SITZUNGSBERICHTE DER LEIBNIZ-SOZIETÄT

Band 26 • Jahrgang 1998

trafo Verlag Berlin

ISSN 0947-5850 ISBN 3-89626-206-8

In	ha	, 1 <i>t</i>
III	ILU	u

Horst Lyr

Gegenwärtige und zukünftige Strategien zum Schutze der Pflanzen zwecks Sicherung der Welternährung >>>

Alfred Zimm

Bemerkungen zu siedlungsbildenden Potenzen in unserer Zeit >>>

Hans-Heinz Emons

Chemische Aspekte im Umfeld der Kali- und Steinsalzgewinnung >>>

Günter Leonhardt

Uranbergbau der Wismut - technisch-wissenschaftliche Leistung und Umweltproblem >>>

Lothar Dünkel

Forschungen zum photographischen Elementarprozeß >>>

Vortragsresümees

Joachim Auth

50 Jahre Transistor - von der Spitzendiode zur Mikroelektronik >>>

Horst Hennig

Perspektiven der chemischen Speicherung von Sonnenenergie >>>

Rudolf Herrmann

Zur Struktur von Kohlenstoffclustern im Abgas von Verbrennungsmotoren >>>

Korrespondenz

Böhme versus Hohlfeld

Briefwechsel zwischen Helmut Böhme und Rainer Hohlfeld zur genetischen und biomedizinischen Forschung in der DDR $\ge>>>$

Rezension

Herbert Hörz

V. Heyse und J. Erpenbeck, Der Sprung über die Kompetenzbarriere >>>

Mitteilungen der Leibniz-Sozietät

Herbert Hörz neuer Präsident der Leibniz-Sozietät >>>

Lothar Kolditz

Hermann Klare zum 90. Geburtstag >>>

Horst Lyr

Gegenwärtige und künftige Strategien zum Schutze der Pflanzen zwecks Sicherung der Welternährung*

I. Entwicklung der Weltbevölkerung

Vor genau 200 Jahren schrieb ein besorgter englischer Landpfarrer, Thomas Robert MALTHUS, seinen berühmt gewordenen "Essay on Population", wo er auf das Mißverhältnis des Wachstums der Bevölkerung in England zum Wachstum der Ernährungsbasis hinwies. England löste diese Diskrepanz seinerzeit durch mehrere Auswanderungswellen (nach Amerika und in die Kolonien), durch eine Hebung des Volkswohlstandes als Folge der ersten technischen Revolution und einer damit einhergehenden verringerten Geburtenrate sowie durch einen deutlichen Anstieg der Ernteerträge infolge verbesserter Bewirtschaftung und Düngung der Agrarflächen. Es liegt auf der Hand, daß die ersten beiden Möglichkeiten als Weltrezept uns heute verschlossen sind. Bleibt also nur die dritte Möglichkeit, wobei in diesem Beitrag besonders auf die Funktion des Pflanzenschutzes eingegangen werden soll.

Wie ist die Situation 200 Jahre nach MALTHUS?

Tatsächlich ist noch heute das Hauptproblem der Weltentwicklung der dramatische Anstieg der Weltbevölkerung, aus dem sich fast alle anderen Probleme ableiten (anthropogene Klimaveränderung, Umweltschäden, Kriege, Hunger, Völkerwanderungen). Inzwischen liegen einigermaßen verläßliche Schätzungen über den weiteren Verlauf der Bevölkerungsentwicklung vor, die zeigen, daß sich der Anstieg zwar langsam abflacht, dennoch bis 2100 die gewaltige Zahl von ca. 10 Milliarden (Pessimisten schätzen auch 14 Mrd) Erdbewohnern erreichen kann (Abb. 1), was einem Zuwachs seit 1950 von 363% entspricht. Dabei wächst die Bevölkerung in verschiedenen Regionen der Welt sehr ungleichmäßig (Abb. 2).

^{*} Vortrag, gehalten im Plenum der Leibniz-Sozietät am 15. Oktober 1998.

Abb. 1: Zuwachs der Weltbevölkerung 1750-2100

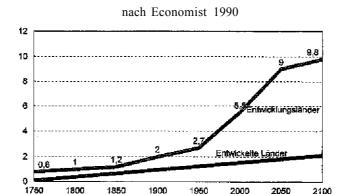
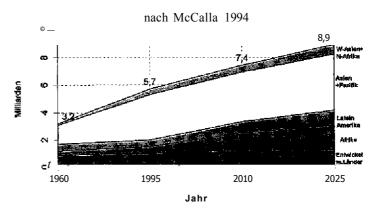


Abb. 2: Entwicklung der Weltbevölkerung 1960-2025 (nach Regionen)



Neben dem Verbrauch von Energie und den damit verbundenen negativen Einflüssen auf das Weltklima, ist die Sicherung der Ernährung der wachsenden Bevölkerung ein erstrangiges Problem, wenn nicht massive Wanderungsbewegungen provoziert werden sollen, von denen wir z. Zt. nur erste Anfänge erleben, die aber in Europa, Asien und den USA zu kaum beherrschbaren Situationen führen würden.

Ein weiteres Problem ist, daß die höchste Nahrungsmittelproduktion in den entwickelten, aber relativ dünn besiedelten Gebieten stattfindet, da in diesen Ländern ein günstiges Klima, ein hoher Bildungsgrad der Bauern und die nötigen materiellen Ressourcen für eine moderne Landwirtschaft vorhanden sind.

Neben der absoluten Große der Produktion gibt es darüber hinaus also noch ein Verteilungsproblem (McCALLA 1994).

II. Welternährungssituation

Auf absehbare Zukunft wird die Hauptsäule einer Sicherung der Ernährung weiterhin die traditionelle Landwirtschaft sein. Alternative Möglichkeiten einer synthetischen oder halbsynthetischen Erzeugung von Nahrungsmitteln sind zwar denkbar, dürften aber an energetischen Problemen scheitern und sich nur auf spezielle Produkte (Pharmaka, Aromastoffe, Vitamine u. ä.) beschränken.

Ist es wirklich möglich, die Nahrungsmittelproduktion in dem Maße zu steigern, wie die Weltbevölkerung wächst?

Die *Grüne Revolution* ermöglichte in Asien in den 70er Jahren eine Steigerung um das 2-3 fache. Hieran waren neue Sorten mit ca. 25% und verbesserte Anbautechniken mit 40% beteiligt.

Seit 5984 hat sich aber die Zuwachsrate in der landwirtschaftlichen Produktion vermindert. Statt einer jährlichen Wachstumsrate von 3% (1950-1984) stiegen die Erträge nur um 1%. Wenn das so bliebe, wären die Konsequenzen bei einer *Zuwachsrate der Weltbevölkerung von 1,7%* sehr rasch fühlbar. Das trifft schon jetzt sehr hart Afrika, wo trotz einer stattlichen Zunahme der Nahrungsmittelproduktion um 23% zwischen 1975 und 1985 diese durch die Bevölkerungsentwicklung überholt wurde, so daß die pro Kopf-Versorgung um 8% abnahm (KENNEDY 1993).

Nach Berechnungen des World Watch Institutes werden Zuwächse von 28 Mio t Getreide pro Jahr gebraucht, um mit dem Wachstum der Weltbevölkerung Schritt zu halten. Tatsächlich lag der Zuwachs im letzten Jahrzehnt bei nur 15 Mio t, wodurch die Unterernährung weiter ansteigt. Durch das Trockenjahr 1988 in den USA halbierten sich die weltweiten Getreidereserven, die gegenwärtig sehr gering sind. Die Weltvorräte für Reis reichen z. Zt. nur für 2 Monate. Das zeigt, wie labil und umweltabhängig die WelternährungsSituation ist, so daß erhebliche Reserven angelegt werden müssten.

Durch Landverbrauch infolge von Verstädterung, Straßenbau, durch Erosion, Versteppung und Versalzung nimmt die agrarisch nutzbare Fläche eher ab als zu. Neuland unter dem Pflug ist heute nur noch in geringem Umfange zu erschließen. Gründe sind: ungenügende Bodenqualität, Wassermangel oder klimatische Limitierungen,

Zur Zeit beträgt die bebaubare Fläche pro Kopf etwa 2.800 m². 2025 werden es nur 1700 und in Asien nur 900 m¹ pro Kopf sein. Eine solche Reduzierung ist nur durch eine Produktionssteigerung pro Flächeneinheit aufzufangen, die mehr als 50% betragen müßte.

Die Situation könnte sich bei einer Erhöhung der globalen Temperaturen erheblich zuspitzen (durch Landverluste, größere Trockenzonen). Tragisch ist, daß der erweiterte Anbau von Wasserreis ebenso wie die Haltung von Wiederkäuern (ca. 1 Mrd Stück Rinder, Schafe, Ziegen) das Weltklima infolge der Methanproduktion als Treibhausgas zusätzlich negativ beeinflußt. Methan hat eine Zuwachsrate von 1,1% und ist aber mit 19% an dem Treibhaus-Effekt beteiligt, da es Infrarot 32-fach stärker absorbiert als CCb. Erhöhte Ozongehalte in der bodennahen Luftschicht können Ertragsverluste bis zu 30% bewirken.

Potentielle Überschußgebiete liegen vor allem in Nordamerika und Europa, wo gegenwärtig aus marktpolitischen Gründen die Produktion durch Flächenstillegungen und "Low input"-Strategien gedrosselt wird.

Möglichkeiten zur Verbesserung der Situation liegen in:

- Ausweitung der Anbaufläche (nur sehr begrenzt möglich).
- Schaffung neuer Sorten mit höheren Leistungen und geringerer Empfindlichkeit gegen Streßfaktoren wie Trockenheit und Versalzung oder Kälte (Begrenzung durch höheren Wasserverbrauch, meistens höhere Pathogenempfindlichkeit, Einsatz der Gentechnik erforderlich).
- Verbesserte Anbauverfahren mit effektiverem Einsatz von Wasser und Düngemitteln (technisch möglich, siehe Beispiele in Israel, Californien),
- drastische *Einschränkung* der Heischproduktion durch Mast, um die damit verbundenen kalorischen Veredelungsverluste zu senken (Schwein bis 90%, Geflügel bis 75%).
- Senkung der biotisch bedingten Verluste durch verbesserte Mittel und Verfahren und integrierte Einsatzstrategien.

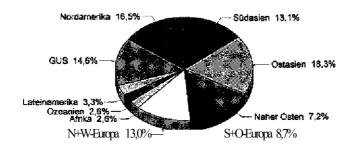
Das alles setzt aber eine erhebliche Steigerung des *Bildungsniveaus* der Produzenten und gewisse materiell-technische Aufwendungen voraus.

III. Biotisch bedingte Ertragsverluste

Die mengenmäßig wichtigsten Agrarprodukte für die Ernährung sind: 1. Weizen (558 Mio t) (= 20% des Kalorienbedarfes der Welt) (Abb. 3)

Abb.3: Weizen-Produktion (Gesamt 558,5 Mio t)

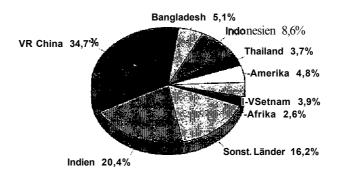
Daten FA0199«



2. Reis (524 Mio t) (Abb. 4)

Abb.4: REIS: Weltproduktion nach Ländern (Gesamt 524,3 Mio t)

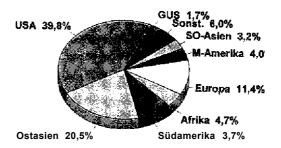
nach GRAYSON et al. 1990



3. *Mais* (495 Mio t) (Abb. 5)

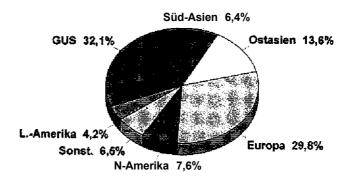
Abb.5; MAIS: Weltproduktion nach Ländern (Gesamt: 495,5 Mio t)

nach FAO 1994



4. Kartoffeln (274 Mio t) (Abb. 6)

Abb.6: KARTOFFELN: Weltproduktion nach Ländern (Gesamt: 274 Mio t) nach FAO 1994



- 5. *Gerste* (167 Mio t)
- 6. Sojabohne (109,3 Mio t)

Die Zahlen spiegeln die *real* erzielten Durchschnittserträge weltweit wieder, wobei zu berücksichtigen ist, daß 30-70% des *potentiellen* Ertrages durch Schädlinge verloren gegangen ist. Hinzu kommen noch Lagerungsverluste, die regional sehr verschieden sind, so daß der *nutzbare* Ertrag noch geringer ist (bei Reis liegen die Lagerungsverluste um 20%),

Die Ertragswirksamkeit von Pflanzenschutz,maßnahmen ist regional sehr verschieden (OERKE und STEINER 1996). Sie liegt zwischen 65% (Nord- und Westeuropa) und 27% (Südamerika) und im Mittel bei 35%, so daß Ertragssteigerungen in weiten Teilen der Welt bis zu 38% praktisch erreichbar wären. Wie zu erkennen ist, läßt sich eine Produktion ohne jegliche Verluste durch Schädlinge auch unter fortgeschrittenen Bedingungen nicht erreichen. Ob der Wirkungsgrad des Pflanzenschutzes in Zukunft noch weiter gesteigert werden kann, ist eine offene Frage.

Der Anteil der einzelnen Schadfaktoren nach Kulturen ist aus Abb. 7 ersichtlich.

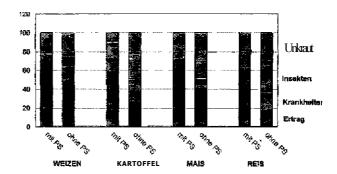


Abb.7: Ertragsvertuste in % nach Schadfaktoren in div. Kulturen

Welche Verluste bei Nichteinsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Deutschland zu erwarten wären, zeigt Abb. 8 (OERKE 1998).

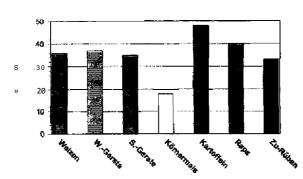


Abb.8: Potentielle Ertragsverluste in Deutschland bei einem Verbot von PSM Anwendung

Dadurch bedingt ist ein seit 1960 bis 1990 weltweit steigender Verbrauch an PSM (Abb. 9), während die Menge pro Hektar seit 1990 in Europa zurückgeht.

nst* OFFIKE und SIEINER 1996 8 8 8 Herbizide 4 2 innektizide Fungizid« Watfn.reg 1960 1970 1980 1990 1993 Jahr

Abb.9'. Welt-Pflanzenschutzmarkt von 1960 bis 1993

Der leichte Rückgang nach 1990 ist teilweise ökonomisch (fallende Getreidepreise, höhere Kosten für neue Mittel), teilweise politisch (Druck von Umweltverbänden in den reicheren Ländern), sowie durch Produktionsrückgänge in den ehemaligen Ländern des RGW begründet.

Ohne PSM Einsatz könnten 95% der Agrarbetriebe in Europa bei den gegenwärtigen Verbraucherpreisen ökonomisch nicht überleben.

Die biologische Bekämpfung, ohnehin vorwiegend auf Insekten beschränkt, hat trotz hoher F/E Aufwendungen nur sehr geringe und lokal begrenzte Erfolge gebracht (z, B. Einsatz von Raubmilben in Gewächshauskulturen). Bioherbizide oder eine Biokontrolle von Krankheiten haben sich nicht bewährt. Die biologische Bekämpfung beträgt gegenwärtig nur 1 % aller Pflanzenschutzmaßnahmen.Davon sind 90% auf den Einsatz von Bacillus thuringiensis, einem insektenpathogenen Bakterium, zurückzuführen.

Das verfügbare Pflanzenschutzmittelspektrum ist in den letzten 2 Jahrzehnten wesentlich erweitert und verbessert worden (selektive und nichtselektive Herbizide mit geringer Persistenz, systemische Fungizide, mindertoxische Insektizide) so daß bei sachgerechter Anwendung im Sinne einer guten landwirtschaftlichen Praxis keine Umweltprobleme entstehen sollten. Gleichzeitig ist die Wirksamkeit gestiegen, so daß schon mit Aufwandmengen von 20-200 g/ha gearbeitet werden kann.

Der Integrierte Pflanzenschutz erlaubt eine Schonung der Nützlinge, die Vermeidung einer Resistenzausbildung und eine Senkung der Zahl der Behandlungen und damit der Kosten.

IV. Beitrag der Gentechnik

Die Offensive der "Grünen Gentechnik" ist noch in vollem Gange, wenngleich in Deutschland die Entwicklung durch massive Verunsicherung der Bevölkerung stark gebremst wurde, z. B. durch Umweltverbände wie Greenpeace, obwohl diese im Interesse der Weltbevölkerung alle Maßnahmen fördern sollten, die der Sicherung der Ernährung dienen.

In den USA (Tab. 1), Canada und China sind bereits erhebliche Flächen mit gentechnisch veränderten Organismen (GvO) bestellt, so daß der Trend wegen der unbestreitbaren Vorteile und nicht nachweisbaren Risiken nicht aufzuhalten ist (HONERMEIER *et al.* 1996).

Kultur	Total	1996		1997		1998	
	Tausend ha	Tha	%	Tha	%	Tha	%
Mals	32.400	553	1,7	4.400	13,6	8.236	25,4
Sojabohne	25.420	410	1,6	4.654	18,3	10.130	39,9
Baumwolle	5.740	830	14,3	1.200	20,9	2.400	41.8
Raps	3.770	205	5,4	1.200	31,8	2.873	76,2

Tab.1: Zunahme des Anbaues gentechnisch veränderter Kulturen in den USA

Nach Angaben von Herrn Dr. Schmutzler (AgrEvo).

Wie Tab. 2 zeigt, liegen die Zielgebiete auf folgenden Schwerpunkten:

- Herbizidresistenz
- Virusresistenz
- Insektenresistenz
- *Verbesserung der Produktqualität* (Fettsäuren mit einheiüicher Kettenlänge, modifizierte Kartoffelstärke, Reifeverzögerung u. ä.).

Herstellern von nichtselektiven Herbiziden (MONSANTO, HÖCHST) ist es gelungen, z. B. bei Gluphosinat (BASTA), einem Hemmstoff der Gluta-

minsynthese, oder für Glyphosat (ROUND UP), einem Hemmstoff der Synthese aromatischer Aminosäuren in Pflanzen, einige wichtige Kulturpflanzen (Raps, Gerste, Soja, Zuckerrübe, Mais) resistent gegen einzelne dieser Herbizide zu machen. Das erfolgte dadurch, daß degradive Enzyme oder eine Überexpression des Targets inseriert wurden. Die daraus entwickelten Sorten werden durch die Herbizide nicht geschädigt, alle Unkräuter aber abgetötet.

