt und sechsmal hintereinander wiedergewählt.

Nach Ansicht des Medizinhistorikers Ackerknecht habe "seit 1900 der Durchschnittsdeutsche in fast allen Phasen seines Lebens, von der Wiege bis zum Grabe, ob beim Essen oder Trinken, in der Schule oder bei der Arbeit, in gesunden Tagen oder als Kranker in einem Krankenhaus, aus diesem Wirken Nutzen gezogen". [1]

9. Initiator der Morbiditäts- und Mortalitätsstatistik

Virchow kann außerdem als einer der ersten Vertreter der Mortalitäts- und Morbiditätsstatistik in Deutschland angesehen worden. So berichtete er am 28. Mai 1859 vor der physikalisch-medizinischen Gesellschaft in Würzburg: "Es schien mir ein Gegenstand der ernstesten Bedeutung zu sein, eine geordnete Statistik der Mortalitäts- und Morbiditätsverhältnisse der Stadt ... fortzuführen, handelt es sich auch darum, den Grad und die Quellen der Gefahren, welche das Leben der Einwohner sowohl im Großen, als das jedes einzelnen in der Stadt bedrohen, zu ermitteln, um daran den Grad und die Natur der Hilfe zu ermessen, welche dagegen aufgewendet werden könnte! Keine von den Mittelstädten Deutschlands bietet so viele Möglichkeiten, diese für die Wissenschaft überhaupt so wichtige Frage zu verfolgen." (1859) [26]

"Ich habe einen doppelten Grund, die Fragen der Berliner Sterblichkeit vor Ihr Forum zu bringen. Der eine ist, wenn Sie wollen, ein ganz äusserlicher, der überdies in der Gesellschaft, so viel ich meine, schon behandelt worden ist, den ich Ihnen aber noch einmal so dringend als möglich ans Herz legen möchte. Das ist nehmlich, – ich darf es wohl sagen, ohne einen Einzelnen zu beleidigen, – die große Nachlässigkeit, mit welcher auf den Todtenscheinen die Krankheiten von den Aerzten angegeben werden. Es ist in der That eine öffentliche Calamität, dass so viele Collegen in dem Augenblick, wo sie das eine Wort niederschreiben, es nicht zugleich sagen, dass sie damit die Grundlage für eine weitere wissenschaftliche Arbeit entweder legen oder verderben helfen." (1863) [31]

10. Stellungnahmen zur Ökologie

Virchow ging aber über gesundheitspolitische Fragen hinaus auch auf Probleme der Ökologie ein:

"Die fortschreitende Entholzung der Quellgebiete der Flüsse, zahlreiche Arbeiten der Entwässerung von Sümpfen und Mooren, der Ablassung und Senkung von Seen tragen dazu bei, den Wassergehalt unserer Flüsse großen und plötzlichen Schwankungen zu unterwerfen. Wo früher ein großer Theil des aus der Atmosphäre niedergefallenen Wassers in höher gelegenen oberoder unterirdischen Becken, in Moos und Sumpf, wie in großen Schwämmen zurückgehalten wurde, da strömt jetzt der größte Theil des Meteorwassers alsbald den Flüssen zu und macht sie jäh anschwellen. Die Gefahr von Ueberfluthungen in der Frühjahrs- und Sommerzeit wird vielleicht noch mehr wachsen." (1869) [35]

11. Kritiker der Schulpolitik und Schulhygiene

Virchows gesundheitspolitische Forderungen erstreckten sich auch auf das Problem gesunder Zustände in der Schule. Auf ihn geht die Umwandlung von Armenschulen in Volksschulen zurück.

"Es ist nicht wahrscheinlich, dass eine genauere Untersuchung die Aufmerksamkeit auf neu und bis dahin noch unbekannte Schädlichkeiten und Krankheitsursachen richten wird. Die Zahl derselben lässt sich schon jetzt ziemlich bestimmt übersehen. Es sind dies hauptsächlich folgende:

- 1. die Luft im Schullokal, auf deren Beschaffenheit die Größe des Lokals, die Zahl der Schüler, die Heizung, Ventilation, Feuchtigkeit des Fußbodens und der Wände, der Staub (Reinlichkeit) bestimmend einwirken;
- 2. das Licht im Schullokal, bedingt durch Lage des Gebäudes und des Zimmers, Grösse der Fenster und ihr Verhältnis zu den Tischen, Farbe der Wände und der Umgebungen, künstliche Beleuchtung (Gas, Oel);
- 3. das Sitzen im Schullokal, insbesondere Verhältnisse von Bank und Tisch, Grösse der Sitzplätze, Einrichtung derselben, Dauer des Sitzens;
- 4. die körperlichen Bewegungen, insbesondere das Spielen, Turnen, Baden, ihr Verhältnis zum Sitzen und zu den rein geistigen Arbeiten, ihre Einrichtung und Beaufsichtigung;
- 5. die geistigen Anstrengungen, ihre Dauer und Abwechslung, ihr individuelles Maass, die Einrichtung und Dauer der Freistunden und Ferien, die Ausdehnung der häuslichen und der Schularbeiten, der Beginn der Schulpflicht usw.;

- 6. die Strafen, insbesondere die körperlichen Züchtigungen;
- 7. das Trinkwasser;
- 8. die Abtritte:
- 9. die Unterrichtsmittel, insbesondere die Wahl der Schulbücher (Größe des Druckes) und der Anschauungs-Gegenstände." (1869) [36]

Auf der Naturforscherversammlung in Speyer 1861 postuliert er: "Die Medizin hat die Forderung an die Schule, dass sie zum Denken in einer Weise erzieht, die für das Leben vorbereitet, zu einer Freiheit, die nicht gesetzlos willkürlich und damit für Staat und Gesellschaft gefährdend ist, dass sie ferner den Unterricht gesund gestaltet, indem die einseitige, allzusehr auf das Formelle sich erstreckende Ausbildung des Geistes, die die Gesundheit schädigt, mit der richtigen Ausbildung der Körpers, insbesondere durch den Turnunterricht, in Einklang gebracht wird." (1861) [27]

Ausführlich nahm er zur Situation in den Schulen in der Publikation: "Ueber gewisse, die Gesundheit benachtheiligende Einflüsse der Schulen" Stellung sowie in dem Gutachten der Kgl. Wissenschaftlichen Deputation für das Medicinalwesen zur "Ueberbürdung der Schülern in den höheren Lehranstalten".

12. Forscher auf dem Gebieten Anthropologie, Archäologie, Urgeschichte

In seinen späteren Lebensjahren wandte sich Virchow anthropologischen Forschungen zu. Sie betrafen die von ihm veranlassten und bearbeiteten Zählungen von Schulkindern in Deutschland, Österreich, der Schweiz und Belgien – insgesamt 10 Millionen nach einem neuen Haut, Iris und Haarfarbe umfassenden Schema, um die Verteilung der blonden und brünetten Typen in den Ländern festzustellen. Sie gaben wichtige Aufschlüsse über die Regermanisierung der zeitweilig von Slaven besetzten ostpreussischen, wendischen und litauischen Gebiete, über die deutsche Colonisation von Niederösterreich, Steyermark und Böhmen von Oberbayern her, über die Wanderung der alemannischen Stämme durch Deutschland.

In den von Virchow initiierten ausgedehnten Klassifizierungen von Schulkindern, bei denen die Zeichen des rein germanischen Typs (blonde Haare, blaue Augen, weiße Haut) analysiert wurden, ergab sich, dass in Preußen nur ein Drittel und in Bayern nur ein Fünftel diese Merkmale aufwiesen. Beide Untersuchungen belegten, dass für alle europäischen Staaten eine Rassenmischung angenommen werden kann.

Virchow erklärte die rassischen Regungen des germanischen Stammesbewusstseins in einer Zeit der Rechtsgleichheit als völlig verfehlt und führte sie zurück "auf den Verlust des gesunden Menschenverstandes."

Virchow führte Studien über Pfahlbauten und Burgwälle in der Mark und in Pommern durch. Er hatte einen hervorragenden Anteil an Schliemanns Ausgrabungen in Hissarlik, begleitete und half ihm auch bei der praktischen Förderarbeit. Auch der wissenschaftlichen Bearbeitung der Hissarlikfunde widmete sich Virchow, im Besonderen dem osteologischen Material, deren Ergebnisse er in den "Beiträgen zur Landeskunde von Troas" (1879) und "Alttrojanische Gräber und Schädel" (1882) veröffentlichte.

Schon zu seinen Lebzeiten und nach seinem Tode in zunehmendem Maße wurde Virchow wegen seiner Stellung zur Deszendenztheorie Darwins angegriffen. In Abhängigkeit von der religiösen und ideologischen Grundhaltung wird er als Gewährsmann von den Gegnern herangezogen, oder von den Anhängern als zurückgebliebener, unbelehrbarer starrer alter Pathologe dargestellt.

"Mancher fragt mich erstaunt, warum ich nicht Darwinist sei, da doch meine eigenen Auffassungen sich mit denen des Herrn Darwin berührten. Ich kann dazu nur sagen, dass ich im Herzen Darwinist bin, wie ich im Herzen Kosmopolit bin …, so bin ich in der Wissenschaft zuerst Pathologe und als solcher muss ich betonen, dass die pathologischen Bildungen nirgends über die physiologischen Möglichkeiten der Species hinaus sich entwickeln. Wir haben in der Pathologe keine Heterologien im Sinne des Darwinismus." (1877) [37]

Ackerknecht (1957) beurteilt zusammenfassend Virchows Haltung zur Deszendenztheorie: "Virchow zeigte daher fortgesetzt Achtung und Sympathie für den Darwinismus als Hypothese. 1870 fand er, dass die Abstammungstheorie (des Menschen von einem affenartigen Vorfahren) vom logischen und vom spekulativen Standpunkt aus ausgezeichnet sei. Er stellte ebenfalls fest, dass die Evolutionstheorie ein ethisches Postulat sei. Nicht als Dogma, aber als "Leuchtturm der Wissenschaft" würde der Darwinismus eine reiche Ernte bringen … Im übrigen ist Virchow keineswegs der einzige Anthropologe seiner Zeit, der im Hinblick auf den Darwinismus Zurückhaltung wahrte." [1]

13. Bemerkungen zum Antisemitismus

Problematisch ist Virchows Einstellung zu den Juden, wenn er sich auch entschieden gegen den Antisemitismus wendet.

"... und er hat gewiss Recht, wenn er diese Verhältnisse preist gegenüber den scheusslichen Rechtsverkrümmungen und Bedrückungen, welche christliche Staaten nachher gegen die Juden in Anwendung gebracht haben." (1869) [34]

"Es ist dies die Zeit, wo sich Juden und Araber unter den angesehenen Lehrern der Medicin hervortraten. Erst unsere Zeit hat hebräische Manuskripte an das Licht gefördert, welche erkennen lassen, mit welchem Eifer und welcher Gelehrsamkeit jüdische Ärzte des frühen Mittelalters für die Erhaltung und Förderung der Medicin thätig gewesen sind; man darf wohl sagen, dass bis in diese Zeit zurück sich die oft erhebliche Befähigung der Juden, die seitdem so Grosses für die Wissenschaft geleistet haben, verfolgen lässt." (1894) [48]

"Noch steht sie (die Volksseele) rathlos vor dem Rätsel des Antisemitismus, von dem niemand weiss, was er eigentlich in dieser Zeit der Rechtsgleichheit will, und der trotzdem, vielleicht auch deshalb, fascinirend selbst auf die gebildete Jugend wirkt. Bis jetzt hat man noch keine Professur des Antisemitismus gefordert, aber es wird erzählt, dass es schon antisemitische Professoren gäbe". (1893) [47]

14. Der Politiker

Virchow war zeit seines Lebens ein homo politicus, beginnend mit der Beteiligung am Barrikadenbau bei den März-Ereignissen 1848. Als er 1849 auf dem Charité-Gelände Wahlpropaganda machte, wurde ihm das dortige Wohnrecht entzogen, wenn er auch die Stellung als Prosektor behielt. Die kurze Zeit später erfolgte Berufung auf den Lehrstuhl für Pathologie der Universität Würzburg in Bayern war mit einer ausdrücklichen politischen Wohlverhaltenserklärung verbunden. Bis Ende der 50er Jahre enthielt er sich auch nach seiner Rückberufung nach Berlin politischer Betätigung.

Zusammen mit Theodor Mommsen gründete er dann die liberale Fortschrittspartei und war als ihr Delegierter Mitglied des Preußischen Landtags und des Reichstags für den Wahlkreis Saarbrücken.

1894 war der 73-jährige Virchow als Stadtverordneter von Berlin Mitglied in folgenden Gremien:

- wissenschaftliche Deputation für das Medizinalwesen
- Deputation für Gesundheitspflege
- Deputation für Krankenanstalten
- Deputation für Statistik
- Deputation für die innere Ausgestaltung des neuen Rathauses

- in der Verwaltung der Kanalisationswerke
- Direktion des "Märkischen Provinzialmuseums"
- Kuratorium für die Verwaltung der Heimstätten für Genesende
- Sanitätskommission

Virchows Sachkenntnis in Budget-Fragen, seine buchhalterische Genauigkeit, bringt ihm nach einer Debatte im Preußischen Landtag eine Duellforderung Otto von Bismarcks, die er ablehnte.

Nur einmal vertrat er gleiche Interessen wie Bismarck – beim "Kulturkampf" – ein Begriff, den er geprägt hat, als es nach dem Konflikt wegen der Unfehlbarkeitserklärung von Papst Pius IX. von 1870 um das Verhältnis von Kirche und Staat ging.

Auf der Ebene der Universität war Virchow Rektor in der Wahlperiode 1892/93 und Dekan der Medizinischen Fakultät 1867/68, 1872/73 und 1876/77.

Virchow trat immer wieder für die Demokratie ein, die er nicht auf die Politik beschränkt wissen wollte, sondern auch genauso für die Wissenschaft forderte: "Das Denken ohne Autorität, der Drang nach Geistesfreiheit sind ihre Grundlagen, und daher die Pressefreiheit, die Redefreiheit, die Vereinsfreiheit ihre nächsten und unmittelbarsten Consequenzen. Aber die geistige Freiheit kann ohne die körperliche nicht bestehen; der autoritätslose Denker will auch zum autoritätslosen Menschen werden". (1851) [20]

"Ich habe keine Absicht, Politiker von Profession zu werden … Nicht ich habe mich in die Politik gedrängt, sondern die Ereignisse haben mich hineingetrieben … Ich hasse alle Kraft- und Zeitverschwendung, und wenn ich etwas Besseres als Politik treiben kann, so bleibe ich dem treu. Bis jetzt habe ich weder politischen Ehrgeiz, noch politischen Fanatismus, wohl aber eine tiefe politische Überzeugung." (1849) [18]

"Zur Beruhigung meiner Freunde kann ich hinzusetzen, daß die stille und oft unbemerkte Arbeit des Gelehrten einen größeren Aufwand an Kraft und Anstrengungen erfordert, als die ihrer Natur nach geräuschvollere und daher dankbarere Tätigkeit des Politikers, welche mir häufig als eine Erholung erschienen ist." (1863) [30]

15. Aufklärer der Öffentlichkeit und Propagandist der Wissenschaften

In Konsequenz seiner Vorstellungen über die engen Beziehungen zwischen Freiheit, Wissenschaft und Bildung sieht Virchow es als Notwendigkeit an, bei der Information und Bildung des Volkes mitzuwirken, wie er es z.B. in seinen Vorträgen in Handwerkervereinen tat. Er hielt allgemeinverständliche

76 Heinz David

Vorträge vor der Bevölkerung, gab Sammlungen gemeinverständlicher wissenschaftlicher Vorträge heraus.

"Unsere Hauptaufgabe ist es jetzt, dem Publikum durch die nötigen Kenntnisse zur unabhängigen Denkfreiheit zu verhelfen, denn frei denken können beruht auf Wissen und Kritik, die wahre Sicherheit des Wissens aber beruht auf Erkenntnis der Entwicklung der Dinge."(1867) [33]

Als am 28. Mai 1883 in Anwesenheit des Kaisers die Humboldt-Denkmäler an die Universität übergeben wurden, geschah dies für das Wilhelm von Humboldts durch den Minister für Unterrichtswesen von Gossler und für das Alexander von Humboldts durch den Vorsitzenden des Komitees Rudolf Virchow.

Rudolf Virchow sah in Ausstellungen und Museen ein wichtiges Aufklärungs- und Erziehungsmittel. So begann er schon frühzeitig mit dem Aufbau von drei später berühmten Sammlungen, einer pathologisch-anatomischen, einer anthropologischen und einer prähistorischen. Seinen Stadtverordneten-Kollegen Ernst Friedel unterstützt er bei der Einrichtung des "Märkischen Provinzial-Museums" (heute "Märkisches Museum"). Maßgeblich auf seine Initiative hin entstanden das "Museum für deutsche Volkstrachten und des Hausgewerbes zu Berlin", das "Museum für Völkerkunde", das "Pathologische Museum der Charité", das nach seiner Eröffnung (1899) spöttisch "Kaiser-Virchow-Gedächtniskirche" genannt wurde.

Der sozial engagierte Universalgelehrte Rudolf Virchow kann uns auch heute noch als Beispiel dienen, dass der Arzt nicht nur seine medizinischen Pflichten erfüllen muss, sondern er auch Aufgaben auf sozialer, ökologischer und politischer Ebene zu erfüllen hat.

Kritische Stellungnahmen zu allen Problemen der Zeit, gewandelt – aber nicht gewendet – im Laufe seines Lebens vom fortschrittlichen Liberalen zu einem sozialkritischen Konservativen kennzeichneten ihn. Fortschrittsglauben und Skeptizismus waren Grundlagen seiner wissenschaftstheoretischen Konzepte. Seine Standpunkte verteidigte er rigoros oder flexibel, als korrekter Haushälter schuf er sich nicht nur Freunde, aber hohes Ansehen. Als begabter Organisator gesundheits- und kommunalpolitischer Projekte war er einer der wichtigsten Modernisatoren der allgemeinen Lebenszustände. Auf all diesen Gebieten ist er beispielgebend.

Pagel (1897) charakterisierte Virchow als eine Art von kombinierten Aristoteles und Galen in moderner Gestalt.

Zwei Wochen nach dem Tode von Virchow veröffentlichte Heubner im Namen der Gesellschaft der deutschen Naturforscher und Ärzte eine Nachruf:

"Als Virchow das Ergebnis seiner Arbeit in das Wort Zellularpathologie faßte, da übte dieser kurze Hauch eine magische Gewalt auf die Geister aus, denn er umschrieb eine neue Auffassung vom Rätsel des Lebens überhaupt. Aber auch das erklärt vielleicht noch nicht die Popularität, deren sich unser Meister vier Jahrzehnte lang auf der ganzen Welt erfreute. In Virchows Natur lag etwas Faustisches. Freilich nicht von jenem Faust, der von Genuß nach Begierde schmachtet, aber von jenem Dämon unersättlichen Wissens- und Schaffenstriebes, den es nicht leidet innerhalb der noch so weit gestreckten Grenzen seines Berufes. So trieb es den, der als Siebenzwanzigjähriger schon über das Leben grübelte, in das Leben hinaus auf die Höhen und Tiefen der Menschheit; so wurde er in der Gemeinde, Staat, Reich Führer von Strömungen und Parteien, Organisator und Schöpfer großer bleibender Einrichtungen. In die Ferne trieb es ihn auf weiten Reisen, in die Tiefe des Bodens grub er sich, alte Kulturen zu erforschen, nichts Menschliches sollte ihm fremd bleiben. So hat er sich die Verehrung von ungleich weiteren Kreisen der zivilisierten Menschheit erworben, als das sonst auch dem größten Fachgelehrten gelingt. Und im Gegensatz zu dieser weltbeherrschenden Stellung innerhalb eines nicht kleinen Kulturgebietes, die er einnahm, stand seine absolute Uneigennützigkeit und wahrhaft antike Anspruchslosigkeit in bezug auf persönlichen Vorteil, persönliche Bequemlichkeit, eigenen Gewinn. Treu, steif-nackig, bedürfnislos, war er ein echtes Kind des Landes vom kategorischen Imperativ. Ein großer Forscher, ein großer Idealist." [6]

"In künftigen Zeitläuften und Jahrhunderten wird man nicht begreifen können, dass ein einziger Mann so Hervorragendes auf den verschiedensten Gebieten geleistet hat. Da wird sich die Sage verbreiten, Virchow um die Wende des 20. Jahrhunderts sei kein einzelner Mensch gewesen, sondern Virchow sei ein Sammelname gewesen für eine Reihe hervorragender Zeitgenossen und Altersgenossen, die auf den verschiedensten Gebieten Großartiges geleistet haben." (1902, Eugen Richter war zu dieser Zeit Vorsitzender der Deutschen Fortschrittspartei) (zit. [9])

Rudolf Virchow war Mitglied der Akademie, deren Nachfolge wir angetreten haben. Dass wir ihn heute geehrt haben, sollte uns nicht nur Bedürfnis sein sondern auch Verpflichtung sein.

Ich möchte schließen mit einigen Passagen aus der Laudatio du Bois-Reymonds anlässlich der Wahl Virchows in die Akademie 1873: "Doch genug. Ich vergesse, dass ich von und zu einem Manne rede, der nun fast ein Menschenalter hindurch auf unabsehbarem Felde mit unerschöpflicher Fruchtbarkeit und unermüdlicher Spannkraft hervorbringend, hervorsuchend, feststel-

78 Heinz David

lend, sichtend, berichtigend, zusammenfassend thätig war; dessen Name an unzählige Beobachtungen, Versuche, theoretische Gedanken geknüpft in der ganzen Welt als der eines bahnbrechenden und umwälzenden, und doch ordnenden und aufbauenden Kopfes bekannt ist; der als Lehrer nicht bloss unter Tausenden nützliche Kenntnisse und gesunde Anschauungen verbreitete, sondern in zahlreichen Schülern und Schülern der Schüler wiedererstand, und fermentähnlich in's Unendliche die Wissenschaft mit fortzeugenden Keimen durchdringt...". (1873) [2]

Literatur

- [1] Ackerknecht, E. H.: Rudolf Virchow Arzt Politiker Anthropologe. Stuttgart, F. Enke Verlag 1957
- [2] Antrittsreden der Herren Siemens und Virchow und Antwort des Herrn Du Bois-Reymond, Secretars der Physikalisch-Mathematischen Klasse, gelesen in der öffentlichen Sitzung der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 2. Juli 1874. Berlin, Buchdruckerei der Kgl. Akademie der Wissenschaften 1874
- [3] Bericht über die Feier von Rudolf Virchow's achtzigstem Geburtstag am 13. Oktober 1901. Berlin [1902]
- [4] Dhom, G.: Geschichte der Histopathologie. Berlin [u.a.], Springer 2001
- [5] Doerr, W.: Die Pathologie Rudolf Virchows und die Medizin unserer Zeit. In: Deutsche Medizinische Wochenschrift 83 (1958), S. 370–377
- [6] Heubner, I. O. L.: Nachruf auf Rudolf Virchow (Karlsbad 1902). In: Sudhoff, Rudolf: Virchow und die Deutschen Naturforscherversammlungen. Leipzig, Akadem. Verlagsges. mbH 1922, S. 304–305
- [7] Hoepke, H.: Jakob Henle und Rudolf Virchow. Der Streit zweier Gelehrter. In: Medizinische Monatsschrift 29 (1975), S. 310–317
- [8] Lepeschinskaja, O. B.: Die Entstehung von Zellen aus lebender Materie und die Rolle lebender Materie im Organismus. In: Sowjetwissenschaft 1952; 32. Beiheft
- [9] Vasold, M.: Rudolf Virchow. Der große Arzt und Politiker. Stuttgart, Deutsche Verlags-Anstalt 1988
- [10] Virchow, R.: Das Bedürfniß und die Möglichkeit einer Medizin vom mechanischen Standpunkt, nachgewiesen an Beispielen. Rede zur Erinnerung an den Generalstabarzt Görcke, den Stifter des Friedrich-Wilhelm-Instituts, am 3. Mai 1845. In: Ders.: Medizin und Naturwissenschaft. Zwei Reden. Berlin, Akademieverlag 1986, S. 59–67
- [11] Virchow, R.: Zur Entwicklungsgeschichte des Krebses nebst Bemerkungen über Fettbildungen im thierischen Körper und pathologische Resorption. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 1 (1847), S. 94–201

- [12] Virchow, R.: Ueber die Standpunkte in der wissenschaftlichen Medizin. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 1 (1847), S. 3–19
- [13] Virchow, R.: Ueber die Reform der pathologischen und therapeutischen Anschauungen durch die mikroskopischen Untersuchungen. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 1 (1847), S. 207–255
- [14] Virchow, R; Leubuscher R.: Was die "medicinische Reform" will. In: Die medicinische Reform 1848, Nr.1, S. 1–2
- [15] Virchow, R.: Der medicinische Universitätsunterricht. In: Die medicinische Reform 1848, Nr.13, S. 85–87
- [16] Virchow, R.: Die öffentliche Gesundheitspflege. In: Die medicinische Reform 1848. Nr. 9. S. 53–56
- [17] Virchow, R.: Der Concurs. In: Die medicinische Reform 1848, Nr.16, S. 109–113
- [18] Virchow, R.: Der Staat und die Ärzte. In: Die medicinische Reform 1849, Nr. 37, S. 213–214
- [19] Virchow, R.: Die naturwissenschaftliche Methode und die Standpunkte in der Therapie. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 2 (1849), S. 3–37
- [20] Virchow, R.: Die Epidemien von 1848. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 3 (1851), S. 3–12
- [21] Virchow, R.: Ernährungseinheiten und Krankheitsheerde. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 4 (1852), S. 375–399
- [22] Virchow, R.: Specifiker und Specifisches. Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 6 (1854), S. 3–33
- [23] Virchow, R.: Cellular-Pathologie. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 8 (1855), S. 3–39
- [24] Virchow, R.: Die Einheitsbestrebungen in der wissenschaftlichen Medizin. In: Gesammelte Abhandlungen zur wissenschaftlichen Medicin 1856, S. 1–56
- [25] Virchow, R.: Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologische und pathologische Gewebelehre. Berlin, Verlag von August Hirschwald 1858 (4. Aufl. 1871)
- [26] Virchow, R.: Die Cellularpathologie und die physiologische Heilkunde. Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 16 (1859), S. 372–391
- [27] Virchow, R.: Ueber den Einfluß des naturwissenschaftlichen Unterrichts auf die Volksbildung (Speyer 1861). In: Sudhoff, Rudolf: Virchow und die Deutschen Naturforscherversammlungen. Leipzig, Akadem. Verlagsges. mbH 1922, S. 12–23
- [28] Virchow, R.: Atome und Individuen. Vortrag, gehalten im wissenschaftlichen Verein der Singakademie zu Berlin am 12. Februar 1859. In: Vier Reden über Leben und Kranksein. Berlin, Verlag Georg Reimer 1862, S. 35–76

80 Heinz David

[29] Virchow R.: Das Fieber. Vortrag, gehalten im wissenschaftlichen Verein der Singakademie zu Berlin am 11. Januar 1862. In: Vier Reden über Leben und Kranksein. Berlin, Verlag Georg Reimer 1862, S. 103–136

- [30] Virchow, R.: Die krankhaften Geschwülste, 1. Bd. Berlin, Verlag August Hirschwald 1863
- [31] Virchow; R.: Zur Geschwulst-Statistik. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 27 (1863), S. 425–430
- [32] Virchow, R.: Ueber die nationale Entwicklung und Bedeutung der Naturwissenschaften (Hannover 1865) In: Sudhoff, Rudolf: Virchow und die Deutschen Naturforscherversammlungen. Leipzig, Akadem. Verlagsges, mbH 1922, S. 1–55
- [33] Virchow, R.: Ueber die neueren Fortschritte in der Pathologie (Frankfurt 1867) In: Sudhoff, Rudolf: Virchow und die Deutschen Naturforscherversammlungen. Leipzig, Akadem. Verlagsges. mbH 1922, S. 17–72
- [34] Virchow, R.: Die Juden und die Hospitäler. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 46 (1869), S. 470–475
- [35] Virchow, R.: Canalisation oder Abfuhr? In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 45 (1869), S. 231–298
- [36] Virchow, R.: Ueber gewisse, die Gesundheit benachteiligende Einflüsse der Schulen. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 46 (1869), S. 447–470
- [37] Virchow, R.: Ueber die Standpunkte in der wissenschaftlichen Medicin. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 70 (1877), S. 1–10
- [38] Virchow, R.: Die Freiheit der Wissenschaft im modernen Staatsleben (München 1879). In: Sudhoff, Rudolf: Virchow und die Deutschen Naturforscherversammlungen. Leipzig, Akadem. Verlagsges. mbH 1922, S. 13–22
- [39] Virchow, R.: Die Fortschritte in der Kriegsheilkunde, besonders im Gebiete der Infectionskrankheiten. In: Gesammelte Abhandlungen aus dem Gebiet der öffentlichen Medicin und der Seuchenlehre, 2. Bd. Berlin 1879, S. 170–190
- 40] Virchow, R.: Ueber den Fortschritt in der Entwicklung der Humanitätsanstalten (35. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte, Königsberg 1860). In: Gesammelte Abhandlungen aus dem Gebiet der öffentlichen Medicin und der Seuchenlehre, 2.Bd. Berlin 1879, S. 3–22
- [41] Virchow, R.: Krankheitswesen und Krankheitsursachen. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 79 (1880), S. 1–19
- [42] Virchow, R.: Krankheitswesen und Krankheitsursachen. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 85 (1881), S. 373–398
- [43] Virchow, R.: Ueber den Werth des pathologischen Experiments. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 85 (1881), S. 399–410
- [44] Virchow, R.: Ueber den Unterricht in der pathologischen Anatomie. In: Klinisches Jahrbuch 2 (1890), S. 75–100

- [45] Virchow, R.: Die internationalen Congresse. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 120 (1890), S. 1–6
- [46] Virchow, R.: Der Stand der Cellularpathologie. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 126 (1891), S. 1–11
- [47] Virchow, R.: Die Gründung der Berliner Universität und der Übergang aus dem philosophischen in das naturwissenschaftliche Zeitalter. Rede am 3.August 1893. Königl. Friedrich-Wilhelms Universität zu Berlin. Berlin, Julius Becker 1893
- [48] Virchow, R.: Morgagni und der anatomische Gedanke. In: Berliner klinische Wochenschrift 1894. S. 345–350
- [49] Virchow, R.: Hundert Jahre allgemeiner Pathologie. Festschrift zur 100jährigen Stiftungsfeier des medizinisch-chirurgischen Friedrich Wilhelms-Instituts 1895. Berlin, Verlag August Hirschwald 1895, S. 589–628
- [50] Virchow, R.: Die Continuität des Lebens als Grundlage der modernen biologischen Anschauung. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 149 (1897), S. 381–404
- [51] Virchow, R.: Zum neuen Jahrhundert. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 159 (1900), S. 1–23
- [52] Virchow, R.: Zur Erinnerung. Blätter des Dankes für meine Freunde. In: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und klinische Medicin 167 (1902), S. 1–15
- [53] Wengler, B.: Das Menschenbild bei Alfred Adler, Wilhelm Griesinger und Rudolf Virchow. Frankfurt; New York, Campus Verlag 1989
- [54] Winter, K.: Rudolf Virchow, 2. Aufl. Leipzig, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1977 (Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner; 24)

Weitere Literatur in:

David, H.: Rudolf Virchow und die Medizin des 20. Jahrhunderts. München, Quintessenz Verlag 1993

Hans-Heinz Emons

Jacobus Henricus van't Hoff (1852–1911) und die Chemie und Technologie der Mineralsalze

Überarbeitete Fassung eines Vortrages zum 150. Geburtstag von J. H. van 't Hoff in der Sitzung der Naturwissenschaftlichen Klasse der Leibniz-Sozietät am 20. November 2002

Einleitung

"Nicht an den Thaten mächtiger Fürsten oder berühmter Feldherren, sondern an den unsterblichen Namen Columbus, Copernicus, Kepler, Galilei, Newton knüpft die Geschichte den Fortschritt in den Naturwissenschaften und den Zustand der Geistesbildung in der gegenwärtigen Zeit" [1].