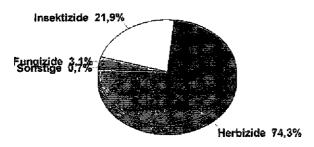
Hab. 2: Zur Vermarktung in den USA zugelassene transgene Pflanzen (bis 1996)

Fruchtart	Eigenschaft	Anbauzulassung	Firma		
Baumwolle	HR	Sulfonylharnstoff	DuPont		
Baumwolle	HR	Glyphosat	Monsanto		
Baumwolle	HR	Bromoxynil	Calgene		
Baumwolle	IR	SchmetterlRaupen	Monsanto		
Kartoffeln	IR	Kartoffelkäfer	Monsanto		
Kürbis	VR	div, Viren	Upjohn		
Mais	HR	Gluphosinat	AgrEvo		
Mais	IR	Schmetterl -Raupen	Ciba-Geigy		
Mais	IR	Mais Zünsler	Monsanto		
Papaya	VR	Virosen	Comell Univ.		
Raps	PQ	Laiirin ssäureerh.	Calgene		
Soja	HR	Gluphosinat	AgrEvo		
Soja	HR	Gluphosat	Monsanto		
Tomate	PQ	Verbesserte Reife	Agritope		
Tomate	PQ	Verzögerte Aufweichung	Calgene		
Tomate	PQ	Poiygalacturonase-Hemmung	Zeneca		
$HR = Herbizidresistenz, \ IR = Insektenresistenz, \ VR = Virusresistenz, \ PQ = PrüduktqualitKt$					

Das Vorbild war der Mais, der eine natürliche Resistenz gegen Triazine durch oxydativen Abbau besitzt. Diese wurden dadurch zu großen Produkten, da der Mais eine Großkultur ist (Abb. 10). Durch massenhafte Anwendung von Triazinen, wie Atrazin oder Simazin auch in anderen Kulturen, sind inzwischen resistente Unkräuter selektiert worden, die zu einem Problem bei dem Einsatz dieser Mittel wurden. Wegen der hohen Persistenz der Triazine im Boden und der damit gegebenen potentiellen

Abb.10: PSM-Verbrauch für Mais im Jahr 1990 (Gesamtkosten 2,46 Mrd US \$)

naah- OERKE uoii STEINER 1SS3

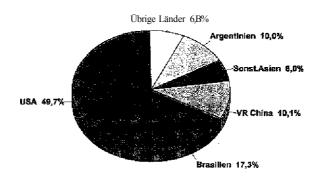


Gefahr für das Grundwasser, sind Triazine seit 1991 in Deutschland nicht mehr zugelassen.

Das ist der wesentliche Hintergrund für die Diskussion über gentechnisch veränderte Soja und Mais, deren Produkte nun in vielfältiger Form in den verschiedensten Lebensmitteln auftauchen. Da die eingebauten Enzyme, die eine Herbizidresistenz bewirken, keine Allergene sind und sehr spezifisch wirken, ist eine Gefährdung des Verbrauchers nicht gegeben.

Abb. 10 zeigt, daß der Sojabohnen Anbau in wenigen Ländern konzentriert ist, und Abb. 11 demonstriert die große Bedeutung der Herbizidanwendung in dieser Kultur.

Abb.11 Sojabohnen-Produktion nach Ländern (Gesamt 109,3 Mio t) nach FAO 1994



Die gegenwärtig ausgelöste Hysterie dient im wesentlichen den Geschäftsinteressen einiger Umweltverbände und führt zu einer Desinformation der Bevölkerung.

Die *Insektenresistenz* gegen Schmetterlingsraupen oder Kartoffelkäfer beruht auf dem Einbau von Endo-Toxinen aus dem Genom von *Bacillus thuringiensis* in das Genom der Pflanze, Leider hat es sich inzwischen bei Baumwolle gezeigt, daß infolge des massiven Selektionsdruckes eine Resistenzausbildung schon nach ca. 10 Jahren beobachtet wurde, so daß neue Mechanismen angewandt werden müssen.

Der Aufwand zur Schaffung gentechnisch resistenter Hochleistungssorten ist immer noch sehr hoch, so daß evtl. die Sortenvielfalt bedroht sein könnte, was wiederum Krankheitserreger fördern würde. Auf andere Probleme, die sich aus Sicht des Ackerbaues aus dem Anbau von GvO ergeben, soll hier nicht weiter eingegangen werden.

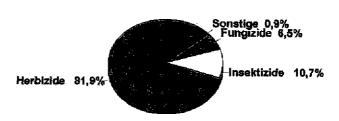
Auch durch die konventionelle Züchtung werden massenhaft Gene in völlig unkontrollierter Weise auf andere Pflanzen Übertragen, ohne daß bisher schädliche Nebenwirkungen zu erkennen waren.

Auffällig ist, daß bisher bei Krankheitsresistenzen, mit Ausnahme von Virosen und einigen Bakteriosen (Einbau des Phagen T4-Lysozyms), noch keine großen praktischen Portschritte erzielt wurden. Das hängt mit der Vielzahl der pilzlichen Schaderreger zusammen, die sehr unterschiedliche Infektionsmechanismen besitzen.

Ertragserhöhungen sind schwer zu erreichen, da der "Ertrag" ein sehr komplexer Prozeß ist, so daß z. B. eine alleinige Erhöhung der Photosyntheserate keine Effekte erbringt. Auch um die N2-Fixierung ist es sehr

Abb. 12: PSM Verbrauch in Soja (1991)

Sasamtausgabert: 1.930 hM US \$



ruhig geworden, da ein polygener, sehr energieaufwendiger Prozeß vorliegt, der die Leistungsfähigkeit der meisten Pflanzen überfordert.

Daher hat die Gentechnik bisher nur Erfolge bei der Übertragung *mo-nogener* Merkmale gehabt. Komplexere Prozesse sind biochemisch noch ungenügend erforscht und daher genetisch schwer manipulierbar.

Im Augenblick rechnet man mit einer Reduzierung des PSM Verbrauches um 20% durch den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen.

V. Die induzierte Resistenz bei Pflanzen

Es ist sehr erstaunlich, daß man erst in den letzten Jahren auf ein Phänomen aufmerksam wurde, das bei Pflanzen generell verbreitet zu sein scheint: eine Induktion der Resistenz, gegen Pilze, Bakterien und Viren.

Pflanzen haben kein mit den Tieren vergleichbares *Immunsystem*, sind jedoch in der Lage, einen lokalen Befall wahrzunehmen und durch eine Signalkette die übrigen Teile der Pflanze gegen einen weiteren Befall resistent zu machen. Offenbar handelt es sich um eine EmpfmdlichkeitsSteigerung der normalen Hypersensivitätsreaktion, die oxydativ zu einem lokalen Zelltod fuhrt und den eindringenden Erreger dabei abtötet. Salizylsäure spielt hierbei eine essentielle, aber im Detail noch ungeklärte Rolle (KESSMANN *et al.* 1996).

Das induzierende Agens kann biotisch (Virus, Bakterium, Pilz) sein, es läßt sich interessanterweise aber auch durch verschiedene chemische Verbindungen ersetzen wie Salizylsäure, Aspirin, 2,6-Dichlorisonikotinsäure, sec. Phosphate oder Saccharin.

Der Firma CIBA-GEIGY ist es gelungen, einen wirksamen *Resistenzinduktor* mit dem Handelsnamen BION zu entwickeln, der eine deutliche Analogie zu Salizylsäure aufweist.

Mit einer Dosis von 60 g/ha ist es möglich, bei Weizen den Befall durch Mehltau und andere Krankheitserreger für mehr als 27; Monate zu verhindern. Positive Effekte wurden auch bei Tabak, Reis und anderen Pflanzen beschrieben. Die Substanz hat per se keine fungizide oder bakterizide Wirkung, kann aber den Befall durch Pilze sowie Viren und Bakterien durch Aktivierung der Abwehrreaktion der Pflanze verhindern. Gegen Viren gibt es keine chemischen Abwehrmittel. Damit steht für den aktiven Pflanzen-

schütz ein *neues Wirkprinzip* zur Verfügung, und es ist zu erwarten, daß weitere Resistenzinduktoren auf dem Markt auftauchen werden.

Die praktische Breitenerprobung unter Feldbedingungen ist noch im Gange, Erst danach wird eine abschließende Bewertung der Nützlichkeit des neuen Prinzips möglich sein, wobei u. a. auch die Ausbildung von Resistenzen bei Piizen interessiert.

Der Fa. BAYER ist es gelungen, mit dem Produkt CARPROPAMID einen antifungalen Wirkstoff auf den Markt zu bringen, der durch Hemmung der Melaninsynthese den Befall von Reis durch den Erreger der Reisbräune (Pyricularia oryzae) verhindert (MOTOYAMA et al. 1998) und zugleich eine anhaltende Resistenzinduktion in der Reispflanze, unter anderem auch gegen Bakterien, hervorruft.

Damit sind erstmalig zwei unterschiedliche Abwehrprinzipien in einem *Molekül* vereinigt worden.

VI. Ausblicke

Insgesamt zeichnet sich ab, daß es für die absehbare Zukunft noch keine Alternative zum Einsatz chemischer Substanzen zum Schutze der Pflanze gibt, will man nicht gravierende Ertragsverluste in Kauf nehmen.

In Zukunft dürfte eine Kombination folgender Maßnahmen die Strategien des Pflanzenschutzes bestimmen:

- Applikation hochwirksamer, untoxischer Fungizide, evtl. in Kombination mit Resistenzinduktoren gegen Pilzkrankheiten, Virosen und Bakteriosen
- In weiterer Zukunft sind auch gentechnisch erzeugte Sorten mit Resistenzen gegen einzelne Krankheiten zu erwarten.
- Sorten mit gentechnisch erzeugter Resistenz gegen wichtige Schädlinge, ergänzt durch Insektizide und Hormonanaloga zur Schadinsektenabwehr.
- Einsatz selektiver Herbizide und Anbau herbizidresistenter, gentechnisch erzeugter Sorten in Kombination mit nichtselektiven Herbiziden.
- Anbau toleranter Sorten, die mit geringen Ertragsverlusten auf Krankheit sbe fall reagieren.

Das alles setzt aber neben der Bereitstellung geeigneter Sorten und PSM einen erheblichen *Bildungsgrad der Produzenten* voraus.

Zur genauen Terminisierung des richtigen Anwendungszeitpunktes von Pflanzenschutzmitteln sind moderne Überwachungs- und Prognose-Systeme erforderlich, um den gewünschten Effekt mit minimalem Aufwand zu erreichen. Ein solches System war 1989 flächendeckend für die DDR entwickelt worden und sollte in die Praxis eingeführt werden. In der BRD mit der föderalen Struktur und einer Vielzahl von Klein- und Kleinstbetrieben ließ es sich nur in Rudimenten anwenden.

Biologische Methoden, die ohnehin nur für Insekten anwendbar sind, haben bei der praktischen Bekämpfung von Großschädlingen wie Maikäfer, Borkenkäfer und Schwamm Spinner fast völlig versagt.

Bei dem niedrigen Qualifizierungsstand in vielen Entwicklungsländern (Ausnahmen sind evtl. China und Indien), dürfte es auf absehbare Zeit noch nicht gelingen, das realisierbare Ertragspotential der Kulturpflanzen optimal auszuschöpfen und überproportionale Ertragszuwächse zu erreichen, so daß Engpässe im Nahrungsangebot weiter anhalten oder sogar zunehmen werden

Freilich hatte auch MALTHUS 1798 vor genau 200 Jahren eine sehr pessimistische Prognose abgegeben, die wenig später von der technischen Entwicklung widerlegt wurde. Alierdings hatte die Welt damals noch mehr Freiheitsgrade als heute, wo auf vielen Gebieten die Grenzen des Wachstums bereits erkennbar sind.

Immerhin nimmt die Integration der Völker der Welt deutlich zu, ebenso die Erkenntnis der gegenseitigen Abhängigkeit und der Verantwortlichkeit für die Umwelt. Es wird notwendig sein, den weniger entwickelten Ländern den Zugang zum technischen Fortschritt zu ermöglichen und Nahrungsmittelreserven anzulegen, um wenigstens die größten Hungerkatastrophen zu vermeiden. Mit marktwirtschaftlichen Mechanismen sind derartige Probleme aber kaum zu lösen.

Referenzen

looks 1996.

McCALLA, A. F.: Agriculture and food need to 2025. Why we should be concerned. Sir J. Crawford Memorial Lecture. Intern. Centers week, October 27. 1994 Washington D.C.

- GRAYSON, B. T., GREEN, M. B., and COPPING, L, G.: Pest management in rice. Preface. Elsevier Applied Science, London, New York 1990.
- HONERMEIER, B. et ai: Gutachten zur Konzipierung der Begleitforschung von Freisetzungsversuchen mit gentechnisch veränderten Pflanzen im Land Brandenburg. Güterfelde 1996.
- KENNEDY, P: In Vorbereitung auf das 21 Jahrhundert. S. Fischer Verl. Frankfurt/M. 1993. KESSMANN, H., M. OOSTENDORP, W. RUESS, TH. STAUB, W. KUNZ and J. RYALS: Systemic activated resistance - a new teehnology for plant disease control. Pesticide Out-
- MOTOYAMA, T., M. NAKASAKO and I. YAMAGUCHI: Molecular action mechanism of a new melanin biosynthesis inhibitor. Proceed. 12. Intern. Symposium Schloß Reinhardsbrunn. Intercept Inc. 1998 (in press).
- OERKE, E.-C. und U. STEINER: Ertragsverluste und Pflanzenschutz. Schriftenreihe Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft Bd. 6, Ulmer Verl. Stuttgart 1996.
- OERKE, E.-C.: The importance of disease control in modern plant production. Proceed. 12. Intern. Symposium Schloß Reinhardsbrunn, Intercept Inc. 1998 (in press).

Alfred Zimm

Bemerkungen zu siedlungsbildenden Potenzen in unserer Zeit*

A. Einleitung

Wir befinden uns zur Zeit in einem tiefgreifenden Umbildungsprozeß der städtischen Siedlungsbildner. D. h.: Die von der Arbeit her wirkenden bestimmenden Faktoren der Stadt-Entwicklung verändern zur Mitte unseres Jahrhunderts grundlegend ihren Charakter.

Verbindet man in Anlehnung an J, Fourastie ("Die große Hoffnung des 20. Jahrhunderts", Köln 1954) die sektorale Produktionsentwicklung mit der Siedlungsentwicklung, so ergibt sich der folgende Dominanzablauf:

<u>Der primäre Sektor</u> (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Bergbau) war bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts der wichtigste produktive SiedlungsbildneT. So hatten um 1800 die meisten Länder eine Beschäftigungsstruktur, die sich zu 80% und mehr an den primären Sektor band. Siedlungstypisch spiegelt sich dies in der *Dominanz des Dorfes* wider, in dem um diese Zeit etwa 97% der Erdbevölkerung behaust war.

Der sekundäre Sektor (Handwerk und Industrie) gewann mit der industriellen Revolution des 19. Jahrhunderts die zentrale Bedeutung ais produktiver Siedlungsbildner. Sein Siedlungsäquivalent ist die *gewerbliche Stadt* in der der Hauptteil der Wertschöpfung realisiert wurde. Der städtische Behausungsanteil erreichte 2um Höhepunkt der "sekundären" Siedlungsbasierung rund ein Drittel der Erdbevölkerung (gegen 1950).

<u>Der tertiäre Sektor</u> (Handel, Verkehr, Dienste aller Art) wird mit der wissenschaftlich-technischen Revolution ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zum schnellstwachsenden Sektor der Wirtschaft. Für die Zeit um das Jahr 2100 prognostiziert Fourastie eine sektorale Beschäftigtensituation, die zu 80% vom tertiären Sektor bestimmt werden wird. Das

Vortrag, gehalten in der Klasse Sozial- und Geisteswissenschaften der Leibniz-Sozietät am 21. September 1995,

22 ALFRED ZIMM

würde einer Umkehrung der Dominanz gegenüber dem Jahre 1800 entsprechen. Siedlungsmäßig drückt sich dies in der zunehmenden Prägung durch die *dienstleistende* Stadt aus. Der städtische Behausungsanteil wird weit mehr als zwei Drittel der Erdbevölkerung betragen.

Der tertiäre Sektor, der in unserer Zeit die städtische Siedlungsentwicklung dominiert, zeigt sich als ein riesiges Funktionsagglomerat. Er umfaßt (Auswahl):

- die distributären Dienste: Transport, Handel
- die kommerziellen Dienste: Banken, Versicherungen, Kommunikation, Information, Rechtsberatung, Softwarehäuser
- sozialbezogene Dienste: Gesundheitswesen, Schulen, Verwaltungen, Post, Wohlfahrt, religiöse Einrichtungen
- persönliche Dienste: Hotels, Restaurants, häusliche Dienste, Reparaturdienste, Dienste für Erholung, Unterhaltung, Pflege

Innerhalb dieses Agglomerats bildet sich zur Zeit ein besonders aktiver Teil heraus, der vorrangig steuernde und kontrollierende Funktionen (also die Lenkung von Unternehmen sowie die Produktions- und Absatzkontrolle) umfaßt, wobei sich dies in engster Verbindung mit informationsverarbeitenden Dienstleistungen (also Forschung und Entwicklung, Marktbeobachtung, Finanzplanung, Bank- und Versicherungsinitiativen) vollzieht. Dieser Teilbereich des tertiären Sektors hat so an Bedeutung gewonnen, daß er zunehmend selber schon sektoral als "quartärer Sektor" bezeichnet wird. Er ist zugleich mit seiner Wissens- und Kreativitätsballung der "Kreativsektor", der neuste Entwicklungen in besonderem Maße anstößt.

Siedlungsfunktionell spielt sich diese Entwicklung in großen Städten ab, weil nur diese die Voraussetzungen dazu besitzen. Vor allem wären hervorzuheben:

- die Verbindung von Wissenschaft und Wirtschaft, die neuartige Impulse gebiert und anzieht,
- Multifunktionalität, die mit ihrem breiten Angebot neue Ansätze erleichtert.
- synergetische Effekte, die sich aus der Dichte und Vielfalt anbietender Akteure ergeben (private, kommunale, staatliche, intermediäre Akteure),
- hochqualifiziertes Personal mit besten Auslesemöglichkeiten, ein Wohn- und Kulturumfeld, das kreative Personen anzieht,

- eine vorzüglich entwickelte Kommunikations- und Verkehrsausstattung (Infopolis),
- Flexibilität aller Angebote.

Mit der Konzentration auf die großen Städte verbindet sich in diesen selbst eine starke Ballungstendenz, die vorrangig die Kerne der großen Städte betrifft. Damit wiederum vereint sich der Doppelprozeß

- · der Verdrängung der Wohnbevölkerung aus den Kernen und
- * Anziehung von mobilen "auswärtigen" Erwerbspersonen (Einpendler) für die tertiären/quartären Arbeitsprozesse.

Wegen der hohen Bodenpreise in den Kernen sind die Arbeitsplätze durch eine hohe Arbeitsplatzdichte gekennzeichnet, die sich in Bürohochhäusern (Optimierung der Nutzung durch Höhe) baulich manifestiert. In New York und Chicago stehen solche in die Höhe expandierenden Gebäude, die 100 Etagen übertreffen (z. B. erreichen die Zwillingstürme des World Trade Center auf Manhattan 110 Etagen bei 477 m Bauhöhe), und amerikanische Architekten entwerfen z. Z, Hochhäuser mit 210 Stockwerken (realistisch für die nächste Zeit) und sogar mit 500 Etagen. In solchen Hochhäusern arbeiten bis zu 10.000 Beschäftigte. Das wieder bedeutet, daß sich die scheinbar bodensparende Höhendominante doch mit einer größeren arealen Wirkung verbindet, die sich aus "Nachfolgen" der Höhendominante ergibt, so z, B. der täglichen Unterbringung von Tausenden von Autos (die nicht alle innerhalb der Gebäude abgestellt werden können), der verkehrsmäßigen Anbindung (Trassen) und der Versorgung der in den Hochhäusern Arbeitenden (Shopping).

Diese Prozesse - Kernballung "quartärer" Einrichtungen, Hochbebauung, Abdrängung der Wohnbevölkerung, Umlandexpansion sekundärer Branchen und von Siedlungsflächen, Arbeitspendlerströme - sind vielerorts beschrieben, so daß es angezeigt scheint, aus der großen Reihe der Prozesse einige herauszusondern, die zur Zeit besondere Aufmerksamkeit verdienen.

B. Neue Standortimpulse

In zunehmendem Maße werden die funktionellen und räumlichen Entwicklungen der Großstädte durch neuste Technologien beeinflußt, wo-

24 ALFRED ZIMM

bei der Herausbildung neuer Arbeitsprozesse des Informationssektors besondere Bedeutung zukommt. Funktionell kulminiert dies in der Infopolis und raumstrukturell in der Metropolis.

Beispielhaft sei hier die Telematik hervorgehoben, die umfaßt:

- Betriebe, die Hard- und Software produzieren oder entsprechende Dienstleistungen anbieten,
- Betriebskonzentrationen der neuen Informations- und Kommunikationstechnologien in der Art von Teleports, Wissen schaftsparks (Science Parks), Technoparks, Medienparks,
- · Computerheimarbeit,
- Konsumeinrichtungen auf Basis neuster Technologien (Teleshopping, Telebanking o. ä.).

Anfänglich wurden die räumlich dezentralisierenden Wirkungen der Telematik fast euphorisch eingeschätzt. Man ging theoretisch davon aus, daß durch die Herausbildung von erdumspannenden Informationssystemen, die auf , jedem" Punkt der Erde wirksam werden könnten, die Standortgebundenheit (und dabei insbesondere die großstädtische Bindung) einer bedeutenden Gruppe von Einrichtungen schnell abnehmen würde und damit bis zur räumlichen Dispersion jeder Ort potentiell Standort tertiärer Einrichtungen sein könne. In Wirklichkeit setzte sich eine gegenläufige Tendenz durch, die neue Konzentrationseffekte auslöst. Dies liegt in der Hauptsache darin begründet, daß die Herausbildung einer Telekommunikationsinfrastruktur mit einem sehr hohen Investitionsaufwand verbunden ist. Damit geht es zumindest mittelfristig um Umstellungen der Kommunikationssysteme vorrangig dort, wo maximaler Nutzen und Gewinn erzielt werden können. Die stärkste Informationsnachfrage und die höchste Nutzerdichte (Ausnutzungsgrad) massiert sich in den Großstädten. Sie erhalten demnach als erste Vorzugsbedingungen, die sich als neue (und zusätzliche) Agglomerations vorteile realisieren. Diese Verbindung von alten und grundlegend neuen Standortvorteilen an den "Stellen", die schon vor der Einführung der Telematik arbeitsteilig dominierten, hält Dezentralisierungen in engen Grenzen. Das heißt: Die technologischen Auslöser tertiärer/quartärer Standortentwicklungen haben ihr Realisierungsfeld vorrangig in hochurbanen Räumen. Von hier aus folgen sie dann in abgeleiteter Verbreitung der Städtehierarchie und fasern zu den peripheren Gebieten aus. Die "Geographie" der Neuentwicklung folgt also einem hier-

archischen Diffusionsmuster. Aber egal, ob Dezentralisierungen ab eines bestimmten Niveaus wirksam werden, sind hohe standortliche Dauerwirkungen nur diesen großstädtischen Gebieten gegeben, denen als Ausgangsbereichen neuer Impulse ein fortschrittliches Image gegeben wird, das psychologisch die Ansiedlung modernster Einrichtungen besonders hier geraten sein läßt. Dies wird noch dadurch verstärkt, daß die Entwicklung des tertiären/quartären Sektors durch "Standortspaltungen" gekennzeichnet ist, die ihrerseits den großen Kernen Bedeutungszunahmen verschaffen. So ist es typisch, daß die kommerziellen Dienste (Banken, Börsen, Versicherung, Beratung etc.) eindeutig zu den großstädtischen Kernen tendieren. Die distributären Dienste sind mit ihren konsumnahen Bereichen (Detailhandel) cityorientiert, mit Shopping-Centern umlandaktiv und mit dem Großhandel regionsorientiert. Die persönlichen Dienste sind weitgehend universell verteilt, wobei das Gaststättengewerbe vorrangig zur City zielt. Ähnlich vielseitig orientieren sich die sozialen Dienste, bei denen die öffentlichen Verwaltungen Kerntendenzen erkennen lassen. Kurz: Die höchstrangigen Dienste sind kernaktiv, die niederrangigen unterliegen in den Kernen einer Verdrängung und siedeln sich vornehmlich in den großstädtischen Rändern an. Da die im Rang führenden Dienste finanziell stark und auf Repräsentation bedacht sind, verbindet sich mit ihrer Ansiedlung eine Kernmassierung der architektonischen Hervorhebung (Geschäftspaläste, Bankhochhäuser etc.).

Zur gleichen Zeit, da ökonomische Auslöser ein neues Verhältnis von Innen und Außen in Großstädten auslösen und damit die Siedlungstätigkeit nachhaltig beeinflussen, bilden sich diesen räumlich-funktionellen Differenzierungsprozeß ebenfalls unterstützende Entwicklungsphänomene heraus, die nicht in erster Linie aus der Ökonomie, sondern aus Wohnbedürfnissen entspringen. Auch dazu ein paar orientierende Bemerkungen.

Es handelt sich um die zunehmenden Aufspaltungen der Wohnfunktion in Arbeits- und Freizeit Wohnungen (Haupt- und Neben wohnsitz), was regional die Kernstädte, die Suburbs und die ländlichen Räume erfaßt und damit zur Veränderung des Siedeins in hohem Maße beiträgt. Zunehmend entstehen besonders in Europa Zweitwohnungsregionen um die großen Städte, die mit einer neuen Lebensweise, dem "städtischen Nomadentum", verbunden sind.

26 ALFRED ZIMM

Die so agierenden Bewohner der Kernstädte werden für die Kerne wie für die Zweitwohnungsareale zu "Bewohnern auf Zeit", verursachen also eine hohe Instabilität der Wohnbevölkerung. Auslöser dieser Prozesse, die von den Mittelschichten (Angestellte …) getragen werden, sind

- a) für den Zweitwohnsitz: die hohe ökologische Attraktivität (Naturnähe), die individuellen Gestaltungsmöglichkeiten des Wohnens, Wohnen im privaten Grün, die Überschaubarkeit des ländlichen Milieus, die relativ einheitliche Sozial struktur;
- b) für die Beibehaltung des Hauptsitzes: kurze Wege zur Arbeitsstelle, Nähe von diversen Läden, zur Schule, zu kulturellen und Bildungseinrichtungen, zu Haltestellen des öffentlichen Nahverkehrs.

Es sind also zwei entgegengesetzte Kräfte - als unzureichend empfundenes Wohnen in stark verdichteten Arealen (Massenbauten, fehlende Naturnähe) auf der einen Seite und hohe individuelle Gestaltungsmöglichkeiten des Wohnens im Grünen auf der anderen -, die zwei zur gleichen Zeit wirkende Wohntendenzen hervorrufen, die durch die hohe individuelle Mobilität real werden. Es handelt sich um zwei verschiedene Qualitäten. die nur an zwei verschiedenen "Orten" innerhalb eines Urbanen Raumes realisierbar sind. Verfestigt wird dieses System durch Kapitaltransfer aus den ursprünglichen städtischen Wohngemeinden in die ländlichen Zweitwohnungsgemeinden, wodurch hier der Dienstleistungssektor (besonders: persönliche Dienste) gefördert wird, was wiederum bei der Umwandlung des Zweitwohnsitzes in den Hauptwohnsitz mit dem Ausscheiden aus dem Berufsleben eine große Rolle spielt. Es mischen sich dann in den ehemals ländlichen Gemeinden drei Siedlungsträger: die ursprüngliche Dorfbevölkerung, städtische Zweitwohnungsbesitzer, neue Urbane Siedler mit Hauptsitz,

C. Metropolen als Hauptträger hochwertiger tertiärer/quartärer Dienste

So wie die Rangigkeit der Dienste das Verhältnis von Innen und Außen in den Großstädten bestimmt, so bestimmt auf der anderen Seite die Rangigkeit der Großstädte die Qualität der Dienste. Es bilden sich Führungsstädte (Trendsetzer) als Sammler höchstwertiger Dienste heraus, die zugleich mindere Dienste abgeben. Diese Städte "spezialisieren" sich

standortlich als Städte weitreichender Entscheidungen und Kontrolle, als Zentren der weltweiten Kommunikation, als Exporteure von Kreativität. Der Prototyp dieser Entwicklung ist die Metropole.

Als Metropole wird die führende Stadt eines Landes oder einer größeren Region (Ländergruppe etc.) bezeichnet, sofern die hier geballten Funktionen und Ressourcen von nationaler und (wenigstens in Teilen) von internationaler Bedeutung sind. Bis ins 19. Jahrhundert waren Metropolen eine zahlenmäßig kleine Sonderform städtischen Siedeins; erst mit der industriellen Revolution in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurden sie zu einem Prototyp.¹

Die großen Hauptstädte der wichtigsten Industrieländer entwickelten sich zu Industrie- und Handelsmetropolen. Mit dem 20. Jahrhundert begannen weitgespannte Dienstleistungen eine gleichrangige Rolle zu spielen. Seit der Mitte des 20. Jahrhunderts sind sie zum metropolitanen Hauptträger geworden.

Diese tertiäre/quartäre Metropolisierung vollzog sich unter dem Wirken einer ganzen Reihe typischer Effekte.

- der Zentrierungseffekt: Er wirkt im Sinne des Entzugs von höchstrangigen Einrichtungen und Leistungen aus der Region, dem Landi einer Ländergruppe und deren Konzentration in der Metropole.
- der Informationseffekt: Er wirkt im Zusammenhang mit der hierarchisch höchsten Position der Metropole nach Funktionen (Dienste, Leistungen) im Sinne der metropolitanen Konzentration der bedeutendsten Interaktionen und deren Angebot für andere allein durch die Metropole.
- der "brain-dTain"-Effekt: Er wirkt in dem Sinne, daß durch weitreichende Intelligenzimporte die Metropolen ihre Rolle als geistige Zentren mit den vielfältigsten intellektuellen Angeboten verstärken.
- der psychologische Effekt: Er wirkt im Sinne der ständigen Weiterentwicklung immateriellen Bedingungen für die andauernde Innovation in der Metropole.
- der Modemisierungseffekt: Er wirkt über die in der Metropole angesiedelte Dynamik der Wertvorstellungen in Richtung auf schnellste Anpassung an übergreifende Trends.
- Dies natürlich in den Ländern, die die industrielle Revolution trugen. So erreichten schon im frühen 19. Jahrhundert London, Paris, Wien, Berlin 1 Million, 550.000, 220,000 und 150.000 Einwohner, während in Afrika südlich der Sahara erst 1920 die erste Stadt (Lagos) 100.000 Einwohner zählte.

28 ALFRED ZIMM

* der High-tech-Effekt: Er wirkt als produktiver Auslesefaktor in dem Sinne, daß die "Inkubatorzweige" der Produktion, die eng mit der Wissenschaft (Forschung) verbunden sind, sich in der Metropole plazieren.

- * der Synergieeffekt: Er wirkt in dem Sinne, daß sich punktuelle Innovationen in Metropolen meist in vielfach verbundenen breiten Aktivitäten fortsetzen, die in ihrer Vielfältigkeit unübertroffen sind.
- * der Temtorialeffekt: Er wirkt in dem Sinne, daß Metropolen große Gebiete hochurban überformen und damit leistungsunterstützende Regionen höchsten Ranges herausbilden, mit denen man nahräumig arbeitsteilig umfassend kooperieren kann.

Insbesondere mit dem Wirken dieser Effekte bilden sich die tertiären/quartären Dominanzen der Metropolen heraus, die eine hegemoniale Stellung der Metropole im jeweiligen Lande, in einer Region oder global bestimmen.

Innerhalb des tertiären/quartären Funktionsagglomerats kommt den Kapitalverteilungs- und -steuerungsfunktionen die größte Bedeutung zu. Dabei ist die Teilhabe an der internationalen Kapitalsteuerung beute in erster Linie an eine superschnelle Informationszugänglichkeit im Sinne höchster technischer Übermittlungsfähigkeit gebunden. Das heißt: internationale Finanzplätze sind in jedem Falle überragende Standorte der modernsten Informations- und Kommunikationstechnologie. Städte, die durch diese Basierung in hohem Maße gekennzeichnet werden, sind (Reihenfolge als Weitung): London, New York, Paris, Tokio, Frankfurt/ Main, Zürich, Amsterdam, Singapur, Chicago, Los Angeles und Sao Paulo. Deutlich unter dieser Gruppe der "globalen Städte", aber ebenfalls vorrangig so bestimmt sind

- a) in Europa Wien, Mailand, Madrid und Brüssel;
- b) in Amerika Toronto, San Francisco, Houston, Miami, Mexiko,

Carracas und Buenos Aires;

- c) in Asien Seoul, Taipeh, Hongkong, Bangkok und Manila;
- d) in Afrika Johannisburg;
- e) in Australien Sydney.

Sie alle sind "SchlüsselStädte" zur Bestimmung der Stärke und Richtung der internationalen Finanzströme. Organisch verknüpft sich hiermit besonders in der erstgenannten Städtegruppe die standortliche Fixierung des international wirkenden Managements (Hauptverwaltungen global handelnder Unternehmen), von internationalen Institutionen, von bedeutenden Wissenschaftseinrichtungen usw.

Kurz: Diese Metropolen sind es, die die Veränderung der Städtehierarchie zugunsten der quartären Städte tragen und durchsetzen. Für sie alle ist charakteristisch, daß innerhalb der für den quartären Sektor typischen steuernden und kontrollierenden Funktionen der Teilbereich die größten Entwicklungen erfährt, der besonders hochrangig und globalisiert ist. Es handelt sich speziell um Nicht-Routine-Entscheidungen, die von hochqualifizierten Spezialisten bei der Lenkung von Finanzoperationen, der Strategie internationaler Unternehmen, der Produktions- und Absatzkontrolle, der Organisation von Messen und Kongressen u. a. vorgenommen werden. Dies ist so deutlich, daß man in neuester Zeit sogar von der Herausgliederung eines "quintären" Sektors in diesen Metropolen spricht, der allgemein durch Entscheidungsfindung, speziell aber durch die Ballung besonders hochrangiger und geographisch weitgespannter Entscheidungen, gekennzeichnet ist.

Die weltweit höchstrangige Stadt in dieser Hinsicht ist London. Sowohl nach der Zahl der Auslandsbanken wie nach der Bilanzsumme ist diese Stadt der führende Bank- und Finanzplatz der Erde. Citynah liegen hier nicht nur die bedeutendsten britischen Banken, sondern auch mehr als 450 Auslandsbanken. Die Londoner City ist das größte Beschaffungs- und Ausleihzentrum für Dollargeschäfte auf der Erde.

Allein in London werden etwa ein Viertel aller Eurogeschäfte (= Dollargeschäfte in Europa) getätigt. Vier Fünftel des Eurogeschäftes gehen dabei über Auslandsbanken, von denen die japanischen, die nach der Anzahl der Banken in London nur den USA-Banken nachstehen, den größten Umsatz haben.

Der Londoner Devisenmarkt hatte 1985-einen Tagesumsatz von 50 Milliarden Dollar und übertraf den nachfolgenden New Yorker-Markt um 15 Milliarden Dollar. Für den Devisenmarkt, der rund um die Uhr läuft, hat London eine günstige geographische Lage. Dem Sonnenlicht folgend beginnt der Devisentag in Tokio, Singapur und Hongkong, geht über Bahrein nach Europa, von da nach New York, dann zur Westküste der USA (San Franzisko, Los Angeles) und "endet" wieder in Tokio. In London beginnt der Arbeitstag bevor er in Tokio endet und er ist noch nicht zu

30 ALFRED ZIMM

Ende, wenn er in New York beginnt. Ein geographisch begleitender Grund für die überragende Stellung des Londoner Devisenmarktes ist damit also die Möglichkeit, mit den großen Finanzmärkten Tokio, Hongkong und New York während eines Londoner Arbeitstages in Verbindung treten zu können

Die quartäre Leitstruktur Londons wird weiter dadurch unterstrichen, daß diese Metropole führend nach der Zahl der ausländischen Versicherungsgesellschaften ist (z. B. werden hier zwei Drittel des Weltfrachtgeschäftes versichert), die größte Rohstoffbörse und die größte PR-Agentur hier ihren Sitz haben. Schließlich ist London ein weltbedeutendes Zentrum der Wirtschafts-, Finanz- und Rechtsberatung sowie von Forschung und Entwicklung.

Alle diese Strukturen sind weltwirtschaftlich integriert, und gerade das ist neben der allgemeinen Zunahme der quartären Tätigkeit das Merkmal metropolitaner quartärer Dienste.

Typisch ist schließlich, daß das Wachstum des tertiären/quartären Sektors direkt vom Abbau sekundärer Wirtschaftsbereiche begleitet war. So sanken zwischen 1965 und 1985 die industriellen Arbeitsplätze in Greater London um mehr als 1 Million, wobei traditioneile Zweige besonders betroffen waren.