Bild 1: Jacobus Henricus van't Hoff, 1852–1911 [19]

Transformieren wir diese Aussage Justus von Liebigs auf das Jahr 2002, so leitet sich daraus die gewählte Thematik ab, gedachten wir doch im August zweier Persönlichkeiten, die Wissenschafts- besonders auch Mineralsalzgeschichte geschrieben haben – am 6.8.2002 des 150. Geburtstages von Heinrich Precht, dem führenden deutschen Kalichemiker der Zeit um 1900, und

am 30.8. des 150. Geburtstages des ersten Nobelpreisträgers für Chemie (1901) Jacobus Henricus van't Hoff, die beide über viele Jahre fachlich und persönlich eng verbunden waren. Nicht vergessen sei aber auch ein Ereignis, stellte doch Robert Bunsen 1852 erstmalig Magnesium durch Elektrolyse von geschmolzenem Magnesiumchlorid dar, womit sich eine dritte Verbindung zu den Mineralsalzen ergibt.

Eine angemessene Würdigung eines der Großen unserer wissenschaftlichen Disziplin würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen.

Umfangreiche Bücher und zahlreiche Artikel haben das Lebenswerk van 't Hoffs – vollbracht in nur 59 Jahren – aus unterschiedlichen Aspekten heraus dargestellt und interpretiert. In diesem Jubiläumsjahr wird manches Wort hinzukommen, wie u. a. die sehr instruktive Publikation von R. Zott über "van 't Hoffs Werdegang und seinen Weg nach Berlin" [2].

Ehe etwas – in gebotener Kürze – zu seinem Wirken und besonders zu seinen oft nicht nur in der wissenschaftlichen Öffentlichkeit unterschätzten "Salz-Arbeiten" gesagt werden soll, mögen Auszüge aus dem Wahlvorschlag vom 7.11.1895 zur Aufnahme in die Preußische Akademie der Wissenschaften zu Berlin für den seit dem 27. Lebensjahr als ordentlicher Professor für Chemie an der Universität Amsterdam wirkenden Wissenschaftler sprechen [3]. Die Vorschlagenden schreiben:

"... weil sie von der Überzeugung durchdrungen sind, daß Herr van't Hoff unter den lebenden Physikern und Chemikern einen der ersten Plätze einnimmt und nicht allein der Akademie zu Zierde gereichen, sondern auch durch seine Tätigkeit als Lehrer und Forscher in Berlin außerordentlich anregend wirken würde. ... In der Schrift ,La Chimie dans l'Espace' verknüpft er den von Pasteur entwickelten Begriff der molekularen Asymmetrie in glücklichster Weise mit den Principien der Strukturchemie und schuf so die Theorie des asymmetrischen Kohlenstoffatoms. Er kann deshalb als der wahre Begründer und glücklichste Vorkämpfer der räumlichen Anschauungen bezeichnet werden, ... Seit etwa 15 Jahren hat sich van't Hoff auch den wichtigsten Problemen der Physikalischen Chemie zugewandt und hier ganz ebenbürtige Erfolge erzielt. Durch die Studien über die chemische Dynamik und namentlich durch die Übertragung der Gasgesetze auf die verdünnten Lösungen ist er der Schöpfer eines neuen, fruchtbaren Zweiges der Molekularphysik geworden; ... obschon die hervorragendsten Leistungen van 't Hoffs auf spekulativem Gebiet liegen, so hat er doch eine Reihe schätzbarer Experimentalarbeiten über den Zusammenhang von Struktur und optischer Aktivität, über Doppelsalze und deren Existenzgrenzen, über Racematbildungen usw. ausgeführt."

Das Schreiben war unterzeichnet von den weltbekannten Akademiemitgliedern Fischer, Warburg, v. Bezold und Planck.

Dieser Wahlvorschlag trägt den entscheidenden Arbeitsgebieten van 't Hoffs Rechnung, die ihn – neben Wilhelm Ostwald und Svante Arrhenius – zu dem Pionier der Physikalischen Chemie werden ließen. Ein wesentliches Ergebnis dieser neuen physikalisch-chemischen Anschauungen lag nach Welsch und Girnus [4] in erkenntnistheoretischer Hinsicht darin, dass die korpuskular-diskontinuierlichen Anschauungen des chemischen Atomismus, einschließlich der Vorstellungen über die elektrolytische Dissoziation, mit den Kontinuumsvorstellungen der Thermodynamik vereint werden konnten. Die Bedeutung dieser theoretischen Durchdringung der allgemeinen Grundlagen der Chemie mittels physikalisch-chemischer Denk- und Arbeitsmethoden wurde dennoch nicht sofort erkannt. Dies drückt sich in den konträren Auffassungen von H. Kolbe gegenüber van 't Hoff, Ostwald gegenüber den Organikern, E. Fischer gegenüber Ostwald, den Angriff auf die "Ionier" usw. aus.

Bei der Durchsetzung der Physikalischen Chemie in Forschung, Lehre und Schrifttum sollte nach Ansicht van 't Hoffs "... wohl in erster Linie Ostwald genannt werden, der durch seine umfangreiche Lehrtätigkeit, seine erstaunliche literarische Arbeit und sein Organisationstalent für die Verbreitung der Physikalischen Chemie vielleicht mehr getan hat als viele andere ...".

Der Weg zum führenden Physikochemiker

Sucht man die Basis und die Einflüsse, die es van 't Hoff letztendlich ermöglichten, eine herausragende Stellung in einer für Europa wissenschaftlich so kreativen Zeit einzunehmen – E. Fischer war besonders durch S. Arrhenius mit den "genialen Theorien" van 't Hoffs bekannt gemacht worden und nannte ihn den "größten Theoretiker der Chemie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts" –, so findet man sie, ausführlich dargelegt von seinem Mitarbeiter, Kollegen und Biographen E. Cohen [5], in den Lehr- und Studienjahren auf den Gebieten der Mathematik und Naturwissenschaften – ergänzt durch eine technologische Grundausbildung – in Rotterdam, Delft und Leiden sowie in Bonn und Paris bei A. Kekulé und A. Wurts.

Die intensive Beschäftigung mit Vertretern der positivistischen Philosophie und ausgewählten Literaten prägte ihn sein Leben lang. So übte Auguste Comtés Werk "Cours de philosophie positive", ein Buch, das interessante As-

pekte über die Beziehungen zwischen Chemie und Physik sowie über den Weg zu einer rationellen, mathematisch durchdrungenen Forschung in der Chemie enthält, großen Einfluss auf den jungen Studenten aus. William Whewells "History of the inductive sciences from the earliest to the present time" vermittelte dem jungen Technologen eine Vorstellung darüber, was die exakten Wissenschaften der Menschheit bereits gebracht hatten, aber gleichfalls, was für ihn sicher weit wichtiger war, die Mannigfaltigkeit der Probleme, die noch der Lösung harrten. Taines "De 1'intelligence" sei nicht vergessen zu erwähnen.

Zu den Literaturen schreibt Cohen [5]: "Und neben Byron, dessen Bild man bereits damals in Henri's Schlafzimmer fand, sind Robert Burnes und Heinrich Heine zu nennen als die Sänger, die einen mächtigen Eindruck auf ihn gemacht hatten, dass dieser Eindruck für sein ganzes Leben blieb. In einem Brief an seine Mutter schreibt er 1872: "... eines will ich Dir sagen und zwar, dass mein Entwicklungsgang zu wenig damit Rechnung hält, dass ich auch selbst ein Mensch bin, und etwas mehr als ein Organ, das Kenntnisse in sich aufnimmt. Derselbe war zu objektiv, und wäre ich nicht von dem fast ausschließlich subjektiven Byron gefesselt worden, so wäre ich bald zu einem ausgetrockneten wissenschaftlichen Konglomerat zusammengeschrumpft …'"

Nach Utrecht zurückgekehrt, erschien – noch vor der Promotion – im September 1874 van 't Hoffs erste wissenschaftliche Arbeit, die holländische Urschrift seiner historisch gewordenen Abhandlung über die räumlichen Strukturformeln sowie über den Zusammenhang von Konstitution und optischer Aktivität [6], der 1875 die französische Übersetzung "La Chimie dans l'Espace" und 1877 – initiiert durch J. Wislicenius und bearbeitet von Dr. Herrmann – die deutsche Fassung "Die Lagerung der Atome im Raum" folgten. Gemeinsam mit der von J. A. LeBel im Bulletin de la Société chimique de France wenige Wochen später erschienenen Publikation war so gegen alle Widerstände die Basis für die stürmische Entwicklung der Stereochemie geschaffen worden.

Der während der Abfassung seines weniger zur Kenntnis genommenen Buches "Ansichten über die organische Chemie" [7] – nunmehr an der Universität Amsterdam (1878–1896) – von van't Hoff erkannte unbefriedigende Wissensstand über die chemischen Reaktionsabläufe führte ihn zu seinem zweiten Problemkreis.

1884 veröffentlichte er die "Études de dynamique chimique" [8], in denen er auf 215 Seiten die Grundgesetze der chemischen Kinetik, der katalytischen

Einflüsse, der Umsetzungen in homogenen und heterogenen Systemen und die ihrer Beeinflussung durch Temperatur und Druck sowie den Begriff der Affinität darlegte. Fußend auf den Experimentalarbeiten u. a. von Berthelot und St. Gilles über die Esterbildung und thermodynamischen Arbeiten von Horstmann sowie eigenen experimentellen Untersuchungen entwickelte van't Hoff ein Ensemble theoretischer Lehrsätze, die der zu dieser Zeit noch weitgehend unbekannte S. Arrhenius in seiner am 31.3.1885 in der "Nordisk Revy" (Upsala) erschienenen Rezension wie folgt charakterisierte: "... es gelingt ihm, mit dem vorhandenen relativ dürftigen Material ein großartig und harmonisch angelegtes Schema des ganzen Gebietes der chemischen Einflüsse und Wirkungen zu entwickeln ... Es war die Absicht des Rezensenten, auf die großartigen Perspektiven hinzuweisen, die die Arbeit des Verfassers für die künftige Forschung eröffnet hat. ... Denn nachdem Helmholtz, der in physikalischen Kreisen den Ton angibt, seine Aufmerksamkeit in der letzten Zeit diesem Punkt zugewandt hat, wird es wohl nicht lange dauern, bis eine große Zahl emsiger Forscher dieses Feld bearbeiten wird" [5].

J. D'ans [9] schreibt in seinem Beitrag zum 100. Geburtstag van't Hoffs 1952 ergänzend: "Man kann ruhig behaupten, dass dies das Werk sei, das die Physikalische Chemie als selbständigen Zweig der Chemie begründet hat. Wer denkt heute noch daran, dass die Kennzeichnung einer Umsetzung, die zu einem Gleichgewicht führt, mit den zwei entgegengesetzt gerichteten Pfeilen erstmalig in den "Ètudes" benutzt, dass ein Ausdruck wie Übergangs- oder Umwandlungspunkt dort geprägt, oder dass die systematische Benutzung der Begriffe mono-, di- oder polymolekulare Reaktionen dort entwickelt worden sind?"

Schon in diesem Werk deuten sich die Probleme seines dritten Themen-kreises, der "Theorie der Lösungen" an. Seine 1885 der Schwedischen Akademie der Wissenschaften zu Stockholm eingereichten Arbeiten "Lois de l'Équilibre chimique dans l'etat dilué, gazeux ou dissous", "Une properiété générale de la materière diluée" und "Conditions Électriques de l'Équilibre chimique", die Anwendung der idealen Gasgesetze auf die verdünnten Lösungen sowie die Folgerungen für den osmotischen Druck unter Nutzung der experimentellen Arbeiten besonders von Pfeffer und auch de Vries, die thermodynamischen Aussagen zur Siedepunktserhöhung und Schmelzpunktserniedrigung als Konsequenz der Dampfdruckerniedrigung auf der Basis der Raoultschen Untersuchungen sind heute Fundamentalwissen. Wieder war es Arrhenius, der als erster die Bedeutung dieser Theorie der verdünnten Lösungen erkannte, den Zusammenhang mit seinen Untersuchungen über die

elektrolytische Dissoziation herstellte und damit auch die Interpretation des von de Vries eingeführten und von van 't Hoff benutzten isotonischen Faktors ermöglichte.

Aus dieser wissenschaftlichen Verbundenheit entwickelte sich eine enge persönliche Freundschaft, die sich – wie Augenzeugen berichten – ergreifend bei der Verleihung der Ehrenmitgliedschaft der Deutschen Chemischen Gesellschaft durch ihren Präsidenten Jacobus Henricus van't Hoff an den jüngeren Freund und Nobelpreisträger (1903) Svante Arrhenius im Januar 1905 besonders dokumentierte.

Von den genannten phänomenalen wissenschaftlichen Taten hat die Theorie der Lösungen am schnellsten größte Beachtung gefunden. Die entwickelten grundlegenden Gesetze der chemischen Reaktionskinetik und des osmotischen Drucks von Lösungen bildeten auch die Begründung für die Verleihung des ersten Nobelpreises für Chemie 1901.

Auf allen drei Gebieten, die van't Hoff übrigens später nicht wieder aufgegriffen hat, wird deutlich, dass der Ausgangspunkt stets Anschauungen waren und ihm die recht kleine experimentelle Basis für die gedanklich erforschten, mathematisch durchdrungenen Theorien diente.

Van't Hoff und die anorganischen Salze

Nach langen, z. T. komplizierten Verhandlungen folgte van't Hoff 1896 dem Ruf an die Preußische Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Dem Engagement von Emil Fischer und Max Planck, aber besonders dem geschickten, diplomatischen und umsichtigen Wirken des preußischen Ministerialdirektors Prof. Dr. Friedrich Althoff war es zu danken, dass erstmalig an der Akademie eine mit der Stellung eines Akademikers verbundene Professur eingerichtet wurde, die es dem Inhaber ermöglichte, sich ausschließlich seinen wissenschaftlichen Arbeiten zu widmen und nur seinem Wunsch entsprechend Vorlesungen an der Universität zu halten. Auch konnte van't Hoff nunmehr seine wissenschaftlichen Erkenntnisse und Vorstellungen selbst international zur Diskussion stellen und sich einen langgehegten Wunsch erfüllen.

Aus Anlass der heutigen Bildungs- und Wissenschaftsdiskussionen sei ein Satz aus van 't Hoffs Berliner Antrittsrede vom 2.7.1896 zitiert: "Ich habe mein Vaterland verlassen, eben weil ich weiß, wie speziell die deutsche Wissenschaft von der Überzeugung durchdrungen ist, dass die Pflege des Wissens selbst schließlich die höchsten Ziele des menschlichen Strebens am besten fördert" [11].

Wie befriedigend wäre es, wenn wir heute das Gleiche in unserem Land sagen könnten.

Schon in seiner Amsterdamer Zeit hatte sich van 't Hoff mit der Kristallisation der Salze aus dem Meerwasser beschäftigt und kam so durch sein Interesse für Umwandlungserscheinungen von Elementen und Salzen zur Mineralsalzchemie. Er entdeckte u. a. bei der Dissoziation von Salzen am Beispiel des Kaliumchlorids Unstetigkeiten in den Löslichkeitskurven von Doppelsalzen und stellte fest, dass ein Gemisch aus Glaubersalz und Bittersalz in Gegenwart von Steinsalz nur unterhalb von 5 °C nebeneinander bestehen kann und dass oberhalb dieser Temperatur die Umwandlung in Astrakanit erfolgt. Die Veröffentlichung dieser Ergebnisse führte über Precht zu den Kontakten mit der Staßfurter Kaliindustrie.

Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen insbesondere des Stassfurter Salzlagers

v

J. H. van't Hoff

W. Meyrchoffer, J. d'Ans, E. F. Armstrong, H. Barschall, O. Blach, W. C. Blaskale, G. Bruid, D. Chifaraviglio, F. O. Cottrell, H. M. Dawson, R. B. Denison, F. G. Donnan, T. Estrichler-Roxbiersky, H. von Buler-Chebjer, A. o'Frarelly, F. Farup, N. Grassi, W. Hinrichsen, G. Just, N. Kassatkin, F. B. Kendok, L. Lichtenstein, H. Sacha, A. P. Sundari, Morray Carib, G. U. Vannan, E. Willer, D. W. Williams, M. Sacha,

Herausgegeben von

Professor Dr. H. Precht und Professor Dr. Ernst Cohen

Mit einer Gedächtnisrede auf van't Hoff von Professor Dr. Emil Pischer Exz.

Mir 8 Tafein und 39 Textabbildungen

BERBANADEMIE
FRE.BERGA,
fing. V. 8.71.710
Leipzig 1912

Akademische Verlagsgesollschaft m. b. H.

Bild 2: Zusammenfassung der Berliner "Salz-Arbeiten" von J. H. van't Hoff und Mitarbeitern [12]

Van't Hoffs Berliner Zeit war geprägt durch die klassischen "Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen insbesondere des Staßfurter Salzlagers", die er mit einer großen Zahl internatio-naler Mitarbeiter durchführte und die in 52 Abhandlungen der Akademie – später in zusammengefasster Form von Precht und Cohen – erschienen sind

[12], nachdem vorher 1905 und 1908 zwei Teilzusammenfassungen veröffentlicht worden waren.

Die Aufgabe, die van't Hoff bei diesen Studien vorschwebte, sollte zur Beantwortung folgender Fragen dienen: "Welche Stoffe bilden sich, wenn man die Einzelsalze, aus denen sich die Staßfurter Mineralvorkommen aufbauen lassen, in beliebigen Mengen in Wasser einträgt und das Gemisch bei konstanter Temperatur einengt? In welcher Form, welcher Reihenfolge und in welcher Menge treten diese Stoffe auf? Welche Rolle spielen dabei die Zeit, die Temperatur, der Druck?" [5]. In eine praktisch ähnliche Richtung gingen Arbeiten von Boeke (Universität Leipzig) und Jaenecke (TH Hannover) – siehe die Monographie des letzteren "Die Entstehung der deutschen Salzlagerstätten" [13].

Diese Untersuchungen sowie der Wunsch, in Berlin eine Arbeit zu vollbringen, die von einigem Wert für die deutsche Kaliindustrie werden könnte – bei aller Betonung des fundamentalen Charakters –, führten zu dem Entschluss, die als klassisch zu bezeichnenden Salz-Arbeiten als vierten großen Themenkreis aufzugreifen.

Mit großer Wahrscheinlichkeit, wenn auch nicht explizit ausgewiesen, erwarteten van 't Hoff und sein enger Mitarbeiter und Freund Meyerhoffer, beide geprägt durch einen auf die Aufklärung theoretischer Zusammenhänge ausgerichteten Arbeitsstil, tiefere Einsichten in die Lösungsgleichgewichte anorganischer Salze und damit Zusammenhänge mit der "Theorie der Lösungen".

Schon 1897 veröffentlichte van't Hoff gemeinsam mit seinen Mitarbeitern die ersten sechs Abhandlungen, von denen die Aussagen der vierten "Die Existenzbedingungen und Löslichkeitsverhältnisse von Tachhydrit" van't Hoff nach Einladung von Precht zum Besuch nach Staßfurt (Frühjahr 1898) "vor Ort" führten, um die geologischen Verhältnisse und die Bildung der sekundären Salze auf der natürlichen Lagerstätte kennen zu lernen.

Zwischen Berlin und Staßfurt entwickelte sich in der Folge ein reger Brief- und Besuchsverkehr. So erhielt Precht über 100 Briefe und Karten, die er in seiner Sammlung aufbewahrte. Van 't Hoffs in der oben angeführten Abhandlung geäußerte Vermutung, dass der Tachhydrit das letzte Produkt der primären Meeresausscheidung sei, revidierte er und bestätigte die von Precht angenommene sekundäre Bildung [14].

Inhaltsverzeichnis.

		Selt
Gedächtni	srede auf van 't Hoff. Von Emil Fischer	IX
inleitung	5	3
I.	Die Existenzbedingungen und Lösungsverhältnisse von Chlormagnesium und dessen Hydraten oberhalb 0^{\bullet} . Von van 't Hoff und W. Meyerhoffer	
	Die Existenzbedingungen und Löslichkeitsverhältnisse von Chlormagnesium und dessen Hydraten unterhalb 0° . Von van 't Hoff und W. Meyerhoffer	10
	Die Existenzbedingungen und Löslichkeitsverhältnisse von Karnallit. Von van 't Hoff und W. Meyerhoffer	14
	Die Existenzbedingungen und Löslichkeitsverhältnisse von Tachhydrit. Von van 't Hoff und F. B. Kenrick	34
v,	Das Auskristallisieren der Lösungen von Magnesiumchlorid, Kaliumsulfat, Magnesiumsulfat, Kaliumchlorid und deren Doppelsalzen bei 25°. Von van t Hoff und W. Meyerhoffer	41
VI.	Die Maximaltensionen der gesättigten Lösungen von Magnesiumchlorid, Kaliumsulfat, Magnesiumsulfat, Kaliumchlorid und deren Doppelsaizen bei 25°. Von van 't Hoff und F. G. Donnan	57
	Die Lösungen vom Magnesiumohlorid, Kaliumsulfat, Magnesiumsulfat, Kaliumchlorid und deren Doppelsalzen bei gleichzeitiger Sättigung an Chlornatirum bei 25º. Qualitativer Teil: 1. Thenardit, Glaserit und Sulphohalit. Von van 't Hoff und A. P. Saunders.	62
vni.	Fortsetzung. Qualitativer Teil: 2. Magnesiumsulfatpenta- und -tetrahydrat. Von van 't Hoff und T. Estreicher-Rozbiersky	60
	Fortsetzung, Quantitativer Teil: I. Die Umrandung des Sättigungsfeldes. Von van 't Hoff und W. Meyerhoffer	72
X.	Fortsetzung. Qualitativer Teil: 3. Das Auftreten von Kaliastrakanit (Leonit) bei 25°. Von van 't Hoff und Percy Williams	80
	Fortsetzung. Quantitativer Teil: 2. Die Kristallisationsbahnen und der Kristallisationsendpunkt. Von van 't Hoff und W. Meyerhoffer.	86
XII.	Das Magnesiumsulfatfünsviertelhydrat. Von van 't Hoff und H. M. Dawson	94
XIII.	Das Eintrocknen des Meereswassers bei 25°. Von van 't Hoff u. W. Meyerhoffer	97
XIV.	Einfluß des Drucks auf die Tachhydritbildung. Von van 't Hoff u. H. M. Dawson	108
XV.	Die Bildung von Glauberit bei 250. Von van 't Hoff und D. Chiaraviglio	114
XVI.	Das Magnesiumkaliumsulfatfünfviertelhydrat. Von van 't Hoff und N. Kassatkin	12
XVII.	Eine Beziehung in der Zusammensetzung der bei 25° an Chlornatrium und Chlor- kalium gesättigten Lösungen. Von Harold Wilson	124
* XVIII.	Gips und Anhydrit. I. Das Haibhydrat von schwefelsaurem Kalk Ca SO, 1/2 H ₂ O.	126
XIX.	Die Maximaltensionen der Lösungen von den Chloriden und Sulfaten des Ma- gnesiums und Kaliums bei gleichzeitiger Sättigung an Chlornatrium bei 23° und das Auftreten von Keinit bei dieser Temperatur. Von van 't Hof für H. Von Euler-Chelpin	
XX.	Die Bildung von Syngenit bei 25°. Von van tHoff und Harold A. Wilson.	140
XXI.	Die Bildung von Kainit bei 25°. Von van 'tHoff und W. Meyerhoffer	155
* XXII.	Gips und Anhydrit, 2. Der lösliche Anhydrit (Co SO.) Von von 't Hoff W Him.	131
	richsen und F. Weigert	164

Bild 3a: Inhaltsverzeichnis des oben angeführten Buches [12]

VIII		
XXIII	Das Auftreten von Kieserit bei 25°. Abschluß und Zusammenfassung der bei Sättigung an Chlornatrium bei 25° und Anwesenheit der Chloride und Sulfate von Magnesium und Kalium erhaltenen Resultate. Von van 't Hoff, W. Meyerhoffer	Se
* XXIV.	und Norman Smith . Gips und Anhydrit. 3. Der natürliche Anhydrit und dessen Auftreten bei 25°, Von van 't Hoff und F Weigert.	18
XXV.	Die Bildung von Langbeinit und deren untere Temperaturgrenze in den Salzlagern hei 37°. Von van 't Hoff, W. Meyerhoffer und F. G. Cottreli.	
XXVI.	Die Bildung von Loeweit und deren untere Temperaturgrenze bei 43°. Von van 't Hoff und A.o'Farelly	19
XXVII.	Die künstliche Darstellung von Pinnoit. Von van 't Hoff und G. Bruni	20
	Die künstliche Darstellung von Kaliborit. Von van 't Hoff	
	Die Temperatur der Hartsalzbildung. Von van 't Hoff und W. Meyerhoffer	
VVV	Die isomorphen Mischungen: Glaserit, Arkanit, Aphtalose und Natronkalisimonyit.	21
	Von van 't Hoff und H. Barschall	21
	Die untere Temperaturgrenze der Bildung von Vanthoffit bei 46%. Von van 't Hoff und G. Just	22
	Die obere Existenzgrenze von Schönit, Magnesiumsulphathepta- und -hexahydrat, Astrakanit, Leonit und Kamit bei Anwesenheit von Steinsalz. Von van 't Hoff und W. MeyerHoffer	23
XXXIII.	Das Auftreten der Kalksalze Anhydrit, Glauberit, Syngenit und Polyhalit bei 25°. Von van t Hoff und F. Farup	238
XXXIV.	Die Maximaltension der konstanten Lösungen bei 83°. Von van 't Hoff, N. Grassi	248
	Die Zusammensetzung der konstanten Lösungen bei 830. Von van 't Hoff, H. Sachs und O. Biach	252
XXXVI.	Die Mineralkombinationen (Paragenesen) von 25° bis 83°. Von van 't Hoff und W. Meyerhoffer	26;
XXXVII.		27
XXVIII.	Die Identität von Mamanit und Polyhalit. Von van 't Hoff und G. L. Voerman.	27
XXXIX.		28
VI	Existenzgrenze von Tachhydrit. Von van 't Hoff und L. Lichtenstein	20
XLI.	Die Bildungstemperatur des Kaliumpentakalzingenfate Von une 't Hoff G. I. Von	
	man und W. C. Blasdale	28
XLIL	Die Bildung von Glauberit. Von van 't Hoff	29
	Der Kalziumgehalt der konstanten Lösungen bei 25°. Von van 't Hoff und W. C. Blasdale	30X
XLIV.	Existenzgrenze von Tachhydrit bei 83°. Von van 't Hoff und J. d'Ans	303
XLV.	Das Auftreten von Tinkal und oktaedrischem Borax. Von van 't Hoff u, W. C. Blasdale	30
XLVI.	Anhydrit, Syngenit, Glauberit und Pentasalz bei 83° und das Entstehen von Chlor- kalzium und Tachhydrit, Von van 't Hoff, F. Farup und J. d'Ans.	
XLVII.	Polyhalit und Krugit bei 83°. Von van 't Hoff und J. d'Ans	211
XLVIII.	Existenzgebiet und Spaltung von Boronatrokalzit, Trikalziumpentaborat und die künstliche Darstellung von Pandermit. Von van t Hoff.	
YLIY	Künstliche Darstellung von Colemanit. Von van 't Hoff	324
1	Prosection distance and Joseph Colemans. Von Van (HOII	332
1.7	Franklandit und eine neue, dem Boronatrokalzit verwandte Verbindung. Von van 't Hoff	337
1.1.	Borokalzit und die künstliche Darstellung von Ascharit. Von van 't Hoff'	34
LH.		3 5 3
	2. Bericht. Von van 't Hoff.	350

Bild 3b: Inhaltsverzeichnis des oben angeführten Buches [12]

Van't Hoff und seine zahlreichen Mitarbeiter untersuchten die stabilen Lösungsgleichgewichte des quinären Systems der ozeanischen Salze bei 25 °C und 83 °C, bestimmten eine Vielzahl von Paragenesen und Umwandlungspunkten und entwickelten die bekannten Isothermendarstellungen im "oktaedrischen Achsensystem", aus denen die sehr verwickelten Verhältnisse überblickt werden konnten, die zur Bildung der Salzablagerungen geführt haben.

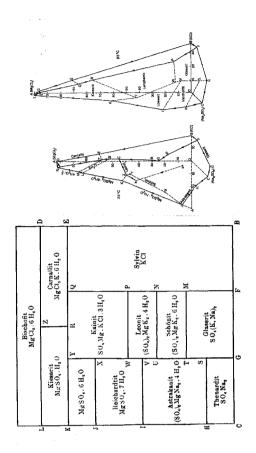


Bild 4: Löslichkeitsdiagramme aus dem quinären System Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻/H₂O nach van t Hoff, links zweidimensionale [10], rechts räumliche Darstellung [19]

Cohen schreibt zu dieser Darstellung: "Es sei hier bemerkt, dass die von van't Hoff benutzte graphische Darstellung der Versuchsergebnisse zwar die Kristallisationsverhältnisse unter gegebenen äußeren Bedingungen in übersichtlicher Weise darstellt, dass sie indes keinen quantitativen Charakter besitzt." [5] Es war noch ein mühevoller und langer Weg, bis die Anwendung der mehrachsigen Isothermen auf die Lösung industrieller Fragen erfolgen konnte.

Die über ein so weites Gebiet angelegten Arbeiten nahmen volle 10 Jahre in Anspruch, in denen in systematischer Filigranarbeit, aufgeteilt in geschlossene Teilaufgaben für die einzelnen Mitarbeiter und von van't Hoff nach gegenseitiger Kontrolle zusammengefügt, der erfolgreiche Abschluss realisiert werden konnte. J. D'ans äußerte sich u. a. zur Betriebsatmosphäre wie folgt: "So sind diese langwierigen und umfangreichen Arbeiten, an denen verschiedene Köpfe und Hände mitarbeiten durften, ein Muster der Zuverlässigkeit, aber auch der Großzügigkeit und Sorgfalt der Ausführung geworden. Tag für Tag setzte er (van't Hoff – d. A.) seine Arbeit im Laboratorium ein, denn er führte Analysen, Bestimmungen der Löslichkeiten und der Umwandlungspunkte eigenhändig aus. Ebenso war er Meister im präparativen Arbeiten, wie ich es 1904–05 miterleben durfte, als er mit W. C. Blasdale (später Professor für Analytische Chemie an der University of Berkeley) an der Aufklärung der verschiedenen Magnesium- und Calciumborate arbeitete." [15]

Van't Hoff drückte die Hoffnungen und Stimmungen während dieser Zeit in seinem sehr freundschaftlich gehaltenen Nachruf für den früh verstorbenen Meyerhoffer (1864-1906) treffend aus [16]: "Die aufgenommene Arbeit zeigte sich fast immer schwieriger als vermutet und verlangte Eigenschaften, die dem lebhaften Temperament Meyerhoffers fern lagen. Anfangs beim Carnallit ging alles flott, und das Problem der natürlichen Salzbildung schien, soweit die neueren Auffassungen über chemisches Gleichgewicht dazu etwas beitragen konnten, seiner baldigen Lösung entgegen zu gehen; eine fröhliche Schar von fortgeschrittenen Mitarbeitern umgab uns, und Herr Bader konnte alsbald seine tausendste Analyse feierlich einreichen; sogar die Möglichkeit einer technischen Verwendung schien nicht ausgeschlossen, als es gelang, den Carnallit ohne Mutterlauge in Chlorkalium und Magnesiumchlorid zu spalten. Dann zogen aber dunkle Wolken in Form der ungemeinen Schwierigkeiten auf, welche durch Verzögerung der Gleichgewichtseinstellung beim Kieserit und Kainit im Wege standen. Meyerhoffer sandte einmal eine Ansichtskarte mit den zwei Worten "Kainit verstaan". ... Mehrere Jahre sollte indes dieses ,verstaan' in Anspruch nehmen; und als diese Arbeit bewältigt war, tauchte eine weitere wiederum schwierigere auf, denn die Calciumsalze und die Borate waren von einer grausamen Unzulänglichkeit, und ausweichen gab es nicht, wie es der Fall ist bei 'freier Wahl' des Beobachtungsobjektes".