Die Massierung von sogenannten "Citytätigkeiten" baute besonders seit den siebziger Jahren die Beschäftigungsstrukturen in den Metropolen und großen Städten so um, daß die quartären Dienste die wettbewerbsfähigste Branche wurde. Sie wurden stadtbestimmend, indem

- industrielle Arbeitsplätze abgebaut wurden (Abwanderung) und an ihrer Stelle Dienste expandierten,
- · Büroflächen enorm anwuchsen,
- die Abdrängung der Wohnbevölkerung aus den kommerzialisierten Kernen (Mietenexplosion) die Suburbanisierung weiter anheizte,
- die Pendlerbewegungen zwischen dem Arbeitsgebiet Kern und dem Wohngebiet Umland extrem wuchsen,
- durch "Gentrification" (Schaffung von sehr hochwertiger Wohnbausubstanz, von ebensolchen Versorgungs- und Freizeiteinrichtungen für Manager, Rechtsanwälte, Ärzte usw.) exklusive Humanareale in den Kernbereichen entstanden.

Gleichbedeutend mit der raumrelevanten Dynamik der Beziehungen zwi-

sehen Innen und Außen durch Strukturwandel sind die direkten <u>arealen</u> Wirkungen der neuen Technik in den Metropolen, wie sie z. B. im Konzept der Teleports, der Wissenschaftsparks und in anderen quartären Standortprägungen erkennbar sind.

Das Teleportkonzept wurde zu Beginn der achtziger Jahre in den USA entwickelt, um neu zu begründende High-Tech-Standorte durch das Angebot modernster Telekommunikations-Einrichtungen standortlich zu fixieren. Solche Teleports sind im allgemeinen gekennzeichnet durch

- die Lokalisierung leistungsstarker Satellitenerdstationen,
- die Zentrierung solcher Kommunikationsverflechtungen, die höchste Übertragungskapazität garantieren (z, Z. Glasfasernetze),
- den Zugang zu weltweit bedeutenden Datenbanken,
- eine Massievung sogenannter "smart buildings", d, h. von Betriebsgebäuden, die für die Anwendung hochwertiger Informations- und Kommunikationstechniken geeignet sind (z, B. Videokonferenzräume mit weltweiter Vernetzung)

Anfang der neunziger Jahre gab es 120 Teleports in 16 Ländern, wobei die metropolitanen Bereiche bestimmend waren.

Zu den arealen Wirkungen der neuen Technik gehört sicher auch, daß quartäre Arbeiten über die Teleheimarbeit (Computerarbeit) in reine Wohngebiete eindringen, und Arbeiten und Wohnen räumlich vereinen. Das große Interesse der Unternehmen an Teleheimarbeit beruht zum einen darauf, daß Teleheimarbeit den Arbeitgebern Bau-Investitionen erspart (der Arbeitsraum ist Wohnraum) und zum anderen, daß die soziale Isolation und Desintegration der Heimarbeiter gewerkschaftliche Einflüsse minimiert sowie Tarifwillkür Tür und Tor öffnet. Schließlich muß auf psychische Belastungen (z. B. Störungen im Familienleben) und Einschränkungen des effektiven Wohnraums hingewiesen werden. Da gerade in den Metropolen Stressfaktoren stark ausgeprägt und Mietpreise überdurchschnittlich hoch sind, potenzieren sich für solche Arbeitnehmer in den Metropolen die Negativseiten des Lebens.

Der für die Metropolen typische Prozeß der Tertianisierung der Wirtschaft kann geographisch zweigeteilt werden. Er vollzieht sich in den hochentwickelten Ländern arbeitsteilig in großen Stadtregionen, während er in den Entwicklungsländern nur die Zentralräume der Städte betrifft. In Westeuropa z. B. sind die nur auf die Stadt bezogenen Metropolisie-

32 ALFRED ZIMM

rungsprozesse spätestens kurz nach dem zweiten Weltkrieg abgeschlossen, die metropolitane Überformung griff auf die Umländer und Regionen über. Die innerstädtischen Funktionsagglomerate wurden zugunsten der Tertianisierung entflochten. D. h.: Die suburbanen Räume nahmen große Teile der Industrie, des Großhandels und der Bevölkerung der Kembereiche auf, während die tertiären/quartären Wirtschaftsabteilungen höherer Funktion in den Kernen verblieben und sich verstärkten. Die Ballung überörtlicher Dienste in den Zentralgebieten der Metropolen schränkte hier Gewinne über zinstragende Wohnbauten ein, womit erhebliche Dichtereduzierungen der hier wohnenden Bevölkerung verbunden waren. Das bedeutet: Während die metropolitane Region eindeutig sowohl die funktionelle als auch die demographische Dominanz im Land besaß, koppelte sich der funktional führende Raum aus der demographischen Dominanz aus.

Anders in den Großstädten der Entwicklungsländer. Hier können wir bis heute eine anhaltende innerstädtische Verdichtung aller Funktionsbereiche erkennen. Die innerstädtischen Räume agglomerieren alle Stadtträger (sekundäre, tertiäre, humane), ihre Ballungstendenz ist undifferenziert.

D. Schlußbemerkungen

Die bisher dargelegten neuen Entwicklungen stadtbestimmender Faktoren und ihre Konzentration in großen Städten, insbesondere in Metropolen, hat offensichtlich einen unausweichlichen Charakter. Insofern ist es wichtig, objektive Trends zu erkennen, zu beschreiben und Steuerungsmechanismen herauszubilden. Das gilt zum einen, um Wege zu ebenen, damit sich diese Trends angemessen durchsetzen können. So ist es von größter Bedeutung, die vorhandenen und z. T. verfestigten politischen und organisatorischen Strukturen, die wirtschaftlichen Dominanzen, die Infrastruktur, das Management, die Flächennutzung u. a. vorausschauend so flexibel zu halten, daß die neuen Trends zur Entfaltung kommen können. Der betreffende Raum ist "aufzuschließen".

Von gleicher Bedeutung sind zum anderen begleitende Maßnahmen im Städtenetz, um die polarisierenden Entwicklungsmomente, die mit der Konzentration der tertiären/quartären Faktoren verbunden sind, in Grenzen zu halten. Das gilt nicht nur national, sondern auch international, wo die Gefahr besteht, daß die Städtesysteme der Entwicklungsländer in die Rolle reiner Importeure der neuen Kommunikations- und Industriesysteme gedrängt werden und ihr Kreativitätspotential abgeschöpft wird.

Literaturauswahl

- Die Zukunft der Metropolen: Paris, London, New York, Berlin. Ein Beitrag der Technischen Universität Berlin zur Internationalen Bauausstellung Berlin, Berichtsjahr 1984, Bd. 1, Aufsätze, Berlin 1984.
- Doxiades, K. A.; Die kommende Weltstadt Ökomenopolis. In: Toynbec, A. J. (Hrsg.): Städte der Entscheidung - Metropolen des Weltgeschehens. München 1970.
- 3) Ewerts, H.-J., Goddard, J. G. und H. Matzerath: The Future of the Metropolis. Berlin 1986.
- 4) Ewers, H.-J. u. K, Puls: Kieativitätsentwicklung als bestimmender Faktor bei der Gestaltung von Metropolen, Konsequenzen für Wissenschafts- und Technologiepolitik sowie für europäische Zusammenarbeit, In: Stadtforschung in Ost und West: Perspektiven und Möglichkeiten der Kooperation der großen Zentren in Europa. Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 116, Hannover 1990.
- 5) Friedmann, J.; The world city hypothesis. In: Development and Change, 17/1986.
- 6} Hall, P.: The world cities. London 1977.
- Henckel, Nopper, Rauch: Informationstechnologie und Stadtent Wicklung. Stuttgart, Berlin, Köln 1984.
- Hotz-Hart, B. u. M Würth: Strukturwandel im Dienstleistungssektor und Stadtentwicklung. In: Dokumente und Informationen zur Schweizerischen Orts-, Regional- und Landesplanung, Sonderheft: Stadtent Wicklung. Zürich 1985.
- Lichtenberger, E.: Stadtgeographie. Bd. 1: Begriffe, Konzepte, Modelle, Prozesse. Stuttgart 1986.
- Lichtenberger, E., Fassmann, H. u. D. Mühlgassner: Stadtentwicklung und dynamische Faktorialökologie. Wien 1987.
- 11)Zimm, A. u. H. Hirrle: Hypertrophie von Metropolen. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, 134/1990,

Hans-Heinz Emons

Chemische Aspekte im Umfeld der Kali- und Steinsalzgewinming*

Vorbemerkung

Eine Notiz in der "Frankfurter Allgemeinen Zeitung", auch erschienen in der "Chemie-Ingenieur-Technik" [1], über Verhandlungen der BASF, einem der drei großen deutschen Chemiekonzerne, zu dem die Kali- und Salz-Beteiligungs AG als Tochtergesellschaft gehört, über eine Beteiligung der Potash Cooperation of Saskatschewan (Kanada), mit 51 % an der deutschen Kali- und Salzindustrie sowie Ereignisse vor einigen Tagen in Teutschenthal mit dem Gebirgsschlag in der Kaligrube, der auch in Entfernungen von über 100 km zu bemerken war und auf Grund von Pfeilerbrüchen ein Feld von über S^IO^m³ Volumen zusammenfallen ließ, waren Veranlassung, die angekündigte Thematik des Vortrages zu aktualisieren. So soll zunächst ein Einblick in die internationale und nationale Situation der Mineralsalzindustrie gegeben werden, um sich dann chemischen Problemen zuzuwenden, die in unmittelbarem Zusammenhang mit Fragen der Bergbausicherheit bei Salzbergwerken stehen, auf denen ein Schwerpunkt unserer Arbeiten lag und liegt.

1. Bemerkungen zur Situation der Kali- und Steinsalzindustrie

Kali- und Steinsalzvorkommen gibt es weltweit (Abb. 1). Die Steinsalzgewinnung ist mit Sicherheit seit über 3000 Jahren bekannt [3], Der Kalibergbau begann 1861 in Staßfurt. Deutschland war zunächst der einzige Kalisalzhersteller der Welt. Die Produktion wies gewaltige Zuwachs-

überarbeitete Fassung eines Vortrages, gehalten vor der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 19. September 1996.

36 HANS-HEINZ EMONS

raten aus, der Exportanteil lag 1890 bei 80%, 85% der Produktionsmenge gingen in die Landwirtschaft, 1917 gab es in Deutschland 209 Kaliwerke, weitere 80 waren im Bau. Mit dem Ende des 1. Weltkrieges fielen die elsässisehen Werke an Frankreich, damit endete das deutsche Kalimonopol.

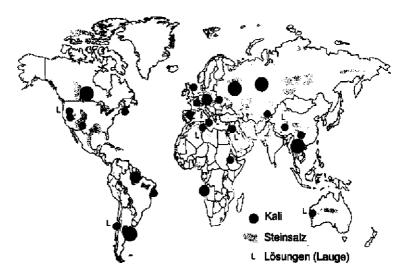
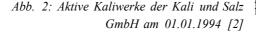


Abb. 1: Kali- und Steinsalzvorkommen der Welt [2]

Nach Genehmigung der Fusion der Mitteldeutschen Kali AG - der Nachfolgerin des VEB Kombinat Kali - und der Kali und Salz AG zur Kali und Salz GmbH gab es neben den drei Steinsalzwerken Bemburg, Braunschweig-Lüneburg und Niedersachsen-Riedel acht Kaliwerke in Sachsen-Anhalt, Thüringen, Hessen und Niedersachsen, von denen in der Zwischenzeit zwei weitere - Bergmannssegen-Hugo und Niedersachsen-Riedel - die Produktion einstellten (Abb. 2),





In Verbindung mit der Erdöl-Erdgas suche wurden in diesem Jahrhundert weltweit zahlreiche Kali Salzlagerstätten entdeckt, die bergmännisch erschlossen wurden und in Produktion gingen wie Carlsbad, USA; Beresniki, Rußland; bei Minsk, Weißrußland; südwestlich von Barcelona, Spanien; Sizilien, Italien; in den kanadischen Provinzen Saskatchewan und New Brunswick; am Toten Meer in Israel und Jordanien; in England, Kongo und Brasilien.

Weltweit sind unseres Wissens 56 Produktionsstätten verteilt auf drei Kontinente in Betrieb.

Weitere Erschließungen bzw. Überlegungen hierzu gibt es in Thailand, Äthiopien, Argentinien, Turkmenien und in der Provinz Manitoba in Kanada. Die Weltproduktion erreichte 1988 ihren Höhepunkt mit einem starken Rückgang bis 1993 auf das Niveau zu Beginn der 70er Jahre.

Tab. 1 weist für Kanada einen Anteil von -33 %, für die GUS-Staaten -23% und für Deutschland von -14% aus. Die Verbrauchsrückgänge resultieren aus den Auswirkungen der EU-Agrarpolitik, in Osteuropa aus den politischen und wirtschaftlichen Transformationsproblemen, in Femost bei den wichtigsten Importeuren China und Indien in erster Linie aus finanziellen Schwierigkeiten. Daraus folgt zwangsläufig eine verstärkte Problematik zwischen Weltkapazität und -nachfrage (vergl. Abb. 3).

Tab.	1:	Produki	tionszahlen	1988	und	1993	in	Mio	t K20	[2]]
------	----	---------	-------------	------	-----	------	----	-----	-------	-----	---

	1988	1993
UdSSR/GUS	11,3	4,7
Kanada	8,3	6,8
DDR	3,5	
BRD	2,3	
Deutschland	5,8	2,9
USA	1,5	1,5
Frankreich	1,5	0,9
Israel	1,2	1,3
Jordanien	0,8	0,8
Nahost	2,0	2,1
Spanien	0,8	0,7
England	0,5	0,5
Italien	0,1	0,0
Brasilien	0,05	0,2
Chile	0,02	0,04
China	0,05	0,06
Sonstige	1,5	1,5
Insgesamt	31,9	20,4

38 Hans-heinz emons

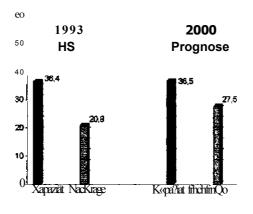


Abb. 3: Weltkapazität und -nachfrage in Mio t KiO [4]

Nach dem Anstieg des Weltkali ab satzes im Jahr 1994 um knapp 11% auf 23,7 Mio t KjO weisen 1995 und 1996 eine Stabilisierung auf diesem Niveau aus.

Mit einem Verbrauchszuwachs von 1-2 %/a durch erhöhte Verbrauche u. a. in Südamerika und Asien erscheint die Prognose für das Jahr 2000 recht optimistisch. Aus Fracht- und Erlösgründen wird die deutsche Kaliindustrie an dieser Entwicklung nur unterrepräsentiert teilhaben.

Die Steinsalzproduktion verläuft relativ stabil. Sie ist in den Industrieländern stark abhängig von der z. Z. etwas entspannten Diskussion um die Chlorchemie und damit verbunden dem Chlorverbrauch bzw. der AlkaÜchloridelektrolyse.

Wie sieht es mit der Weltreserve der diskutierten Salze aus?

Für das NaCl stellt sich die Frage auf Grund der vielfältigen bekannten Vorkommen und seiner fast unerschöpflichen Reserven nicht als stoffliches Problem. Die Kalirohsalze reichen auf der Basis des heutigen Verbrauchs für viele Jahrhunderte aus. Sie sind damit keine strategischen bzw. politischen Rohstoffe.

Betrachtet man in diesem Zusammenhang die kumulative Weltproduktion an Kalisalzen, so betrug sie bis 1992 -870 Mio t K2O, davon entfallen auf Deutschland 250 Mio t, auf die GUS-Staaten 220 Mio t und auf Kanada 155 Mio t.

Zur Situation in Deutschland läßt sich das Folgende ergänzend aussagen.

Mit der schon aufgeführten Genehmigung zur Fusion der deutschen Kaliproduzenten durch die EU im Dezember 1993 kam es zur Bildung der Kali und Salz GmbH (Abb. 4). Vorausgegangen waren Stillegungen, Rationalisierungen und damit Kapazitätsanpassungen vor 1990 besonders in der Kaliindustrie der Bundesrepublik aber auch in der DDR im Bezirk Halle; bis 1993 verstärkt am Südharz und an der Werra (Abb. 5).

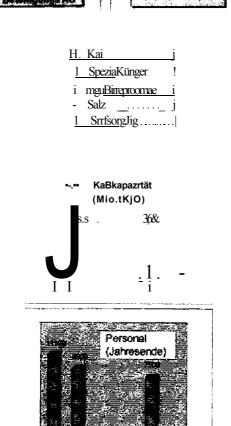


Abb. 4: Gesellschafter und Arbeitsgebiete der Kali und Salz GmbH 141

Abb. 5: Kalikapazität und Personal der Kali und Salz GmbH [4]

Da der angegebenen Kapazität 1993 eine Produktion von 2,9 Mio t K2O gegenüberstand, ergab sich eine Auslastung von -2/3 der vorhandenen Möglichkeiten und somit die Aufgabe der weiteren Anpassung um etwa 1 Mio t K2O bei weiterer Reduzierung des Personals. Damit würde Ende 1997 einer Kapazität von 3,65 Mio t K2O eine voraussichtliche Produktion - bei Beibehaltung des Niveaus von 1995 - von -3,3 Mio t KiO gegenüberstehen. Die starken Absatzrückgänge bis 1993 basieren einerseits auf den dramatischen Einbußen in der strategisch maßgeblichen europäischen Region mit > 2 Mio t K2O sowie den Importreduzierungen in China und Indien. Daraus resultierte das in Abb. 6 dargestellte Produktionsbild.

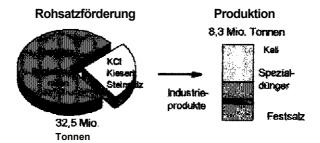


Abb. 6: Rohsahförderung und Produktion der Kali und Salz GmbH 1993 [4]

Hinzukommt die in Bernburg geförderte NaCl-Sole. Die neue Siedesalzanlage mit 250.000 t/a wurde im Jahre 1996 eingeweiht. Sie führt zu einer beachtlichen Produkt- und Qualitätserweiterung. Es sei erinnert, daß eine solche Anlage zur Produktion eines sehr reinen NaCl von uns schon in Verbindung mit dem Bau von BUNA II und damit der Höchst-Uhde-Alkalichloridelektrolyse in den 70er Jahren gefordert wurde, um den technologischen Weltstandard dieser Anlage nutzen zu können. Leider blieb es ein Wunsch.

Das Kaligeschäft verteilte sich 1995 zu 76,5 % auf Europa und zu 23,5% auf Übersee [5]. Der Umsatz der Kali und Salz GmbH erreichte 1995 1,72 Milliarden DM, 2% mehr als 1994 und 16 % mehr als im Jahr der Fusion 1993. Trotz der sich abzeichnenden Konsolidierung und Reduzierung der Verluste mußten sich die Aktionäre der Kali und Salz Betei-

ligungs AG bei der Hauptversammlung zum Geschäftsbericht im Frühjahr 1996 "unter Murren", wie es die Presse schrieb, erneut mit einer Nullrunde bei der Dividende abfinden.

Die weitere Entwicklung der Kali- und Steinsalzindustrie in Deutschland wird entscheidend von der zukünftigen Besitz- und Organisationsstruktur sowie der sich daraus ableitenden Konzemstrategie bestimmt werden. Die Beteiligung der PCS (Kanada) ist beschlossen, der Realisierung steht z. Z. (Anfang 1997) noch der Einspruch des Bundeskartellamtes entgegen.

Mit großer Wahrscheinlichkeit wird das Produktionsniveau bei möglichen Variationen in der Produktionspalette z.B. in Richtung Mehrkomponenten- und nichtchloridischen Düngern sowie einer weiteren Konzentration auf den europäischen Markt nicht über die Stabilisierung und Rationalisierung des jetzigen Standes hinausgehen.

Daraus wird sicher auch einleuchtend, daß Forschung und Entwicklung auf die Anpassung der Produktqualität und die Rationalisierung der Aufbereitungs- und Granulierungsverfahren ausgerichtet sind mit Schwerpunkten wie:

- Verbesserung der elektrostatischen Trennung von Salzen sowie der Salzflotation
- Suche nach hoch wirksamen, oberflächenaktiven Konditionierung smitteln mit dem Ziel der Reduzierung jeglicher Salzlösungen und der Anwendung weitgehend trockener Aufbereitungsprozesse
- « Verbesserung der KristallisationsVorgänge einschließlich Steuerung von Partikelgröße und -form (Fließeigenschaften, Verbackung).

Grundsätzlich neue Gewinnungs- und Verarbeitungsverfahren sowie neue anorganisch-chemische Synthesen zeichnen sich für die nächsten 10-20 Jahre kaum ab, was natürlich auch maßgeblich die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung und damit die "Salzchemie" beeinflußt.

2. Chemische Aspekte bei der bergschadenkundlichen Beurteilung stillgelegter Kali- und Steinsalzbergwerke [6]

Beim Wandern durch Mecklenburg-Vorpommern oder Sachsen-Anhalt sieht man manchmal Verschlüsse, die riesigen Brunnen gleichen, oder auch nur Zementplatten und wenige wissen ihre Bedeutung.

Es handelt sich um Schachtverschlüsse alter Steinsalz- oder Kalisalzbergwerke und ihrer Schachtsysteme, die meistens in den Jahren 1890—1930 stillgelegt wurden, mehr als 500 m tief sind und ein Hohlraumvolumen von 200.000~500.000 m³ besitzen. Über lange Zeiten interessierte sich kaum jemand für diese Situation, aber plötzliche Tagesbrüche - mehr als 100 m lang und 20-30 m breit -, Probleme mit dem Untergrund und dem Grundwasser sind sichtbare Warnungen, daß die Erde lebt.

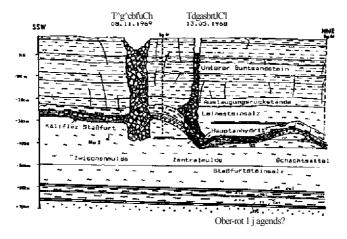


Abb. 7: Geologischer Schnitt durch die Tagesbrüche Friedenshall I/II vom 13.5.1968 und 8.11.1969 [16]

In Verbindung mit geologischen und hydrogeologischen Erkenntnissen ist es notwendig, auch die chemischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften und Verhaltensweisen zu untersuchen. Nur in einer solchen Komplexizität sollte eine realistische Einschätzung bereits eingetretener bzw. noch zu erwartender salinarer Zerstörungen sowohl an Grubenhohlraumkonfigurationen als auch an Deckgebirgen möglich sein.

Wasser und ungesättigte Salzlösungen, die unkontrolliert ins Salzgebirge eintreten, reagieren mit dem Salinar - den unterschiedlichen Salzmineralen - in LÖsungs-, Aussalz- und Kristallisationsprozessen. Unter Berücksichtigung aller Einflüsse, einschließlich der kinetischen, resultiert letztendlich ein thermodynamisches Gleichgewicht zwischen der flüssi-

gen und den festen Phasen, wobei es notwendig ist, die Existenz metastabiler Zustände zu beachten.

Da die Veränderungen der Kationenverhältnisse ein signifikantes Unterscheidungskriterium darstellen, wurden die Tiefenwässer nach den vorherrschenden Kationen typisiert [7]. Sie lassen sich im Kationendreieck schematisch darstellen.

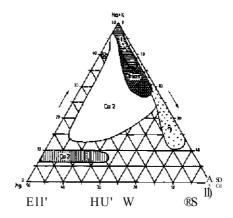


Abb. 8: Kationendreieck der Schichtwässer im Raum Mecklenburg-Vorpommern und im Thüringer Becken nach [8]

Die Konzentration der Tiefenwässer reicht von 5 g/dm³ in Lösungen, die von Oberflächenwasser beeinflußt werden, bis zu den hochkonzentrierten Lösungen des Plattendolomits mit 600 g/dm³ Lösung.

Zum Beginn unserer Arbeiten waren die Kenntnisse über die chemischen Eigenschaften und Abläufe in den alten Gruben und Schächten - gefüllt mit unterschiedlichen Lösungen - sehr heterogen und der Problematik nicht adäquat.

Basierend auf den bekannten Arbeiten von VAN'T HOFF, JANECKE, AUTENRIETH UND KURNAKOV, um nur einige der wichtigsten Autoren zu nennen, haben wir uns ausführlich mit den genannten Systemen, insbesondere in den kaum untersuchten Temperaturbereichen unter 10°C und über 100^DC beschäftigt. Dem Nachweis der praktischen Anwendung dieser Arbeiten dienen auch diese Ausführungen.

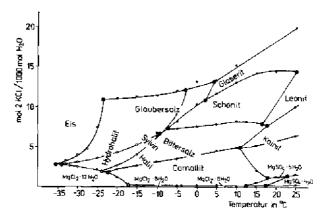


Abb. 9: Polytherme der NaCl (NaCl. 2HiO) - KCl (KCl+MgCh • 6H2O)- gesättigten univarianten Viersalzlösungen des quinären Systems Na $^+$, K $^+$. Mg $^{2+}$ /Ct, SO///H2O im Temperaturbereich von +25°C bis - 35,4°C (2KCl-Koordinaten) [9]

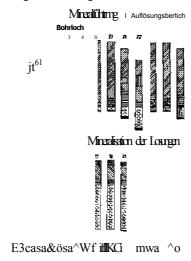
Abb. 9 zeigt als Beispiel eine Polytherme im für diese Arbeiten interessierenden Temperaturbereich [9], Für die Einschätzung salinarer Auflösungsprozesse im Staßfurtsalinar besitzt eine Viersalzparagenese Sylvin-Halit-Camallit-Kainit bzw. magnesiumsulfathaltiger Bodenkörper, die sogenannte Paragenese Q, eine besondere Bedeutung. Diesem Punkt müssen sich die gesättigten Lösungen in Abhängigkeit von der Mineralführung der Lagerstätte und von Metamorphoseprozessen nähern.

Aus dem kurz dargelegten Stand ergibt sich, daß die chemische Charakterisierung von Lösungsproben aus tieferen, dem Einfluß von Tageswässern entzogenen Bereichen der Schachtröhren von Salzbergwerken als eine schnelle und aussagefähige Untersuchungsmethode zur umfassenden bergschadenkundlichen Interpretation beitragen kann.

Deshalb wurde in der vorgestellten Arbeit eine Untersuchung von anstehenden Wässern und Lösungen am Beispiel ausgewählter Schächte vorgenommen, ergänzt durch Langzeitlöseversuche an natürlichen Carnalliten des Kaliflözes Staßfurt bei unterschiedlichem Lösungsmitteleinsatz und unter Grubenbedingungen sowie durch die Charakterisierung von Lösungsproben aus angebohrten Grubenbauen stillgelegter Salzbergwerke.

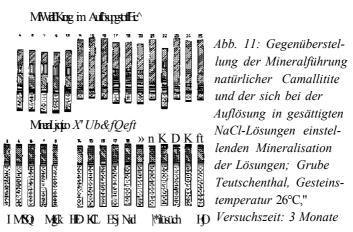
Löseversuche im Kaliflöz Staßfurt

Unser Versuchsfeld war die 500 m-Sohle. Die Bohrlöcher entsprachen einem 1 m-Raster, die Gesteinstemperatur betrug 26°C, als Lösungsmittel dienten Wasser und gesättigte NaCl-Lösung. Die Analyse der Proben erfolgte wöchentlich, später monatlich. Die nächsten Abbildungen zeigen ausgewählte Ergebnisse.



CD COSO

Abb. 10: Gegenüberstellung der Mine ra Iführung natürlicher Camallitite und der sich bei der Auflösung in Wasser einstellenden Mineralisation der Lösungen; Grube Teutschenthal, Gesteinstemperatur 26°C: Versuchszeit: 3 Monate



Die Abbildungen 10 und 11 zeigen die gleiche Tendenz: Salze werden gelöst, NaCl kristallisiert aus. Einige Differenzen treten in bezug auf die NaCl-Gehalte der Lösungen auf. Den gleichen Phänomenen begegnen wir im Schacht Conow, dem einzigen der Ende der 20er Jahre mit gesättigter NaCl-Lösung geflutet wurde. Eine Erklärung fehlt uns. Unter normaler natürlicher Konvektion weisen NaCl, KCl und MgSO-i im ersten Monat die höchsten Löslichkeiten aus, anschließend sinken die Werte kontinuierlich bis in die Nähe der Gleichgewichtsdaten. Parallel hierzu wächst die MgCh-Löslichkeit im ersten Monat auf -280 g/dm³ an. Es schließt sich eine kleinere Zunahme der Löslichkeit in Verbindung mit der jeweiligen Abnahme bei anderen Salzen an.

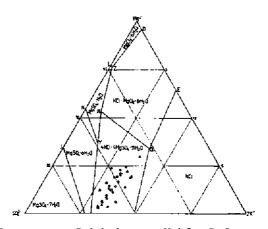


Abb. 12: Lösungen aus Bohrlöchern im Kaliflöz Staßjurt

Lösungsmittel Wasser

• Lösungen nach 3 Monaten Lösezeit

• Lösungen nach 6 Monaten Lösezeit

0- Mittelwert dieser Lösungen

· Mittelwert dieser Lösungen

Lösungsmittel NaCl-Lösung:

A Lösungen nach 3 Monaten Lösezeit

4 Lösungen nach 6 Monaten Läsezeit

-A- Mittelwert dieser Lösungen

4 Mittelwert dieser Lösungen

Die Abb. 12 zeigt die Resultate im Diagramm des quinären Systems. Die Lösungen, die sich im Gleichgewicht mit den festen Phasen befinden, liegen im Kainitfeld nahe der R-Q-Linie. In diesen Fällen ist es berechtigt zu folgern, daß eine weitere Zerstörung des Salinars bei Berücksichtigung

stabiler hydrodynamischer Bedingungen auszuschließen ist. Andererseits sind Untersuchungen über drei Monate zu kurz, um das Gleichgewicht zwischen Lösung und carnallitischen Salzen zu erreichen.

Untersuchungen über 7 Jahre zeigten, daß etwa nach 2-3 Jahren stabile Lösungen mit Zusammensetzungen in unmittelbarer Nähe der R-Q-Linie resultieren.

Modellrechnungen von HERBERT und REICHELT [10] in Verbindung mit geochemischen Messungen im gefluteten Kalibergwerk Hope nördlich von Hannover führten bei der Bestimmung der an der Umlösung beteiligten Gesteinsmenge in Abhängigkeit von bestimmten lonenkonzentrationen zu recht akzeptablen Überein stimmungen (Abb. 13),

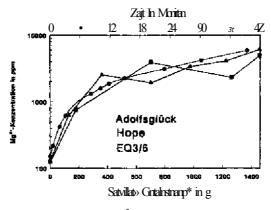


Abb. 13: Änderung der Mg²⁺-Konzentration in den Lösungen der Schächte Hope und Adolfs glück in 500 m Teufe im Vergleich mit Ergebnissen der Modellierung der Reaktionen mit dem geochemischen Programm EQ3/6 [10].

Auf der Basis der chemischen Zusammensetzung der Lösungen und der Modellrechnungen nahmen die Autoren eine grobe Näherungsrechnung der Umlöseprozesse in Hope vor.

Es wurden 1,6 Mio m³ NaCl-Lösung in die Grube eingeleitet, die 2,24 Mio t Kalisalze (»1,06 Mio m³) durch Umlöseprozesse beeinflußten. Etwa 710.000 t KCl und 76.160 tMgSO₄. HjO (Kieserit) sowie etwas Anhydrit (CaSC>4) wurden aufgelöst. Damit erfolgte eine starke Beeinträchtigung des mechanischen Verbundes. Das zurückbleibende Steinsalz (NaCl) mit

634.000 m³ und der Anhydrit mit 12.820 m³ setzten sich auf dem Boden der Kammern ab und wurden aus dem festen Gebirgsgefiige entfernt.

Das Beispiel zeigt, welche stoffliche Dimensionen, welche Veränderungen hinter unserer Ausgangsaufgabenstellung stehen.

Untersuchungen an stillgelegten Steinsalz- und Kalibergwerken

Zur Erzielung aussagefähiger Ergebnisse war es notwendig, solche ersoffenen bzw. im Ersaufen begriffenen Schächte auszuwählen, die einerseits durch ihren derzeitigen baulichen Zustand eine Befahrung mittels Lotkörper und Probenehmer in größeren, der Oberflächen- bzw. Grundwasserbeeinflussung entzogenen Teufenbereichen zuließen und bei denen andererseits eine Verfälschung der chemischen Zusammensetzungen durch eingebrachte flüssige oder feste Substanzen, wie Fabrikrückstände, Aschen, Endlaugen u. ä. ausgeschlossen werden konnte.

Diesen Kriterien genügten eine Reihe stillgelegter Kali- und Steinsalzschächte in Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern, die hauptsächlich das carnallitisch ausgebildete Kaliflöz Staßfurt erschlossen hatten. Das Gesamthohlraumvolumen der Gruben schwankt zwischen 200.000 und 400.000 ml Vor der Schachtbefahrung mit dem Entnahmegerät wurde mit einem Lotkörper der Befahrbarkeitszustand des Schachtes sowie die maximal erreichbare Teufe festgestellt. Gleichzeitig erfolgte durch einen in den Lotkörper eingeschraubten Rohrstutzen die Entnahme einer Probe des Schachtgrundes. Da herkömmliche sogenannte Wasserschöpfer unter den gegebenen Bedingungen keine befriedigenden Proben aus den in den Schächten anstehenden Lösungen lieferten, wurde ein neuer Probenehmer von den Bergbauingenieuren entwickelt, der die Probenahme reproduzierbarer fester und flüssiger Proben ermöglichte.

Neben Schächten im Raum um Halle wurde auf Grund der guten Befahrbarkeit und weil dieses Werk als einziges mit gesättigter NaCl-Lösung geflutet worden war, der Schacht Conow in Mecklenburg in mehreren Teufenbereichen untersucht (Abb. 14 und 15).

		ChfiHAiEiriLJS der Wässer baw. SBizifisur*5effi [£fl]							
Schicht Conow		CaSCL	CaCI,	MgSO,		KCl	N&C!	Н,о	Dichte [fl/ml^
	-T. 50 m —	-	0.20	-	0,19	QSo 0,20	5,01 5,01	998,4	1,004
	— T. 200 m .	3,16			6,77	3,51	262,46	922,61	1.202
	- T. 30Q m -	2,45	-	15,D2	303,64	38,89	5-74	923,26	1,2 92
	- T.400*n	1,22	-	25,87	317.80	3?,01	7,20	910.10	1,299
	THiEfatjührie - T. 50O m	4,45		23,27	328.18	43,95	30,02	873.15	1.3D3
saflrti-s.—	-T.OOOm .			28X12	316,8\$	44,12	2,57	866,41	1,288
Tosm-s—	- T. 67S m	-		26,49	320,76	44,21	3,84	804,70	1,290

Abb. 14: Zusammensetzung der Wässer und Salzlösungen aus der Schachtröhre des stillgelegten Kali- und Steinsalzwerkes Conow

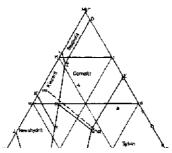


Abb. 15: Zusammensetzung der Lösungen aus den Schachtröhren stillgelegter Kali- und Steinsalzbergwerke Mecklenburgs

- •2 Schacht Herzog Regent (50 m T.)
- •2 Schacht Friedrich Franz (200 m T.)
- •4 Schacht Friedrich Franz (370 m T:) •1 Schacht Conow (300 m T.)
- •2 Schacht Conow (400 m T.)
- •4 Schacht Conow (600 m T.)
- •1 Schacht Friedrich Franz (100 m T:)
- •3 Schacht Friedrich Franz (250 m T:)
- •3 Schacht Conow (500 m T.)
- •5 Schacht Conow (675 m T.)

Beginnend bei 300 m finden wir die Werte für ein typisches Carnallititfeld. Die Carnallititablaugungslösungen liegen in der Nähe der R-Q-Linie, die 50 Hans-heinz emons

beiden ersten Messungen - da ohne MgSC^-Gehalt - auf der Mg²⁺-2K⁺-Achse. Die bestimmten Löslichkeiten von KCl, MgClj und MgSCU stimmen gut mit der 25°C-Isotherme des quinären Systems überein, die NaCl-Werte differieren teilweise, worauf früher schon hingewiesen wurde.

Basierend auf diesen Ergebnissen bedarf die oft übliche bergschadenkundliche Praxis, den quantitativen Grad der salinaren Auflösung auf der Basis der MgCh-Bilanz zwischen dem aufgeschlossenen Carnallitgestein und der gewählten Lösung der Paragenese Q zu berechnen, einer Präzisierung.

Das folgende Beispiel soll diese Folgerung belegen. Basis des Vergleiches ist die Carnallititzerstörung im Flöz Staßfurt bei Annahme einer durchschnittlichen Zusammensetzung von 55% Camallit, 26% Steinsalz, 17% Kieserit und 2% Unlösliches (Tab. 2).

Tab, 2: Ergebnisse der verschiedenen Berechnungsverfahren zur Ermittlung der salinaren Zerstörung im Flöz Staßfurt

Bereehnungsverfahren	SaÜnare Zerstörung			
	(1 m3 HsO zersetzt x m3 Carnallitit)			
Stoffbilanz mit der Lösung aus den Grubenbauen	x = 1,412			
Stoffbilanz mit der Lösung Q bei in-situ-Temperatur	x = 1,456			
(15°C) (nach MÜLLER)				
Stoffbilanz mit Lösung Q (25°C)	x = 1,526			
Berechnung auf Basis der MgCb-Bilanz nach [1]	x = 1,684			
bei teilweiser Berücksichtigung der kristallwasser-				
haltigen Bodenkörper (25°C)				
Berechnung auf Basis der MgClj-Bilanz ohne	x = 1,798			
Berücksichtigung der Bodenkörper (25"C)				

Die recht gute Übereinstimmung des praktischen Wertes mit dem theoretischen Wert unter Berücksichtigung der Lösung Q bei in-situ-Temperatur und unter Einbeziehung aller Bodenkörper - Abweichung -3% - bestätigt die obige Aussage. Allein die Vernachlässigung der tatsächlichen Gesteinstemperatur führt zu einem Fehler von über 8%, die teilweise oder ganze Vernachlässigung der Bodenkörper sogar zu Differenzen von 19 bzw. 27% (vergleiche Tab. 2). Die Überprüfung des errechneten Wertes durch eine Brombestimmung - Ausgangsgestein, flüssige und feste Phasen - ergab eine akzeptable Übereinstimmung.