Die Verzögerungen bei der Einstellung von Lösungsgleichgewichten, die Bildung metastabiler Phasen besonders in Gegenwart von Calcium- und Sulfat-Ionen haben auch uns, Jahrzehnte später, manch Kopfzerbrechen bereitet z. B. bei der provozierten Mineralsynthese zum Verschließen von Zuflusswegen im Salzgebirge.

Galt van't Hoffs Interesse auch nicht in erster Linie der Verarbeitung der Kalirohsalze sondern der Lagerstättenforschung, so erkannten Precht und weitere führende Kalichemiker die Notwendigkeit der Weiterführung dieser Arbeiten. Bei Precht lesen wir in seiner beeindruckenden, sehr persönlich gehaltenen Erinnerung an van't Hoff [14]: "Van't Hoffs in Deutschland ausgeführte Arbeiten haben vorzugsweise der Kaliindustrie Nutzen gebracht. Mancher mag sie als theoretische Studien betrachten, wer sie aber eingehend kennen gelernt hat, wird auch den Vorteil für die Industrie daraus entnehmen können. Durch die mannigfaltigen Vorträge, die van't Hoff in vielen Kulturländern gehalten hat, ist das Interesse für die Kaliindustrie derart geweckt worden, dass es unmöglich ist, nur annähernd den materiellen Wert zu schätzen".

Auf dem ersten deutschen Kalitag 1905 in Hannover, der zur gemeinsamen Behandlung wissenschaftlicher und praktisch-technisch-technologischer Probleme abgehalten wurde, kam es zum Vorschlag von Precht, van 't Hoff und dem Leipziger Mineralogen Rinne, einen "Verband zur wissenschaftlichen Erforschung der deutschen Kalilagerstätten" zu bilden, der von 1906–1919 bestand.

Vor der ersten Hauptversammlung der Fachgruppe für die Kaliindustrie des Vereins Deutscher Chemiker und des Verbandes zur wissenschaftlichen Erforschung der deutschen Kalilagerstätten am 1. und 2.10.1910 in Halberstadt veröffentlichte van 't Hoff eine Zusammenstellung der von den Mitgliedern des Verbandes ausgeführten Arbeiten. Die Versammlung sandte an van 't Hoff die folgende Depesche [14]: "Die in Halberstadt versammelten Freunde und Fachgenossen senden Ihnen als Begründer der exakten chemischen Salzforschung herzliche Grüße." Auf diese Depesche erhielt Precht als Antwort: "Lieber Kollege! Herzlichen Dank für die heute morgen erhaltene freundliche Depesche, die mir ein stolzes Andenken an die Halberstädter Tagung sein wird. Dummerweise musste ich fehlen, wie wohl mein Herz dabei war, meine Lungen durften aber nicht mit. Ihr van 't Hoff."

Seit seinem Italienbesuch 1906 zeichneten sich bei van't Hoff die ersten Vorboten einer Tuberkulose ab, die ihn in den Folgejahren in seinen Aktivitäten immer stärker beeinflusste. So war es eine Freude und Genugtuung für ihn, als er am 21.10.1908 in sein Tagebuch schreiben konnte: "Salzablagerungen beendet".



Bild 5: 200 Jahre Preußische Akademie der Wissenschaften zu Berlin im Jahr 1900 Ladenburg, Jörgensen, Hjelt, Landolt, Winkler, Thorpe, van't Hoff, Beilstein, Ramsey, Mendeleev, von Bayer, Cossa.

Precht hatte auch eine photographische Aufnahme über das Vorkommen von Vanthoffit in Neustaßfurt vervielfältigen und verteilen lassen. Das von Kubierschky im Astrakanit entdeckte Mineral $3Na_2SO_4$ ·MgSO $_4$ wurde 1902 zur Freude des Namensgebers Vanthoffit benannt. Nach dem Empfang einiger Exemplare antwortete van 't Hoff ihm daraufhin, seiner Art entsprechend, mit humorvollem Unterton: "Verehrtester! Es war mir eine richtige Überraschung, heute Ihre Reproduktionen der Fundstelle von Vanthoffit zu erhalten.

Auf den Salzarbeiten hat doch Segen geruht, und ich habe von meinem Dornröschen, das wohl noch länger geschlafen hat als in der Sage, nunmehr das stille Bild, ohne die Unruhe, welche eine einmal geweckte Weibsperson mitunter veranlasst. Mit bestem Gruß von Haus zu Haus. Ihr van 't Hoff."

All diese Darlegungen bestätigen, dass van't Hoff sein Ziel, das er sich in Berlin gestellt hatte, eindrucksvoll realisieren konnte. Die Berliner Jahre waren im Leben van't Hoffs nicht der Abschnitt, in dem in rascher Folge Arbeiten erschienen, die ihm wie in jüngeren Jahren Ruhm und Ehre beschieden. Sie waren Jahre, in denen er erleben durfte, – was ja selten der Fall ist –, welche vielfältigen wissenschaftlichen Früchte sein Schaffen trug.

Der bezüglich der "Salz-Arbeiten", die ihm nebenbei die Ehrenmitgliedschaft der Deutschen Chemischen Gesellschaft eintrugen, des öfteren geäußerten Meinung, dass auch weniger Begabte als van't Hoff ein derartiges "Werk der Selbstverleugnung" hätten zu Ende führen können, sei mit den Worten von Cohen geantwortet [5]: "on doit etre fort obligé à un homme tel que lui, quand il veut bien, pour l'utilité publique, fair quelque chose qui ne soit pas de génie!" – "Man muß einem Menschen wie ihm sehr dankbar sein, dass er des öffentlichen Nutzens willen einwilligte, etwas zu tun, das nicht geistiger Natur sei." Das Wort "nicht" ist dabei aus unserer heutigen Sicht sehr anzuzweifeln.

Auf van't Hoffs Spuren

In den letzten zwei Dezennien des 19. Jahrhunderts beobachten wir in Verbindung mit der in den Vordergrund tretenden zweiten Generation von Chemikern in der deutschen Kaliindustrie – und damit in der Welt – eine spürbare Hinwendung zu einer systematischen Forschung sowohl in Staßfurt als auch in den neuen Kalirevieren. Geprägt wurde diese Zeit durch zwei Persönlichkeiten, H. Precht und W. Feit, die mit ihren Mitarbeitern grundlegende Forschungsergebnisse erzielten und damit die Chemie und Technologie der Mineralsalze maßgeblich beeinflusst und gefördert haben wie auch – außerhalb des Industriezweiges – Loewenherz, Boeke, Jaenecke, Le Blanc, Lunge, Moldenhauer, Tammann, Schreinemarkers, Rinne, Lachmann, Rossa, Harbort, wenn man die mineralogischen und geologischen Aspekte der Lagerstättenuntersuchungen mit einbezieht. Auch Svante Arrhenius befasste sich mit der Tektonik der deutschen Salzlagerstätten und sprach darüber auf dem Göttinger Kalitag 1912 [17]. Über die Entwicklung der Kaliindustrie und das Wirken der Kalichemiker bis in unsere Zeit wurde im letzten Jahr ausführlich

berichtet ([18], [27]), so dass hier nur stichpunktartig auf Folgerungen, speziell hinsichtlich der van 't Hoffschen Arbeiten, hingewiesen werden soll.

Seit Gründung der Kaliforschungsanstalt GmbH (KAFA) am 28. 10. 1919 können wir die systematische Bearbeitung der Lösungsgleichgewichte des hexären Systems der ozeanischen Salze (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻/H₂O) bis zum heutigen Tage genauso verfolgen, wie die Anwendung der dabei erarbeiteten Methoden auf andere Fragen der Salzchemie. So standen unter den Hauptaufgaben der KAFA [19] auf hervorgehobenem Platz die "Lösungsgleichgewichte und ihre Anwendung" mit solchen Themen wie

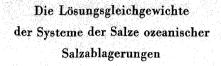
- Umsetzung der klassischen Arbeiten van't Hoffs in die Fabrikpraxis;
- Konzentriertes Kali-Magnesia-Verfahren;
- Ergänzende Gleichgewichtsbestimmungen;
- Entwicklung und Anwendung neuer graphischer Darstellungsmethoden;
- Methoden der Schnitte;
- Erste Untersuchungen von metastabilen Lösungsgleichgewichten.

Besondere Aufmerksamkeit verdient das Wirken von J. D'ans (1881–1969). Schon seine erste Arbeit "Untersuchungen über die Salzsysteme ozeanischer Salzablagerungen" aus dem Jahr 1915 [20] zeigte sein Bestreben, die Arbeiten über die ozeanischen Salze im Sinne van't Hoffs weiterzuführen. 1933 erschien sein Buch "Die Lösungsgleichgewichte der Systeme der Salze ozeanischer Salzablagerungen" [21] (s. Abb. Folgeseite).

In den Folgejahren registrieren wir weitere beachtenswerte Publikationen wie "Über die Auswertung räumlicher Löslichkeitsdiagramme" [22] und "Untersuchungen über metastabile Löslichkeiten" [23], die entscheidenden Einfluss auf die zukünftige Entwicklung dieses Forschungsgebietes nahmen. In gleicher Weise zu würdigen ist die stete Berücksichtigung mineralogischer und geochemischer Aspekte, womit er der Salzlagerstättenkunde maßgebliche Anregungen gab.

In Russland begannen Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts in Verbindung mit der Erkundung von Salzlagerstätten die Untersuchungen zu den sehr differenzierten Genesen der Salzseen und -lagerstätten. Dabei handelte es sich um Weiterentwicklungen der Arbeiten von van't Hoff über die Eindunstung des Meerwassers und von Salzseen, über die Abscheidung unterschiedlicher salinarer Komponenten, über die Sedimentationsfolgen und über die Zusammensetzung der Evaporite, durchgeführt von N. S. Kurnakov und seinen Mitarbeitern. Nach 1919 entstanden in der UdSSR zwei Zentren auf dem Gebiet der Halurgie, das industriell orientierte "Allunions-Forschungsund Projektierungs-Institut für Halurgie (VNIIG)" in Leningrad sowie für die

chemische und geochemische Mineralsalzforschung Teileinrichtungen des heutigen Kurnakov-Institutes der Akademie der Wissenschaften in Moskau. Dabei sind an beiden Standorten die engen Verbindungen und inhaltlichen Verflechtungen zu den Universitäten und Hochschulen zu berücksichtigen.



J. D'Ans

Herausgegeben von der

Kali-Forschungs-Anstalt G. m. b. H., Berlin



VERLAGSGESELLSCHAFT FUR ACKERBAU M. B. H., BERLIN SW 11



18

Bild 6: Titelblatt des D'ansschen Buches von 1933 [21]

Eine wichtige Arbeitsgrundlage für alle auf dem Gebiet der Mineralsalze tätigen Chemiker – und darüber hinaus – wurde das von A. B. Sdanovski herausgegebene und unter seiner Leitung am VNIIG erarbeitete mehrbändige

"Handbuch der experimentellen Werte über die Löslichkeiten in wässrigen Salzsystemen mit mehreren Komponenten" aus dem Jahr 1953 sowie die fortgeschriebenen Neuauflagen [24].

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ ГАЛУРГИИ

СПРАВОЧНИК

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО РАСТВОРИМОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВОДНО-СОЛЕВЫХ СИСТЕМ

том первыя

ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ

Книга первая

Издание второе, переработанное и дополненное Под редакцией А. Д. Пельша



Леннград ИЗДАТЕЛЬСТВО «ХИМИЯ» Ленинградское отделение 1973

Bild 7: Handbuch über wässrige Salzsysteme von A. B. Sdanovski [24]

In mühsamer Kleinarbeit wurden die weltweit verstreuten Angaben über die Löslichkeiten sowie die experimentellen Quellenangaben zusammengetragen, auf graphischen und rechnerischen Wegen zu den wahrscheinlichsten Löslichkeitsdiagrammen vereinheitlicht und Kenntnislücken für weitere Untersuchungen ausgewiesen. Das D'anssche Buch fand hiermit eine beachtenswerte Aktualisierung und Erweiterung.

Am Kurnakov-Institut in Moskau leitete I. N. Lepeschkov über Jahrzehnte die Sektion für physikalisch-chemische Analyse der Salze. Aus den vielfältigen Forschungskomplexen, die Lepeschkov mit seinen in den Jahren zahlreichen Mitarbeitern bearbeitet hat, seien nur einige genannt, die die Beziehungen zum Wirken van't Hoffs deutlich machen:

- Vervollständigung der Löslichkeitsdaten von Salzsystemen, besonders bei höheren und tieferen Temperaturen;
- Untersuchung sulfatischer Systeme als Grundlage für die Nutzung von Salzablagerungen in den Südostregionen der UdSSR;
- Untersuchung sulfatisch-carbonatischer Systeme f
 ür die Gewinnung von Soda und Trona;
- Untersuchung von Systemen mit Bor, Brom, Jod, Lithium, Rubidium, Cäsium zur Gewinnung entsprechender Stoffe;
- Anwendung geometrischer Methoden (Projektionen) bei der Untersuchung von Vielstoffsystemen.

Wie aus dem Vorstehenden schon erkennbar, wurden nach dem Beispiel der ozeanischen Salzablagerungen auch andere Mineralsalzsysteme untersucht. Hier seien noch die wertvollen Arbeiten über die Aufarbeitung der Caliche im Zusammenhang mit der Salpeterindustrie Chiles genannt sowie die Untersuchungen von J. E. Teeple zur Verarbeitung der Laugen des Searless-Sees, die neben den anderen Alkalisalzen auch Borate, Phosphate und Carbonate enthalten. Die Beispiele ließen sich mühelos erweitern.

Im Nachkriegsdeutschland fand die Mineralsalzforschung in der Bundesrepublik in der Kaliforschungsstelle – ab 1957 Kaliforschungsinstitut e.V. (KAFI) – und in der DDR an der Zentralen Forschungsstelle für die Kaliindustrie – ab 1965 Kaliforschungsinstitut (KFI) – ihre Heimstätten.

Geprägt durch H. Autenrieth (bis 1971) ([19], [25]) finden wir unter den Hauptarbeitsgebieten des KAFI wiederum "Die Lösungsgleichgewichte und ihre Anwendungen". Die Untersuchungen über praxisrelevante Lösungsgleichgewichte u. a. mit Braune im stabilen und metastabilen Bereich in breiten Konzentrations- und Temperaturintervallen, insbesondere im Bereich der sulfatischen Doppelsalze, sowie ihre Darstellung in für die Praxis geeigneter Form, fanden neben ihrer grundlegenden Bedeutung ihren Niederschlag in der Hartsalzverarbeitung und der Kaliumsulfatproduktion. Die Arbeiten zur Kinetik von Kristallisationsvorgängen – speziell bei der Doppelsalzbildung – seien hier nicht vergessen.

Von den chemisch orientierten Forschungsarbeiten des Kaliforschungsinstituts Sondershausen seien hier genannt:

- Erarbeitung neuer und verbesserter Lösetechnologien;
- Klärung der Ursachen für Schlammeinbrüche;
- Endlaugenverwertung;
- Erarbeitung des SOMET-Verfahrens Anwendung gemischer Lösungsmittel:
- Solprojekt "Carnallitit".

Maßgebliche Grundlagenforschungs-Komplexe wurden seitens des KFI dabei im Rahmen einer vielfältigen Vertragsforschung an Hochschul- und Akademieeinrichtungen, besonders an der Technischen Hochschule Leuna-Merseburg und an der Bergakademie Freiberg zunächst unter Leitung von F. Serowy, ab 1964 unter der des Autors bearbeitet. Dazu gehörten u. a.:

- Untersuchungen von Systemen des Typs NaCl-KCl-MgCl-2-H₂O-HCl und ihre Randsysteme (endlösungsfreie Carnallititverarbeitung);
- Untersuchung des quinären Systems der ozeanischen Salze im Bereich der NaCl-KCl-MgCl₂·6H₂O-Sättigung und im Temperaturbereich von -5 °C bis +110 °C (Carnallititverarbeitung);
- Untersuchung des quinären Systems im Bereich der NaCl(NaCl·2H₂O)-KCl-Sättigung von der Eisbildung bis +25 °C (Laugentiefkühlung);
- Untersuchung des Systems KCl-MgCl₂-H₂O im Bereich der Hydratschmelzen bis 250 °C (Hydratschmelzverfahren zur Carnallititverarbeitung);
- Untersuchungen von Systemen des Typs Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻//organisches Lösungsmittel-H₂O (SOMET-Verfahren);
- Bildung, Auflösung und Zersetzung inkongruent löslicher Doppelsalze (Carnallititverarbeitung, Kaliumsulfatherstellung);
- Kristallisation von KCl aus wässrigen Lösungen unter Einbeziehung der Teilschritte Wachstum, Ostwald-Reifung, Agglomeration (Qualitätssicherungsprogramm);
- Stabilität ausgewählter Phasen im Existenzgebiet anderer stabiler Bodenkörper (Verarbeitung kompliziert zusammengesetzter Rohsalze, Natriumsulfatherstellung).

Betont seien die Beiträge zu einer geschlossenen thermodynamischen Beschreibung von Salz-Wasser-Systemen in dem weiten Bereich zwischen der Anwendung der erweiterten Debye-Hückel-Theorie (verdünnte Lösungen) und den Quasigittermodellen (Salzschmelzen).

Auf der Basis experimenteller Untersuchungen gelang es, die Lösungsmittel-Lösungsmittel-, Ion-Lösungsmittel- und Ion-Ion-Wechselwirkungen sowie den Ligandenaustausch in der Koordinationssphäre der Kationen zu

interpretieren und auf dieser Grundlage nach einer Einschätzung des Gültigkeitsbereichs von Modellgleichungen für konzentrierte Elektrolytlösungen z.B. vom Typ der Pitzer-Gleichung und entsprechenden Modifizierungen praxisrelevante thermodynamische Größen über eine gezielte Modellbildung zugängig zu machen.

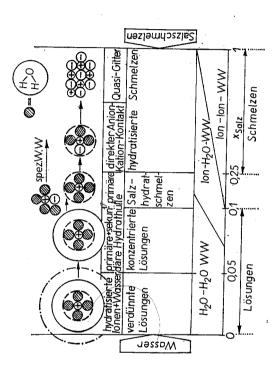


Bild 8: Änderungen der Wechselwirkungen in Elektrolytlösungen in Abhängigkeit von der Konzentration

Diese wenigen Worte zu unseren eigenen Arbeiten sollten den Bogen zu den fundamentalen van 't Hoffschen "Salz-Arbeiten" demonstrieren. Sie konnten vielleicht auch deutlich machen, dass unsere Ergebnisse über die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von Elektrolytlösungen, speziell der Mineralsalze, einen Beitrag zur "Theorie der Lösungen" – Vorstellungen van 't Hoffs realisierend – darstellen.

Schlussbemerkungen

Die bundesdeutsche Kaliindustrie verleiht seit 1953 die von ihr gestiftete "van't Hoff-Gedenkmünze" an hervorragende Chemiker und Ingenieure. Zu den Laureaten gehören u. a. Karl Bock, Jean D'ans, Hans Autenrieth, Arno Singewald.



Bild 9: van't Hoff-Gedenkmünze der deutschen Kaliindustrie

In der DDR wurden Chemiker und Ingenieure, die auf dem Gebiet der Chemie und Technologie anorganischer Salze erfolgreich gearbeitet haben, mit dem Nationalpreis für Wissenschaft und Technik ausgezeichnet. 1977 führten wir anlässlich des 125. Geburtstages von van't Hoff eine internationale Tagung zur "Physikalischen Chemie ozeanischer Salze" durch (Abbildung der Einladung s. Folgeseite).

Doch leider müssen wir auch bis heute die Unterschätzung der Berliner Arbeiten van 't Hoffs zur Kenntnis nehmen, wie sie in einem Zeitungsartikel innerhalb der Serie "100 Jahre Nobelpreis" mit dem Titel "Van 't Hoff legte die Grundlagen der modernen Chemie" von P. Hergersberger [26] zum Ausdruck kommt. Seine Arbeiten über die ozeanischen Salze als praxisfixierte, der preußischen Regierung zum "Geldverdienen" helfende Beiträge abzuqualifizieren – Geld verdiente die Kaliindustrie zu diesem Zeitpunkt und nicht nur in Staßfurt schon seit fast 40 Jahren – ja sie sogar seinen formulierten Zielen des menschlichen Strebens als Gegenteil gegenüberzustellen, zeugt von einer nicht so selten zu registrierenden unwissenden Arroganz und Ignoranz.

Chemische Gesellschaft der Deutschen Demokratischen Republik
VEB Kombinat KALI

Diskussionstagung

aus Anlaß des 125. Geburtstages von Jacobus Hendricus van't Hoff

"PHÝSIKALISCHE CHEMIE OZEANISCHER MINERALSALZE"

20. und 21. Sentember 1977 in Sondersbausen



Einladung - Programm

Bild 10:

Internationale Tagung 1977 in Sondershausen

Die internationale Produktion der Mineralsalze wird sicher in den kommenden Jahren eine verstärkte Beteiligung des asiatischen Raumes zu verzeichnen haben. Wissenschaftliche Publikationen aus diesen Ländern, sowie meine persönlichen Erfahrungen beweisen, dass die Arbeiten van 't Hoffs, die daraus resultierenden Erkenntnisse der letzten 90 Jahre auch heute und in Zukunft das Fundament für die Chemie, Geochemie und Geologie der Mineralsalze sowie für ihre Gewinnung und Verarbeitung und damit für einen nicht unwichtigen Zweig in Wissenschaft und Wirtschaft darstellen.

Ein altes jüdisches Sprichwort sagt: "Das Ich wächst am Du". Wir, die "Salz-Chemiker", sind an Jacobus Henricus van't Hoff gewachsen.

Bei der Erarbeitung des Beitrages erhielt ich wertvolle Unterstützung. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. I. Stahl für die Zurverfügungstellung des Bildes der van 't Hoff-Gedenkmünze und von Literatur sowie Frau R. Kolditz und Frau Dr. H. Voigt für ihre mir jederzeit gewährte Hilfe bei der Anfertigung des Manuskripts.

Literatur

- [1] von Liebig, J.: Chemische Briefe, Leipzig; Heidelberg 1865 (1. Auflage 1844).
- [2] Zott, R.: Jacobus Henricus van't Hoff, sein Werdegang und sein Weg nach Berlin, GDCh Fachgruppe "Geschichte der Chemie", Mitteilungen Nr. 16. S. 47–74. Frankfurt/Main 2002.
- [3] Greiner, A., Klare, H.: Chemiker über Chemiker. Berlin, Akademieverlag 1986, S. 140–141.
- [4] Welsch, F., Girnus, W.: In: [3], S. 31.
- [5] Cohen, E.: Jacobus Henricus van 't Hoff, sein Leben und Wirken. Leipzig 1912 sowie Bugge, G. (Hrsg.): Das Buch der großen Chemiker, Bd. 2. Weinheim/Bergstraße, Verlag Chemie, unveränderter Nachdruck 1955, S. 391.
- [6] van't Hoff, J. H.: Voorstel tot uitbreiding der tegenwoordig in de Scheikunde gebruikte Structuur-Formules in de ruimte, benevens een daarmee samenhangende Opmerking omtrend het verband tusschen optisch actief Vermogen en chemische Constitutie van organische Verbindingen. Utrecht 1874.
- [7] van't Hoff, J. H.: Ansichten über die organische Chemie, 2 Bände. Braunschweig 1878 und 1881.
- [8] van't Hoff, J. H.: Ètudes de dynamique chimique. Amsterdam 1884.
- [9] D'Ans, J.: Angewandte Chemie 65 (1953), Nr. 6, S. 149–155.
- [10] Singewald, A.: Kali und Steinsalz 12 (1990), H. 9, S. 278–281.
- [11] van't Hoff, J. H.: Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften. Berlin 1896, Bd. 2, S. 745–747.
- [12] van 't Hoff und Mitarbeiter (hrsg. von H. Precht und E. Cohen): Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen insbesondere des Staßfurter Salzlagers. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft 1912.
- [13] Jaenecke, E.: Die Entstehung der deutschen Kalisalzlager. Braunschweig, Verlag Vieweg 1915.
- [14] Precht, H.: Kali 5 (1911), Nr. 6, S. 113–118.
- [15] D'Ans, J.: Chemiker Zeitung 76 (1952), Nr. 21, S. 545–548.
- [16] van't Hoff, J. H.: zitiert in [14].
- [17] Rinne, F.: Kali 21 (1927), Nr. 24, S. 393–395.

- [18] Emons, H.-H.: Die Kaliindustrie Geschichte eines deutschen Wirtschaftszweiges? Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät Berlin, Bd. 49 (2001), H. 6, S. 5–73.
- [19] Autenrieth, H.: Kali und Steinsalz 5 (1970), H. 9, S. 289–306.
- [20] D'Ans, J.: Kali 9 (1915), S. 148–154, 161–168, 177–183, 193–200, 217–222, 229–236, 245–250, 261–270.
- [21] D'Ans, J.: Die Lösungsgleichgewichte der Systeme der Salze der ozeanischen Salzablagerungen. Berlin, Verlag für Ackerbau 1933.
- [22] D'Ans, J.: Kali 29 (1935), S. 43–48, 50–60, 66–70 und Kali 32 (1938), S. 116–124.
- [23] D'Ans, J.: Kali 38 (1944), S. 42–49, 69–73, 86–92, 181–185.
- [24] Sdanovski, A. B. [u.a.]: Handbuch der experimentellen Werte über die Löslichkeiten in wässrigen Salzsystemen mit mehreren Komponenten [russ.], Goschimsdat, Bd. 1–4. Leningrad 1951–1963.
- [25] Singewald, A.: Kali und Steinsalz 9 (1985), H. 5, S. 143–144.
- [26] Hergersberger, P.: Die Welt, 6.12.2001.
- [27] Emons, H.-H.: Kali Chemie Kalichemiker. In: Sondershäuser Hefte zur Geschichte der deutschen Kali-Industrie. im Druck.

Wolfgang Knobloch

Werner Heisenberg als Mitglied der Preußischen (später Deutschen) Akademie der Wissenschaften zu Berlin

Werner Heisenberg, der von 1927 bis 1942 als Ordinarius für theoretische Physik an der Universität Leipzig wirkte, wurde 1938 zum korrespondierenden Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften gewählt.

"Trotz seiner Jugend gehört Heisenberg seit einem Jahrzehnt zu den führenden Männern der theoretischen Physik. Seine Wahl gäbe nur der allgemeinen Meinung der deutschen und ausländischen Physiker Ausdruck". So endet der von Max von Laue (1879–1960), Hans Geiger (1882–1945), Peter Debye (1884–1966), Max Planck (1858–1947), Otto Hahn (1879–1968), Max Bodenstein (1871–1942) und Walther Nernst (1864–1941) unterzeichnete und vom ersteren in der Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 24. Februar 1938 verlesene Antrag auf Zuwahl Heisenbergs zum korrespondierenden Mitglied der Berliner Akademie der Wissenschaften im Fach Physik.¹

Der Wahlgang fand in der Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 5. Mai 1938 statt und verlief problemlos. Auf Werner Heisenberg entfielen 23 weiße Kugeln (Ja-Stimmen) und keine schwarze Kugel (Nein-Stimme).² Bei der Hauptwahl in der Gesamtsitzung der Akademie vom 23. Juni 1938 erhielt Heisenberg zwar kein einstimmiges Votum von den anwesenden Akademiemitgliedern, doch mit 41 weißen gegenüber 2 schwarzen Kugeln fiel der Ballotageakt immer noch recht eindeutig zu seinen Gunsten aus.³ Noch am gleichen Tag teilte die Akademie Heisenberg dessen Wahl zum korrespondierenden Mitglied der physikalisch-mathematischen Klasse mit. Dieser dankte der Akademie am 29. Juni 1938 für seine Aufnahme als korrespondierendes Akademiemitglied.⁴ Nach der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig war somit die Preußische Akademie der Wis-

¹ Archiv der BBAW, Bestand PAW (1812–1945), II–III–155, Bl. 83.

² Archiv der BBAW, Bestand PAW (1812–1945), II–V–139, Bl. 39.

³ Archiv der BBAW, Bestand PAW (1812–1945), II–V–104, S. 122.

⁴ Archiv der BBAW, Bestand PAW (1812–1945), II–III–155, Bl. 90.

senschaften die zweite Akademie, die den damals erst 36jährigen Heisenberg in ihre Reihen aufnahm.

Noch vor seiner Wahl zum ordentlichen Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften nahm Heisenberg am 24. April 1941 an deren Gesamtsitzung sowie am 9. Juli 1942 an der Sitzung der inzwischen umbenannten mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse teil. Der Grund für seine Teilnahme an diesen Sitzungen waren die von Max von Laue gehaltenen Akademievorträge "Die Supraleitung" und "Über Neues zur Theorie der Supraleitung".⁵ Laue war es auch, der die Wahl Heisenbergs zum ordentlichen Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften maßgeblich beförderte. Möglich wurde dies durch die Übersiedlung Heisenbergs nach Berlin, wo dieser am 1. Juli 1942 das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin-Dahlem als Direktor übernahm. Schon in der Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse vom 10. Dezember 1942 teilte deren Sekretar Ludwig Bieberbach den anwesenden Akademiemitgliedern mit, daß von Laue beabsichtige, die Wahl des korrespondierenden Mitglieds Heisenberg zum ordentlichen Mitglied zu beantragen.⁶ In dem von Max von Laue verfaßten kurzen Wahlantrag, der von den ordentlichen Mitgliedern Max Planck, Otto Hahn, Julius Bartels, Wilhelm Trendelenburg, Fritz von Wettstein, Wilhelm Eitel, Adolf Ludin, August Kopff, Erhard Schmidt, Ludwig Bieberbach, Hans Nordmann und Theodor Vahlen mitunterzeichnet wurde, wird auf den Antrag für Heisenbergs Wahl zum korrespondierenden Mitglied aus dem Jahr 1938 verwiesen, der in Abschrift dem aktuellen Antrag beigefügt wurde. In seinem Wahlvorschlag weist von Laue darauf hin, daß Heisenberg an "wehrwichtigen Aufgaben im Auftrage des Oberkommandos des Heeres, Abteilung Forschung" arbeite.⁷

Nach Verlesung des Wahlantrags in der Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse vom 4. März 1943 wurde Heisenberg am 11. März 1943 von der Klasse und am 25. März von der Gesamtakademie einstimmig zum ordentlichen Mitglied gewählt. Das Reichsministerium für Wissen-

⁵ Archiv der BBAW, Bestand PAW (1812–1945),II–V–104, S. 282–283, II–V–139, S. 179. Im Sitzungsprotokoll der Klasse ist vermerkt, daß der Vortrag nicht in den Akademieabhandlungen erscheint.

⁶ Archiv der BBAW, Bestand PAW (1812–1945), II–V–139, S. 184.

⁷ Archiv der BBAW, Bestand PAW (1812–1945), II–III–66/8, Bl. 3–4. Gemeint waren hiermit Heisenbergs Arbeiten am Uran-Projekt des Heereswaffenamtes zum Bau eines Atomreaktors, mit dem Versuche zur Kettenreaktion bei der Uranspaltung vorgenommen werden sollten. Zu diesem Zweck wurde 1942 das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin-Dahlem durch einen Bunkerbau erweitert.

schaft, Erziehung und Volksbildung bestätigte die Wahl am 17. April 1943.⁸ Dieses Datum trägt auch das Heisenberg von der Akademie zugesandte Mitgliedsdiplom. In seinem Dankschreiben vom 30. April 1943 sicherte Heisenberg der Akademie seine regelmäßige Teilnahme an deren Arbeit zu. Doch schon für die nächste Gesamtsitzung der Preußischen Akademie der Wissenschaften am 6. Mai 1943 mußte er sich wegen eines von ihm in der Akademie für Luftfahrtforschung zu haltenden Vortrags entschuldigen. ⁹ An der ersten Klassensitzung nach seiner Aufnahme als ordentliches Akademiemitglied nahm Heisenberg jedoch am 13. Mai 1943 teil. In der Gesamtsitzung vom 10. Juni 1943 war er erstmals anwesend und wurde als neues Akademiemitglied begrüßt. 10 Seine Antrittsrede vor der Akademie hielt Heisenberg in der öffentlichen Festsitzung zur Feier des Leibniztages am 1. Juli 1943. Darin ging er eingangs auf die Entwicklung der modernen Physik wie folgt ein: "Als vor etwa vier Jahrzehnten die Atomphysik zu einem zentralen Gebiet der Physik wurde, da befestigte sich zugleich mit der Erweiterung der Kenntnisse vom Atombau bei den Physikern die Überzeugung, daß ein Verständnis der kleinsten Bausteine der Materie mit den anschaulichen Begriffen der klassischen Physik wahrscheinlich nicht erreicht werden könne. Das Studium der Atomphysik, in die ich vor gut zwanzig Jahren durch meinen Lehrer Sommerfeld in München eingeführt wurde, gewann für mich durch diese Schwierigkeit von Anfang an einen besonderen Reiz; die Atomphysik erschien mir als ein besonders geheimnisvolles Gebiet; denn die Lösung der physikalischen Probleme der Atomphysik versprach ja damit zugleich die Bildung neuartiger Begriffe, die in einer damals noch unbekannten Weise den Rahmen der anschaulichen Begriffe der klassischen Physik überschreiten mußten." Am Schluß seiner Rede würdigte Heisenberg Max Planck, der durch seine Forschungen "... den Anstoß zur ganzen Entwicklung der modernen Physik gegeben hat ...".11

Von den 34 Gesamtsitzungen der Preußischen Akademie der Wissenschaften, die in der Zeit nach Heisenbergs Aufnahme als ordentliches Akademiemitglied bis zur Beendigung des 2. Weltkrieges stattfanden, hat er lediglich an 8 Akademiesitzungen teilgenommen. Etwas günstiger fällt seine Präsenz in den Sitzungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse

⁸ II-V-139, S. 197, II-V-104, S. 408, II-III-66/8, Bl. 14.