Subrosive Prozesse sind multifaktorieller Art und bestehen im wesentlichen aus folgenden Auswirkungen:

- Auflösungs- und DeformationsVorgänge im Grubengebäude
- Veränderungen in den geologischen Barrieren, d. h. den liegenden und hangenden Schichten und des Deckgebirges bis hin zur Tagesoberfläche
- Auspressen von kontaminierten Lösungen aus dem konvergierenden Grubengebäude in die Biosphäre
- Austrag kontaminierter Lösungen in die Biosphäre durch andere Mechanismen.

Für eine komplexe und umfassende, besonders sicherheitsrelevante Betrachtung solcher Lösungszutritte ist die Einbeziehung geomechanischer, hydrogeologischer und geochemischer Effekte und insbesondere ihrer Wechselwirkungen erforderlich. Der Geochemie sollte dabei eine zentrale Stellung zukommen, da Auflösungs- und Kristallisationsprozesse den dichteabhängigen Stofftransport über große räumliche Ausdehnungen beeinflussen und Veränderungen der Porosität und Permeabilität des Salzgesteins und damit natürlich auch Gebirgsspannungen hervorrufen, auf deren letztendliche Auswirkungen bereits hingewiesen wurde.

Die Interpretation der Untersuchungsergebnisse mit der Zielstellung einer Aussage zum derzeitigen Stand der salinaren Auflösungserscheinungen in den bergmännischen Auffahrungen sowie im darüber befindlichen Deckgebirge - also die Beantwortung der Frage, ob die durch das Ersaufen oder das Fluten einer Schachtanlage zwangsläufig eingetretenen Zerstörungen im salinaren Gebirge zum Stillstand gekommen sind oder weiter ablaufen - kann nur im Einzelfall und in einer komplexen Betrachtung der physikalisch-chemischen bzw. hydrogeochemischen Situation und der spezifischen geologischen, hydrogeologischen und bergbautechnischen Bedingungen erfolgen. Die Chemie anorganischer Salze kann hierzu einen nützlichen Beitrag liefern.

3. Speicherung und Deponie im Salz

Stillgelegte und abgeschottete Grubenfelder werden seit Jahrzehnten als Deponien und Speicher genutzt. Die vielfältigen Anwendungsbeispiele

beginnen bei eigenen Produktionsrückständen, die wir als typische, sichtbare Salzhalden in der Nähe der Fabriken beobachten, die aber auch als Versatz zurück in die Grube gelangen. Vergegenwärtigen wir uns an dieser Stelle kurz die Dimensionen von Salzbergwerken mit Höhen von 30-50 m im Steinsalz und kilometerweiten Grubenbauen im Kalisalz.

Als Beispiel für die Feststoffeinlagerung sei die Untertagedeponie Herfa-Neurode genannt (Tab.3), die bestimmte Industrieabfälle aufnimmt, u.a. auch toxische, wasserlösliche und umweltgefährdende feste Abfälle [11],

Tab. 3: Eingelagerte Abfallarten - Untertagedeponie Hetfa-Neurode [U]

Härtesalzrückstände

Verbrauchte Cyanid- sowie nitrit-/nitrathaltige Altsalze aus der Stahloberflächenhärtung

Galvanikrückstände

Entwässerte Bodensätze aus Galvanikbädem sowie schwermetallhaltige Rückstände aus deren Spülbädern

Rückstände aus Brünierbädern

Chemie-Rückstände

Filterrückstände aus der Klärung von Abwässern

Destillationsrückstände aus der Herstellung einer Vielzahl von chemischen Produkten

Eindampfrückstände aus Produktions- und Spülwässern

Trockenstoffe

Leuchtstoffröhrenbruch

kontaminiertes Erdreich (auch bestimmte Altlasten)

kontaminierter Bauschutt (auch bestimmte Altlasten)

PCB-haltige Feststoffe

Filterstäube aus Aluminium-Schmelzanlagen

• Rückstände aus Rauchgasreinigungsanlagen von:

Sondermüllverbrennungsanlagen

Hausmüllverbrennungsanlagen

Bedingung für die Aufnahme der Abfalle ist, daß sie nicht radioaktiv, explosiv oder selbstentzündlich sind, sie dürfen nicht selbst entgasen und müssen in chemisch und mechanisch beständigen Behältern verpackt sein.

Bei einer jährlichen Kapazität von 160.000 t reichen die Hohlräume weit über 100 Jahre,

In den letzten Jahren gestaltet sich das Geschäft jedoch zunehmend schwieriger [5]. So blieben die Einlagerungen von Sonderabfällen 1995 um 13% gegenüber 1994 zurück, Ursache ist die zunehmende Konkurrenz von oberirdischen Deponien, Behandlungs- und Verbrennungsanlagen sowie die "Hessen"-spezifische Sonderabfallabgabe.

Auf die komplexe und komplizierte Problematik der Entsorgung von Kernkraftwerken , die im wesentlichen aus den Schritten

- Wiederaufarbeitung der ausgedienten Brennelemente
- Rückführung des dabei gewonnenen Urans und Plutoniums und Verarbeitung zu neuen Brennelementen
- Endlagerung der entsprechend kontaminierten Abfälle in einem Salzstock in Bohrlöchern

besteht, sei nur kurz eingegangen, wobei hier der 3. Punkt interessiert [12].

Das für die Endlagerung der dickwandigen, gasdicht verschweißten Behälter verfolgte Konzept ist u. a. die sogenannte Streckenlagerung. Dafür werden die Behälter in Strecken des Endlagerbergwerkes abgelegt und die Hohlräume mit Salzgrus versetzt (Abb. 16).

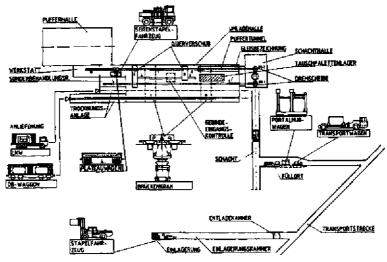


Abb. 16: Schematische Darstellung des Einlagerungsvorganges im geplanten Endlager Konrad [17]

Der Demonstrationsversuch wurde bzw. wird im Salzbergwerk Asse auf der 800 m Sohle durchgeführt. Wie aus dem folgenden Diagramm Abb. 17 hervorgeht, sind die Druck- und Temperaturverhältnisse von beachtlicher Bedeutung.

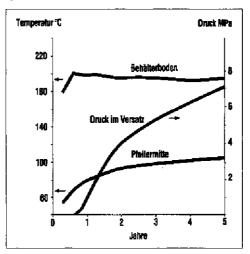


Abb. 17: Berechneter zeitlicher Verlauf der Temperatur am Behälterboden und im Salzgebirge (Pfeilermitte) und des Druckes im Versatz [12]

Die aus den Behältern abgeleitete Wärme an Salzgrus und Gebirge führt zur Beschleunigung der Konvergenz und zur Verdichtung des Versatzmaterials, wodurch die aufgefahrenen Hohlräume geschlossen werden und sich in etwa dem Ausgangszustand nähern.

Bei diesen Vorgängen müssen, um zu komplexen Aussagen zu gelangen, die thermodynamischen und kinetischen Eigenschaften der Salze in den auftretenden Temperaturbereichen berücksichtigt werden. Das Wissen über die Chemie von Salzschmelzen und Salzhydratschmelzen, die praktischen Erfahrungen und experimentellen Möglichkeiten führten zur Einbeziehung Freiberger Chemiker, heute unter Leitung von Prof. Dr. W, Voigt - meines langjährigen Mitarbeiters - in die Versuchsprojekte.

So wie feste Stoffe werden seit Jahren auch flüssige und gasförmige Stoffe in Salzkavernen gespeichert, die z. T, direkt dafür ausgespült werden. Die Basisdaten für die Lösungsprogramme stammen, wie die Weltsalzkongresse zeigten, wesentlich aus unseren Grundlagenuntersuchungen.

Soweit wir wissen, sind etwa 800 Salzkavernen in der Welt in Betrieb, die Größe liegt für Öl und Raffmerieprodukte zwischen 0,5 und 2-3 Mio m³, für Gase wie komprimierte Luft und Kohlenwasserstoffe bei 400,000 m³. Als Unterschiede registrieren wir, daß Ölkavernen eine größere Oberfläche wegen des Wärmeaustausches mit dem Salzgestein und Gaskavernen (20 MPa bei Naturgas) ein dichtes Gefüge besitzen.

4. Zur Abdichtung von Salzgesteinen

Die besondere Gefährdung des Kali- und Steinsalzbergbaues durch Wasser- und Salzlösungszuflüsse wurde schon demonstriert (Abschnitt 2). Das Aufreten solcher Zuflüsse bei der Deponie und Speicherung in Salzstöcken könnte katastrophale Geschehnisse nach sich ziehen (Abschnitt 3).

Während für eine Abdichtung von großflächigen Zuflüssen eine Vielzahl von Verfahren existieren, ist eine Feinabdichtung kleinster Risse, Poren und Klüfte im Salinar mit großen Schwierigkeiten verbunden. Dies ist darauf zurückzuführen, daß durch die bisher angewandten Injektionsverfahren und Injektionsmittel diese Fließwege nicht oder nur unter hohem Aufwand erreicht werden können. Weitere Nachteile sind vor allem in der Abhängigkeit der Beständigkeit der Injektionsmittel von der chemischen Zusammensetzung anstehender Salzlösungen sowie in der teilweise hohen Viskosität der injizierten Polymere zu sehen.

Seit Bestehen des Kali- und Stein Salzbergbaus existiert der Gedanke, Salzlösungszuflüsse sowie klüftiges und poröses Salzgestein durch die gezielte Kristallisation von natürlichen, zum Lagerstättenbestand gehörenden Salzmineralen abzudichten. So sind aus den Jahren 1902/03 Versuche bekannt, einen Salzlösungszufluß durch die Injektion von CaCh- und NaCl-Lösung zu bekämpfen.

Weitere vorgeschlagene Verfahren beinhalten u. a. den Einsatz von organischen Lösungsmitteln, von CaO bzw. Ca(OH)2-Suspensionen sowie von NajCOa-Lösungen. Eine erfolgreiche Anwendung eines derartigen Verfahrens ist jedoch nicht bekannt.

Folgende Gründe sind dafür ausschlaggebend:

- Aussalz- und Fällungsprozesse beim Vermischen zweier Lösungen verlaufen in der Regel spontan und beinhalten keine Möglichkeiten einer gezielten zeitlichen Steuerung.
- Die Ergebnisse von Strömungs- und Vermischungsversuchen an einem Kluftmodell sowie Tracerversuche in situ zeigten, daß ein gezieltes Vermischen zweier Komponenten im Gebirge zur Steuerung eines Mineralisationsprozesses nicht realisierbar ist. Auf Grund der sich ausbildenden Pfropfenströmung erfolgt eine Vermischung nur partiell in den Randzonen.
- Die Injektion heißer, übersättigter Lösungen führt oftmals zu Kristallisationsprozessen vor Erreichen der abzudichtenden Bereiche, da sich die Lösungen sehr schnell abkühlen.
- Ein Aufwachsen der gebildeten Salzminerale auf dem umgebenden Salzgestein erfolgt nicht oder nur in einem sehr geringen Ausmaß.

Wir stellten uns die Aufgabe, neuartige Methoden eines zeitlich steuerbaren Kristallisationsprozesses, durch den eine vollständige Abdichtung von Fließwegen im Salinar möglich ist, zu finden.

Ausgehend von den fest-flüssig Phasengleichgewichten des hexären Systems der ozeanischen Salze sind, auf Grund sehr niedriger Sättigungskonzentrationen, Gips sowie Anhydrit als bevorzugte Minerale für die Abdichtung sehr unterschiedlich zusammengesetzter Salzlösungen anzusehen. Zur Abdichtung von NaCl-, KCl-gesättigten Salzlösungen, die als weitere Bestandteile MgCb und MgSCM enthalten, ist weiterhin die Möglichkeit der Bildung von Syngenit (K2SO*. CaSC>4. H2O) zu berücksichtigen.

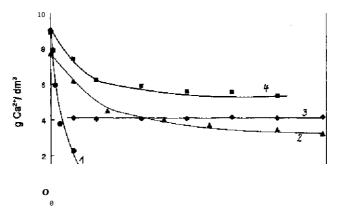
Eine gezielte Synthese von Gips, Anhydrit und Syngenit ist durch ein Vermischen von Ca²⁺-haltigen und SOr - bzw. K+- und SCV-haltigen Lösungen möglich. Jedoch kommt es dabei zu spontanen Fällungsprozessen, die zeitlich nicht steuerbar sind.

Der Grundgedanke unserer Untersuchungen [13] bestand darin, Möglichkeiten zu suchen, Ca²⁺-Ionen in hochkonzentrierten Salzlösungen komplex zu binden, um damit einen sofortigen Kristallisationsprozeß zu verhindern. Der gebildete Komplex darf jedoch nur eine begrenzte Existenzdauer besitzen, um in einer möglichst zeitlich steuerbaren Reaktion Ca²⁺-Ionen freizusetzen, die dann zu einer Anhydrit-, Gips- oder Syngenitbildung führen.

Eine diesbezügliche Möglichkeit stellt der Zusatz von kondensierten Phosphaten dar. In Abhängigkeit von Temperatur, Lösungszusammensetzung und zugesetzten Katalysatoren kommt es zum Abbau der kondensierten Phosphate und damit verbunden zur Freisetzung von Ca²⁺-Ionen. Für eine gezielte Synthese von Syngenit ergibt sich als weitere Möglichkeit die Umwandlung von in einer Salzlösung suspendiertem Anhydrit oder Gips, Die Voraussetzung dafür ist, daß beide in der Lösung metastabile Bodenkörper darstellen.

Möglichkeiten der Beeinflussung eines derartigen Prozesses sind vor allem in der Variation der Lösungszusammensetzung sowie in der Vorlage der Ausgangsbodenkörper Gips oder Anhydrit gegeben. Einige Ergebnisse seien kurz diskutiert.

Der zeitliche Verlauf der Gipskristallisation in einer NaCl-gesättigten Lösung ist in Abb. 18 dargestellt.



Zelt in Minuten

Abb. 18; Veränderung des Ca^2* -Gehaltes als Maß für die Gips-Bildung in einer NaCl- gesättigten Lösung

Kurve 1: ohne Phosphatzusatz

Kurve 2: mit I g NasPiOic/dm³

Kurve 3: mit 1 g NasPiOia/dm³

Kurve 4: mit 2 g NaaPiOxJdm³

Während ohne die Anwesenheit von kondensierten Phosphaten eine sofortige, praktisch quantitative Gipsfallung erfolgt, ist schon bei einem Gehalt von 1 g NasPsCW dm³ eine deutliche Verzögerung des Kristallisations-

prozesses zu verzeichnen. Wie die Kurven 3 und 4 verdeutlichen, ist der zeitliche Verlauf der Gipsbildung sowohl von der gewählten Ca⁵⁺-Anfangskonzeutration als auch von der Menge der zugesetzten Phosphate abhängig. Bei konstantem Polyphosphatgehalt führt eine Erhöhung der Ca²⁺-Konzentrationen der Lösung zu einem schnelleren Kristallisationsprozeß. Eine beliebige Erhöhung des Polyphosphatgehaltes ist auf Grund des Auftretens kolloidaler Ca-Phosphatausscheidungen nicht möglich.

Ein analoges Bild ergibt sich bei der Untersuchung der Syngenitbildung in NaCl-, KCl-gesättigten Lösungen (Abb. 19).

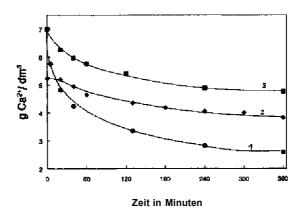


Abb. 19: Veränderung des Ca²*-Gehaltes als Maßßr die Syngenit-Bildung in einer NaCl-, KCl-gesättigten Lösung mit 25 mol MgCh/1000 mol H2O

Kurve 1: mit 2 g NaiPiOio/dm³ Kurve 2: mit 2 g NasPsOio/dm³ Kurve 3: mit 5 g NasPiOio/dm³

Zum Erzielen gleich hoher Ca²⁺-Übersättigungen sind jedoch höhere Polyphosphatkonzentrationen erforderlich. Wesentlich ist, daß neben dem Ca²⁺- und Polyphosphatgehalt auch die MgCb-Konzentration den zeitlichen Verlauf der Kristallisation beeinflußt.

Wie aus den Abb.20 und 21 hervorgeht, führt sowohl eine Erhöhung der MgS(X als auch KCl-Gehalte der Ausgangslösung zu einem deutlichen Syngenitbildungsprozeß. Wesentlich ist dabei, daß auf Grund der höheren

Übersättigung die Bildung von Syngenit aus Gips gegenüber der aus Anhydrit bevorzugt abläuft.

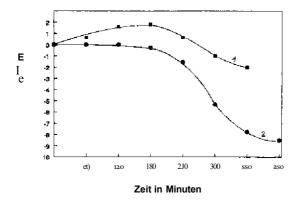


Abb. 20: Veränderung des SO/'-Gehaltes als Maß für die Syngenitbildung bei Erhöhung des MgSÖ4-Gehaltes der Orginallösung um 0,25 mol/dm3

Kurve 1: mit synthetischem Anhydrit Kurve 2: mit synthetischem Gips

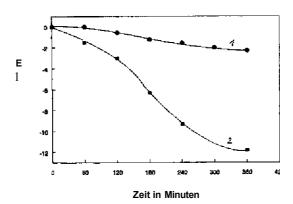


Abb. 21: Veränderung des SO*? -Gekaltes als Maß für die Syngenitbildung bei Erhöhung des KCl-Gehaltes der Orginallösung um 0,25 mol/dm3

Kurve 1: mit synthetischem Anhydrit Kurve 2: mit synthetischem Gips

Mikroskopische Korngrößenmessungen an Suspensionen aus synthetischem Gips ergaben, daß bei einer optimaien Gestaltung der Fällungsbedingungen eine Teilchengröße erreichbar ist, die unter 10 um liegt. Daraus resultiert eine theoretische Eindringfähigkeit in Fließwege mit einer Öffnungsweite von 30 pm. Experimentelle Untersuchungen an einem aus zwei Stahlplatten von 25 cm Durchmesser bestehenden Injektionsmodell bestätigten diese Aussage.