⁹ II-III-66/8, Bl. 15.

¹⁰ II-V-139, S. 200, II-V-104, S. 423.

¹¹ Jahrbuch der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1943 (ungedruckt), S. 170–171.

für den gleichen Zeitraum aus. Hier hat Heisenberg an 8 der insgesamt 22 Klassensitzungen teilgenommen. Die geringe Teilnahmequote Heisenbergs an den Sitzungen der Akademie ist wohl in erster Linie auf seine starke Einbindung in das Uran-Projekt zurückzuführen, dessen führender Kopf er war. Hinzu kommt, daß bereits im Herbst 1943 die Hauptforschungsstätte des Uran-Projekts, das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik, kriegsbedingt nach Hechingen in Württemberg verlagert wurde. Der Wiederaufbau des Atomreaktors im nahegelegenen Haigerloch erforderte Heisenbergs Anwesenheit an Ort und Stelle, so daß er nur noch zeitweise nach Berlin kam.

Bis zum Kriegsende hat Heisenberg als Akademiemitglied nur ein einziges Mal vorgetragen. Im März 1944 bat ihn die Klasse, den Festvortrag für die Leibniz-Sitzung zu übernehmen und in diesem besonders das Lebenswerk von Max Planck zu würdigen, dessen 50jähriges Akademiejubiläum bevorstand. Am 29. Juni 1944 hielt Heisenberg in der öffentlichen Sitzung zum Leibniztag seinen dem anwesenden Max Planck gewidmeten Vortrag "Das Plancksche Wirkungsquantum". ¹² Infolge der zunehmenden Luftangriffe auf Berlin fand diese Akademiesitzung schon nicht mehr im teilweise zerstörten Akademiegebäude Unter den Linden statt, sondern im Preußischen Finanzministerium am Festungsgraben.

Obwohl nach dem Kriege Göttingen und München zu den neuen Wirkungsstätten Heisenbergs wurden, blieb dieser bis zum Jahre 1969 ordentliches Mitglied der aus der Preußischen Akademie hervorgegangenen Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Als mit der Verordnung über das Statut der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin vom 20. Mai 1969 nur noch DDR-Bürger als ordentliche Akademiemitglieder geführt werden durften, erhielten ab diesem Zeitpunkt die bisherigen ordentlichen Mitglieder aus der Bundesrepublik Deutschland den Status der auswärtigen Mitgliedschaft.

Doch die wissenschaftlichen Kontakte zur Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, deren ordentliches bzw. auswärtiges Mitglied Heisenberg bis zu seinem Tode blieb, waren eher sporadischer Natur. Belegt ist lediglich seine Teilnahme an zwei Sitzungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse vom 8. und 22. Januar 1948. ¹³ Nicht ein einziges Mal hat er in einer Sitzung der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin vorgetragen. Der von der Akademie zum Leibniztag am 1. Juli 1948 veran-

¹² Vorträge und Schriften der Preußischen Akademie der Wissenschaften 21 (1945), 19 S.

¹³ P 3/1 Protokolle der Sitzungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse, S. 558, S. 560.

stalteten Gedenkfeier für Max Planck mußte er fernbleiben, da er seine Teilnahme an einer Physikertagung in Zürich bereits zugesagt hatte. Heisenbergs starke berufliche Belastung, aber auch die sich verschärfenden politischen Verhältnisse im geteilten Deutschland verhinderten sein Mitwirken an den Arbeiten der Berliner Akademie. Schon 1948 wies er in einem Schreiben vom 2. Juli an den Akademiedirektor Josef Naas auf diesen Zusammenhang wie folgt hin: "Ich hoffe genau wie Sie, daß auch in Zukunft die Mitglieder in allen Teilen Deutschlands eng zusammenarbeiten und zusammenhalten werden, und es tut mir sehr leid, daß die äußeren Schwierigkeiten, die dieser Zusammenarbeit im Wege stehen, in den letzten Jahren immer größer geworden sind. Aber man darf die Hoffnung für die Zukunft nicht aufgeben."¹⁴

So beschränkten sich in der Folgezeit die Kontakte zwischen der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin und Heisenberg auf Gratulations- und entsprechende Dankschreiben zu den runden Geburtstagen Heisenbergs. Eine Ausnahme bildeten lediglich die Feierlichkeiten zur 100. Wiederkehr des Geburtstages von Max Planck, die am 24. und 25. April 1958 in Berlin stattfanden. An den Festveranstaltungen, die gemeinsam von der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, dem Verband Deutscher Physikalischer Gesellschaften e.V. und der Physikalischen Gesellschaft in der DDR getragen wurden, nahm Heisenberg teil. In der wissenschaftlichen Veranstaltung am 25. April 1958, die in der Kongreßhalle im Berliner Tiergarten stattfand, hielt Heisenberg einen der drei Festvorträge. In seinem Vortrag "Die Plancksche Entdeckung und die philosophischen Grundfragen der Atomlehre" erläuterte er erstmals vor einem breiten wissenschaftlichen Publikum die von ihm entwickelte einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen. ¹⁵

Am 1. Februar 1976 verstarb Heisenberg in München. In dem Kondolenzschreiben des Akademiepräsidenten Hermann Klare an die Witwe Heisenbergs vom 5. Februar 1976 heißt es: "Unsere Akademie, der er seit dem Jahre 1938 als Mitglied angehörte, wird nicht nur das wissenschaftliche Vermächtnis Werner Heisenbergs in Ehren halten, sondern sich seiner auch als eines humanistischen Wissenschaftlers erinnern, der sich stets gegen den Mißbrauch wissenschaftlicher Erkenntnisse wandte."¹⁶

Auf ihrem Leibniztag am 8. Juli 1976 gedachte die Berliner Akademie in einem kurzen Nachruf ihres langjährigen Mitglieds Werner Heisenberg. 17

¹⁴ Bestand Akademieleitung, Personalia, Nr. 172, Bl. 3.

¹⁵ Bestand Klassen, Nr. 202.

¹⁶ Bestand Akademieleitung, Personalia, Nr. 172.

¹⁷ Jahrbuch 1976 der AdW der DDR. Berlin 1977, S. 113–114.

Winfried Hacker

Design Problem Solving und psychologische Unterstützungsmöglichkeiten

Gekürzte Darstellung eines Vortrags in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 16. Januar 2003¹

1 Einordnung

In diesem Beitrag werden einige psychologische Einflüsse auf schöpferische geistige Arbeitsprozesse diskutiert, die bei der praktischen Umsetzung, beispielsweise als Projekt- oder Abteilungsorganisation des Konstruierens, wirksam werden. Es gibt unterschiedliche geistige Anforderungen, für die sich unterschiedliche organisatorische Lösungen verschieden gut bewähren. Daher sind zunächst die Besonderheiten der Anforderungen beim Entwerfen zu skizzieren.

2 Geistige Anforderungen in den frühen Phasen von Entwicklungstätigkeiten

Bekanntlich sind die am schlechtesten fassbaren frühen Schritte des Aufgabenklärens sowie des Konzipierens und Abwägens grundsätzlicher Lösungsmöglichkeiten die entscheidenden Schritte hinsichtlich der Innovativität von Lösungen und der späteren Fertigungskosten. Daher sind psychologische Einflüsse also vorrangig für das Aufgabenklären, Konzipieren von prinzipiellen Lösungsmöglichkeiten und Auswählen einer geeigneten Alternative zu entwickeln: Idealerweise sollten Konstrukteure alle Möglichkeiten einer Lösung aus der erschöpfend kombinierten Anzahl ihrer Merkmale im Kopfe erzeugen, um die optimale Merkmalskombination aus der Gesamtzahl aller möglichen auszuwählen. Eben das ist aber wegen der Begrenztheit unserer Bewusstheitskapazität unmöglich. Der Entwerfende muss sich von vornherein beschränken auf das Bedenken eines Merkmalsausschnitts, und zwar nicht, weil ihm keine weiteren Varianten einfielen, sondern weil er sie ohnehin im Kopfe nicht alle erhalten und vergleichen kann. Diese ausgewählte

¹ ausführliche Darstellung, Quellen und Belege in Hacker (2002)

116 Winfried Hacker

Teilmenge sollte aber die günstigsten Lösungen umfassen. Er sollte also die günstigste Teilmenge im Kopfe haben, die er aber gerade nicht kennen kann, weil er dafür aus der gesamten Menge auszuwählen hätte, über die er aber nicht verfügt. Das Nadelöhr kreativen Entwerfens ist also nicht in erster Linie der Einfallsreichtum, sondern die Enge des Bewusstseins, das sogenannte Arbeitsgedächtnis: Je geringer seine Kapazität ist, desto mehr überflüssige Schritte, desto mehr Erwägungen ineffizienter Möglichkeiten und desto größer ist der Zeitbedarf beim Entwerfen.

Des Weiteren sollten Konstrukteure bereits anfangs eine möglichst genaue Vorstellung vom Gesamtprodukt entwickeln, um daraus gezielt Einzelheiten abzuleiten und diese auf ihre Passfähigkeit im Gesamtprodukt bewerten zu können. Damit würden sie Irrwege und Nacharbeit vermeiden. Auch das ist wenigstens bei komplexen Gebilden nicht möglich: Konstrukteure verfügen anfangs oftmals nur über eine unscharfe, wenig detaillierte qualitative Idee vom Gesamtprodukt, die erst im Verlauf des Entwickelns präzisiert wird und nunmehr zur Bewertung der Passfähigkeit von Teilen auch in quantitativen Hinsichten taugt.

Einen Ausweg bieten externe, die mentale Kapazität entlastenden Vorgehensteile, wie das Skizzieren, das frühzeitige Herstellen von Modellen sowie das Diskutieren mit anderen. Arbeitsorganisatorisch sind also Voraussetzungen für einfaches Skizzieren, für einfaches Herstellen von Modellen am Arbeitsplatz und zum sachkundigen Diskutieren zu sichern.

3 Verlauf des Vorgehens in frühen Phasen

Ein Konstruktionsauftrag führt zunächst zum Durchmustern des Wissens um bereits gelöste einschlägige Aufträge bzw. bringt assoziativ einschlägig erscheinendes Wissen in Erinnerung. Ist ein brauchbar erscheinender Fall bekannt, so wird er als Ausgangspunkt genutzt. Trifft das nicht zu, müssen neue Lösungen ausgedacht oder bekannte ähnliche verändert werden. In der Regel liegt bei komplexen Konstruktionsaufträgen und berufserfahrenen Konstrukteuren eine Kombination von Wissensnutzung und von Neuausdenken vor. Wegen dieses häufigen Ansetzens an erinnerten Fällen ist die Konstruktionstätigkeit normalerweise kein Prozess, der zunächst den Gesamtauftrag systematisch denkend in alle seine Teile zerlegt und sodann wiederum jedes Teilziel systematisch auf alle Lösungsmöglichkeiten hin untersucht. Vielmehr wechseln wissensgetriebene, auf ein Teilziel bezogene Vorgehensteile, mit solchen einer streckenweisen systematischen Zerlegung des Gesamtauftrags. Das heißt, anstelle eines Vorgehens vom Gesamtauftrag zu Teilaufträ-

gen wird gelegentlich bei den Teilen angefangen, weil für sie Lösungen oder Analogien bereits erinnert werden. Dieses Abweichen ist dadurch ausgelöst, dass Konstrukteure auf Sachverhalte (Gelegenheiten, Opportunitäten) stoßen, die nach ihrem Vorwissen mit vermutlich nützlichen Teillösungen für den zu bearbeitenden Auftrag verknüpft sind. Dieses Vorgehen steht im Widerspruch sowohl zu konstruktionswissenschaftlichen Empfehlungen als auch zu den psychologischen Konzepten: Die Empfehlungen des Mach- oder Zerlegeprinzips lauten, Aufträge systematisch solange weiter in kleinere Teile zu zerlegen, bis durch vorhandenes Vorwissen lösbare kleine Auftragsteile erreicht sind. Demgegenüber bedeutet das so genannte opportunistische Vorgehen: Konstrukteure gehen weder arbeitsschritteorientiert im Sinne der VDI 2221 vor, noch arbeiten sie orientiert an Teilaufgaben. Arbeitsschritteorientiert wären erst für alle durch die Zerlegung ermittelten Teilaufträge die Anforderungen zu klären, dann für alle Teilaufträge die möglichen Lösungsprinzipien zu ermitteln und sofort. Teilaufgabenorientiert wäre zunächst eine Teilaufgabe komplett fertig zu bearbeiten und dann die nächste komplett fertig zu stellen und so weiter. Tatsächlich überwiegen Mischungen, eben ein opportunistisches Vorgehen mit systematischen Episoden.

Für die Frage nach der Arbeitsorganisation folgt: Es sollte keine Vorgehenssystematik dem Konstrukteur aufgenötigt werden, sondern ein opportunistisches Vorgehen möglich sein.

4 Vorgehensunterschiede zwischen Experten und Durchschnittskönnern

Leistungsstarke Konstrukteure unterscheiden sich nur unwesentlich von anderen durch die Merkmale Intelligenz, Raumvorstellung oder heuristische Kompetenz. Dagegen gibt es deutliche Hinweise auf Unterschiede im Vorgehen.

Das besondere im Vorgehen leistungsstarker Konstrukteure liegt in drei Bereichen:

Art des Erfassens und Analysierens des Auftrags

Die Leistungsstarken analysieren den Auftrag eingehender, insbesondere bezüglich der zu realisierenden Funktionen, sie bestimmen vollständiger die zu realisierenden Hauptfunktionen, gewichten dann zusammenfassend ihre Analyseergebnisse und fixieren häufiger die Anforderungen.

Wir kommen auf dieses Fixieren u.a. als Skizzieren und Modellieren im folgenden Abschnitt zurück.

Art der Suche von prinzipiellen Lösungsalternativen

Leistungsstarke erzeugen häufiger mehrere Lösungsalternativen, darunter auch neuartige. Danach wählen sie systematischer das zu realisierende Prinzip aus und befassen sich intensiver mit dessen Zerlegung in Teilziele.

Art des rückkoppelnden Beurteilens der Lösungsschritte

Bei den Leistungsstarken erfolgt das prozessbegleitende Bewerten von Lösungsteilen systematischer und auch häufiger auf verschiedenen Ebenen der Konkretisierung.

Wenn sich diese Befunde verallgemeinern lassen, wären damit erfolgsbestimmende Vorgehensteile identifiziert, die bevorzugt zu unterstützen und unter anderem auch in der Ausbildung zu beachten wären. Arbeitsorganisatorisch folgt:

- Es sind organisatorische Voraussetzungen zu schaffen für Möglichkeiten einer eingehenden Aufgabenanalyse und der Fixierung der Anforderungen.
- Es sind organisatorische Voraussetzungen zu schaffen für das Suchen nach prinzipiellen Lösungsalternativen unter anderem in Diskussion mit Kollegen ob in Zweier- oder Gruppensituationen.
- Es sind organisatorische Voraussetzungen für ein prozessbegleitendes Bewerten von Lösungen zu schaffen, unter anderem durch das Bereitstellen von Hilfsmitteln für eine Lösungsgütebewertung in frühen Phasen.

5 Skizzieren als Gedächtnisstützung sowie Mittel der individuellen und kooperativen Ideenerzeugung

In einer umfassenden Feldstudie mit mehr als einhundert berufserfahrenen Konstrukteuren aus etwa 40 Maschinenbaubetrieben gaben nahezu alle Befragten (96 %) an, beim Klären der Anforderungen und bei der Suche nach Lösungsprinzipien mit Skizzen oder einfachsten Modellen zu arbeiten. 80 % der Konstrukteure nutzen Freihandskizzen dabei immer oder oft, nur 2 % tun dies selten. Am häufigsten werden Freihandskizzen beim Konzipieren von Lösungsprinzipien, am zweithäufigsten beim Aufgabenklären benutzt.

Angesichts der wachsenden Nutzerfreundlichkeit von CAD-Programmen könnte man erwarten, dass CAD-Nutzer die nützlichen Skizzierfunktionen in die Computerarbeit verlagern. Wie steht es also um die Beziehung zwischen Freihandskizzieren und CAD-Nutzung?

67 % der Befragten arbeiten bereits in den frühen Phasen mit CAD. Aber: Das Freihandskizzieren bleibt dabei zur Vorbereitung der CAD-Arbeit und

während der CAD-Arbeit erhalten! Während das Skizzieren häufiger als die CAD-Arbeit der Lösungsentwicklung dient, dient die CAD-Arbeit häufig der Lösungsüberprüfung.

Hinsichtlich des ausgesagten Nutzens betreffen 93 % der Benennungen einen Nutzen des Skizzierens bzw. Modellierens für das individuelle Entwickeln von Lösungen und gleichviel das Unterstützen von Gesprächen mit Kollegen gleichfalls zur – hier kooperativen – Lösungsentwicklung. Erst danach folgt mit 71 % der Nennungen die Unterstützung des Gedächtnisses (Römer, Weißhahn, Hacker, Lindemann & Pache, 2001).

A. Entlastung des (Arbeits-) Gedächtnisses

- Erhalten von Ergebnisteilen, Ideen gegen Vergessen
- Freimachen von Mentalkapazität für Bearbeiten

B. Denkunterstützung

(Unterstützung der individuellen Lösungsentwicklung)

- zusätzliche Problempräsentationen/-rückmeldungen in "mixed-use-Strategien"
 - •• extrozeptiv (u.a. visuell)
 - •• taktil-kinästhetisch

dadurch

- •• Wechselwirkung zwischen Repräsentationsmodi (u.a. visuell-anschaulich mit begrifflicher Repräsentation wechselnder Abstraktion)
- $(vgl.\ ,\!,\!multiple\ Repr\"{a}sentation";\ ,\!,\!Komplexit\"{a}tsreduktion")$
- dialogische Sprachstruktur (bei realem "naiven" Partner und "Sprechen für sich selbst"

C. Unterstützung kooperativer Lösungsentwicklung durch spezifische Kooperationsorganisation

- Integration heterogenen lösungsrelevanten Wissens als Lösungsgrundlage
- dialogische Sprachstruktur mit expertisereichen Partnern
- Nutzung lösungsfördernder Gruppeneffekte (u.a. Nominal-Gruppen-Effekt)

Tabelle 1:

Erklärungsbeiträge zu Wirkungen unterschiedlicher Arten des Externalisierens von Entwurfsschritten in frühen Phasen des Entwerfens 120 WINFRIED HACKER

6 Welche Arten von Kooperation und Gruppenarbeit sind nützlich?

Dass das Gespräch mit sachkundigen Kollegen als Hauptimpuls für die Ideenentwicklung gelten kann, ist gesichert. Offen sind die Schlussfolgerungen daraus für die Arbeitsorganisation: Welche Art von Kooperation und gegebenenfalls von Gruppenarbeit ist nützlich?

6.1 Kooperationseffekte

Kooperation, also Zusammenarbeit, ist nicht Gruppenarbeit. Kooperation kann zeitweilig und gelegentlich erfolgen und sie kann sich auf Zweierbeziehungen beschränken.

Eine erste Frage betrifft damit das Verhältnis von individuellem Arbeiten und Zusammenarbeiten (Kooperation) im konkreten Sinne der Diskussion über Lösungsmöglichkeiten beim Entwerfen. Wirklich gesicherte Ergebnisse für die Überlegenheit von Zusammenarbeit in Zweierbeziehungen oder Gruppen sind spärlich. Sie betreffen hauptsächlich das Finden von mehr bzw. von effizienteren Lösungsprinzipien in der Diskussion, als jeder Einzelne für sich alleine fände. Dazu ist allerdings nicht unbedingt eine Gruppe erforderlich. Es genügt häufig bereits die erwähnte Zweierbeziehung (Dyade). Gruppen können diesen Effekt vergrößern. Zunächst sind dafür allerdings wesentliche Voraussetzungen zu sichern.

Dass die Diskussion wenigstens mit einer anderen Person bereits Gewinne für die Lösungsqualität erbringt, geht auf den Zwang zum eingehenderen Auseinandersetzen mit den eigenen Lösungsvorstellungen zurück, damit sie dem anderen verständlich, logisch begründet und zusammenhängend erklärt werden kann bzw. damit begründete und verständliche Fragen an andere gestellt werden können. Das ist der Zwang zur so genannten Selbstreflexion über Gründe, Gegengründe und Zusammenhänge in einem Problembereich.

Die Voraussetzung für diese lösungsverbessernden Wirkungen der Diskussion sind nicht in erster Linie in der Sachkunde des Partners, sondern in dem interessierenden Zuhören und Nachfragen zu suchen.

Arbeitsorganisatorisch folgt:

- Diskussion und Gespräch stellen keinen Zeitverlust dar, sondern sind die Grundlage für wesentliche Gewinne an Lösungsqualität.
- Arbeitsorganisatorisch ist die Arbeitsverteilung so zu gestalten, dass aufgrund verwandter Aufgaben sachkundige Diskussionspartner verfügbar sind.

6.2 Gruppeneffekte

Sofern man das Finden von Lösungsprinzipien durch Gruppen, die über gelegentliche Zweierbeziehungen hinausgehen, unterstützen will, sind umfangreichere Vorkehrungen erforderlich, um einen tatsächlichen Gewinn daraus erzielen zu können. Die Hauptschwierigkeiten bestehen bei dem Streben nach Erzielen von Gruppeneffekten in den sogenannten Prozessverlusten in der Gruppenarbeit, die mit der Zahl der kooperierenden Personen wachsen. Sie entstehen u.a. dadurch, dass in den Gruppen nicht mehr jeder zu jedem Sachverhalt sich mit jedem anderen tatsächlich abstimmen kann und dass die Gedächtnisanforderungen an die Gruppenmitglieder sehr rasch das tatsächlich mögliche Ausmaß an Gedächtnisleistungen übersteigen. Daraus ergibt sich, dass ein Brainstorming ohne umfassende organisatorische Vorkehrungen weniger effektiv ausfällt als zu erwarten wäre, dass Fehlentscheidungen auch in kompetenten Gruppen auftreten, sich Richtiges nicht nur deshalb durchsetzt, weil eine oder mehrere Personen es im Gruppenprozess vortragen, dass eine Selbsttäuschung über gemeinsame Überzeugungen bzw. Lösungen der Gruppe auftritt (der so genannte Groupthink, d.h. die relativ sichere Überzeugung, dass das, was viele äußern, auch zutreffend sei, hingegen davon Abweichendes unzutreffend sein müsse).

Die für leitungsförderliche Gruppenprozesse zu erfüllenden Bedingungen sind u.a.

- die kleinstmögliche Personenzahl in der Gruppe,
- zeitweilige Gruppendiskussionen neben Einzelarbeit, insbesondere zur Ableitung der Anforderungen, zur Prinzipienfindung sowie zum Ermitteln von Bewertungskriterien,
- heterogene Qualifikationen der Gruppenmitglieder, sofern der Auftrag unterschiedliche Kompetenzen zur Lösung erfordert,
- eine professionelle Moderation des Gruppenprozesses, um individuell geäußerte Meinungen gleichgewichtig zu sammeln und zur Verfügung zu stellen.

Gruppenprozesse sind nicht gebunden an einen face-to-face-Informationsaustausch. Sie sind auch möglich durch den Austausch technisch miteinander in Verbindung stehender Personen. Unerlässlich ist jedoch auf jeden Fall die Arbeit an einem gemeinsamen Auftrag, der gleichberechtigte Austausch von Informationen, das gemeinsame Entscheiden über Lösungen sowie Rückmeldungen für alle Gruppenmitglieder.

Für die Effizienz der Kooperation ist das Erhalten und Steigern der spezifischen Fachkompetenz jedes Einzelnen unerlässlich. Dazu wird die Verwur-

122 WINFRIED HACKER

zelung der einzelnen Fachleute mit einer speziellen Expertise in fachkundigen Organisationseinheiten benötigt. Der Elektroniker muss in Organisationseinheiten von Elektronikern, der Programmierer in solchen von Programmierern verankert bleiben, um seine spezifische Expertise immer wieder neu zu ergänzen in einer fachspezifischen Diskussion, im fachspezifischen Wettbewerb, in fachspezifischer Weiterbildung.

Ob die Voraussetzungen für erfolgreiche Kooperations- und Gruppeneffekte praktisch durch eine Doppel- oder Einfachmitgliedschaft in Organisationseinheiten, durch eine Dauer- oder zeitweilige Mitgliedschaft, beispielsweise in Konstruktionsabteilungen oder in Projektgruppen, zu verwirklichen ist, kann nicht generell, sondern nur branchen- und betriebsspezifisch entschieden werden. Bedeutsam ist lediglich, dass die skizzierten organisatorischen Bedingungen gesichert werden.

7 Zusammenfassende Diskussion

Skizzieren, Diskutieren oder Sprechen für sich selbst sind einige Merkmale gemeinsam, die mit der Externalisierung mentaler Prozesse zu tun haben. Diese externe Unterstützung wiederum hat leistungsbegünstigende Wirkungen, die durch einige kognitionspsychologische Mechanismen (z.B. multiple Repräsentation; Komplexivitätsreduktion; Abrufen semantischer Relationen aus dem Langzeitgedächtnis) sowie sozialpsychologische Effekte erklärbar sein können (vgl. Tabelle 1).

Literatur:

Hacker, W. (Hrsg.): Denken in der Produktentwicklung. Psychologische Unterstützung der frühen Phase. Zürich: Verlag der Fachvereine; Stuttgart: Rainer Hampp Verlag, 2002.

Erkennen diskreter Merkmalsstrukturen. Ein Beitrag zur Untersuchung und Modellierung menschlicher Lernprozesse

Vortrag in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 20. Juni 2002

1. Zum Gegenstand

Die Erkennung diskreter Merkmalsstrukturen ist eine Basisleistung (nicht nur) der menschlichen Intelligenz und ihre Erklärung steht seit jeher im Interesse der Forscher. Es ist eine elementare Leistung, die für die Erhaltung und das Überleben von Arten und Rassen von entscheidender Bedeutung war und ist, und für die es zahlreiche Beispiele gibt:

- das Erkennen von genießbaren und giftigen Pflanzen und Tieren an Farbe, Form, Geruch,
- das Erkennen einer gefährlichen Situation an der Verletzung des Sicherheitsabstands, an Drohgebärden, ...,
- das Erkennen des Unterschieds zwischen Eltern und anderen Erwachsenen durch ein Kleinkind.

Überlebenswichtig ist das schnelle und sichere Erkennen, das dann ein angemessenes Verhaltensprogramm (Vermeidung, Flucht, Zuwendung, ...) auslöst.

Klix (1980, S. 10) kennzeichnet die entwicklungsgeschichtliche Herausbildung und Bedeutung dieser Leistung wie folgt:

"Lernen … bildet individuelles Gedächtnis aus. Denken beruht auf der Nutzung des Gedächtnisses. … Suchen aktualisiert Erfahrungen, ermöglicht Vergleiche zwischen ihnen und dabei das Erkennen neuer Zusammenhänge. Denken ist, seinem Wesen nach, Beschaffung von Information durch kognitive Prozesse. Die Funktion dieser Prozesse muss sich bei Entscheidungsunsicherheit bewähren. … Dies ist die Motivlage für die Extrapolation von Künftigem durch Denkprozesse."

2. Kennzeichnung diskreter Merkmalsstrukturen und ihrer Bedeutung für den Erkennungsprozess

Diskrete Merkmalsstrukturen sind Verknüpfungen von Merkmalen, die die Zugehörigkeit von Objekten O_i zu einer Objektmenge $O = \{O_1, \dots, O_m\}$ kennzeichnen oder entscheidbar machen. Dabei sind die einzelnen Objekte hinsichtlich von Merkmalsdimensionen D_1, \dots, D_r beschrieben. Jede einzelne Dimension D_i ist diskret gestuft (z.B. in die wahrnehmbaren Einheiten), im einfachsten Fall dichotom (ein Merkmal ist vorhanden oder nicht). Der potentielle Objektraum OR, der durch die Dimensionen D_1, \dots, D_r aufgespannt wird, ist dann durch das direkte Produkt $D_1 \times \dots \times D_r$ beschreibbar. Eine ausgewählte Objektmenge O ist demnach stets eine Teilmenge dieses Objektraums OR, also $O \subseteq OR$. So wählt die Kombination der Merkmale sparsam und klein beim Autokauf eine bestimmte Teilmenge von potentiellen Kandidaten wie Smart, Mini, Lupo, ... aus der Gesamtmenge der PKW aus.

In diesem Kontext bezieht sich der Begriff Merkmalsstruktur darauf, dass eine Teilmenge OT von Objekten aus OR durch invariante Merkmale und / oder invariante Merkmalsverknüpfungen entsteht und sich von anderen Teilmengen von Objekten unterscheiden lässt. In der Psychologie bezeichnet man den Prozess der Herausbildung solcher Merkmalsstrukturen als Diskriminationslernen (in elementarer Form auch als Konditionieren) oder, wenn er sprachgebunden ist, als Begriffsbildung. Aristoteles kennzeichnet diesen Aspekt des Denkens (in Band 13 "Über die Seele", S. 59) "Das Denken der ungeteilten Begriffe gehört zu dem Gebiet, wo es keinen Irrtum gibt. Wo aber Irrtum und Wahrheit herrscht, da gibt es schon eine Verknüpfung der Begriffe zu einer Einheit".

Dies macht deutlich, dass für die Kennzeichnung diskreter Merkmalsstrukturen neben der Merkmalscharakteristik der Objekte auch deren Verknüpfungen sowie ihr Wahrheitswert bedeutsam sind. Kennzeichnet man also Schüler einer bestimmten Klasse durch die Noten in den einzelnen Unterrichtsfächern (Merkmalscharakteristik), dann können sich Teilmengen von Schülern dadurch auszeichnen, dass sie gute Ausprägungen in den naturwissenschaftlichen Fächern haben oder andere sich durch ihre Leistungen in Sport, Musik und Ethik kennzeichnen lassen. Fragt man nun umgekehrt nach der Merkmalsstruktur einer Schülergruppe, die durch häufige Fehlzeiten auffällig werden, dann ist man bei dem angesprochenen Problem der Erkennung einer diskreten Merkmalsstruktur, wobei diese dann auch mehr oder weniger zutreffend sein kann. Allgemein ist dies das Problem einer Diagnosefindung.

3. Klassische Beispiele und Erklärungsansätze der Erkennung diskreter Merkmalsstrukturen

Für das Erkennen diskreter Merkmalsstrukturen im Sinne dieses Konditionierens oder Diskriminationslernens gibt es typische Beispiele und zwei grundsätzliche Erklärungsansätze, die bis zur Gegenwart in der psychologischen Literatur z.T. auch kontrovers diskutiert werden:

3.1 Klassische Ansätze auf der Grundlage des Assoziationsprinzips.

Sie beruhen auf der raum-zeitlichen Kontiguität oder Kontingenz von Merkmalsausprägungen oder Reizen. Klassisches Beispiel ist die Ausbildung eines bedingten Reflexes (nach Pavlov, 1927), bei der das gleichzeitige Auftreten eines Tons bei der Futtergabe eines Hundes dazu führt, dass im eingelernten (konditionierten) Zustand auch die alleinige Darbietung des Tones zur Reaktion Speichelfluss führt. Experimentell mehrfach nachgewiesen ist, dass die Stärke dieser Konditionierung der Manifestationshäufigkeit des Tones proportional ist. Genauer, die Effektivität des Konditionierens E(K) ist eine Funktion der Manifestationshäufigkeit des unkonditionierten Reizes US:

$$E(K) = f \{ P(US \mid CS) \}.$$

Dies benennt bereits Thorndike (1911, S. 244) als das "Law of Effect";

"Of several responses made to the same situation, those which are accompanied or closely followed by satisfaction to the animal will, other things being equal, be more firmly connected with the situation."

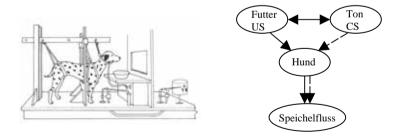


Abbildung 1: Untersuchungssituation des Hundes (Grafik aus Pearce, 1997) und Strukturschema der Ausbildung eines bedingten Reflexes.

Auf diesem Zugang basieren die klassischen S-R-Theorien des Lernens, wie sie von Hull (1884–1952), Guthrie (1886–1959) und Tolman (1886–1959) (letzterer für das instrumentelle Bedingen) entworfen wurden.

Pearce (1997) betont in diesem Rahmen, dass "associative learning ... takes place when there is a change in an animal's behaviour as a result of one event being paired with another." Die klassischen Untersuchungsmethoden hierfür sind das Pavlovsche Konditionieren und das instrumentelle Bedingen, bei dem das Verhalten das Ereignis hervorruft.

Pavlov (1927) berichtet auch über ein weiteres Experiment, das 1917 mit Hunden zum Diskriminationslernen durchgeführt wurde. Hungrigen Hunden wurden zwei Reize dargeboten:

- S1 ein bunt ausgemalter Kreis
- S2 ein bunt ausgemaltes Quadrat,

wobei der bunte Kreis die bevorstehende Fütterung signalisierte. Auch hier kam es zu dem Effekt, das mit zunehmender Versuchsdauer der Hund auf den S1 mit Speichelfluss reagierte.

Einen weiterführenden Erklärungsansatz begründet die Theorie des inkrementellen Lernzuwachses von Spence (1936, 1937). Sie geht davon aus, dass jede Belohnung einer Reizmenge zu einem Zuwachs (increment) in der Tendenz führt, künftig diese Verhaltensantwort bei jedem dieser Reize zu geben. Dabei gilt auch umgekehrt, dass das Ausbleiben der Belohnung diese Tendenz verringert.

Dies begründet excitatorische und inhibitorische Auswirkungen auf den Lernprozess, genauer: die Stärke der assoziativen Bindungen werden durch die Belohnung bzw. deren Ausbleiben verstärkt oder gehemmt.

Die Assoziationsstärke oder Effizienz E(CS) wird damit eine Funktion, die von dem Verhältnis des Eintretens des Ereignisses (US, Belohnung) nach dem Eintreten und dem Nichteintreten des CS abhängt ist:

$$E(CS) = f \{ P(US \mid CS), P(US \mid \sim CS) \}.$$

3.2 Weiterführende Ansätze zum Assoziationslernen

In Erweiterung der Gedanken von Spence wurden eine Reihe weiterer Erklärungsmodelle entwickelt, die im Sinne eines Kontingenzmodells (Jenkins & Ward, 1965; Rescorla, 1968; Salmon, 1965) inkrementelles Lernen durch die Effizienz (Kontingenz- oder Bindungsstärke) eines verursachenden Stimulus E(CS) für ein Ereignis e (den US) wie folgt zu fassen:

$$E(CS) = P(e \mid CS) - P(e \mid \sim CS).$$

Als weithin akzeptierter Modellansatz ist das Modell von Rescorla – Wagner (1972) sehr verbreitet. Es ist daran orientiert, die excitatorischen und inhibitorischen Wirkungen im Lernen als Veränderungen in der Effizienz (Bindungsstärke) zu modellieren:

• für excitatorische Wirkungen für CS_i : $\Delta E_i = a_i \cdot \beta_1 \cdot (\lambda - \Sigma \ E_k)$ mit α_i = bestehende Intensität von CSi β_1 = Lernrate von US-trials

 λ = Maximal mögliches Level der Assoziationsstärke konditionierbar zur US-Intensität

 E_k = alle anderen auftretenden CS – Stimuli und US

• für inhibitorische Wirkungen des CS_i : $\Delta E_i = \alpha_i \cdot \beta_2 \cdot (0 - \Sigma E_k)$ mit β_2 = Veränderungsrate bei Nichtbekräftigung.

Für das Diskriminationslernen auf der Grundlage von vier dichotomen Merkmalen könnte sich ein neuronales Netz (vgl. Gluck & Bower, 1988; Estes u.a., 1989) wie folgt aufgebaut sein:

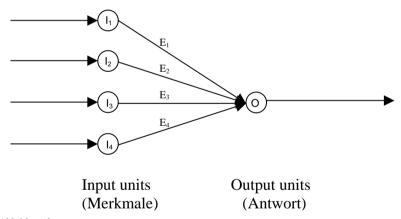


Abbildung 2: Neuronales Netz zum Rescorla-Wagner-Modell

Wichtige Erkenntnisse zum Rescorla-Wagner-Modell (R-W-M) (nach Pearce, 1997) sind:

- Dies so formalisierte Modell erlaubt es, empirisch prüfbare Hypothesen aufzustellen.
- Diese Vorgehensweise führte in den meisten Fällen zur Modellkonformität.

 Obwohl das R-W-M nicht alle Lernbefunde erklären kann verbleibt die Konklusion von Pearce ,.... that the Rescorla-Wagner model provides the ideal account of the conditions of learning".

Das R-W-M ist auch in Form eines neuronalen Netzwerkes (Perzeptron) darstellbar (Gluck & Bower, 1988; Estes u.a., 1989). Dabei konnten Sutton und Barto (1981) nachweisen, dass die Lösungen nach dem R-W-M und nach dem Prinzip der LMS (least mean squares) eines neuronalen (backpropagation) Netzwerks übereinstimmen: "the LMS rule is essentially identical to the Rescorla-Wagner (1972) model of associative learning in animals".

Fazit 1:

Assoziationslernen, wie es beim Konditionieren und Diskriminationslernen auftritt, ist weitgehend durch die Mechanismen des R-W-M erklärbar und damit durch neuronale Netze modellierbar.

3.3 Lernen nach dem Abstraktionsprinzip

Grundlage des Lernens nach dem Abstraktionsprinzip ist eine Vorgehensweise, bei der von konkreten Merkmalsausprägungen abstrahiert wird und dann Merkmalsbeziehungen zur Erkennung nutzt (Relationenlernen, Funktionenlernen, Merkmalsgeneralisierung, Regellernen). Dies sind Formen des induktiven und analogen Schließens. Ein klassisches Beispiel hierfür sind die Untersuchungen Köhlers (1918) am Haushuhn:

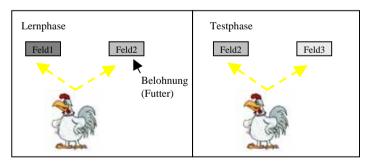


Abbildung 3: Versuchsschema zum Diskriminationslernen mit Lern- und Testphase

Dargeboten werden zwei Reizelemente, ein helleres und ein dunkleres, von denen eins z.B. das hellere durch Futter belohnt wird. Nach der Lernphase folgt der Kontrollversuch: Dargeboten wird weiterhin das bisher hellere Reiz-

element, dazu kommt aber jetzt als zweites Reizelement ein noch helleres. Die Verhaltensentscheidung des eingelernten Haushuhns traf nun nicht das bisher hellere Reizelement (das ja auch vielfach dargeboten war), sondern das neue noch hellere Reizelement, das vorher nie dargeboten war. Die Befundinterpretation ist eindeutig: Das Huhn hat nicht eine Merkmalsausprägung "gelernt" sondern die Merkmalsrelation "auf das hellere Reizelement".

Ungeklärt bleibt, warum das Haushuhn nicht die Reizausprägung sondern die Reizrelation konditioniert hat. Köhlers Erklärung war, dass das Diskriminationslernen in diesem Fall dadurch entsteht, dass die Hühner beide Reize inspizieren und sich dann für das hellere Feld entscheiden.

Aber auch Spence (1937), zu dessen ursprünglichem Erklärungsansatz dieser Befund im Widerspruch stand, fand eine Erklärung, die die Diskriminationsleistung auf einer Dimension als Reizgeneralisierung (und damit, wie wir unten zeigen werden, eigentlich als Abstraktionsleistung) erklärt.

Fazit 2:

Schon bei einfachen Diskriminationsleistungen ist das rein assoziationsbasierte Erklärungsprinzip nicht ausreichend. Höhere Erkennungsprinzipien, die auf dem Abstraktionsprinzip beruhen, greifen.

4. Ausgewählte neuere Untersuchungs- und Modellierungsansätze zum Erkennen diskreter Merkmalsstrukturen

Wir wollen ausgewählte Untersuchungsansätze mit wesentlichen Ergebnissen und Problemen darstellen, um damit den eigenen Zugang zur Untersuchung und Modellierung dieser Lernprozesse zu begründen.

4.1 Psychophysiologisch gestützte Befunde zum Diskriminationslernen (Lachnit und Mitarbeiter, 1992–1996)

Lachnit und Mitarbeiter verwendeten die Konditionierungsparadigmen des "positive patterning" und des "negative patterning" auf der Grundlage der Darbietung von Buchstabenpaaren. Schematisch sah das so aus:





Der Unterschied der beiden Paradigmen bestand in dem auslösenden Ereignis, das einen spürbaren Elektroschock bewirkte. Dies konnte ein Einzelreiz (negative patterning) oder das Reizpaar (positive patterning) sein, wie dies in der linken Seite der nachfolgenden Abbildung 5 gekennzeichnet ist:

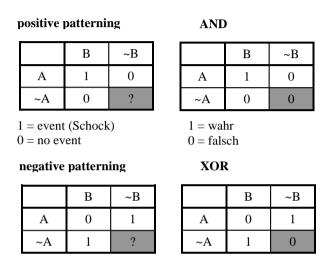


Abbildung 5: Positive / negative patterning untereinander auf linker Hälfte, die "vergleichbaren" logischen Verknüpfungen AND und XOR rechte Hälfte.

Durch die Variation der Anzahl der verwendeten Buchstabenpaare bei gleicher Länge der Lernliste konnte die Manifestationshäufigkeit der auslösenden Reize variiert werden. Danach erfolgte der kritische Versuch, bei dem ein neues, bisher nicht verwendetes Buchstabenpaar dargeboten und das ausgelöste Verhalten über physiologische Parameter registriert wurde.

Das Ergebnis war ein interessanter, aber auch widersprüchlicher Befund: Bei beiden Anforderungen zeigte sich, dass die Variation der Manifestationshäufigkeit keinen Einfluss auf den Konditionierungseffekt hatte. Eine Diskrimination der neuen Reizpaare wurde nur beim positive patterning übertragen. Der erste Befund belegt, dass in dieser Anforderung die *Manifestationshäufigkeit keine entscheidende Einflussgröße auf die Effektivität des Konditionierens* ist, der Befund also nicht durch reines Assoziieren erklärbar wird. Als Erklärung bieten die Autoren einen Regelerwerb an. Aus unserem Ansatz (s.u.) ergibt sich auch eine Erklärung im Sinne einer Merkmalsabstraktion, der aber über die Erklärungen von Köhler und Spence hinausgeht. Der zweite

Befund kennzeichnet, dass *im Fall des negative patterning offensichtlich kein generalisiertes Lernergebnis* eintritt. Dies bedeutet eigentlich, obwohl von den Autoren nicht so interpretiert, dass damit die logische Verbindung XOR nicht ausgebildet wird!

Dennoch ziehen die Autoren eine Parallele der beiden Konditionierungsparadigmen zu den Wahrheitstabellen der logischen Funktionen AND und XOR. Diese Parallele zeigt sich in der Gegenüberstellung der obigen Abbildung 4 auf der linken Seite, wobei wir hier darauf verweisen, dass sich die Definitionsbereiche beider Strukturen dadurch unterscheiden, dass in den Konditionierungsparadigmen ein Fall, nämlich die (0, 0)-Darbietung fehlt. Hier setzt ein weiterführender Gedanke an, nämlich durch Realisierung dieses Falls (0, 0) eine Entscheidungsmöglichkeit zu schaffen, ob beim Konditionieren wirklich die angegebene logische Struktur erworben wird und damit die Konditionierungen dem Erlernen logischer Verknüpfungen entsprechen.

4.2 Die Arbeiten von Thornton zum Parity-Problem (1993, 1996 a, b)

Der Zugang von Thornton ist, in unserem Zusammenhang, besonders interessant, weil er den Aspekt der Generalisierung besonders hervorhebt: "I will begin by noting that the problem of learning is essentially the problem of generalization (Learning problems which do not involve generalization are effectively storage problems). Thus, solving a learning problem must involve exploiting whatever generalization information is contained within feedback available to the learner." (Thornton, 1994, S. 2).

Dies ist genau der Zugang, den bereits Klix (1971, S. 347) mit folgender Lerndefinition kennzeichnet: "Mit Lernen bezeichnen wir danach jede umgebungsbezogene Verhaltensänderung, die als Folge einer individuellen (systemeigenen) Informationsverarbeitung eintritt.". Mit diesem Zugang haben wir versucht, einen Ansatz einer kognitiven Lerntheorie zu begründen (Krause, 1997), der genau diesen Generalisierungsaspekt im Sinne eines induktiven Lernenprozesses kennzeichnet.

Clark & Thornton (1993, 1997) stellen allgemein Lernprobleme als Abbildung zwischen Inputs und Outputs dar. Lernziel ist es dann, zu Inputs mit hoher Wahrscheinlichkeit den korrekten Output zuzuordnen. Entscheidend dafür sind die bedingten Wahrscheinlichkeiten P{ $O \mid I=i$ } eines Outputs O unter der Bedingung des Anliegens eines konkreten Input i.

Unter diesem Gesichtspunkt sollten dann die bedingten Wahrscheinlichkeiten P ($O \mid I$) eine besondere Rolle für das Lernen spielen. Sind sie groß /

klein, dann werden sie den Lernprozess stützen, sind sie alle gleich, das sind dann die sogenannten Parity-Probleme, dann liefern diese bedingten Wahrscheinlichkeiten keine lernrelevante Information. Solche Probleme werden als statistisch neutral bezeichnet. Das XOR ist allgemein eine solche Verknüpfung, wie man am zweistelligen XOR einfach sieht:

Wertetabelle der Funktion I₁ XOR I₂:

$\begin{matrix} & & \mathbf{I_2} \\ & & \mathbf{I_1} \end{matrix}$	1	0
1	0	1
0	1	0

Betrachtet man nun die bedingten Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit vom Input, dann ergibt sich die nachfolgende Tabelle, die diese Paritäten ausweist:

Bedingung B	P{ O=0 B }	P{ O=1 B }
Keine	1/2	1/2
$I_1 = 1$ (Reiz 1 liegt an)	1/2	1/2
$I_1 = 0$ (Reiz 1 liegt nicht an)	1/2	1/2
$I_2 = 1$ (Reiz 2 liegt an)	1/2	1/2
$I_2 = 1$ (Reiz 2 liegt nicht an)	1/2	1/2

Thornton begründet nun, dass der *Grad der statistischen Neutralität im Sinne eines Schwierigkeitsindex den Lernprozess beeinflusst* und damit Parity-Probleme durch neuronale Netze und damit assoziatives Lernen nicht lösbar sind. Dies ist eine Generalisierung des Beweises von Minsky und Papert (1962), die für Perzeptrone die Unmöglichkeit der Lösung des XOR-Problems nachgewiesen haben. Thorntons (1996 a) Schlussfolgerung ist "Backpropagation in fact reliably false to solve parity problems, i.e., as problems involving generalisation."

Für uns wird dies Anlass zur Frage, ob diese Eigenschaft der statistischen Neutralität ein Indikator für die Unterscheidung von menschlichem und dem auf der Assoziationstheorie basierenden modellierten Lernverhalten neuronaler Netze wird.

5. Begründung unseres Untersuchungsansatzes zur Analyse und neuronalen Modellierung elementarer Lernprozesse (Experiment 1)

Grundhypothese: Wenn das Assoziationslernen den Lernprinzipien des Error-Back-Propagation entspricht, dann sollten sich unterschiedliche Lernverläufe für Menschen und neuronale Netze unter folgenden Bedingungen ergeben:

- a. wenn die Anforderungen nicht durch "reine" Assoziationen erlernbar sind (XOR, allgemein statistisch neutrale Probleme).
- b. wenn Generalisierungen des Erlernten im Sinne von Transferleistungen auf bis dahin unbekannte Objekte vergleichbaren Typs gefordert sind.
- c. wenn hierarchische Strukturbildungen gefordert sind.
- d. wenn lineare Separierbarkeit nicht gegeben ist.
- e. wenn statistische Neutralität vorliegt.

Für die Entwicklung eines Untersuchungsparadigmas sollte gesichert werden, dass die Verhaltensanforderung sowohl für Menschen als auch für neuronale Netze kodierbar ist und zusätzlich die offenen Stellen aus dem Lachnit-Zugang einbezogen werden können. Wir entschieden uns in Anleh-

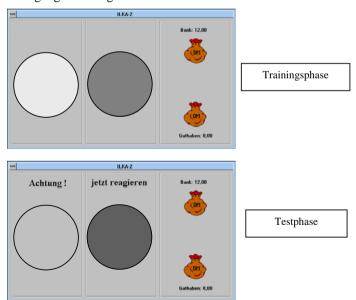


Abbildung 6: Experimentelles Paradigma der weiterführenden Untersuchungen

nung an die Lachnit-Untersuchungen für ein Paradigma, bei dem farbige Kreise auf einem neutralen Hintergrund dargeboten wurden. Dies zeigt der obere Teil der Abbildung 6.

Es ist deutlich, dass bei diesem Zugang mit zwei potentiellen Farbflächen insgesamt vier Ereignisse auftreten können (S,0), (0,S), (S,S) und insbesondere das bei Lachnit fehlende (0,0). Außerdem lässt sich durch die Variation der Anzahl von verwendeten Farbpaaren die Auftrittshäufigkeit der Einzelreize wie bei Lachnit verändern. Dem Auftreten eines Reizpaares folgt dann immer die entsprechende Reaktion.

Im unteren Teil der Abbildung ist dann der Typ des Prüfens des Gelernten dargestellt. Hier bleibt die automatische Reaktion aus und die Person hat mit einer Taste zu reagieren, die die zugehörige Reaktion des Systems zuzulassen oder zu vermeiden gestattete:

Der gesamte Versuchsablauf, der weiterführende Fragestellungen einschließt, ist in folgender Abbildung dargestellt:

Phase	Kennzeichnung des Versuchsablaufs	Bedeutungszuordnung
1.	Trainingsphase (32 Stimuli), davon - 16 Darbietungen von Einzelreizen, d.h. ein Farbkreis links oder rechts: $(0, S_i)$ oder $(S_k, 0)$ - 16 Darbietungen von Doppelreizen, d.h. der beiden unterschiedlichen Farbkreise eines Reizpaares: (S_i, S_k) bzw. (S_k, S_i) .	Dies entspricht exakt der Gestaltung der Lernphase bei Lachnit (vgl. Text)
2.	Vorbereitung der Testphase durch die Darbietung der Reize eines neuen Reizpaares a) als neues Paar von Farbkreisen (S ₁ , S ₂) im Falle des negative patterning b) als neue Einzelreize (S ₁ , 0) und (0, S ₂) im Falle des positive patterning	Dies entspricht exakt der Vorbereitung der Test- phase bei Lachnit
3.	Testphase, Darbietung von a) einem Einzelreiz aus dem neuen Reizpaar (bei negative patterning) b) dem neuen Reizpaar (bei positive patterning)	Dies entspricht exakt der Gestaltung der Testphase bei Lachnit
4.	Erweiterte Testphase (für das negative patterning) Item 1: (S ₁ , 0) Item 2: (0, 0) Item 3: (S ₁ , 0) Item 4: (0, 0)	dies entspricht dem Testitem bei Lachnit Testitem zur Prüfung der Generalisierung auf XOR Replikation Item 1 zur Konsistenzprüfung Replikation Item 2 der Generalisierung auf XOR
	Item 5: (S ₂ , S ₂) Item 6: (S ₁ , S ₁)	neuer Itemtyp für Transferleistungen neuer Itemtyp für Transferleistungen

Abbildung 7: Versuchsablauf Wir wollen hier die Befunde für unsere Probanden beim negative patterning darstellen:

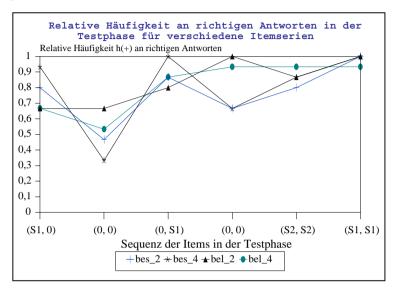


Abbildung 8: Darstellung der relativen Häufigkeit richtiger Antworten gemäß der XOR-Funktion in der Testphase (Die Versuchsbedingen der vier Kurven unterscheiden sich im event bestrafen/belohnen und der Manifestationshäufigkeit durch Verwendung von 2/4 Farbpaaren bei gleicher Länge der Lernserie).

Schrittweise lassen sich diese Befunde wie folgt interpretieren:

- 1. Es ist überraschend, dass sich das Verhalten unserer Versuchspersonen bei der ersten Darbietung des (0,0)- Items nicht von einem Zufallsverhalten unterscheidet (p > 0,05). Dies bedeutet, dass wir hier keinerlei Effekt eines Regellernens finden, die Verhaltensvariation ist maximal. Deshalb folgern wir:
- Lernen nach den eingeschränkten Paradigmen des Konditionierens im Sinne des positive und negative patterning sind weder durch das Lernen logischer Funktionen noch durch Regelerwerb zu erklären. Deshalb ist Lachnits Annahme einer Korrespondenz zwischen beiden widerlegt.
- 3. Aus der Verhaltensvariation folgt außerdem, dass unsere Probanden zumindest keine einheitliche Entscheidungsstruktur erworben haben. Aber was dann?

Eine erste Antwort finden wir, wenn wir die erste Replikation des (0,0)-Items betrachten, das an vierter Position in der Testphase dargeboten wird. Jetzt wird das Antwortverhalten sehr viel einheitlicher und unterscheidet sich deutlich vom Zufallsraten (p < 0,05). Dies bedeutet, dass unsere Versuchspersonen in der Lage sind, ihr Entscheidungsverhalten sehr effektiv zu verändern und nach der ersten Rückmeldung zu guten Prädiktionen kommen. Und dies spricht für einen Wissenstransfer und ist somit auch ein Hinweis dafür, dass in der Lernphase sehr wohl Generalisierungen erworben wurden. In Krause & Gauger (1997) haben wir diesen Befund dadurch erklärt, dass weder eine logische Verknüpfung noch eine Regel erworben und transferiert wurde, sondern hier eine Merkmalsabstraktion vorliegt, die z.B. in der Ausbildung des komplexen Merkmals "farbig" bestehen könnte. Dann erklärt sich der obige Befund dahingehend, dass nur beim ersten Auftreten des (0,0)-Items (zufällig) zu prüfen ist, ob die beide grauen Kreise nun als "farbig" anzusehen sind oder nicht.

Fazit 3:

Das Lernen ist nicht durch die Manifestationshäufigkeiten bestimmt, es wird offensichtlich nicht die adäquate Regel erworben. Die Befunde sprechen jedoch für eine Merkmalsabstraktion und bestätigen damals die alte Köhlersche Erkenntnis der Dimensionsgeneralisierung.

6. Leistungsvergleich von Mensch und neuronalem Netz (Experiment 2)

Für eine zweite Betrachtung, bei der wir menschliche Lernleistungen mit dem Lernverhalten neuronaler Netze vergleichen wollten, haben wir uns im experimentellen Paradigma auf den Erwerb logischer Funktionen beschränkt. Dabei ging es uns in Anlehnung an die offenen Stellen in den obigen Konditionierungsparadigmen darum, Paare logischer Funktionen zum Lerngegenstand zu machen, die sich nur an einer Stelle im Wert unterscheiden und ansonsten identisch sind. Außerdem sollten die Funktionen unterschiedliche Schwierigkeitsanforderungen realisieren. Dafür wählten wir folgende Funktionenpaare aus:

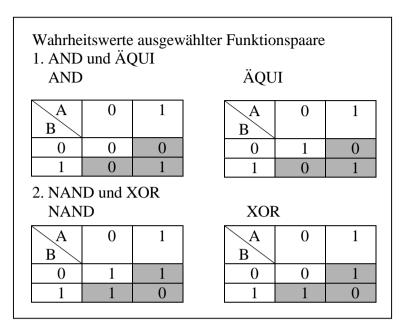


Abbildung 9: Tabellen der Wahrheitswerte der beiden ausgewählten Funktionenpaare

Nach den klassischen, strukturorientierten Ansätzen der Schwierigkeitskennzeichnung (Neisser & Weene, 1962; Bourne, 1972) ist die jeweils links stehende Funktion die leichtere, ÄQUI und XOR also die beiden schwierigeren. Dieser Schwierigkeitsunterschied sollte sich auf den Lernaufwand auswirken.

Wichtig nun zum Versuchsablauf: In der Lernphase wurden nur Elemente des übereinstimmenden Bereiches gewählt und danach (Erreichen eines Lernkriteriums von 6 aufeinander folgenden richtigen Prädiktionen) wurde dasjenige Objekt dargeboten, in dem sich die beiden potentiell erlernbaren Funktionen unterschieden. Dies galt auch für die neuronalen Netzen, bei denen wir (Krause, Gauger, 1997, Gauger 2001) zweischichtige Netze mit folgender Struktur verwendeten:

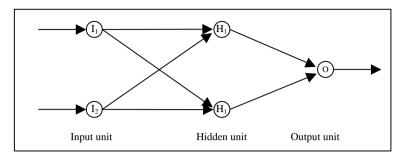


Abbildung 10: Netzwerkstruktur der verwendeten neuronalen Netze

Interessant nun der Befundvergleich für die Lernprozesse bei Mensch und neuronalem Netz:

	Lerninhalt		Lernaufwand (mittlere Anzahl der benötigten Items)	
	Versuchspersonen	Netzwerke	Versuchspersonen	Netzwerke
AND	14	28	11,5	26,4
ÄQUI	14	0	10,2	
NAND	4	28	9,7	56,5
XOR	24	0	11,4	_

Abbildung 11: Vergleich der Lernleistungen von Mensch und neurnalem Netzwerk

Die Ergebnisse zeigen die deutlichen Unterschiede im Lernverlauf zwischen unseren und den zufällig initialisierten neuronalen Netzen:

- a. Bei der *Betrachtung der Lerninhalte* kann der erwartete deutliche Unterschied der Schwierigkeit bei unseren nicht ausgewiesen werden. Im Gegenteil zeigt der Befund, dass im ersten Paar keinerlei Wirkung der Schwierigkeit auftritt und sich auch die Lernaufwände nicht unterscheiden. Überraschend wird im zweiten Paar sogar die schwierigere Verknüpfung dominant erlernt und benötigt den höheren Lernaufwand. (Es sei vermerkt, dass hier in der Literatur widersprüchliche Befunde vorliegen, die bisher nicht stimmig erklärt sind.)
- b. Im Vergleich der gleichschweren Verknüpfungen in den beiden Paaren

wird deutlich, dass *der Lernaufwand* für unsere Probanden nicht gleich ist. Damit kann hier nicht bestätigt werden, dass die Negationen eines Merkmals keinen Einfluss auf die Schwierigkeit haben. (Wir vermerken, dass bei diesem Vergleich zwischen den Paaren kein Effekt von linearer Separierbarkeit und statistischer Neutralität auftreten kann, da in diesen Vergleichen diese Eigenschaften jeweils identisch sind.)

- c. Bei den neuronalen Netzen zeigt sich im Gegensatz zudem der erwartete deutliche Effekt der Schwierigkeit: Alle Netzwerke erlernen durchgängig die jeweils leichteren Verknüpfungen eines Paares. Diese Diskrepanz zwischen Versuchspersonen und Netzwerken ist ein erster Hinweis darauf, dass mit den assoziativen Lernprinzipien der Netzwerke der menschliche Lernprozess nicht adäquat nachgebildet wird. Dies ist damit ein Befund, der die früher ausgewiesenen Literaturbefunde erhärtet, die Diskriminationslernen nicht ausschließlich auf das Assoziationslernen zurückführen.
- d. Beim Vergleich der jeweils durch die Netzwerke erlernten leichteren Verknüpfung wird außerdem deutlich, dass sich die Lernaufwände der als gleich schwierig postulierten Verknüpfungen AND und NAND deutlich voneinander unterscheiden. Dies belegt, dass auch bei den neuronalen Lernprozessen die Negation nicht schwierigkeitsneutral ist, sondern einen erhöhten Lernaufwand hervorruft.

Fazit 4:

Ausgehend von der Übereinstimmung des rein assoziativen Lernens mit dem Lernverhalten unserer neuronalen Netze wird deutlich, dass sich bei diesen Lernaufgaben das menschliche Lernverhalten vom rein assoziativen Lernen unterscheidet und damit Generalisierungen (Abstraktionsleistungen) im menschlichen Lernen auftreten, die für diese Unterschiede verantwortlich zu machen sind. Was aber macht dann diesen Unterschied aus und unter welchen Bedingungen treten sie auf?

7. Komponenten unterschiedlichen Lernverhaltens (Experiment 3)

Für einen ersten Zugang zur Beantwortung dieser Frage folgern wir im Sinne eines kognitiven Ökonomieprinzips, dass wachsende Schwierigkeiten das Verlassen des reinen Assoziationsprinzips verursachen und damit den Übergang zum Abstraktionsprinzip bahnen. Damit entsteht die Frage nach möglichen Komponenten von Schwierigkeit. Die bisherigen zeigen, dass die in der Psychologie ausgewiesenen Schwierigkeitsmaße nur bedingt geeignet sind, Anhaltspunkte für die Einbeziehung von Abstraktionsleistungen zu kenn-

zeichnen. Folgen wir daher der zweiten Linie, die sich aus den Modellierungsansätzen mit neuronalen Netzen ergibt. Dort sind es vor allem zwei Eigenschaften, die Schwierigkeiten ausmachen und zu Grenzpunkten rein assoziativen Lernens führen könnten:

- das *Prinzip der linearen Separierbarkeit* der Objekte im Merkmalsraum. Hieraus resultierte die Nichtlösbarkeit des XOR-Problems mit einfachen Netzen des R-W-Typs (Minsky&Papert, 1962).
- das *Prinzip der statistischen Neutralität*, für das Thornton (1996) nachwies, dass es durch Backpropagation nicht lösbar sei.