Von besonderem Interesse ist die Sedimentationsstabilität der Injektionssuspension, Diese ist durch Zusatz von 2-3% Quellstärke zu erreichen,

Zielstellung der in situ Versuche war es, die Anwendbarkeit der entwickelten Verfahren unter bergbautypischen Bedingungen nachzuweisen. Der Versuchsort lag dabei in der Grube Springen im Weira-Kaligebiet nur wenige Meter entfernt von einem Liegendzufluß, der zu einem offenen geologischen System gehört.

Die Resultate waren verheißungsvoll. Unter Bildung von Gips und Syngenit konnte eine vollständige Abdichtung des Gebirges erreicht werden. Unter erhöhten Prüfdrucken blieb der Stoß trocken. Das Entstehen der neuen Bodenkörper, die fest auf dem Hartsalz aufgewachsen und von hoher mechanischer Festigkeit waren - sie erreichten eine Größe bis zu 0,5 mm - konnte an den im Nachgang gewonnenen Proben bewiesen werden. Leider haben die im 1. Abschnitt dargelegten Veränderungen in der deutschen Mineralsalzindustrie zu einem Abbruch der Arbeiten vor Ort geführt.

G, Ziegenbalg, der an diesen Arbeiten maßgeblich beteiligt war, baute das Prinzip der provozierten und kontrollierten Mineralsynthese erfolgreich aus u. a. bei der Anwendung von wenig löslichen Carbonaten, Sulfaten und Silicaten [14], Basierend auf Laboruntersuchungen wurden die Ergebnisse in Pilotprojekten in Kanada und Deutschland getestet, z. B, auch um poröses Sandgestein zu dichten. Besonders hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die in situ Fixierung von Schadstoffen in Sandsteinen der ehemaligen Uranerzgrube Königstein/ Sachsen [15]. Die steuerbare Auskristallisation von BaS04 führte sowohl zu einer drastischen Verringerung der Permeabilität der durchströmten Blockabschnitte als auch zu einer langzeitbeständigen Fixierung der Schadstoffe. Damit ist es möglich, in noch zugängigen Sandsteinblöcken

mobile oder leicht zu mobilisierende Schadstoffe bereits vor der Flutung zu immobilisieren.

Zum Schluß sei den Herren Prof, Dr. W. Voigt, Dr. rer. nat. habil. Th. Fanghänel, Dr. G, Ziegenbalg und Dr. G. Pinske - meinen Schülern und heutigen Fachkollegen - gedankt für die fruchtbare Zusammenarbeit und die Überlassung neuester, eigener Ergebnisse. Vertretern der Mineralsalzindustrie danke ich für die wirtschaftsbezogenen Materialien und Informationen,

Ganz besonders gilt mein Dank Frau Dr. Heidelore Voigt für das bis zum heutigen Tag so freundschaftliche und erfolgreiche gemeinsame Wirken.

"Bedenke, daß Du zu jeder Erkenntnis ihre Nutzanwendung setzen mußt, damit die Wissenschaft nicht unnütz sei."

Wir haben uns bemüht und bemühen uns diesem Ausspruch Leonardo da Vinci's gerecht zu werden. Vielleicht bestätigt dies auch das hier Vorgestellte.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Frankfurter Allgemeine Zeitung 1996; s. a. Chem. Ing, Techn. 68 (19%), 1031
- [2] Käding, K.-Chr.: Kali und Steinsalz 11 (1995) 10, 319-25
- [3] Emons, H.-H.; Walter, H.-H.: Mit dem Salz durch die lahrtausende, VEB Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 2. Auflage, Leipzig 1986
- [4] Bethke, R.: Kali und Steinsalz 11 (1994)7,202-210
- [5] Geschäftsbericht 1995 der Kali und Salz Beteiligungs AG Kassel 1996
- [6] Pinske, G. Emons, H.-H.; Voigt, H.: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 140(1995), 108-14
- [7] Müller, E. P.: Z. f. angew. Geol.. Berlin 15 (1969), 113-23
- [8] Müller, E. P.; Papendieck, G.: Z. Geol. Wiss. Berlin 3 (1975) 2, 167-96
- [9] Emons, H.-H.; Voigt, H.: XVII. International Mining Processing Congress, Dresden 1991; Reprints Bd. VI, 71-83
- [10] Herbert, H.-J.; Reächelt, Chr.: Kali und Steinsalz 11 (1992) 1-2,44-48
- [11] Kind, H.-J.: Beitrag auf der 2. Internationalen Kalitechnologie-Konferenz, Hamburg 1991
- [12] Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH: Thermische Simulation der Streckenlagerutsg (Demonstrationsversuch) 1090
- [13] Emons, H.-H.; Ziegenbalg, G.; Gaitzsch, H.; BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 135 (1990), 256-61

- [14] Ziegenbalg, G.'. Beitrag auf dem "Fall 1995 Meeting" San Antonio, Texas USA, Solution Mining Research Institute, 1745 Chris Court Deerfield, Illinois
- [15] Ziegenbalg, G.; Holldorf, H.: Beitrag auf dem DECHEMA-Regional-Kolloquium, Freiberg 1996
- [16] Schwandt, A.: Salzlösungs- und Wasservorkommen im Salz- und KupFerschieferbergbau am Bernburger Hauptsattel und im Sangerhäuser Revier. GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Heflagerung, GSF-Bericht 21/93
- [17] Berg, H. P.; Brennecke, P.; Harnack, K.: Kernenergie 34 (1991) 4, 159-68

Günter Leonhardt

Uranbergbau der Wismut - technisch-wissenschaftliche Leistung und Umweltproblem*

Sehr verehrter Herr Präsident, meine sehr geehrten Damen und Herren!

Für die ehrenvolle Möglichkeit, heute zu Ihnen sprechen zu dürfen, bedanke ich mich sehr herzlich. Es ist eine große Freude für mich, bei diesem Anlaß eine Vielzahl von Wissenschaftlern wiederzusehen, mit denen ich vor Jahren gerne zusammengearbeitet habe.

Die zu behandelnde Wismut begann als Betrieb der Sowjetischen Militäradministration im Jahre 1946 im Erzgebirge mit Arbeiten zur Suche und Gewinnung von Uran. Der Betrieb wurde zur Abdeckung von Reparationsansprüchen geschaffen.

Das Erzgebirge wurde nicht zufällig ausgewählt. Das ursprünglich für wissenschaftliche, gegen Ende des Krieges auch für militärische Zwecke verwendete Uran stammte aus der Lagerstätte Joachimsthal, d. h. von der tschechischen Seite des Erzgebirges. Diese Lagerstätte entspricht hinsichtlich ihrer Genese und ihrer Mineralisation der am Kontakt des Granitplutons im Raum Schneeberg/Aue, Wie in Joachimsthal wurden im damals sehr bekannten Radiumbad Oberschlema radioaktiv angereicherte Heilwässer gewonnen, ein signifikanter Hinweis auf die Existenz von Uranmineralisationen.

Die Suche nach und der erste Abbau von Uran begann im Raum Johanngeorgenstadt und im Raum Schneeberg. Im letztgenannten Bereich waren durch alte Grubenbaue aus der Zeit des Silber- und Kobalt-Bergbaus besonders gute Vorbedingungen gegeben.

Später wurde die o. g. Aktiengesellschaft der Sowjetunion in eine sowjetisch-deutsche, d. h, in die SDAG Wismut umgewandelt, die zu je 50%

 Überarbeitete Fassung des am 17.09.1998 vorder Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät gehaltenen Vortrages. Eigentum der SU und der DDR war. Diese Firmenstruktur bestand bis zur Wiedererlangung der Einheit Deutschlands.

Mir stehen keine spekulativen und staatsvertraglichen Betrachtungen zu, es unterliegt aber wohl keinem Zweifel, daß die Übernahme des zweistaatlichen Unternehmens Wismut in den Besitz der Bundesrepublik im Zusammenhang mit der Wiedervereinigung sehr wohl ihren Preis hatte und dieser Preis nicht gering war und ist.

Im abgeschlossenen Staats vertrag verzichtete die Sowjetunion auf ihren 50%-tigen Aktienanteil. Da die SDAG Wismut als staatshaushaltfinanziertes Unternehmen keine Rücklagen für die Beendigung ihrer Tätigkeit gebildet hatte, wurde der Aktienpartner Sowjetunion dafür von seinen Verpflichtungen hinsichtlich der Beseitigung der Hinterlassenschaft und der Sanierung aller bergbaulich beeinträchtigten Flächen entbunden. Die Liquidierung und Sanierung der Wismut-Hinterlassenschaft und deren Einordnung in territoriale Entwicklungen müssen deshalb sämtlich aus dem Bundeshaushalt finanziert werden

In den Publikationen Ihrer Sozietät habe ich lesen können, daß sich bei früheren Veranstaltungen ausgewiesene Experten sehr intensiv mit Fragen der Radioaktivität und allen daraus resultierenden Problemen beschäftigt haben. Bitte erwarten Sie deshalb von meinem Vortrag keine fachspezifischen Ausführungen zu Themen, für die Nuklear-Physiker, -Chemiker und -Mediziner kompetenter sind als ich.

Meine Ausführungen konzentrieren sich auf geomechanische und bergschadenkundliche Probleme, an deren Bearbeitung ich aktiv beteiligt war. Im Interesse des Zeitfonds werde ich nur die Lagerstätten behandeln, in denen bis zur Beendigung der Gewinnungstätigkeit noch gearbeitet wurde.

Die intensive Flächennutzung und die hohe Besiedelungsdichte der für die Wismut interessanten Gebiete in den Ländern Sachsen und Thüringen machten es unvermeidlich, daß hochsensible und wirtschaftlich bedeutsame Industrie- und Wohnbauten in den Bereich beigbaulicher Einflüsse fielen und Betriebe und Anlagen dort entstanden, wo sich zu schützende Übertageobjekte befanden.

Der daraus resultierenden Problematik wurde in der Wismut durch Schaffung einer speziellen Arbeitsstruktur Rechnung getragen. Ich war mehrere Jahre in der Generaldirektion als Leiter überbetrieblicher Arbeitsgruppen und als Themenleiter für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten tätig und dabei frei von betrieblichen Strukturen und Weisungslinien nur dem Generaldirektor unterstellt. Eine solche Organisationsform garantierte die weitgehende Unabhängigkeit von den Tagesereignissen eines Bergbaubetriebes, dessen primäre Aufgabe die Planerfüllung war und meist keinen Raum für längerfristige Grundsatzaufgaben ließ. Es gehörte zu meinen Aufgaben, die fachspezifischen Arbeiten sowohl innerhalb des Industriezweiges Wismut, als auch mit nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen zu koordinieren.

Die Lagerstätten der Wismut unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Genese und Mineralisation gravierend voneinander und bedürfen deshalb einer sehr differenzierten Behandlung. Anders als in anderen Betgbauzweigen ist es deshalb kaum möglich, geomechanische oder bergschaden-kundliche Erkenntnisse von der einen auf die andere Lagerstätte zu übertragen.

Es ist logisch, daß sich die Wismut, die anfangs bei allem Respekt vor den Leistungen vieler Menschen im Sinne des Wortes "im eigenen Saft schmorte", gezwungen war, sich zunehmend zu öffnen und in Zusammenarbeit mit anderen Bergbauzweigen und Institutionen spezifische Aufgaben zu lösen.

Im Laufe der Jahre konnten neben dem Institut für Bergbausicherheit der Obersten Bergbehörde und Institutionen der Sowjetunion vor allem Wissenschaftler der Forschungsbereiche Geo- und Kosmoswissenschaften, Physik und Chemie der Akademie der Wissenschaften in die Forschungsarbeiten sowie in die fachlich-administrative Arbeit der Wismut einbezogen werden, Sie hatten nicht unwesentlichen Anteil, daß die Wismut zunehmend effektiver arbeiten und auch unter sehr komplizierten natürlichen Bedingungen die Bergbau- und öffentliche Sicherheit gewährleisten konnte.

Dabei sollen ausdrücklich die Zentralinstitute für Physik der Erde zur Problematik des seismischen Risikos in tiefen gebirgsschlaggefährdeten Lagerstättenbereichen, für Isotopen- und Strahlenforschung zu Fragen der radiometrischen Meßtechnik und der chemischen Gewinnung sowie für Anorganische Chemie zu Fragen der für selbsthärtenden Versatz geeigneten Bindemittel und Rezepturen genannt werden.

Gestatten sie bitte einige Vorbemerkungen zum sensiblen Problemkreis Umwelt und Sanierung.

66 GÜNTER LEONHARDT

Die Sorge um die Hinterlassenschaft des Wismutbergbaus und deren nachteilige Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung und die territoriale Entwicklung ist bei vielen Menschen verständlicherweise größer als das Interesse an der eigentlichen Bergbautätigkeit.

Die Halden im Westerzgebirge, im Ronneburger Raum und im Elbsandsteingebirge sind für jedermann sichtbar und tragen nicht unbedingt positiv zum Landschaftsbild bei. Defonnationen an der Tagesoberfläche, großflächig veränderte Grundwasserverhältnisse, verunreinigte Vorfluter, Flächenentzug und das teilweise Schleifen von Ortschaften waren und sind für die Bevölkerung sichtbare negative Auswirkungen der bergbaulichen Tätigkeit,

Daß dies auch in allen anderen Bergbaugebieten des In- und Auslandes der Fall ist, wird von vielen nur bedingt oder widerwillig zur Kenntnis genommen.

Ich kenne aus Befahrungen Landschaftsbilder von Bergbaugebieten in Deutschland, Kanada, Tschechien und im Kaukasus und erspare mir Ausführungen dazu, was dort teilweise als umweltgerecht saniert bezeichnet wird.

Die eigenen Probleme werden aber bekanntlich nicht kleiner, wenn man auf die Probleme anderer hinweist. Daß Uber die Tätigkeit und Hinterlassenschaft der Wismut anders und negativer berichtet und gesprochen wird als vom Kali-, Kupferschiefer- oder Kohlenbergbau, liegt im gewonnenen Rohstoff Uran und dessen radioaktiven Eigenschaften

Ohne jeden Zweifel gehen vom Abbau und der Aufbereitung von Uranerzen spezifische Gefährdungen für Mensch und Umwelt aus. Es liegt mir fern, dies zu verharmlosen bzw. zu negieren. Ich fühle mich auch aus persönlichen Gründen der Wahrheit verpflichtet und will mit meinen Ausführungen versuchen, Unberechtigtes zu widerlegen und Gerechtfertigtes sachlich darzustellen

Viele Unsicherheiten und Gerüchte hat die Wismut selbst verursacht. Der "Staat im Staat" hat sein Territorium in den Anfangsjahren großflächig abgeschirmt und durch -die meist politisch motivierte Isolation und überzogene Geheimhaltung Zweifel an seiner Solidität provoziert.

Mag sein, daß besonders in der unmittelbaren Nachkriegszeit allein die Worte Uran und Atom ein berechtigtes Grausen erzeugten und nicht alles über die Tätigkeit der Wismut in der Zeitung stehen mußte. Die Geheimhaltung selbst einfachster technischer Details und die Verhinderung, daß positive Entwicklungen auch anderen Bergbauzweigen und der Bevölkerung zugängig gemacht wurden, trugen dazu bei, daß der Nebel nicht gelüftet und die Wismut sehr mißtrauisch behandelt wurde.

Besonders nach Wiedererlangung der Einheit Deutschlands und der erreichten Pressefreiheit sind von vermeintlich Autorisierten ausgesprochene Schauermärchen erfunden und verbreitet worden.

In diesem Zusammenhang soll folgende bewußt oder mangels Kenntnissen oft verschwiegene Tatsache nicht unerwähnt bleiben.

Die geogene radioaktive Grundbelastung in Granitgebirgen ist unbestritten. Zudem wurde im Erzgebirge, speziell im Raum Annaberg und Schneeberg, jahrhundertelang Bergbau betrieben. Dabei sind aus hydrothermal entstandenen Gängen Silber, Kobalt und andere Erze gewonnen worden. In diesen Gängen, deren Abbau später von der Wismut wieder aufgenommen und fortgesetzt wurde, war auch Uran in nicht geringem Umfang enthalten. Im Unterschied zum späteren Uranbergbau, der diese Erze aufbereitete, gab es in den vergangenen Jahrhunderten für Uranerze keine Verwendung. Sie landeten deshalb auf den Halden des Silberbergbaus und strahlten jahrhundertelang vor sich hin.

Lagerstätte Aue

Die Lagerstätte liegt am nördlichen Rand des Eibenstocker Granits im Bereich der Ortschaften Schneeberg, Ober- und Niederschlema, Hartenstein und Aiberoda. Sie beginnt bei Schneeberg/Oberschlema tagesnah und erreichte bis zum Ende der Abbauarbeiten im Bereich Hartenstein/ Alberoda Teufen bis 1800 m. Vorräte sind bis zu einer Teufe von etwa 2400 m nachgewiesen worden.

Die Ganglagerstätte ist hydrothermaler Genese, sie entstand in Verbindung mit dem Aufsteigen eines Granitplutons, Das Aufsteigen des glutflüssigen Gesteins führte zum Aufreißen von Spalten im Deckgebirge, die sich im Bereich auflagernder ordovozischer, siiurischer und devonischer Gesteinshorizonte mit Gangmaterial füllten und zur Mineralisation der sog, Wismut- Kobalt- Nickel- Formation führten.

Der Granit fällt im beschriebenen Bereich mit etwa 35-50° in Richtung

NNW ein, der erzführende Bereich fällt gleichsinnig, aber steiler ein. D. h. mit zunehmender Teufe nimmt die Mächtigkeit der zwischen Granit und erzführenden Horizonten liegenden Schichten ab. Der Abbaubereich nähert sich daher dem Granit und setzt in ungefähr 1800 m Teufe auf den Granit auf. Bergschadenkundlich und geomechanisch sind zwei Lagerstättenbereiche voneinander zu unterscheiden.

Im tagesnahen Bereich sind primär Bodenbewegungen und -Verformungen mit nachteiligen Auswirkungen auf über- und untertägige Bauten und andere sensible Objekte von Bedeutung. Sie nehmen mit zunehmender Teufe ab. Da diese Auswirkungen primär in den ersten Jahren auftraten und zwischenzeitlich wegen der Verlagerung der Arbeiten in größere Teufen an Bedeutung verloren, möchte ich darauf nicht weiter eingehen. Erwähnt sei nur, daß im Zentrum des früheren Radiumbades Oberschlema Senkungen bis zu 6 m auftraten, die das Schleifen des gesamten im Tal liegenden Ortskernes notwendig machten.

In den tieferen Lagestättenbereichen traten bergbausicherheitliche Probleme auf, die der ausführlicheren Behandlung bedürfen.