Um den Einfluss von statistischer Neutralität und linearer Separierbarkeit auf den Lernprozess zu differenzieren, wählten wir einen Untersuchungsansatz, der von Hahn in einem Forschungsprojekt (2000) ausgeführt wurde. Gewählt wurde ein dreidimensionaler Merkmalsraum, aus dem in unterschiedlichen Versuchsserien Lernmengen ausgewählt wurden, die sich in der Variation dieser beiden Eigenschaften unterschieden. Dabei konnte Gauger (2001) beweisen, dass vollständige Variation der Bedingungen in diesem Merkmalsraum objektiv nicht möglich war. Für unseren experimentellen Zugang wählten wir folgenden Versuchsplan, der die drei im Dreidimensionalen möglichen Aufgabentypen enthält:

Statistische Neutralität Lineare Separierbarkeit	vorhanden	nicht vorhanden
vorhanden	gibt es nicht	Typ (LS und ~SN)
nicht vorhanden	Typ (~LS und SN)	Typ (~LS und ~SN)

Diese Aufgabentypen wurden in ein Diagnoseparadigma eingebettet, wie dies von Gluck und Bower (1988) und Estes u. Mitarbeitern (1989) zur Untersuchung des Lernverhaltens eingeführt wurde. Unsere drei dichotomen Dimensionen waren das Auftreten von drei Stoffen im Blut, die für die Behandlungsbedürftigkeit bedeutsam waren. Die Probanden wurden in der Lernserie über die Nachweisreaktionen dieser drei Stoffe wie folgt informiert:

Test auf	Ergebnis
Thetacepine	Positiv
F-Kreafonin	Positiv
Mylositon	Negativ

und hatten danach die Behandlungsbedürftigkeit (ja/nein) einzuschätzen. Die Diskrimination galt es erkannt, wenn sechs aufeinander folgende Probanden richtig klassifiziert wurden. Die Anzahl benötigter Lernschritte konnte somit als Kennwert des Lernaufwands verwendet werden. Den experimentellen Befund zeigt folgende Tabelle:

Problemtyp	Anzahl von Pro- banden mit Ziel- erreichung	Mittlere Schrittan- zahl bis zur Zielerrei- chung	Standard- abweichung der Schrittanzahl
LS und ~SN	20 (100%)	21,5	10,09
~LS und ~SN	19 (95%)	31,37	16,94
~LS und SN	16 (80%)	25,5	14,89

Zur Beurteilung der Befunde dieses unvollständigen Versuchsplans ist es hier zweckmäßig, die faktoriellen Einflüsse getrennt zu beurteilen. Dann ergeben sich durch Zusammenfassung bzgl. der mittleren Schrittanzahl folgende (gepoolte) faktorielle Effekte:

Für den Untersuchungsfaktor LS:

bei LS: 21,5 Schritte; bei ~LS: 28,69 Schritte,

Für den Untersuchungsfaktor SN:

bei SN: 25,5 Schritte; bei ~SN: 26,31 Schritte.

Für die zufallskritische Beurteilung der Mittelwerte ergeben sich keine signifikanten Unterschiede.

Der Befund belegt, dass

- unsere Probanden in hohem Grade in der Lage waren, auch diejenigen Probleme zu lösen, die backpropagation Netzwerke nicht lösen können, und
- die Eigenschaft der linearen Separierbarkeit einen stärkeren Einfluss auf den Lernaufwand unserer Probanden hat als die statistische Neutralität.

Um diesen Befund im Vergleich zum Lernverhalten der Netzwerke weiter zu differenzieren, führte Gauger (2001) eine Reihe von Simulationen durch, bei denen den Netzwerken in der Testphase ein Objekt dargeboten wurde, das in der Lernphase nicht auftrat. Dies begründet die Möglichkeit, die Generali-

sierungsfähigkeit des neuronalen Lernens in diesen Aufgabenklassen zu beurteilen. Dabei wurden zweischichtige Netzwerke verwendet, von denen nachgewiesen ist, dass sie auch XOR-Probleme lösen können.

Die Hauptbefunde nach Gauger (2001, S. 95) für die Simulation mit neuronalen Netzen sind:

- Probleme des Typs (LS, ~SN) werden nach dem Einlernen vollständig richtig generalisiert, alle 20 zufällig initialisierten Netze (also 100%) lösen die acht Transferaufgaben dieses Problemtyps.
- Probleme des Typs (~LS, ~SN) werden nach dem Einlernen fast völlig falsch generalisiert, nur in 10 von 160 Fällen (das sind 6% der Fälle) gelingt eine korrekte Generalisierung.
- Probleme des Typs (~LS, SN) werden nach dem Einlernen völlig falsch generalisiert (d.h. zu 100 %).

Die Befunde stimmen mit den Beweisen der Nichterlernbarkeit von linear nicht separierbaren und statistisch neutralen Problemen überein.

8. Zusammenfassende Interpretation und Ausblick

Aus der dargestellten Befundlage und weiteren Literaturbefunden lassen sich folgende Schlussfolgerungen begründen:

- 1. Die Erklärung assoziativer Lernprozesse mit dem Modell von Rescorla-Wagner und dessen Äquivalenz zu neuronalen Netzen mit dem Backpropagation Lernmechanismus gestattet es, in diesem Kontext Grenzen des assoziativen Lernens aufzuzeigen. Dies sind z.B. die Eigenschaften der linearen Separierbarkeit und der statistischen Neutralität, die demnach nicht über rein assoziatives Lernen ausgebildet werden können.
- 2. Im Gegensatz zu den neuronalen Netzen sind unsere Probanden in der Lage, auch Probleme mit diesen Eigenschaften zu lösen und für weitere Verhaltensanforderungen zu generalisieren. Dies ist ein deutlicher Beleg dafür, dass selbst in den einfachen Anforderungen des Erkennens von Merkmalsstrukturen neben den Assoziationsprozessen auch Strukturerkennungen im Sinne von Abstraktionsleistungen auftreten, die die beschriebenen neuronale Netze nicht leisten können.
- 3. Offen bleibt, wie bei Köhlers Haushuhn, die Frage, wann und warum im Lernen der reine Assoziationsprozess durch einen Abstraktionsprozess ergänzt wird. Eine erste Antwort bestünde darin, dass dies dann geschieht, wenn die Komplexität/Schwierigkeit der Anforderung zu groß wird, d.h. eine merkmalsbezogene Entscheidungsstruktur nicht erkennbar oder in der verfügbaren Gedächtnisspanne nicht erfassbar ist.

- 4. Bzgl. der merkmalsbezogenen Entscheidungsstruktur bietet Gauger (2001) einen Erklärungsansatz an, den er als Rekonstruktion der Objektmenge bezeichnet und der darauf basiert, an Hand der bedingten Wahrscheinlichkeiten der Input-/Output-Zuordnungen die Objektzuordnungen vollständig zu rekonstruieren. Ist dies der Fall, dann lernen auch die neuronalen Netze und die Anzahl der nicht rekonstruierbaren Objekte erhöht die Schwierigkeit. Da Wahrscheinlichkeiten mit Manifestationshäufigkeiten und damit Assoziationen verbunden sind, könnte der Grad der Abweichung einen Indikator für die Grenzen der Lernfähigkeit der neuronalen Netze und des Wechsels auf das Abstraktionsprinzip unserer Probanden begründen.
- 5. Bzgl. der verfügbaren Gedächtnisspanne kommt ein zweiter Gedanke zum Tragen, den Thornton mit seiner Typisierung von "justified problems" anspricht. Er kennzeichnet sie in den Input-/Outputbeziehungen wie folgt:
 - a) P(O) = p.
 - b) P(O|X) = p
 - c) P(O|g(X)) = p

Dabei sind die "direkten" Probleme a) und b) nach dem Assoziationsprinzip beherrschbar, während der Typ c im Wesentlichen dadurch bestimmt wird, dass die Funktion g erkannt werden muss. So ist z.B. auch von uns gefundenes unterschiedliches Lernverhalten der XOR-Funktion dadurch erklärbar, dass die schwer erkennbare Zuordnung ganz einfach wird, wenn man die Anzahl auftretender Merkmale als diskriminationsrelevant erkennt. Die Funktion anz $(X) = \sum x_i$ hat beim XOR den Wert 1 und ist bei den Parity-Problemen ungerade. Damit entsteht eine Entscheidungsstruktur, die nicht nur Merkmale miteinander in Beziehung setzt, sondern auf die Anzahl generalisiert. Das Erkennen von Merkmalsstrukturen wird damit auf die Ebene des hierarchisch-genetischen Prinzips von Duncker (1932) gehoben, nämlich der Umformung des Gegebenen bis die Lösung einsichtig wird.

Fazit 5:

Ausgehend von der Existenz unterschiedlicher Lernprinzipien Assoziation vs. Abstraktion wird menschliches Lernen entscheidend von der erfahrungsabhängigen, internen Repräsentation der Aufgabenstellung bestimmt. Für direkte Probleme, die über die bedingten Wahrscheinlichkeiten rekonstruierbar sind, ist das (im Rahmen der Gedächtnisspanne) die Merkmalsrepräsentation

mit dem Assoziationsprinzip, bei den mittelbaren Problemen wird die Entscheidungsstruktur hierarchische Merkmalsverknüpfungen erfordern, die dann Abstraktionsprozesse und Repräsentationswechsel enthalten. In diesem Fall gehen die interindividuellen Unterschiede hinsichtlich stationärer und prozeduraler Gedächtnisbestände entscheidend in den Lernprozess ein.

Ausblick:

Dieses Fazit begründet die Frage, wie man an dieser Stelle zu weiteren Erkenntnissen kommen kann. Wir wollen dabei weiterhin den Zugang des Vergleichs von menschlichem Lernverhalten mit künstlichen Modellen verfolgen und glauben, dass die Entwicklungen der Multi-Agenten-Systeme (MAS) ein geeigneter Zugang sein kann, um den Effekt unterschiedlicher Annahmen über den Lernprozess zu prüfen. Ein solches MAS formuliert z.B. ein Modell, in dem unterschiedliche Agenten in jeweils einer Merkmalsdimension agieren und versuchen, im Rahmen ihres vorgegeben Verhaltensrepertoirs eine Stellung zu beziehen, die im Kontext mit den anderen Agenten eine Problemlösung darstellt. Für "constraint satisfaction" Probleme (CSP) kennzeichnen Liu, Jing & Tang (2002) dies u.a. am Beispiel des n-Damen Problems (n Damen sind auf einem n × n Schachbrett korrekt zu positionieren wie folgt:

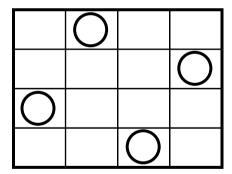


Abbildung 12: Schematische Darstellung einer Lösung des 4-Damen-Problems

Ein Multi-Agenten System kann dann wie folgt gekennzeichnet werden: Ein Agent ist eine virtuelle Einheit mit folgenden Eigenschaften:

- a. der Fähigkeit, in der Umgebung zu leben und zu handeln,
- b. der Fähigkeit, die lokale Umgebung wahrzunehmen,
- c. be driven by certain objectives
- d. einem gewissen Reaktionspotential.

Ein Multi-Agenten-System enthält folgende Elemente:

- a. Eine Umgebung E, in dem die Agenten leben,
- b. *Eine Menge R von Reaktionsregeln*, die die Interaktionen zwischen den Agenten und der Umwelt betreffen,
- c. Eine Menge $A = \{a_1, ..., a_n\}$ von Agenten. Für das n-Damen-Problem induziert dies ein Multi-Agenten-System mit dem Grundgedanken:
- Jeder Agent repräsentiert eine Variable und die Position auf der Domäne.
- Jeder Agent kann sich lokal innerhalb seiner Domäne bewegen und hat dafür ein eigenes Bewegungspotential.
- Jeder Agent strebt eine Position an, bei der seine Verstöße gegen die Nebenbedingungen 0 wird.
- die Anzahl der Verstöße wird zu jedem Zeitpunkt festgestellt.

3	4	² © ³	2
3	1 3 4	1	1004
1@4	4	134	2
3	² © ³	1	2

1	1	² ©	1
1	3	1	² ©
20	1	3	1
1	20	1	1

Abbildung 13:

Darstellung zur Funktion eines Multi-Agenten-Systems:

Links: Kennzeichnung der bedrohten Felder durch die Damen in der i-ten Zeile (i) bzgl. der anderen Zeilen

Rechts: Summe der Verstöße (violations) aus der Stellung der 4 Agenten. Ein Zielzustand ist dadurch gekennzeichnet, dass die Felder der Agenten 0 Verstöße aufweisen.

Für unsere weiterführenden Überlegungen ist wichtig, dass diese MAS es gestatten, den Agenten präzise Verhaltensmöglichkeiten aufzuerlegen und auch das Informationsangebot für die Verhaltenssteuerung vorzugeben. Damit sollte es möglich werden, den Einfluss oben beschriebener Eigenschaften und Effekte auf das Lernverhalten zu simulieren und mit menschlichem Lernverhalten zu vergleichen.

Damit sollten Agenten-Systeme auch den Übergang zu hierarchisch organisierten Merkmalsstrukturen ermöglichen, und damit einen neuen Zugang zur Modellierung kognitiver Prozesse, insbesondere individueller Lernstrategien, eröffnen.

Literatur

Aristoteles (1986). Aristoteles Werke in deutscher Übersetzung (Original etwa 330 v. Chr.). Berlin: Akademie-Verlag.

- Bourne, L.E. (1974). An inference model for conceptual rule learning. In: Solso, R.L. (Ed.), Theories in cognitive psychology: The Loyola Symposium, 231–255. Potomac, Maryland: L. Erlbaum Ass.
- Cheng, P.W. (1997). From covariation to causation: A causal power theory. Psychological Review, 104, 367–405.
- Clark, A. & Thornton, C. (1993). Trading spaces: Computation, representation, and the limits of learning. Cognitive and Computation Sciences, CSRP 291.
- Clark, A. & Thornton, C. (1997). Trading spaces: Computation, representation, and the limits of uniformed learning. Behavioral and Brain Sciences, 20, 57–90.
- Estes, W.K. u.a. (1989). Base rate effects in category learning: A comparison of parallel network and memory storage-retrieval models. Journal of Exp. Psychology; Learning, Memory and Cognition, 15, 556–571.
- Gauger, U. (2001). Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung von Lernprozessen mit neuronalen Netzen. Dissertationsschrift. Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II.
- Gluck, M. & Bower, G.H. (1988). From conditioning to category learning: An adaptive network model. Journal of Experimental Psychology: General, 117, 227–247.
- Jenkins, H. & Ward, W. (1965). Judgement of contingency between responses and outcomes. Psychological Monographs, 7, 1–17.
- Klix, F. (1971). Information und Verhalten. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Klix, F. (1980). Erwachendes Denken. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Klix, F. (Hrsg.) (1984). Gedächtnis, Wissen, Wissensnutzung. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Köhler, W. (1918). Nachweis einfacher Strukturfunktionen beim Schimpansen und beim Haushuhn. Über eine neue Methode zur Untersuchung des bunten Farbensystems. Abhandlungen der Königlich Pressischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse.
- Krause, B. (1997). Towards a theory of cognitive learning. In: Brzesinski, J., Krause, B.& Maruszewski, T. (Eds). Idealization in psychology. Amsterdam: Rodopi.
- Krause, B. (2000). Entwicklungstendenzen mathematischer Methoden in der psychologischen Forschung. Zeitschrift für Psychologie, 208, 357–384.
- Krause, B. (2001). Methoden der Beobachtung und Modellierung elementarer Lernund Gedächtnisprozesse. In: Krause, B. (Hrsg). Ebbinghaus-Symposium. ZeE-Publikationen. Reihe: Wissenschaftliche Veranstaltungen. Berlin: ZeE

- Krause, B. & Gauger, U. (1997). Learning and use of invariances: Experiments and network simulations. In: Brzesinski, J., Krause, B.& Maruszewski, T. (Eds). Idealization in psychology. Amsterdam: Rodopi.
- Kruschke, J.K. (1992). ALCOVE: An exemplar-based connectionist model for category learning. Psychological Review, 99, 22–44.
- Kruschke, J.K. (1993). Human category learning: Implications for backpropagation models. Connection Science, 5, 3–36.
- Liu, J. & Jing, H. & Tang, Y.Y. (2002). Multi-agent oriented constraint satisfaction. Artifical Intelligence, 136, 101–144.
- Minsky, M. & Papert, S. (1969). Perceptrons. Cambridge, MA: MIT Press.
- Neisser, U. & Weene, P. (1962). Hierarchies in consept attainment. Journal Exp. Psychology, 64, 640–645.
- Pavlov, I.P. (1927). Conditioned reflexes. New York: Dover.
- Pearce, J.M. (1997). Animal learning and cognition. Hove, East Sussex: Psychology Press.
- Rescorla, R. A, (1968). Pavlovian conditioning: It's not what you think it is. American Psychologist, 43, 151–160.
- Rescorla, R.A. & Wagner, A.R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. In: A.H. Black & W.F. Prokasy (Eds.), Classical conditioning II, pp. 216–271. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Salmon, W. C. (1965). The status of prior probabilities in statistical explanation. Philosophy of Science, 32, 137–146.
- Spence, K.W. (1936). The nature of discrimination learning in anumals. Psychological Review, 43, 427–449.
- Spence, K.W. (1937). The differential response to stimuli varying within a single dimension. Psychological Review, 44, 430–444.
- Thornton, C. (1996a). Backpropagation can't do parity generalization. Cognitive and Computation Sciences, CSRP 450.
- Thornton, C. (1996b). Parity: the problem won't go away. In: McCalla, G. (Ed.). Proseedings of AI-96, 362–374. Toronto: Canada.
- Tolman, E.L. (1911). Animal intelligence: Experimental studies. New York: Teacher's College.

Heinz Kautzleben

Die Zusammenarbeit der wissenschaftlichen Einrichtungen der ehemaligen sozialistischen Länder in Mittel- und Osteuropa auf dem Gebiet der Geodäsie und einige ihrer Ergebnisse¹

Mitteilung, vorgetragen in der Sitzung der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 20.02.2003

Vorbemerkung

Der Autor widmet diesen Bericht dem Gedenken an Jurij Dmitritsch Boulanger (1911–1996), die herausragende Persönlichkeit bei der Begründung und Organisation der Zusammenarbeit der Geodäten und Geophysiker in den ehemaligen sozialistischen Ländern.

Bei der Zusammenstellung des Berichtes wurden vielfach Materialien genutzt, die ursprünglich nur für den Dienstgebrauch bestimmt waren. Sie befinden sich seit ihrer Freigabe im persönlichen Archiv des Autors.

Die große Mehrheit der Aktivitäten, über die in diesem Artikel berichtet wird, erfolgte im Rahmen der beiden Organisationen, die abgekürzt (in russischer Sprache) als KAPG und Interkosmos bezeichnet wurden.

Die Kommission "KAPG" koordinierte die multilaterale Kooperation der Akademien der Wissenschaften der sozialistischen Länder zum komplexen Problem "Planetare geophysikalischen Forschungen". Dieses Problem war Bestandteil des allgemeinen Abkommens zwischen diesen Akademien über wissenschaftliche Zusammenarbeit. In diesem Abkommen vertraten die Akademien die wissenschaftlichen Einrichtungen ihrer Länder. Die KAPG wurde am 26. Mai 1966 in Leipzig gegründet, deren geistiges Haupt war Jurij D. Boulanger (Moskau, UdSSR).

"Interkosmos" bezeichnete das Programm der multilateralen Kooperation der sozialistischen Länder zur Erforschung und Nutzung des Weltraumes für friedliche Zwecke.² Zur Vereinfachung, aber nicht korrekt, wurde diese Be-

¹ Eine gekürzte Fassung des Berichtes wurde in englischer Sprache vorgetragen zur IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, September 2–8, 2001, Special Session E 1: Scientific in Geodesy and Geophysics in Central and Eastern European Countries (CEEC).

² s.a. H. Kautzleben: Das Programm Interkosmos und die Geo- und Kosmosforschung. In: Die Berliner Akademie nach 1945. Zeitzeugen berichten. Hrsg. von W. Hartung und W. Scheler. Berlin 2001 (Leibniz-Sozietät / Abhandlungen; 6)

zeichnung auch für die Organisation, die dieses Programm realisierte, verwendet. (Die sowjetische Seite verwendete die englische Version "Intercosmos" als Bezeichnung für ihre weltweite internationale Zusammenarbeit zur Weltraumforschung.) Die Kooperation zum Programm Interkosmos war Gegenstand eines Abkommens zwischen den Regierungen der sozialistischen Länder. In diesem handelten die Akademien als Vertreter ihrer Regierungen. Das Programm Interkosmos wurde im April 1967 in Moskau vereinbart. Die führende Persönlichkeit in Interkosmos auf den Gebieten Astronomie und Geodäsie war Frau Alla G. Massewitsch (Moskau, UdSSR).

An der Kooperation in beiden Formen beteiligten sich folgende Länder: Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken (UdSSR), Volksrepublik Polen (VRP), Deutsche Demokratische Republik (DDR), Tschechoslowakische Sozialistische Republik (ČSSR), Ungarische Volksrepublik (UVR), Sozialistische Republik Rumänien (SRR) und Volksrepublik Bulgarien (VRB). Teilweise beteiligten sich: Mongolische Volksrepublik (MVR, nur Interkosmos), Republik Kuba (Interkosmos, seit 1974 auch KAPG) und Sozialistische Republik Vietnam (SRV, nur Interkosmos).

Geringere Aktivitäten gab es auch innerhalb der bilateralen Kooperation zwischen den Universitäten und Technischen Hochschulen der teilnehmenden Länder.

Die Zusammenarbeit der Geodätischen Dienste der sozialistischen Länder betraf auf dem Gebiet der Forschung hauptsächlich wissenschaftlich-technische Probleme. Darüber wird in diesem Artikel nicht berichtet.

Anfänge, Meilensteine und Ende der Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit in allen ihren Formen war in die geopolitische Entwicklung in Europa und Asien eingebunden. Sie muß auch im Rahmen der Entwicklungen auf dem Gebiet der Geophysik gesehen werden.³ Daran waren zahlreiche Geodäten an führenden Stellen tätig.

Die Anfänge wurden ausgelöst durch die politische Teilung der Welt in Ost und West. Als Folge der Ergebnisse des 2. Weltkrieges war die UdSSR ausreichend stark geworden, um der Übermacht des Westens zu begegnen. In den frühen Fünfzigern war die Bildung der geopolitischen Blöcke abge-

³ s.a. Vorträge aus der gemeinsamen Veranstaltung der Klasse Geo- und Kosmoswissenschaften der Akademie der Wissenschaften der DDR und des Nationalkomitees für Geodäsie und Geophysik der DDR "100 Jahre internationale geophysikalische Forschungsprogramme" am 17.6.1982. Veröffentlicht im Bulletin "Aus der Arbeit von Plenum und Klassen der Akademie der Wissenschaften der DDR", Berlin 7 (1982) 7

schlossen und zum Hauptziel des Konfliktes zwischen Ost und West der Schutz jedes Blockes nach Innen und Außen geworden.

In allen Ländern des Blocks, der von der UdSSR dominiert wurde, verliefen zwei Prozesse, die wichtig für den hier diskutierten Zusammenhang wa-

in der Geodäsie und Geophysik – es wurden nationale Dienste und wissenschaftliche Einrichtungen aufgebaut bzw. wiederaufgebaut, die in der Lage und gezwungen waren, internationale Kontakte herzustellen und die internationale Kooperation zu pflegen;

und allgemein – in jedem Land wurde die traditionelle Akademie der Wissenschaften so umgebildet, daß sie zur führenden wissenschaftlichen Körperschaft und zur Vertretung aller wissenschaftlichen Einrichtungen des Landes in den nichtstaatlichen internationalen wissenschaftlichen Organisationen wurde

In den fünfziger Jahren begann die UdSSR als neue Großmacht zu handeln – auf dem Gebiet der Geowissenschaften, indem sie ihre neuen ozeanographischen Forschungsschiffe einsetzte, um die Weltmeere zu erforschen, die Sowjetischen Antarktisexpeditionen organisierte sowie Raketen und künstlichen Satelliten startete, um die Hochatmosphäre und den Weltraum zu erforschen.

In der gleichen Zeit wurden die wissenschaftlichen Einrichtungen der sozialistischen Länder behindert, an den Aktivitäten der internationalen wissenschaftlichen Unionen im System des International Council of the Scientific Unions (ICSU), unter ihnen die International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) und ihre International Association of Geodesy (IAG), teilzunehmen.

In dieser Atmosphäre organisierte der ICSU das Internationale Geopysikalische Jahr (engl. abgek. IGY) 1957/1958 und die Internationale Geophysikalische Kooperation (engl. abgek. IGC) 1959 als eine gemeinsame Aktion von Ost und West. Einige Informationen über das IGY/die IGC sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Ein Teil dieses bedeutenden weltweiten Unternehmens war die regionale geophysikalische Kooperation in der Osteuropäisch-Asiatischen Region von IGY/IGC. In allen Ländern dieser Region wurden neue leistungsfähige Forschungseinrichtungen geschaffen.

International Geophysical Year (IGY),

vom 1. Juli 1957 bis zum 31. Dezember 1958, verlängert als International Geophysical Cooperation (IGC) bis zum 31. Dezember 1958;

Special Committee for the IGY (franz. CSAGI),

gegründet 1952 durch den ICSU, beendete seine Aktivität am 30. Juni 1959, Präsident: S. Chapman, sein direkter Nachfolger war das ICSU Special Committee for the Inter-Union Cooperation in Geophysics (ICG), dessen Tätigkeit endete 1967, Präsidenten: S. Chapman (1959), W.W. Beloussow (1959–1961), W.J.G. Beynon (1961–1967);

IGY-Disciplines, durch das CSAGI beschlossen:

World Days, II. Meteorology, III. Geomagnetism, IV. Airglow and Aurora, V. Ionosphere, VI. Solar Activity, VII. Cosmic Rays, VIII. Longitude and Latitude*, IX. Glaciology, X.Oceanography, XI. Rockets and Satellites*, XII. Seismology, XIII. Gravimetry*, XIV. Radioactive Radiation (* relevant für die Geodäsie)

Geographische Regionen, durch das CSAGI beschlossen:

Antarktis, Arktis, Westliche Hemisphäre, Osteuropäisch-Asiatische Region, Afrika südlich der Sahara, Westpazifische Region

Hauptsächliche Faktoren des Einflusses auf die weltweite Kooperation direkt nach IGY/IGC:

Wissenschaftliche Komitees, die vom ICSU eingerichtet wurden:

SCAR – für die Antarktisforschung, SCOR – für die Erforschung der Ozeane, COSPAR – für die Weltraumforschung, SCOSTP – für die solar-terrestrische Physik

Neue große internationale Programme:

International Year of the Quiet Sun 1964/1965;

World Weather Watch (1963–), Global Atmospheric Research Program (1967–);

Upper Mantle Project (1960/64–1970)

Traditionelle Aktivitäten der internationalen wissenschaftlichen Unionen im ICSU-System: IUGG usw.

Aktivitäten der zwischenstaatlichen Organisationen: UNESCO, WMO usw.

Tabelle 1:

Einige Informationen über das IGY/die IGC

In den Sechzigern wurde die regionale Kooperation wie während des IGY/der IGC fortgeführt, aber auch erweitert, insbesondere um die Linien des Projektes Oberer Erdmantel (engl. UMP), das das neue große internationale Programm auf dem Gebiet der Geophysik der festen Erde von 1960/64 bis 1970 war. Es begann die multilaterale Kooperation der Akademien der sozialistischen Länder, als deren Teil wurde im Mai 1966 die Kommission KAPG gebildet. Im April 1967 bestätigten die Regierungen der sozialistischen Länder das Programm Interkosmos.

In den siebziger Jahren entwickelte sich die Kooperation unter der Führung der KAPG und die im Programm Interkosmos stabil. Es gab Erfolge und Alltagsprobleme. Gegen Ende des Jahrzehnts begannen die geodätischen Dienste sich aus der KAPG zurückzuziehen.

Im Laufe der achtziger Jahre traten in wachsendem Maße Schwierigkeiten, Beschränkungen und Mängel bei der Versorgung mit Instrumenten auf, was nicht mehr durch höhere personelle Aktivitäten ausgeglichen werden konnte

Um das Jahr 1990 endete die wissenschaftliche Kooperation, verursacht durch den Zerfall des sozialistischen Blocks, den Zusammenbruch der sozialistischen Regimes in der Region, den Anschluß der DDR an die Bundesrepublik Deutschland und schließlich den Zerfall der Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken.

Die Kooperation in der Osteuropäisch-Asiatischen Region des IGY/der IGC von 1956 bis 1966

Teilnehmer waren die relevanten wissenschaftlichen Einrichtungen aus den Ländern UdSSR, VRP, DDR, ČSSR, UVR, SR Rumänien, VRB, Föderative Republik Jugoslawien, MVR und Volksrepublik China.

Die Kooperation in der Region wurde durch die relevante Regionalkommission koordiniert, deren Vorsitzender J. D. Boulanger (UdSSR) und deren wissenschaftlicher Sekretär Horst Philipps (DDR) war. Die Organisation arbeitete mit regelmäßigen Regionalkonferenzen und formlosen Absprachen, die häufig auf Angeboten und der Unterstützung durch die sowjetische Seite beruhten. Es gab keinen formellen Arbeitsplan.

Diese Kontakte wurden von der sowjetische Seite auch dazu genutzt, ihre Partner zur Teilnahme an ihren Forschungsaktivitäten außerhalb der Osteuropäisch-Asiatischen Region, insbesondere auf den Weltmeeren und in der Antarktis, einzuladen. Diese Angebote wurden von mehreren Partnern, sehr konsequent von Seiten der DDR angenommen und über lange Zeit genutzt.

Die Aktivitäten der regionalen Kooperation folgten den Hauptlinien des Programms des IGY/der IGC. Diese wurden modifiziert durch die speziellen Möglichkeiten und Interessen der Region und später erweitert durch die Hauptlinien des Programms Oberer Erdmantel.

Laufende Aktivitäten waren: breite Zusammenarbeit auf dem Gebiet der solar-terrestrischen Physik, einschließlich der Nutzung der Satellitensignale, sowie in der Meteorologie und Physik der Atmosphäre und in der Ozeanographie; Zusammenarbeit bei der Erforschung der Erdgezeiten, der Polbewegungen und der Variationen der Länge (Zeitdienste); die Daten wurden hauptsächlich zum Weltdatenzentrum B in Moskau gesandt; Kooperation auf dem Gebiet der Gravimetrie, Vergleiche der Gravimeter, Unterstützung der Absolutmessung der Schwerebeschleunigung in Potsdam.

Als Erweiterung und neue Tätigkeitsfelder in der Kooperation waren zu verzeichnen: die schnell wachsenden Forschungen zu den rezenten Bewegungen der Erdkruste (engl. abgek. RCM) – ein großes Ereignis war die Organisation der 1. Internationalen Konferenz über RCM in Leipzig 1961; zahlreiche geophysikalische Untersuchungen der tiefen Kruste und des oberen Mantels der Erde unter Einsatz der seismischen Tiefensondierung, der geomagnetischen Tiefensondierung und der Magnetotellurik; ausgedehnte Koordinierung und Kooperation auf dem Gebiet der Seismologie.

Die Kooperation brachten den teilnehmenden Ländern viele Vorteile – um nur einige zu nennen: die ausgedehnte Nutzung der zahlreichen neuen Forschungskapazitäten, die in den sozialistischen Ländern während des IGY/der IGC geschaffen worden waren, die Unterstützung durch die großen Forschungskapazitäten der Sowjetunion, den Zugang zu den mannigfaltigen geographisch-geologischen Situationen in der gesamten Region.

Alle diese Bereiche wurden Teil des Programms der KAPG.

Die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Bahnverfolgung (engl. Tracking) der Satelliten entwickelte sich getrennt davon.

Im Jahre 1957 hatten über 200 optische Tracking-Stationen in 20 Ländern, darunter viele nicht-professionelle Stationen, damit begonnen, regelmäßig die sowjetischen Satelliten zu beobachten, hauptsächlich mit dem Ziel, diese künstlichen Sterne im Weltraum nicht zu verlieren. Die Stationen waren zumeist mit Kameras ausgerüstet, die von der Akademie der Wissenschaften der UdSSR kostenlos geliefert worden waren. Diese Bahn-Beobachtungen entwickelten sich fortschreitend zu einer systematischen vielfältigen Forschung, die für Astronomie, Geodäsie und Geophysik sehr interessant wurde.

Im Jahre 1962 überführten die Akademien der Wissenschaften der sozialistischen Länder diese formlose Zusammenarbeit in eine multilaterale Kom-

mission mit der Bezeichnung "Optische Bahnverfolgung der künstlichen Satelliten", diese wurde 1965 in "Wissenschaftliche Untersuchungen auf der Grundlage von Daten des Satelliten-Tracking" geändert. Mit der Leitung dieser Kommission wurde der Astronomische Rat der Akademie der Wissenschaften der UdSSR betraut, als Vorsitzende der Kommission Frau A. G. Massewitsch berufen

In den späten Sechzigern, als das Programm Interkosmos vereinbart wurde, wurde diese Kommission in dessen Arbeitsgruppe "Kosmische Physik" eingegliedert, und zwar als die Sektion Nr. 4 mit der Bezeichnung "Nutzung der Daten des Satelliten-Tracking für Geodäsie und Geophysik" und mit Frau Massewitsch als Vorsitzende. In den Achtzigern wurde als ihre Nachfolgerin Frau Surija K. Tatewjan (Akademie der Wissenschaften der UdSSR) berufen.

Die von der KAPG koordinierte Kooperation – Organisationsprinzipien

Teilnehmer waren die relevanten Institute der Akademien, aber auch Institute der Universitäten und Hochschulen, Forschungsinstitute der geodätischen und der hydrometeorologischen Dienste, Forschungsorganisationen der Industrie usw. – insgesamt über 250 Einrichtungen, fast 40 auf dem Gebiet der Geodäsie und Gravimetrie.

Die Gremien zur Koordinierung waren: auf nationaler Ebene jeweils das nationale Koordinierungskomitee, das der Akademie der Wissenschaften des Landes zugeordnet war und von dieser Akademie angeleitet wurde, sowie auf internationaler Ebene die Kommission KAPG, die aus den Vertretern der teilnehmenden Akademien bestand mit dem Vertreter der federführenden Akademie der Wissenschaften der UdSSR als Vorsitzendem. Während des gesamten Zeitraums, in dem die KAPG bestand, vertrat J. D. Boulanger die sowietische Akademie und diente als Vorsitzender der Kommission. Er wurde in der KAPG wie schon zuvor in der regionalen Kooperation in IGY/IGC aktiv unterstützt durch Artiom D. Powsner, den Wissenschaftlichen Sekretär des Sowjetischen Geophysikalischen Komitees.

Die Kommission wählte die Funktionäre und bestätigte die Arbeitspläne, die von den Untergruppierungen der Kommission vorbereitet wurden. Diese Pläne ermöglichten gemeinsame Aktivitäten vieler Art, Treffen, Reisen, den Austausch von Daten und Ergebnissen.

Als Untergruppierungen bestanden von 1966 bis 1980 anfänglich neun, später acht Unterkommissionen, die wiederum mehrere Arbeitsgruppen hatten. Im Jahre 1980 ordnete die KAPG ihren Struktur- und Arbeitsplan um. Dabei wurden anstelle der mehr disziplinär ausgerichteten Unterkommissionen und Arbeitsgruppen 18 Projekte und vier Programme mit entsprechenden Arbeitsgruppen eingeführt; weiterhin wurden fünf Kuratoren benannt, um im Rahmen von Forschungskomplexen das Zusammenwirken bei der Bearbeitung der Projekte und Programme und komplexe Studien zu fördern. Nach kleineren Änderungen im Jahre 1985 umfaßte der Plan 15 Projekte und sechs Programme.

Die Funktionsträger der KAPG waren erstens die Mitglieder des Büros: der Vorsitzende, zwei stellvertretende Vorsitzende, der Wissenschaftliche Sekretär und einige weitere Mitglieder und zweitens die Koordinatoren der Untergruppierungen. In Tabelle 2 werden die Mitglieder und die Hauptfunktionsträger der KAPG aufgeführt. Tabelle 3 enthält die Liste der Unterkommissionen und der Forschungskomplexe.

Vertreter der nationalen Akademien der Wissenschaften bei den jährlichen/ zweijährlichen Tagungen der KAPG:

Akademie der UdSSR: J. D. Boulanger

Polnische Akademie: W. Parczewskij, S. Krynski, J. Kruczik

Akademie der DDR: H. Peschel, H. Kautzleben

Tschechoslowakische Akademie: A. Zatopek, J. Picha, V. Bucha

Ungarische Akademie: A. Tarczy-Hornoch, G. Barta, B. Bell, A. Adam

Akademie von Rumänien: S. Stefanescu, I. Cornea u.a.

Bulgarische Akademie: V. Hristov, I. Petkov

Akademie von Kuba: R. Jimenes, D. Berdellans, B. Lazo, L. Penalver, G. Oliva

Vorsitzender der Kommission:

D. Boulanger (Akademie der UdSSR, 1966–1990)

Stellvertretende Vorsitzende:

E. A. Lauter (Akademie der DDR, 1966–1975), W. Parczewski (1966–1983),

V. Bucha (1975–1990), H. Kautzleben (1983–1980)

Wissenschaftliche Sekretäre:

W. Krzeminski (Polnische Akademie, 1966–1981), V. Vyskocil (Tschechoslowakische Akademie, 1981–1990)

Weitere Mitglieder des Büros:

Rotter (1966–1985), H. Kautzleben (1975–1983), A. Adam (1983–1990), I. Cornea (1983–1990), G. Oliva (Akademie von Kuba, 1983–1990), I. Petkov (1983–1990)

Tabelle 2:

Mitglieder und Hauptfunktionsträger der KAPG

Von 1966 bis 1980 – Unterkommissionen:

Oberer Mantel und Kruste der Erde / Dynamik und innere Struktur der Erde (11 Arbeitsgruppen)

Solar-terrestrische Physik (5 Arbeitsgruppen)

Rezente Bewegungen der Erdkruste (5 Arbeitsgruppen)

Erdbebenforschung und seismische Rayonierung (6 Arbeitsgruppen)

Internationaler Datenaustausch (2 Arbeitsgruppen)

Geodäsie und Gravimetrie (7 Arbeitsgruppen)

Physik der Atmosphäre und Meteorologie (6 Arbeitsgruppen)

Hydrologie (3 Arbeitsgruppen)

Ozeanologie (in der KAPG aktiv von 1966–1970)

Von 1981 bis 1990 – Forschungskomplexe:

Seismologie (3 Projekte, 1 Programm)

Lithosphäre und Geodynamik (4 Projekte, 1 Programm)

Atmosphäre und Hydrosphäre (4 Projekte)

Solar-terrestrische Beziehungen (4 Projekte, 2 Programme)

Informatik und mathematische Geophysik (2 Programme)

Tabelle 3: Unterkommissionen und Forschungskomplexe der KAPG

Die Kommission kam jährlich, später jedes zweite Jahr zu einer Arbeitstagung zusammen. Diese waren immer mit wissenschaftlichen und administrativen Zusammenkünften der Unterkommissionen und Arbeitsgruppen sowie wissenschaftlichen Symposien über allgemeine Themen verbunden.

Bei der Finanzierung der Kooperation war das grundsätzliche Problem zu überwinden, daß die Währungen der teilnehmenden Länder nicht frei konvertierbar waren. Es gab kein gemeinsames Eigentum und keine gemeinsamen Fonds. Eine Lösung wurde auf folgende Weise erreicht:

Jeder Teilnehmer trug alle Kosten seiner Aktivität unter Verwendung seiner nationalen Währung. Um Besuche von Wissenschaftlern aus den anderen Ländern zu ermöglichen, übernahm die besuchte Einrichtung für seine ausländischen Gäste die Kosten für Übernachtung und Tagegelder und bezahlte auch die Kosten für deren Reisen innerhalb ihres Landes. Die besuchte Einrichtung zahlte ihren Gästen weder Gehälter noch Vergütungen für die Nutzung ihrer Instrumente, noch erhielt sie von ihnen irgendwelche Vergütungen für ihre eigenen Leistungen. Der Umfang des Austauschs von Besuchern zwischen den teilnehmenden Ländern mußte im Voraus in den jährlichen Treffen der Kommission vereinbart werden. Die nicht aufteilbaren Kosten der gemeinsamen Arbeit mußten von der Einrichtung jenes Landes getragen werden, wo diese ausgeführt wurden. Jede Seite sorgte sich um einen erträglichen Umfang seines Beitrages.

Die Untergruppierungen der KAPG auf dem Gebiet der Geodäsie

Von den anfangs neun, später acht Unterkommissionen der KAPG in den Jahren 1966 bis 1980 waren zwei auf dem Gebiet der Geodäsie und Gravimetrie aktiv:

- die Unterkommission 3: Rezente Bewegungen der Erdkruste (RCM) ihr Koordinator war von 1966 bis 1971 J. Mescherikow (Akademie der Wissenschaften der UdSSR) und von 1971 bis 1980 P. Vyskocil (Geodätischer Dienst der ČSSR) – mit den Arbeitsgruppen:
 - $3.1\,$ Untersuchung der RCM in Osteuropa / Untersuchung der RCM in großen Territorien
 - 3.2 Untersuchung der RCM in Testgebieten
 - 3.3 Untersuchung der Gezeiten und der nicht-gezeitenartigen Veränderungen der Erdkruste
 - 3.4 Untersuchung der Veränderungen des Meeresniveaus
 - 3.5 Interpretation der RCM
- und die Unterkommission 6: Geodäsie und Gravimetrie ihr Koordinator war von 1966 bis 1974 J. Szmielev und von 1974 bis 1980 S. Krynski (beide Geodätischer Dienst der VRP) mit den Arbeitsgruppen:
 - 6.1 Gravimetrische Untersuchungen
 - 6.2 Physikalische Geodäsie
 - 6.3 Präzisionsnivellement / Geodätische Methoden zur Bestimmung der Höhenänderungen
 - 6.4 und 6.5 (beide haben ihre Tätigkeit praktisch nicht begonnen)
 - 6.6 Gravitationskonstante, Masse und mittlere Dichte der Erde
 - 6.7 Elektromagnetische Methoden zur Entfernungsmessung und Korrektionen der Meßfehler infolge äußerer Bedingungen
 - 6.8 Erdrotation (eingerichtet 1971)
 - 6.9 Methoden zur Gestaltung moderner fundamentaler geodätischer Netze.

Nach der Umstrukturierung der Arbeitspläne der KAPG im Jahre 1980 gab es auf dem Gebiet der Geodäsie und Gravimetrie ein Projekt und ein Programm; beide waren dem Forschungskomplex II: Lithosphäre und Geodynamik zugeordnet, dessen Kurator V.A. Magnizkij (Akademie der Wissenschaften der UdSSR) war:

- das Projekt II-4: Rezente Bewegungen der Erdkruste sein Koordinator war P. Vyskocil (Geodätischer Dienst der ČSSR) – mit dem zugeordneten Subprojekt
 - II-4.1: Untersuchung der Dynamik der europäisch-asiatischen Lithosphä-
- und das Programm II-5: Systematische Beobachtung der planetaren Dynamik der Erde und der mit ihr verknüpften globalen Deformationen, Modernisierung der Beobachtungsmethoden, Datenbearbeitung, Theorie und Interpretation – sein Koordinator war H. Kautzleben (Akademie der Wissenschaften der DDR) – mit vier zugeordneten Subprogrammen
 - II-5 1· Erdrotation
 - II-5 2· Nicht-gezeitenartige Schwereänderungen in Mittel- und Osteuropa und in Kuba
 - II-5.3: Erdgezeiten
 - II-5.4: Theorie der Figur und der Dynamik der Erde.

Das Programm Interkosmos

Dieses Programm war – genau gesagt – ausgerichtet auf die Erforschung des Weltraumes und auf die wissenschaftlichen Probleme, die mit der Nutzung des Weltraumes mit Hilfe von Raketen, künstlichen Satelliten der Erde und Weltraumsonden verbunden sind. Tabelle 4 zeigt die Liste der sechs permanenten Arbeitsgruppen.

Kosmische Physik

Sektionen: I.1 Kosmische Plasmen, I.2 Astrophysikalische Forschungen, I.3 Erforschung der Objekte des Sonnensystems, I.4 Nutzung der Daten des Satelliten-Tracking für Zwecke der Geophysik und Geodäsie, I.5 Konstruktion kosmischer Instrumente, I.6 Datentelemetrie bei kosmischen Experimenten,

I.7 Kosmische Materialwissenschaften

Kosmische Biologie und Medizin (3 Sektionen)

Kosmische Meteorologie (3 Sektionen)

Kosmische Nachrichtenverbindungen (6 Themen)

Fernerkundung der Erde mit aerokosmischen Mitteln (mehrere Projekte) Interdisziplinäre Probleme der ständigen Arbeitsgruppen I, IV und V

Tabelle 4:

Ständige Arbeitsgruppen zum Programm Interkosmos

Auf den ersten Blick erscheinen die Organisationsprinzipien dieser Kooperation ähnlich denen, die in der multilateralen Kooperation der Akademien der Wissenschaften verwendet wurden. Es gab jedoch wesentliche Unterschiede, die bedingt waren durch die dominierende Rolle der UdSSR als dem Besitzer der Weltraumtechnologie, die sehr strengen Sicherheitsbestimmungen und die entscheidende Rolle der Weltraumtechnik. Da das Programm Interkosmos Gegenstand eines Abkommens zwischen den Regierungen der sozialistischen Länder war, wurden die Aktivitäten in dessen Rahmen bei der Finanzierung und der Versorgung mit Ausrüstungen bevorzugt, aber andererseits auch streng kontrolliert.

In der Realität erwiesen sich die genannten Vorzüge, die das Programm Interkosmos bot, als weniger günstig für die Entwicklung der Satellitengeodäsie. Die Satellitengeodäsie (oder Kosmische Geodäsie, wie sie dort in Anlehnung an den Sprachgebrauch in der UdSSR hieß) wurde im Rahmen der Arbeitsgruppe "Kosmische Physik", und zwar nur als Teilgebiet in deren Sektion 4 "Nutzung von Daten des Satelliten-Tracking für Geodäsie und Geodynamik" bearbeitet. Die Einbeziehung der klassischen und der Weltraumtechnologie in die verschiedenen Organisationsformen KAPG und Interkosmos war nachteilig für die Entwicklung der Geodäsie als Ganzes. Die Schwierigkeiten konnten aber in solchen Einrichtungen wie dem Zentralinstitut für Physik der Erde der Akademie der Wissenschaften der DDR, in denen beide Typen von Technologie entwickelt und genutzt wurden, verringert werden.

Im Rahmen von Interkosmos wurden bezüglich Geodäsie und Geodynamik Forschungen auf folgenden Gebieten koordiniert: Untersuchung neuer Aspekte der kosmischen Geodäsie und Geodynamik, Untersuchungen der Dichtevariationen in der Atmosphäre in Verbindung mit den Präzisionsbestimmungen der Satellitenbahnen, Verbesserung der vorhandenen und Entwicklung neuer hochpräziser Ausrüstungen für das Satelliten-Tracking. Charakteristische Unternehmungen waren: Wissenschaftliche Treffen, Austausch von Daten und wissenschaftlichen Ergebnissen, Durchführung von vereinbarten Beobachtungskampagnen, gegenseitige Unterstützung bei der Entwicklung von Instrumenten. Zur Untersuchung spezieller Probleme wurden in der Sektion Studiengruppen mit eigenen Koordinatoren organisiert, z.B. für Laser-Ausrüstung (K. Hamal, ČSSR), dynamische Methoden der Satellitengeodäsie (H. Montag, Akademie der Wissenschaften der DDR), Dichtevariationen in der Atmosphäre (Ill, UVR).

Beziehungen zur weltweiten Entwicklung der Wissenschaft

Weder die KAPG noch Interkosmos verstanden sich als Teil einer der weltweiten internationalen wissenschaftlichen Organisationen. Es bestand zu keiner Zeit irgend eine formelle derartige Beziehung. Nur die Einrichtungen der Länder konnten es in ihrer eigenen Verantwortung erreichen, an der Arbeit solcher Organisationen mitzuwirken.

Ein großes Hindernis für die weltweite Verbreitung und Akzeptanz der Ergebnisse, die von den Wissenschaftlern der sozialistischen Länder erzielt wurden, war die Sprachbarriere. In der Kooperation, die von der KAPG und in Interkosmos koordiniert wurde, und in den weitaus meisten Publikationen ihrer Ergebnisse wurde die russische Sprache verwendet.

Wegen des großen Mangels an "harten" Devisen konnten die Wissenschaftler aus den sozialistischen Ländern nur selten an den Treffen der weltweiten Organisationen teilnehmen. Ein kleiner Ausgleich wurde dadurch erreicht, daß die Einrichtungen der sozialistischen Länder möglichst oft innerhalb ihres jeweiligen Landes internationale wissenschaftliche Tagungen organisierten, die für Teilnehmer aus der ganzen Welt offen war.

Eine gut bekannte und effektive Aktivität dieser Art war auf dem Gebiet der Geodäsie die Reihe der 6 internationalen Symposien über "Geodäsie und Physik der Erde", die vom Zentralinstitut für Physik der Erde der Akademie der Wissenschaften der DDR in Potsdam und an einigen anderen Orten in der DDR von 1970 bis 1988 veranstaltet wurden. Diese Symposien wurden in die Arbeitspläne der KAPG und des Programms Interkosmos aufgenommen und wurden von der IAG mit unterstützt. Die zu diesen Symposien gehaltenen Vorträge wurden vom Veranstalter in englischer Sprache publiziert. Sie boten (bieten) auch den Fachkollegen, die mit der russischen Sprache nicht vertraut sind, die Möglichkeit, innerhalb kurzer Zeit einen guten Überblick über die Ergebnisse der Geodäten in den sozialistischen Ländern zu erlangen.

Im vorliegenden Bericht ist es nicht möglich im Detail darzulegen, wie weit die Arbeitspläne der KAPG und von Interkosmos an die großen internationalen Programme und die Aktivitäten der internationalen Unionen angepaßt wurden. Um eine gewisse Vorstellung von der Übereinstimmung - und auch von den Lücken – auf dem Gebiet der Geodäsie zu erhalten, mag es genügen, die Struktur der IAG und die relevanten Teile in den Strukturen der KAPG und von Interkomos zu vergleichen.

In den Achtzigern gab es weitgehende Übereinstimmung auf dem Gebiet der Satellitengeodäsie zwischen den Aktivitäten der Sektion "Nutzung der Daten des Satelliten-Tracking ... "von Interkosmos und der Commission VIII: Space Techniques in der Sektion II der IAG. Weitgehende Übereinstimmung gab es auch auf den Gebieten der Gravimetrie und der Geodynamik zwischen den relevanten Gruppen der KAPG und den IAG-Sektionen III (Commission III: Gravimetry) und V (Commissions V: Earth Tides und VII: RCM und IERS: Internationaler Erdrotations-Dienst). Schwache Übereinstimmung gab es zwischen den relevanten Gruppen der KAPG und den IAG-Sektionen I (Commission I: Continental Networks) und IV (einige Spezial-Studien-Gruppen).

Ein Versuch zur Bewertung

Es erhebt sich die Frage, auf welche Weise und in welchem Ausmaß man die Zusammenarbeit, die über fast vierzig Jahre lebendig war, bewerten kann. Welche Grundlagen gibt es dafür? Allgemein läßt sich dazu folgendes sagen:

Jahresberichte über die Aktivitäten der KAPG und in Interkosmos kann man in den Bulletins "Materialien der Jahrestagung der KAPG" und in den "Informationsbulletins", die von Interkosmos herausgegeben wurden, finden. Wegen des abrupten Endes der Kooperation infolge der politischen Entwicklung, wurden für beide Organisationsformen als Ganzes keine Abschlußberichte angefertigt.

Persönliche Erinnerungen der Wissenschaftler, die in der Entwicklung der KAPG oder der relevanten Teile des Programms Interkosmos aktiv waren, sind nicht verfügbar, zumindest nicht als Veröffentlichung. Viele von ihnen sind bereits verstorben.

Zum Glück wurden alle wissenschaftlichen Ergebnisse der Kooperation in wissenschaftlichen Treffen vorgetragen und/oder in wissenschaftlichen Zeitschriften oder speziell herausgegebenen Sammelbänden publiziert. Als Beispiel aus dem Gebiet der Geodäsie kann man anführen, daß die Sektion "Nutzung der Daten des Satelliten-Tracking …" 20 wissenschaftliche Symposien und zahlreiche Seminare und Kolloquien zu speziellen Themen organisiert und 29 Bände der internationalen wissenschaftlichen Zeitschrift "Beobachtungen der künstlichen Erdsatelliten" herausgegeben hat.

Es gab wissenschaftliche Veranstaltungen in vielfältiger Form: sie waren intern oder auch offen für Gäste, die an der Kooperation nicht teilnahmen; sie wurden im nationalen oder im internationalen Rahmen durchgeführt. Sie waren wichtig für den aktuellen Erfahrungsaustausch. Ihre Ergebnisse können heute noch genutzt werden, sofern die Vorträge in gesammelter Form veröffentlicht wurden.

Zur Veröffentlichung der Ergebnisse ihrer Arbeit im Rahmen der KAPG oder Interkosmos nutzten die Autoren viele verschiedene wissenschaftliche Zeitschriften, nationale und internationale, allgemeine und spezielle. Es gibt zahlreiche spezielle Sammelbände mit Artikeln, die durch die KAPG oder Interkosmos direkt oder durch einen Teilnehmer im Auftrage der KAPG oder von Interkosmos herausgegeben wurden. Darunter befinden sich die Vortragssammlungen der zahlreichen Veranstaltungen.

Es ist sehr mühsam, diese Vielfalt zu erschließen. Nur Interkosmos hat regelmäßig Bibliographien veröffentlicht, die KAPG leider nur einige wenige, und diese beziehen sich nur auf Spezialgebiete. Schon die Anzahl der Veröffentlichungen läßt sich kaum abschätzen. Eine grobe Schätzung ergibt allein für die Artikel mit Ergebnissen zur Geodäsie eine Zahl von etwa zehntausend.

Um konkret zu beurteilen, was die Veröffentlichungen über die Ergebnisse der Kooperation aussagen, muß man sie im einzelnen analysieren. Darin unterscheidet sich die Kooperation im Rahmen der KAPG und von Interkosmos von keiner anderen Form der wissenschaftlichen Zusammenarbeit.

Die Themen in den Plänen der KAPG und von Interkosmos waren zum größten Teil solche, an denen alle Teilnehmer auf eine streng koordinierte Weise arbeiteten. Die Ergebnisse wurden gemeinsam veröffentlicht. Gewisse Teile der Pläne der KAPG und von Interkosmos hatten den Charakter einer Zusammenstellung wissenschaftlicher Themen, an denen Einrichtungen aus zwei oder mehr verschiedenen sozialistischen Ländern gern arbeiten wollten und nach Partnern suchten, um die Problem und Ergebnisse zu diskutieren. Dabei waren die Effekte der Kooperation: Bewertung, Verminderung von Fehlern, Anregung, fortgesetztes professionelles Training. Gewöhnlich gab es bei den Veröffentlichungen zu derartigen Themen nur einen Autor oder eine Gruppe von Autoren aus einer Einrichtung. Eine dritte Gruppe bestand aus Themen, bei denen eine oder mehrere der beteiligten Einrichtungen die anderen unterstützte. Dabei wurden gewöhnlich die Ergebnisse gemeinsam veröffentlicht

Die Schlußfolgerung aus diesen Betrachtungen ist, daß jede Bewertung der Kooperation nur die persönliche Sicht des Bewerters wiedergeben kann. Der Autor des vorliegenden Berichts bewertet die Kooperation aus der Position eines aktiv Beteiligten. Die Bewertung unter dem Aspekt der Nachwirkungen muß von jüngeren Kollegen vorgenommen werden und von solchen, die heute verantwortlich sind.

Einige Ergebnisse und die Wirkung

A. Effektive Unterstützung für die traditionellen Aktivitäten

Die regionale Kooperation, die im IGY/in der IGC begann und durch die Bildung der KAPG und von Interkosmos gefestigt wurde, unterstützte effektiv, daß die folgenden traditionellen Forschungen in den Ländern der Region nach dem Ende des 2. Weltkrieges schnell wieder begonnen und danach erfolgreich fortgeführt wurden: a) Untersuchung der Erdgezeiten; b) Untersuchung der Polbewegung und der Zeitvariationen / geodätische Astronomie; c) Schweremessungen, absolute und relative.

Gewichtige Ergebnisse der Gezeitenforschung und der geodätischen Astronomie waren: stabile regionale Stationsnetze, die mit standardisierten Instrumenten (Gravimeter, Klinometer, Extensometer, bzw. Zenitteleskope, Quarz- und Atomuhren) gut ausgestattet waren, ständige Vergleiche der Instrumente und Methoden; sehr lange kontinuierliche Datenreihen; einheitliche Bearbeitung, intensive Interpretation und Theorie; Forschungsaktivitäten eingebunden in die weltweite Kooperation; in den letzten Jahren wachsende Probleme wegen des Fehlens der modernsten Instrumente; Experimente zur Verbindung der traditionellen und der durch die Weltraumtechnologie gestützten geodätischen Methoden zum Studium der planetaren Dynamik der Erde.

Bedeutende Ergebnisse der gravimetrischen Forschung waren: bei absoluten Messungen – die äußerst aktive sowjetische Seite schuf unter Verwendung ihres unikalen ballistischen Gravimeters GABL ein Netz von Schwere-Fundamentalstationen in allen teilnehmenden Ländern, wobei die Genauigkeit dem höchsten Niveau der Zeit entsprach; bei relativen Messungen – tiefgründige Untersuchungen der in Gebrauch befindlichen Gravimeter (Sharp, Worden, Askania), mehrfach wiederholte Messungen in Testgebieten, die nichtgezeitenartige Schwereänderungen in tektonisch aktiven Regionen (Zentralasien, Karpaten) und auch in tektonisch ruhigen Regionen (DDR) nachwiesen, Studien der hydrologischen, atmosphärischen und technogenen Störungen.

B. Untersuchungen der RCM an der Front der Forschung

Schon in den Anfängen der regionalen Kooperation erwies sich die Erforschung der rezenten Bewegungen der Erdkruste als eine der erfolgreichsten Forschungsrichtungen. Die Ergebnisse wurden weltweit geschätzt. Die Koordinatoren der regionalen Kooperation Jurij Mescherikow und Pavel Vyskocil wurden ebenso wie J. D. Boulanger zu Vorsitzenden der Kommission für RCM in der IAG gewählt.

Gewichtige Ergebnisse waren: umfangreiche Datenbasis in den Ländern im Ergebnis der früheren Nivellements und der wiederholten Nivellements, die von den geodätischen Diensten durchgeführt wurden; einheitliche Bearbeitung; Zusammenstellung von regionalen Karten (Mittel- und Osteuropa, Karpaten-Balkan-Region); intensive Arbeiten in Testgebieten mit geologischen und technogenen Besonderheiten; tiefgründige Interpretation durch Geophysiker und Geologen; die praktischen Aspekte (Erdbebenvorhersage, Kontrolle von Senkungen infolge bergbaulicher Prozesse) wurden genutzt.

C. Stimulierende Nutzung der Satelliten

Eine große Zahl von Einrichtungen in den sozialistischen Ländern begann schon frühzeitig, die künstlichen Satelliten der Erde für geophysikalische und geodätische Zwecke zu nutzen.

Gewichtige Ergebnisse waren: seit 1957 optische Bahnverfolgung der sowietischen Satelliten an über 200 Stationen zumeist mit Kameras, die von der Akademie der Wissenschaften der UdSSR geliefert worden waren; nachfolgend schrittweise Verbesserung des Stationsnetzes durch Modernisierung der Ausrüstung (von photographischen Kameras zu Laserentfernungsmeßgeräten und radiotechnischen Instrumenten) und Organisierung von professionellen, ständig betriebenen Stationen - im Jahre 1990 war die Zahl solcher Stationen, die alle durch die Teilnehmer an der Interkosmos-Kooperation ausgerüstet waren, innerhalb der sozialistischen Länder 18 und 10 in weiteren Ländern; in enger Zusammenarbeit Entwicklung und Fertigung von Laserentfernungs-meßgeräten des Typs "Interkosmos" und auf dieser Basis von genaueren und effizienten Anlagen, die meisten dieser Anlagen arbeiten bis heute in den Programmen des International Laser Ranging Survey; Entwicklung des speziellen mathematischen Apparats zur Simulation und Berechnung der Parameter der Satellitenbewegung, wobei die Genauigkeit von mehreren Dezimetern im Jahre 1970 auf einige Zentimeter im Jahre 1990 gesteigert wurde; Untersuchung der dynamischen Methoden der Satellitengeodäsie, Studien der höheren Harmonischen des Geopotentials, Studien der zeitlichen Änderungen der Schwere; Studien der kurzzeitigen Variationen der Dichte der Atmosphäre und Analyse der Atmosphärenmodelle zur Verbesserung der Bahnelemente der Satelliten.

Innerhalb der Pläne der KAPG wurden in den Siebzigern und Achtzigern mehrere Experimente zur Nutzung der geometrischen Methoden der Satellitengeodäsie und der Doppler-Navigation für die Konstruktion fundamentaler geodätischer Netze durchgeführt.

Förderung der Theoretiker

Die Zusammenarbeit förderte die Aktivitäten zu diversen theoretischen Problemen, wiederholt auf dem Gebiet der physikalischen Geodäsie. In mehreren teilnehmenden Einrichtungen waren einer oder mehrere bedeutende Theoretiker tätig. Je nach ihren individuellen Interessen und Vermögen konnten einige von ihnen eine wissenschaftliche Schule mit Schülern und Partnern auch in den anderen Ländern bilden: Molodenskij, Tarczy-Hornoch, Hristov, Tschichowitsch, Shongolowitsch, Pellinen, Bursa u.a.

E. Sorgen mit der instrumentellen Ausrüstung

In den Anfängen konnten die teilnehmenden Einrichtungen die modernsten Ausrüstungen kaufen. Die Kooperation gab gegenseitige Unterstützung für die Entwicklung der zusätzlichen Ausrüstungen in allen teilnehmenden Einrichtungen. Einige Einrichtungen waren in der Lage, unikale Instrumente hauptsächlich für die Verwendung in den Observatorien zu entwickeln, dazu erhielten sie fallweise Unterstützung durch Beratung und Bereitstellung von Bauteilen. Kein Teilnehmer konnte Instrumente für die Serienfertigung entwickeln

F. Interdisziplinäre Arbeit – frühzeitig und aktiv

Der Ursprung und die Organisation der multilateralen Kooperation gaben den wissenschaftlichen Einrichtungen der sozialistischen Länder, die auf dem Gebiet der Geodäsie aktiv waren, beste Möglichkeiten für die interdisziplinäre Arbeit. Die geodynamischen Aspekte wurden frühzeitig zu einer der Hauptthemen der geodätischen Forschung in den sozialistischen Ländern.

G. Last but not least: die Wirkung

Die größte Bedeutung der Kooperation, die von der KAPG koordiniert wurde, ebenso wie der im Rahmen des Programms Interkosmos, bestand und besteht darin, daß sie unter den spezifischen Bedingungen der sozialistischen Länder die relevanten wissenschaftlichen Aktivitäten insgesamt, eingeschlossen das Training der jungen Wissenschaftler, gefördert hat. Das betraf die Aktualität der Probleme, das ständige professionelle Training ebenso wie die Effizienz der Ausrüstungen und Methoden. Das erreichte wissenschaftliche Niveau wurde durch viele Publikationen demonstriert und durch zahlreiche Vorträge, die auf Konferenzen, darunter die Kongresse der IAG, gehalten wurden.

Dank: Bei der Vorbereitung des vorliegenden Berichtes erhielt der Autor wertvolle Unterstützung durch seine langjährigen Kollegen Dr. Surija K. Tatevjan, Dr. Pavel Vyskocil und Prof. Dr. Montag und dankt ihnen dafür sehr. Selbstverständlich ist der Autor für seine Arbeit in jeder Richtung allein verantwortlich.

Jens Taubenheim

Forschungskooperation auf dem Gebiet der solar-terrestrischen Physik im Rahmen der KAPG, $1966-1990^1$

Mitgeteilt von H. Kautzleben in der Sitzung der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 20 02 2003

Solar-terrestrische Physik als kooperatives Forschungsfeld

Der Name "Solar-terrestrische Physik" als Wissenschaftsgebiet entstand erst in der Mitte des 20. Jahrhunderts im Zusammenhang mit dem großen Aufschwung der internationalen geowissenschaftlichen Zusammenarbeit nach dem Kriegsende, die ihren ersten Gipfel in der Konzeption und Durchführung des Internationalen Geophysikalischen Jahres (IGJ) 1957/58 gemeinsam in der West- und Ost-Hemisphäre der Erde fand. Die früheren Unternehmungen der Internationalen Polarjahre 1882/83 und 1932/33 hatten sich vornehmlich auf meteorologische und geomagnetische Phänomene in hohen Breiten konzentriert. Seitdem waren jedoch aus der Untersuchung der geomagnetischen und ionosphärischen Variationen und ihrer Störungsereignisse neue Erkenntnisse herangewachsen, die den systematischen Zusammenhang zwischen geophysikalischen Phänomenen und der Steuerungswirkung durch variable Energieflüsse von der Sonne zu einem vorrangigen Forschungsgegenstand im IGJ werden ließen. Neue Beobachtungsmöglichkeiten, wie die kontinuierliche Überwachung der 1942 entdeckten Radiofrequenzstrahlung der Sonne und die Erschließung der solaren Strahlungs- und Teilchenströme außerhalb der Erdatmosphäre durch Raumfahrttechniken (darunter nicht zuletzt die Entdeckung der Magnetosphäre 1959) verlangten nunmehr komplexe wissenschaftliche Aufgabenstellungen der Beobachtung, Beschreibung und theoretischen Interpretation der physikalischen Beziehungen zwischen der Sonnenaktivität und den Geosystemen, die unter dem Begriff Solar-terrestrische Physik (STP) zusammengefaßt wurden.

Der Verfasser war von 1970 bis 1990 in der KAPG als Vorsitzender der Unterkommission 2 bzw. Kurator des Projektkomplexes für die "Solar-terrestrische Physik" verantwortlich, mit Ausnahme des Zeitraums 1973–1975, in dem E. A. Lauter den Vorsitz der Unterkommission 2 wahrnahm.

168 Jens Taubenheim

Umfang und Vielgestaltigkeit der solar-terrestrischen Beziehungen gingen jedoch angesichts ihres multidisziplinären Systemcharakters deutlich über die bisherigen geophysikalischen Einzeldisziplinen hinaus und berührten damit mehrere der bereits unter dem Dach des Internationalen Rats der Wissenschaftsunionen (ICSU) existierenden Forschungsorganisationen, die seinerzeit das IGJ getragen hatten. Das waren nicht nur die Internationale Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) mit ihren Assoziationen für Geomagnetismus und Aeronomie (IAGA) und für Meteorologie und Atmosphärenphysik (IAMAP), sondern auch die Internationale Astronomische Union (IAU) und die Internationale Union für Radiowissenschaften (URSI). Dazu kam ab 1963 das internationale Komitee für Weltraumforschung (COSPAR). das bald den Forschungsunionen an Prestige und Einfluß gleichrangig wurde. aber stärker durch politisch-strategische Interessen im Wettbewerb um die Beherrschung des erdumgebenden Weltraums geprägt war. Jede dieser internationalen Organisationen war in gewissem Maße interessiert, für die solarterrestrische Physik eine Heimstatt zu bieten (und damit auch eine Führungsrolle zu übernehmen). Das Bedürfnis der auf dem Gebiet der STP arbeitenden Wissenschaftlergruppen, zur gemeinsamen Konzeption, Organisierung und Diskussion ihrer Forschungsvorhaben ein geeignetes internationales Forum zu gewinnen (auch als Hintergrund, um die staatlichen und nichtstaatlichen Autoritäten zur Bereitstellung entsprechender Forschungsmittel zu bewegen), lief jedoch darauf hinaus, innerhalb des ICSU eine neue eigenständige Union für STP zu gründen. Solche Vorstellungen, die auf 1967 und 1969 abgehaltenen internationalen Konferenzen verhandelt und insbesondere von der Sowjetunion unterstützt wurden, hatten allerdings unter der oben beschriebenen Konstellation keinen Erfolg, da sie die bereits bestehenden Interessenkonflikte an der Nutzung der forschungstechnischen Entwicklungstrends zweifellos weiter verschärft hätten. Statt dessen kam es nur zum Kompromiß der Gründung einer Inter-Unions-Kommission (IUCSTP, später in SCO-STEP umbenannt), die in den folgenden Jahrzehnten regelmäßig in Kopplung mit Generalversammlungen des COSPAR internationale STP-Symposien organisieren konnte.

Solar-terrestrische Physik in der KAPG

Auch in den nationalen Forschungsstrukturen, wie in den Ländern Osteuropas und in der Sowjetunion, blieb es zunächst bei überwiegend disziplinär orientierten Instituten. Erstmals wurde 1969 in der Akademie der Wissenschaften der DDR ein Institut für solar-terrestrische Physik (Heinrich-Hertz-

Institut bzw. Zentralinstitut für STP) unter E. A. Lauter als Direktor gebildet, das aus gleichgewichteten Bereichen für Sonnenphysik, Ionosphärenforschung und Magnetosphärenphysik bestand. Das in der Sowjetunion existierende Akademieinstitut mit ähnlichem Profil, unter dem Direktorat von N. V. Puškov, behielt seinen traditionellen Namen Institut für Erdmagnetismus, Ionosphäre und Radiowellenausbreitung (IZMIRAN) bei, jedoch wurde später für die solar-terrestrische Forschung noch ein Gremium "Rat Sonne-Erde" beim Präsidium der Akademie der Sowjetunion gebildet.

Zur Weiterführung der für alle geophysikalischen Wissenschaften unentbehrlichen Zusammenarbeit über Ländergrenzen hinweg, wie sie durch das IGJ vorgebildet worden war, gründete die Akademie der Wissenschaften der Sowietunion gemeinsam mit den Akademien² von Bulgarien, Ungarn, DDR, Polen. Rumänien und Tschechoslowakei im Jahre 1966 die Kommission der Akademien sozialistischer Länder zur multilateralen Bearbeitung des Problemkomplexes Planetarer Geophysikalischer Forschungen (abgekürzt KAPG). Aufgabe dieser aus gleichberechtigten Vertretern aller Teilnehmerstaaten zusammengesetzten Kommission war es, in ihrer Wirkungssphäre kooperative Forschungsthemen zu konzipieren und zu koordinieren, soweit daran zwei oder mehr Länder beteiligt waren, sowie die Planungsvorschläge an die Akademien für den damit verbundenen Spezialistenaustausch und wissenschaftliche Tagungen zu erarbeiten. Die KAPG formierte bereits bei ihrer Gründung die Unterkommission 2 "Solar-terrestrische Physik" (bis 1970 unter Vorsitz von N. V. Puškov), in der die beiden oben genannten Institute der Sowjetunion und der DDR eine führende Rolle einnahmen, aber auch alle anderen Teilnehmerländer sich mit entsprechenden Instituten ihrer Akademien beteiligten.

Die koordinierte Zusammenarbeit im Rahmen der KAPG bot den Wissenschaftlern ihrer Länder, deren Teilnahme an wissenschaftlichen Veranstaltungen der "westlichen" Hemisphäre durch Nicht-Konvertierbarkeit ihrer Landeswährungen und restriktive Paß- und Visabestimmungen stark behindert war, die Möglichkeit, sich in die globale Entwicklung der solar-terrestrischen Physik einzubinden, sich am Niveau der weltweiten Forschungstendenzen und -thematiken zu orientieren und sie, gestärkt durch Erfahrungsvermittlung und technisch-methodische Hilfe der befreundeten Länder, umzusetzen.

² die Reihenfolge gemäß dem russischen Alphabet

170 JENS TAUBENHEIM

Für die solar-terrestrische Forschung eröffnete die sich rasch entwickelnde Raumfahrttechnik neue Möglichkeiten und Perspektiven. Zu deren wissenschaftlicher Nutzung durch die mit der Sowjetunion befreundeten Länder wurde 1967, nur etwa ein Jahr nach Gründung der Akademiekommission KAPG, die auf zwischenstaatlichen Vereinbarungen beruhende Organisation Interkosmos geschaffen, womit allerdings Probleme ihrer Relation zu den Aufgaben der KAPG-Kooperation aufgeworfen wurden. Da die Konzipierung von Interkosmos-Experimenten in der Regel auf deren unmittelbare Durchführung und Auswertung konzentriert war, konnte sie die umfassenderen wissenschaftlichen Zielstellungen der KAPG-Arbeiten nicht ersetzen, sondern Interkosmos- und KAPG-Projekte standen zueinander in eher komplementärem Verhältnis. Die Situation des "kalten Krieges" veranlaßte jedoch seinerzeit einschneidende Maßnahmen des Informations- und Datenschutzes und der Begrenzung des zugelassenen Personenkreises für die an Raumfahrttechnik gebundene Forschung. Dadurch war über lange Jahre für Wissenschaftler aus dem Bereich der KAPG eine Abstimmung ihrer wissenschaftlichen Aufgaben mit Interkosmos und eine aktuelle Nutzung von Daten aus Interkosmos-Experimenten erheblich behindert. Eine flexiblere Behandlungsweise und Wege zu gemeinsamen Projekten zwischen KAPG und Interkosmos öffneten sich erst allmählich während der 1980-er Jahre.

Der weite thematische Umfang und ausgeprägt multidisziplinäre Charakter unterschied die Unterkommission 2 auch merklich von der Mehrheit der anderen KAPG-Unterkommissionen. Daher gab es von sowjetischer Seite 1974/75 und noch einmal 1980 Initiativen, die Kooperation zur solar-terrestrischen Physik aus dem Rahmen der KAPG herauszulösen und in Form einer eigenständigen multilateralen Akademiekommission der sozialistischen Länder zu etablieren. Diese Vorschläge, die mit neuen administrativen und personellen Konsequenzen verbunden gewesen wären, fanden jedoch nicht die Zustimmung der in der KAPG vertretenen Akademien und wurden daher verworfen.

Entwicklung der Struktur und Arbeitsrichtungen

Ausgangsbasis der Gründung der KAPG 1966 war die sogenannte "Osteuropäisch-Asiatische Region" der *International Geophysical Cooperation (IGC)*, die durch das IGJ eingeleitet worden war. Die KAPG-Unterkommission 2 knüpfte mit zunächst drei Arbeitsgruppen

2.1 "Geomagnetisches Variationsfeld" (Vorsitzender G. Fanselau, DDR),

2.2 "Ionosphäre" (Vorsitzender E. A. Lauter, später J. Taubenheim, DDR) und 2.3 "Kosmische Strahlung" (Vorsitzender A. Somogyi, Ungarn)

unmittelbar an die Arbeitsgebiete des IGJ an. Das waren beispielsweise die Erschließung der äußeren Stromsysteme der ruhigen und der gestörten geomagnetischen Variationen (S_q -Gang und Substorms) und der Pulsationen, Anomalien der winterlichen ionosphärischen D-Region und die Ermittlung der Verteilung der Elektronendichte in Thermosphäre und Exosphäre aus der Ausbreitung von Radiowellen (Ionosonden und Whistlers), sowie die Forbush-Effekte in der kosmischen Strahlung.

Auf einer im Februar 1974 in Potsdam abgehaltenen Konferenz der Unterkommission 2 wurden ihre Aufgabenstellungen vertieft und erweitert. Neu definiert wurde die Thematik der Arbeitsgruppe 2.1 als "Magnetosphäre" (neuer Vorsitzender C.-U. Wagner, DDR) zum Studium der dreidimensionalen Elektro- und Plasmadynamik im erdumgebenden Raum, und die Thematik der Arbeitsgruppe 2.2 als "Obere Atmosphäre" mit Einbeziehung der Dynamik des neutralen Gases in Strato-, Meso- und Thermosphäre. Vor allem wurden durch Gründung einer neuen Arbeitsgruppe 2.4 "Solare Aktivitätsphänomene" (Vorsitzender M. Kopecký, (ČSSR) die Sonnenphysiker der KAPG-Länder einbezogen und damit die volle Abdeckung des Gesamtfeldes der Unterkommission erreicht (siehe Tabelle 1).

- 2.1: Geomagnetisches Variationsfeld, *Fanselau (DDR)* ab 1974: Magnetosphäre, *Wagner (DDR)*
- 2.2: Ionosphäre, ab 1974: Obere Atmosphäre, Taubenheim (DDR)
- 2.3: Kosmische Strahlung, Somogyi (UVR)
- 2.4 (ab 1974): Solare Aktivitätsphänomene, Kopecký, (ČSSR)
- 2.5 (ab 1974): Komplexe Observatoriumsprogramme, *Zaicev (USSR) (1978 aufgelöst)*

Tabelle 1:

Arbeitsgruppen der Unterkommission 2 von 1970 bis 1980 und ihre Leiter

Vom Jahre 1980 an ging die KAPG in Anpassung an den internationalen Trend von der bisher statischen Arbeitsgruppenstruktur zu befristeten zielorientierten Kooperationsprojekten über. Diese Projekte konnten aus dem herangewachsenen wissenschaftlichen Profil der Unterkommission nahtlos abgeleitet werden (siehe Tabelle 2). Sie wurden langfristig gestützt durch ein geomagnetisch-tellurisches und ein ionosphärisches Programm der koordi-

172 JENS TAUBENHEIM

nierten Durchführung von Beobachtungen und Vervollkommnung der Beobachtungs- und Bearbeitungsmethoden.

- Projekt: Komplexes Modell aktiver Gebiete auf der Sonne (Kopecký, (ČSSR) (ab 1986): Physik solarer geoeffektiver Prozesse
- Projekt: Dynamik des plasmasphärischen und auroralen Plasmas (Wagner, DDR)
 - (ab 1986): Magnetosphärische Störungen
- Projekt: Dynamik des Plasmas in der Thermosphäre und oberen Ionosphäre (*Ben'kova*, *USSR*) (ab 1986): Die Plasmahülle in der Hochatmosphäre
- Projekt: Struktur u. Dynamik der mittleren Atmosphäre (Entzian, DDR; ab1986: Taubenheim, DDR)
- Projekt: Hochenergetische Strahlungen im Sonnensystem (Somogyi, UVR) (ab 1986): Kosmische Strahlung als Mittel zur Sondierung und Prognose des Zustandes im System Sonne-Erde (ab 1987: Mirošničenko, USSR)
- Programm:Systematische Durchführung geomagnetischer und tellurischer Beobachtungen, Vervollkommnung der Beobachtungs- und Bearbeitungsmethoden (Auster, DDR; ab 1986: Mundt, DDR)
- Programm: Systematische Durchführung von Ionosphärenbeobachtungen, Vervollkommnung der Beobachtungs- und Bearbeitungsmethoden (Kokourov, Kol'cov, USSR)

Tabelle 2: Projekte und Programme der Solar-terrestrischen Physik ab 1981 und ihre Leiter

Multilaterale wissenschaftliche Kommunikation im Rahmen der KAPG

Die Anzahl von Wissenschaftlern aus den KAPG-Ländern, die an internationalen Veranstaltungen außerhalb dieses Länderbereichs teilnehmen konnten, war, wie bereits erwähnt, durch Währungs- und Reisehindernisse sehr stark eingeschränkt. Daher widmete die KAPG große Aktivität der Organisierung von Symposien, Seminaren und anderen Veranstaltungen, die den Wissenschaftlern aller KAPG-Länder die Möglichkeit boten, Informationen über den internationalen Forschungsstand ebenso wie über ihre eigenen Ergebnisse miteinander auszutauschen und zu diskutieren.

Im Zeitraum zwischen 1966 und 1990 wurden von der KAPG 6 große Symposien über das Gesamtgebiet der solar-terrestrischen Physik an verschiedenen Orten in der Sowjetunion (Moskau, Nautschny/Krim, Tbilissi, Aschkhabad, Sotschi, Samarkand) veranstaltet. Ihre Organisierung lag in den Händen der sowjetischen Akademie, die mit ihrem Geophysikalischen Komitee und dem Rat Sonne-Erde über das stärkste logistische Potential verfügte. An ihrer wissenschaftlichen Programmgestaltung waren jedoch stets Wissenschaftler aller KAPG-Länder beteiligt.

Mehr als 40 thematisch stärker konzentrierte Konferenzen und Seminare wurden außer in der Sowjetunion auch an wechselnden Orten in den anderen KAPG-Teilnehmerländern, wie Ungarn, Bulgarien, DDR, Polen und Tschechoslowakei, initiiert und durchgeführt und gaben Gelegenheit zu intensiver Kommunikation auf den unterschiedlichen Arbeitsgebieten der solar-terrestrischen Physik. Als Beispiele seien genannt: 2-jährliche Konsultativtagungen der Sonnenphysiker über Sonnenaktivität und solare Magnetfelder, insgesamt 9 "Winterschul-Seminare" über physikalische Prozesse im Plasma der Magnetosphäre, weiterhin Seminare über dynamische Prozesse und meteorologisch-klimatologische Effekte in der unteren Ionosphäre sowie zur Auswertung von Radiowellensondierungen der oberen Ionosphäre, und eine Seminarreihe über kosmophysikalische Aspekte der Kosmischen Strahlung.

Besondere Erwähnung verdienen die sieben in etwa 3-jährlichem Turnus abgehaltenen Ionosphären-Sommerschulen in Sotschi, die jeweils etwa 100–200 vor allem jungen Wissenschaftlern aus allen Teilen der Sowjetunion und aus allen KAPG-Ländern eine umfassende Einführung in die Ionosphärenforschung und ihre Einbettung in das Gesamtgebiet der solar-terrestrischen Physik vermittelten (in russischer Sprache). Als Lektoren traten neben führenden Gelehrten der Sowjetunion regelmäßig auch Fachleute aus den anderen KAPG-Ländern auf

Eine für die Forschungsgruppen in den KAPG-Ländern ungünstige Situation bestand lange Zeit bei der Veröffentlichung ihrer wissenschaftlichen Ergebnisse. Hindernisse lagen in häufig langen Bearbeitungsdauern und in der Beschränkung auf die russische Sprache bei den sowjetischen Fachzeitschriften, bei Zeitschriften der westlichen Hemisphäre im Fehlen von Devisen für Publikationsgebühren. Daher gab ab 1976 das Nationalkomitee für Geodäsie und Geophysik der DDR eine unreferierte Schriftenreihe "Physica solariterrestris" heraus, die den Autoren aller KAPG-Länder für Mitteilungen in Deutsch, Russisch oder Englisch offen stand. Bis 1984 erschienen davon 24 Hefte mit insgesamt 290 Artikeln, die als informelle Veröffentlichung mit Manuskriptdruck-Status zwar im allgemeinen keinen Eingang in institutionelle oder öffentliche Fachbibliotheken bzw. Referate-Organe fanden, aber

174 JENS TAUBENHEIM

als Mittel zur Förderung des gegenseitigen Informationsaustausches von allen KAPG-Teilnehmern sehr begrüßt und genutzt wurden.

Zur Wirksamkeit der KAPG-Kooperation

Als reines Beratungsorgan zwischen den forschungsleitenden Akademien der Wissenschaften verfügte die KAPG weder über ein eigenes Budget noch über eigene personelle und materielle Forschungskapazitäten. Im Gegensatz zu den an spezielle Regierungsvereinbarungen gebundenen Projekten der *Interkosmos*-Kooperation lag die Realisierung der von der KAPG koordinierten Forschungsaufgaben, wie auch die Publikation ihrer Ergebnisse (in der Regel ohne ausdrückliche Nennung der KAPG), in der alleinigen Verantwortung der Akademien der einzelnen beteiligten Länder. Aus diesem Grunde kann der vorliegende Bericht keine umfassende Darstellung, Bewertung oder auch Bibliographie der wissenschaftlichen Ergebnisse der solar-terrestrischen Physik im Rahmen der KAPG geben, sondern nur verdeutlichen, in welchem Maße die KAPG für die Effizienz der Forschungsarbeiten wirksam wurde.

Da mit raumfahrttechnischen Mitteln zu realisierende Experimentalprojekte ausschließlich der *Interkosmos*-Organisation vorbehalten waren, verblieben als Ausgangsbasis der KAPG-Arbeit die Methoden der von Stationen an der Erdoberfläche zu betreibenden Beobachtung der Meßgrößen und Phänomene des Forschungsfeldes der solar-terrestrischen Physik, und die Verfolgung ihrer räumlich-zeitlichen Variabilität mittels koordinierter, einheitlich qualifizierter und kalibrierter Meßprogramme auf einem durch den osteuropäisch-mittelasiatischen Raum aufgespannten Netz von Forschungsstellen.

Auf dem Gebiet der Physik der Sonnenaktivität stand, neben der gegenseitigen Unterstützung bei radioastronomischen Techniken, vor allem die Entwicklung der hochauflösenden spektrographischen Messung von solaren Magnetfeldern und ihr Einsatz auf einer sich von Ostsibirien bis nach Potsdam erstreckenden Kette mehrerer Sonnenobservatorien im Vordergrund. Sie bildete eine entscheidende Grundlage für ein von den Sonnenphysikern der ČSSR, DDR, Polens, Ungarns und der Sowjetunion gemeinsam erarbeitetes Komplexmodell aktiver Regionen der Sonne. Das wurde ergänzt durch eine von den tschechischen gemeinsam mit den sowjetischen Sonnenphysikern veröffentlichte Monographie über die Statistik der Sonnenfleckenbildung und durch Kataloge der solaren Protonenausbrüche 1970–79 und 1980–86 (letzterer unter Einbeziehung von Interkosmos-Satellitendaten), die gemeinsam von den KAPG-Gruppen der Kosmischen Strahlung und der Sonnenphysik aufgestellt wurden. Ab 1987 erörterte Pläne zur Schaffung eines gemein-

samen Sonnenobservatoriums der KAPG-Länder gelangten leider nicht mehr über das Stadium erster Konzeption hinaus.

Registrierungen des Erdmagnetfeldes an den durch regelmäßige Anschlußmessungen miteinander vernetzten Observatorien aller KAPG-Länder stützten ein von den Geomagnetikern der DDR, Sowjetunion und ČSSR, unter Mitwirkung ungarischer und polnischer Wissenschaftler ausgearbeitetes Modell der 3-dimensionalen Dynamo-Stromsysteme der Magnetosphäre, sowie das Studium der Wechselwirkungen zwischen Ionosphäre und Magnetosphäre (ab Mitte der 1980er Jahre auch unter Einbeziehung von Interkosmos-Satellitendaten) und die Diagnostik der Magnetosphäre mittels erdmagnetischer Pulsationsregistrierungen.

Für die Berechnung vertikaler Profile der Elektronendichte in der Thermosphäre wurde die mit der bereits im IGJ international streng standardisierten Radiowellen-Sondierung (Ionosonde) vom Erdboden aus in allen KAPG-Ländern fortgesetzt und unter Federführung der sowjetischen Institute mit Daten des Interkosmos-Satelliten IK-19 kombiniert, wobei auch Wissenschaftler der Republik Kuba in den KAPG-Rahmen einbezogen wurden. Die in der DDR entwickelte und von Gruppen in der Sowjetunion und anderen KAPG-Ländern (Tschechoslowakei und Bulgarien) aufgegriffene Diagnostik der experimentell schwierig erfaßbaren Vorgänge in der unteren Ionosphäre (80-120 km Höhe), mit Hilfe von Ausbreitungsmessungen an langen Radiowellen, erbrachte ganz neue Erkenntnisse über die Ionisationsstruktur und Zirkulationssysteme dieses Höhenbereiches und ihre Steuerung durch meteorologisch-klimatische Prozesse der unteren Atmosphäre ebenso wie ihre Beeinflussung durch magnetosphärisch-ionosphärische Störungen. Ein hierüber unter der Schirmherrschaft des Middle Atmosphere Program (MAP) veranstaltetes internationales Symposium 1983 in Schwerin fand große Beachtung weit über den Rahmen der KAPG-Länder hinaus. Gegenüber der im Laufe der 1980er Jahre rasch wachsenden internationalen Hinwendung zum Problem des anthropogenen Klimawandels traten jedoch auch in den KAPG-Ländern solche Untersuchungen zur mittleren Atmosphäre in den Hintergrund. Einige aussichtsreiche Forschungsfragestellungen blieben dadurch leider bis heute unausgeschöpft.

Zusammenfassend darf eingeschätzt werden, daß die hier nur in Umrissen beschriebenen Ergebnisse der multilateralen KAPG-Zusammenarbeit den Wissenschaftlern der beteiligten Länder spürbar dazu verholfen hat, relevante Beiträge in internationale Studienprogramme der solar-terrestrischen Physik, wie Solar Maximum Program, Middle Atmosphere Program, COSPAR Inter-

176 Jens Taubenheim

national Reference Ionosphere, Geomagnetic Meridian Project, International Magnetic Study einzubringen, und andererseits die weltweite Entwicklung ihrer Fachgebiete in der Effizienz sowohl ihrer eigenen Forschung als auch der Heranbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses umzusetzen.

Jürgen Oberst

Photographische Beobachtung und erfolgreiche Bergung des "Neuschwanstein" Meteoriten

Am späten Abend des 6. April dieses Jahres verschreckte ein seltenes Naturereignis die Bewohner des südlichen Bayern und Österreich. Ein großer Meteoroid tauchte kurz nach 22 Uhr mit hoher Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre ein. In den Ortschaften Mittenwald und Garmisch-Partenkirchen, die sich direkt unter der Flugbahn des Projektils befanden, vibrierte der Boden und die Fenster klirrten. Die optische Begleiterscheinung des Schauspiels, ein ungewöhnlich heller Meteor, war wenige Sekunden lang bis in den Raum Hannover sichtbar.

Für einige der Wissenschaftler vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Adlershof war es ein Ereignis, auf das sie lange gewartet hatten. Denn das DLR ist Betreiber des "Europäischen Feuerkugelnetzes", das systematisch den Nachthimmel auf der Suche nach genau solchen kosmischen Eindringlichen überwacht. Tatsächlich wurde der Meteor von insgesamt 10 Kameras des Netzes, vom Schwarzwald bis in die tschechische Republik, erfasst (s. Abb. 1).

Auf der Grundlage dieser Aufnahmen konnte das Ereignis rekonstruiert und die Flugbahn des Meteors genau vermessen werden. Die ursprüngliche Masse des Besuchers aus dem Weltall wurde auf 600 Kilogramm geschätzt. Offensichtlich hatten mehrere insgesamt etwa 20 kg schwere Fragmente den dramatischen Flug durch die Atmosphäre überstanden und den Boden erreicht. Die Einschlagstelle der Hauptmasse des Meteoriten konnte auf ein Gebiet von etwa 700 mal 1.000 Meter östlich der Stadt Füssen eingegrenzt werden, leider in gebirgigem und schwer zugänglichem Gelände.

Nach mehreren vom DLR geleiteten systematischen Suchaktionen, mit Suchmannschaften von bis zu 30 Teilnehmern, wurde am 14. Juli das erste etwa 1,7 kg schwere Teilstück des Meteoriten gefunden (s. Abb. 2). Seine Oberfläche besteht aus einer mattschwarzen Schmelzkruste mit rostigen Flecken, ein Hinweis auf eisenhaltiges Material. Glücklicherweise fiel das gefundene Stück am 6. April in die etwa ein Meter hohe Schneedecke und blieb dadurch unbeschädigt. Der Brocken wurde auf den Namen "Neuschwan-

178 JÜRGEN OBERST

stein" getauft, da er nur sechs Kilometer entfernt von dem bekannten Schloss in der Nähe von Hohenschwangau gefunden wurde. Anlässlich der Tagung "Asteroids, Comets, Meteors" wurde "Neuschwanstein" zwei Wochen später in Berlin der Presse präsentiert. Der wertvolle extraterrestrische Findling wird derzeit chemisch und petrologisch untersucht. Erste Ergebnisse dieser Labor-Untersuchungen zeigen, dass es sich bei dem Exemplar um einen relativ seltenen E-Chondriten handelt.

Da das Teilstück etwa zwei Kilometer südöstlich vom vorhergesagten Zielpunkt der Hauptmasse und nur 400 m abseits der errechneten Flugbahn des Meteors eingeschlagen ist, kann man zuversichtlich sein, auch die Hauptmasse des Meteoriten auffinden zu können. Sie wird auf etwa 15 Kilogramm geschätzt.

Die Erde ist einem ständigem Bombardement solcher Objekt aus dem Weltall ausgesetzt. Im jährlichen Mittel zeichnen die Feuerkugelkameras jedes Jahr etwa 50 Meteore auf, von denen die meisten in der Hochatmosphäre verglühen. Auch Kollisionen mit größeren Brocken, Asteroiden und Kometen, die dann ungebremst auf die Oberfläche prallen, sind nicht auszuschließen – mit entsprechenden katastrophalen Folgen.

Einschläge von 1 km durchmessenden Asteroiden geschehen im Mittel etwa alle 300.000 Jahre (s. Tabelle 1). Sie können jedoch im Prinzip ohne Vorwarnung jederzeit auftreten, denn nur etwa 10 % aller Objekte dieser Größe sind bisher von den US-amerikanischen Asteroiden-Suchprogrammen erfasst worden. Heute ist es denkbar, etwaige Asteroiden auf Kollisionskurs z.B. mit Projektilen und Sprengsätzen abzuwehren. Da sinnvolle Maßnahmen in dieser Richtung Jahre im voraus getroffen werden müssten, ist es angeraten, die bestehenden Suchprogramme zu forcieren, um alle Asteroiden und Kometen in potentiell gefährlichen Bahnen so schnell wie möglich vollständig zu erfassen. (siehe auch: http://www.dlr.de/feuerkugelnetz/)

Durchmesser, mittl. Meter	Einschlagsintervall, Jahre	Anzahl der Asteroiden, geschätzt
10	3	?
50	100	5.000.000
100	3.000	320.000
500	50.000	9.200
1.000	300.000	700

Tabelle 1: Einschlagshäufigkeiten erdnaher Asteroiden (nach Chapman und Morrison, sowie Rabinowitz et al.)



Abbildung 1: Leuchtspur des Meteors vom 6. April 2002 über Bayern.



Abbildung 2: Der 1,7 kg schwere Meteorit "Neuschwanstein", am 14. Juli 2002 nach systematischer Suche 6 km östlich von Hohenschwangau gefunden.

Günter Vojta

Werner Holzmüller: Hat Einstein recht? Versuch einer Kosmologie. Verlag im Wissenschaftszentrum Leipzig, 2000, 110 S.

Die Astrophysik und insbesondere die Kosmologie haben in den letzten Jahrzehnten sehr große Fortschritte erzielt und gehören heute zu den faszinierendsten Forschungsgebieten der Physik. Grundlagen sind dabei die Allgemeine Relativitätstheorie Einsteins und die Elementarteilchenphysik mit ihren Quantenfeldtheorien. Aus den Einsteinschen Feldgleichungen und ihren Erweiterungen, die das Weltall als eine gekrümmte vierdimensionale Mannigfaltigkeit beschreiben, lassen sich im Detail eine Vielzahl von Weltmodellen herleiten.

Das vorliegende Büchlein des Leipziger Ordinarius versucht, ganz im Sinne der ursprünglichen Vorstellungen Einsteins, ein stationäres Weltmodell (ohne Urknall und Expansion) zu vertreten. Das bekannteste Modell dieser Art (steady state theory) wurde 1948 von H. Bondi und T. Gold vorgeschlagen und dann besonders von F. Hoyle immer weiter ausgebaut und in zahlreichen z.T. auch populären Büchern verbreitet. Arbeiten zu derartigen Modellen erscheinen immer wieder. Kerngedanken von Holzmüller betreffen ein (postuliertes) asymmetrisches Gravitationsfeld des Photons sowie elektrostatische und magnetohydrodynamische Wirkungen, die eine zyklische Evolution des Weltalls (ohne Anfang und Ende) bedingen. Die abgehandelten Themenkreise umfassen das kosmologische Standardmodell (Urknallmodell) und seine Kritik, die Mikrowellen-Hintergrundstrahlung, Sternentwicklung, Neutronensterne und Schwarze Löcher sowie aktive galaktische Kerne.

Der Autor stellt seine Gedanken ausdrücklich zur Diskussion. Eine Reihe seiner Annahmen sind hypothetischer Art. Viele numerisch belegte Fakten und durchgerechnete Beispiele veranschaulichen den Text. Grunderkenntnisse der Quantenmechanik und Quantenstatistik werden einbezogen; die Vorgehensweise ist semiklassisch. Modernere Entwicklungen wie Quantengravi-tation und Superstringtheorie bleiben außerhalb des gesteckten Rahmens. Auf eine strenge mathematische Durchführung der Theorie mit Riemannscher Geometrie und Tensorkalkül wurde zugunsten physikalischer Argumente verzichtet. Insgesamt gesehen liegt ein interessantes flüssig geschriebenes Werk vor, das durchaus als Diskussionsgrundlage für wichtige Teile der modernen Kosmologie dienen kann.