Sie resultierten primär aus dem hohen Durchbauungsgrad, d. h. den umfangreichen Bergarbeiten auf einer Vielzahl von Horizonten und aus den spezifischen Druck- und Spannungsverhältnissen am Granitkontakt sowie der Veränderung dieser Verhältnisse durch neue Aufschlüsse und Abbauarbeiten. Die zeitweilige Nichtbeherrschung der geomechanischen Problematik führte vereinzelt zu bergbauinitiierten Gebirgsschlägen in Teufen ab etwa 1400 m, die die Weiterführung der Bergarbeiten und den Aufschluß tieferer Sohlen grundsätzlich in Frage stellten.

Bei einer Schachtteufe trat schlagartig eine Entspannung der Sohle auf. Die Energiefreisetzung äußerte sich_durch_das Absprengen von Gesteinspartien in den geschaffenen Hohlraum. Zum Glück kam dabei niemand zu Schaden. Da gleiche Erscheinungen auch bei Bohrarbeiten im Horizontalvortrieb auftraten, war es erforderlich, die Ursachen zu erkennen und Maßnahmen ztr ihrer Verhinderung zu treffen.

An einem Wochenende im Jahre 1978 wurde im Raum Aue ein erdbebenartiges Ereignis geringer Intensität festgestellt, das zu wildesten Spekulationen Anlaß gab. Um die Verunsicherung der Bevölkerung und der Bergleute zu verhindern, mußten auch hierfür plausible Erklärungen gefunden werden

An sich war das Ereignis harmlos, es war eines der vielen kleinen tektonischen Beben, die im vogtländisch-erzgebirgisehen Raum auftreten und führte zu keinerlei Schäden oder Gefährdungen. Andererseits kann eine, wenn auch wenig wahrscheinliche, auslösende Mitwirkung des benachbarten Bergbaus nie völlig ausgeschlossen werden.

Auf den tiefen Sohlen entstand ein Problem, das sowohl für die Sicherheit des Bergmannes als auch aus ökonomischen Gründen der Beachtung bedurfte

Bei der Auffahrung und Instandhaltung von horizontalen Grubenbauen, die längere Zeit offengehalten werden mußten, zeigte sich hinsichtlich ihrer Standfestigkeit ein richtungsabhängiges Phänomen. Während bei Grubenbauen, die in N-S-Richtung aufgefahren wurden, zunehmend gefährliche Entspannungen auftraten, blieben diese Strecken fast ohne Deformierung. Im Gegensatz dazu gab es bei Auffahrungen in O-W-Richtung keine Gefährdungen, diese Strecken wiesen aber nur geringe Standfestigkeiten und hohe Deformationsbeträge auf, sie wurden deshalb im Laufe der Zeit gewissermaßen "zugeschoben".

Für den Bergbautreibenden sind solche Erscheinungen wegen der notwendigen SicherheitsVorkehrungen und der hohen Aufwendungen für das Offenhalten der Grubenbaue äußerst unangenehm. Für den Geowissenschaftler dagegen stellen sie eine großartige Bestätigung von an der Tagesoberfläche gewonnenen Erkenntnissen hinsichtlich rezenter Erdkrustenbewegungen dar.

Im Zentralinstitut für Physik der Erde wurden in Zusammenarbeit mit dem Geodätischen Dienst Leipzig im Ergebnis von übertägigen geodätischen Messungen und geowissenschaftlichen Interpretatationen vom Südteil der DDR Karten der rezenten Erdkrustenbewegungen erarbeitet.

Dabei ist festgestellt worden, daß im Ergebnis der noch nicht völlig abgeschlossenen Alpidischen Faltung und der Hebung des Fennoskandischen Schildes in Mitteleuropa eine deutliche "Pressung" in Richtung N-S vorhanden ist.

Den Nachweis für die Richtigkeit dieser Ableitung erbrachten nicht nur qualitativ die geschilderten Erscheinungen in den Horizontalauffahrungen, der quantitative Nachweis konnte durch vom Institut für Bergbausicherheit auf tiefen Sohlen durchgeführte Spannungsmessungen geführt werden. Es wurde ermittelt, daß die Horizontalspannung in Richtung N-S

etwa 3 x so groß ist wie die in O-W-Richtung und die teufenabhängige Vertikalspannung.

Auch wenn es im spezifischen Fall zu spät ist, für eine für Praxis und Wissenschaft gleichermaßen sinnvolle Zusammenarbeit zu werben, es unterliegt aber wohl keinem Zweifel, daß sie in vielen Fällen sehr fruchtbar sein kann.

Wie erwähnt nähern sich die erzführenden Horizonte mit zunehmender Teufe dem Granitpluton, wodurch Gang- und Nebengesteine stark metamorph überprägt und deshalb sprödbruchgefährdet sind. Diese Gesteine sind extrem hart, akkumulieren Spannungen sehr lange und gehen dann ohne Ankündigung unter Freisetzung hoher Energien zu Bruch. Ein solcher Gebirgsschlag ist wegen seiner hohen Energie praktisch nicht beheirschbar, er stellt für Menschen und Grubengebäude eine extreme Gefährdung dar. Zur Gewährleistung der Bergbausicherheit müssen daher Vorkehrungen getroffen werden, das Entstehen von Gebirgsschlägen grundsätzlich zu verhindern.

Auf der Grundlage einer umfassenden Analyse des Erkennmisstandes sind deshalb Ende der 70er Jahre interdisziplinäre Forschungsarbeiten aufgenommen worden.

Die Arbeiten umfaßten u. a.:

- gesteinsmechanische Untersuchungen zur Bestimmung der Kriterien für Sprödbruchneigung und Gebirgsschlaggefährdung,
- Untersuchungen zur Bestimmung der seismischen Impulsaktivität in abbaufreien und abbaubeeinflußten Bereichen sowie zum Studium notwendiger Voraussetzungen für den Einsatz einer ortungsseismischen Anlage,
- markscheiderische Präzisionsmessungen zur Feststellung von Bewegungs- und Deformationsgrößen in abbaufreien und abbaubeeinflußten Bereichen sowie deren Veränderungen in Abhängigkeit von der Abbauentwicklung,
- Spannungsmessungen zur Bestimmung des "primären", d. h. unbeeinflußten Spannungszustandes und seiner Veränderung mit der Abbauentwicklung
- Modellversuche mit äquivalenten Materialien zum Studium der im Gebirge und im unmittelbaren Abbaubereich ablaufenden Prozesse.

Im Ergebnis der durchgeführten Arbeiten konnten u. a. folgende Fortschritte erreicht bzw. Probleme gelöst werden:

- Regeln für die wissenschaftlich begründete Einteilung der Lagerstätte in gebirgsschlaggefahrdete und ungefährdete Bereiche sowie die Ableitung von Vorschriften für die Bergarbeiten in diesen Bereichen;
- Einführung des sog. "Zentralen Sprengens". Dieses Regime schrieb vor, am Schichtende in definierten Bereichen gleichzeitig zu sprengen. Eine solche Methode, die im Kalibergbau erfolgreich angewandt und von dort übernommen wurde, hat zwei Vorteile. Durch das gleichzeitige konzentrierte Sprengen werden hohe Energien freigesetzt, die eventuell im Gebirge akkumulierte Spannungen lösen. Da der Sprengvorgang nach der Räumung des betreffenden Grubenfeldes erfolgt, werden im mannschaftsfreien Bereich keine Menschen gefährdet;
- Entwicklung und Installation einer seismoakustisehen Ortungsanlage mit Digitalregistrierung und Einbeziehung dieser Anlage in die operative Betriebsführung.

Alle erzielten Ergebnisse wurden unmittelbar praxiswirksam. Sie trugen dazu bei, die auf den tiefen Sohlen gebundenen Uranvorkommen im Umfang einer ca. 1,5-2-fachen Jahresproduktion der SDAG Wismut gewinnbar zu machen und dabei spezifische Gefährdungen zu verhindern.

Einige Bemerkungen zu einer Thematik, die nicht direkt Gegenstand der beschriebenen Arbeiten war, aber ein bezeichnendes Licht auf die Arbeit von Entscheidungsträgern und auf die Widersprüche zwischen vermeintlichem Wollen und tatsächlichem Handeln wirft - und das in Vergangenheit und Gegenwart.

Aus ökonomischen und umweltpolitischen Gründen werden allerorts die notwendige Reduzierung des Kohlendioxyd-Ausstoßes, die Schonung der Ressourcen, die Nutzung alternativer Energiequellen und der Ausstieg aus der Kernenergie diskutiert und propagiert. Das war zum Zeitpunkt der zu behandelnden Thematik so und hat in den letzten Jahren noch zugenommen. Wie die Realität aussah und aussieht soll am Beispiel der tiefen Sohlen des Bergbaubetriebes Aue erläutert werden.

Jeder weiß, daß die Erdwärme mit dem Vordringen in die Tiefe der Erdkruste zunimmt. In vielen Fällen wird diese Energie sinnvoll genutzt. Im beschriebenen Betrieb wurden in einer Teufe von 1600 m Temperaturen von ca. 70° C freigesprengt und vom Gestein an den Grubenraum abgegeben. Unter solchen klimatischen Bedingungen kann und darf ein Mensch nicht arbeiten. In den arbeitshygienischen Normen für Untertagearbeiten war deshalb festgelegt, daß für einen 8 Stunden vor Ort arbeitenden Bergmann die Temperatur im Grubenraum maximal 21° C betragen darf.

Zur Wetterkühlung auf den tiefen Sohlen waren umfangreiche Auffahrungen, spezielle technische Ausstattungen und erhebliche Energiemengen erforderlich. Ohne auf Einzelheiten eingehen zu können, sei nur erwähnt, daß auf mehreren Sohlen des Grubengebäudes bis zu 140 m lange Kühlkomplexe errichtet werden mußten. Im Sinne des Wortes verbrauchten die dort installierten Kühlaggregate nahezu pausenlos riesige Mengen Elektroenergie, um Wärmeenergie zu vernichten. Für den geplanten Aufschluß tieferer Sohlen waren weitere Kühlkomplexe konzipiert.

Der Gedanke, die dem "Perpetuum mobile" nahekommende geothermische Energie nach Abschluß der Bergarbeiten als Energiequelle zu nutzen, lag deshalb nahe. Die geomechanischen Untersuchungen sind aus diesem Grunde außerhalb der eigentlichen Aufgabenstellung um einige Details erweitert worden, um Voraussetzungen für die Anwendung des "hot-dry-rock"-Verfahrens zu schaffen. Dazu gehörten u. a. die Messungen zur Bestimmung der Spannungsrichtungen als Voraussetzung für eine gezielte Rißausbreitung, Notwendige Voruntersuchungen und eine Studie zum Umfang der nutzbaren Energie waren vorhanden.

Leider sind solche Überlegungen nicht zu jedem Zeitpunkt und nicht von jeder Institution erwünscht.

Zu DDR-Zeiten waren die Bergarbeiten in vollem Gange und sollten weiter in die Tiefe vordringen. Für Gedanken und Vorarbeiten für die "Zeit danach" war offensichtlich kein Raum. Außerdem war es für die Entscheidungsträger leicht, sich bei unpopulären Fragestellungen hinter der Zweistaatlichkeit der Wismut und das angebliche Desinteresse der sowjetischen Seite zu verstecken

Nach der Einheit Deutschlands änderten sich zwar die Verantwortlichkeiten, für die Idee zur Nutzung der geothermischen Energie blieb aber wieder kein Raum. Das primäre Anliegen bestand darin, das "Kapitel Wismut" so schnell wie möglich zu beenden; eine Aufgabenstellung, die die Förderung zukunftsbezogener Gedanken nicht zuließ.

Mir steht kein Urteil zu, ob die behandelte Energiegewinnung ökonomisch vertretbar wäre, fest steht aber, wenn es denn eine Chance gab, sie

ist vertan. Die Auer Gruben werden geflutet und die eventuell energetisch nutzbaren tiefen Sohlen stehen längst unter Wasser.

Lagerstätte Freital

Die Steinkohlenlagerstätte Dresden-Freital liegt im Süden der Stadt Dresden im Bereich der Ortsteile Gittersee und Bannewitz und der Ortslagen von Freital und Zaukerode.

Die Lagerstätte ist geologisch dem Döhlener Becken zuzuordnen; die Steinkohlenflöze des Rotliegenden liegen etwa 50 bis 600 m tief. Sie wurden mehr als 100 Jahre mit unterschiedlicher Intensität überwiegend im Strebbruchbau abgebaut; nur in wenigen Feldesteilen ist zum Schutz von Tagesoberfläche und Grubenbauen Blasversatz eingebracht worden.

In Teilen der Lagerstätte ist die geringwertige Steinkohle im Ergebnis von Sedimentationsprozessen uranhaltig; das war der Grund, warum die SDAG Wismut nach Beendigung des Kohleabbaus die dortigen Gruben übernahm und sog. Erzkohle abbaute.

Durch die langjährigen Abbauarbeiten der früheren Steinkohlengruben ist der Gebirgsverband gestört, d. h. er hat keine Verbundfestigkeit mehr und weist nur noch geringe Restfestigkeiten auf. Deshalb folgen die Gebirgsbewegungen und -Verformungen nicht mehr den Modell vorstellungen der Trogtheorie und die abbauverursachten Mobilitäten im Deckgebirge pausen sich ohne Zeitverzug bis nach Übertage durch.

Daraus resultiert u. a. folgende Problematik: Die Senkungen sind zwar nach Ausbildung des gesamten Senkungstroges größer als beim Abbau der Teilflächen. Da aber die Krümmungsradien der entstehenden kleineren Tröge wesentlich kleiner sind als die nach Ausbildung des gesamten Senkungstroges, entstehen zwischenzeitlich größere Schieflagen, Zerrungen und Pressungen an den Rändern der zeitweiligen Tröge. Diese "dynamischen Zwischenstufen" sind für die zu schützenden Objekte wesentlich gefährlicher als die Endstufen, weil die weitaus meisten auf Schieflagen, Zerrungen und Pressungen empfindlicher reagieren als auf großflächige Senkungen,

Im Abbauein Wirkungsbereich der Freitaler Lagerstätte ist die Tagesoberfläche mit Wohn- und Industriebauten und -anlagen dicht bebaut. Erdverlegte Rohrleitungen für Wasser und Gas sind durch die Bergarbeiten aller Abbauperioden stark belastet, beschädigt und teilweise außer Betrieb genommen.

Die notwendigen geomechanisch-bergschadenkundlichen Arbeiten trugen aus diesen Gründen überwiegend empirischen Charakter, Der Schwerpunkt lag in der Beeinflussung der durch den Abbau ausgelösten Bewegungs- und Deformationsprozesse mittels geomechanisch begründeter Abbaustrategien, der Überwachung der erdverlegten Leitungen und der meßtechnisehen Bestimmung der Deformationen.

Lagerstätte Königstein

Die flözartige sedimentäre Sandsteinlagerstätte der Kreide liegt im Landschaftsschutzgebiet Sächsische Schweiz im Bereich der Ortschaften Leupoldishain und Langenhennersdorf. Vererzungen sind in einer Teufe von ca. 150 bis 250 m nachgewiesen worden.

Im Landschaftsschutzgebiet befindet sich eine Reihe einzelstehender, stark erodierter Sandsteinfelsen, die besonders gegen Schieflagen äußerst empfindlich sind. Über den vererzten Partien liegen ergiebige Wasserhorizonte, aus denen die Trinkwasserversorgung für die Stadt Pirna und mehrerer umliegender Gemeinden erfolgt.

Die Genehmigung für die Aufschluß- und Gewinnungsarbeiten war deshalb an die Bedingung gebunden, Gefährdungen der öffentlichen Sicherheit auszuschließen, den Charakter des Landschaftsschutzgebietes nicht zu beeinträchtigen und die Wasserversorgung nicht zu gefährden. Eine Aufgabenstellung, die nur durch Zusammenarbeit mit dem Institut für Bergbausicherheit der Obersten Bergbehörde gelöst werden konnte.

Im Erstverhieb ist ein Kammer-Pfeiler-Abbau angewandt worden, ein Verfahren, bei dem etwa 4 m breite Kammern abgebaut wurden und beiderseitig ebenso breite Pfeiler stehenblieben. Im Zweitverhieb wurden dann nach dem Verfüllen der abgebauten Kammern mit selbsthärtendem Versatz die Pfeiler abgebaut.

Mit dieser Technologie und der geomechanisch begründeten Abbauführung konnten nachteilige Auswirkungen auf die Tagesoberfläche und größere Schieflagen im Bereich von Felswänden vermieden werden. Da in einem Teil der Lagerstätte die vererzten Partien teilweise weniger als 60 cm mächtig waren, konnte das beschriebene Gewinnungsverfahren nicht mehr mit wirtschaftlichem Effekt angewandt werden. Versuche zeigten, daß der in vielen Steinkohlengruben bei geringmächtigen Flözen übliche Strebbruchbau nicht angewandt werden konnte.

Aufgrund der spezifischen Verhältnisse ist ein chemisches Gewinnung sverfahren "in situ" entwickelt worden. Die wesentlichsten Voraussetzungen für dessen Anwendbarkeit

- Das Vorhandensein einer wasserstauenden Schicht zwischen Deckgebirge und Vererzung.
 - Damit blieb die Wasserversorgung gesichert, und die gestauten Wässer konnten nicht in den Grubenraum eindringen.
 - Abgesehen vom rein bergmännischen Problem, das eindringende Wasser ohne Sicherheitsrisiko für die Bergarbeiter nach Übertage zu pumpen, hätte der unkontrollierte Wassereinbruch zur Verdünnung und Neutralisierung der Aufgabechemikalien und damit zur Verhinderung des Gewinnungsprozesses geführt.
- Die Beherrschung dieser Schicht hinsichtlich ihres Verhaltens gegen Deformationen.
 - Der Wasserstauer, der sog. Pläner, unterlag wie alles über dem Abbauraum den abbauverursachten Bewegungen und Verformungen.
 - Für das angewandte Gewinnungsverfahren, das in der planmäßigen Aufgabe von Schwefelsäure auf die vererzten Partien bestand, war es jedoch von existentieller Wichtigkeit, daß dieser Wasserstauer unverletzt blieb. Dazu mußten Erkundungsbohrlöcher wasserdicht verschlossen und ein Abbauregime gefunden werden, das das bruchlose Verformen des Wasserstauers garantierte und jedes Abreißen dieser Stauschicht verhinderte.

Da die entsprechenden Voraussetzungen gegeben waren bzw. geschaffen wurden, war die Gewinnung bei strengster Einhaltung des geomechanisch begründeten Vorrichtungs- und Abbauregimes möglich.

- Es war zudem notwendig, Regeln zu erarbeiten, welche Mächtigkeit die Bergefeste haben mußte, d. h, wie weit sich der Abbauraum der wasserstauenden Schicht nähern durfte.
- Das Vorhandensein einer flüssigkeitsstauenden Schicht im Liegenden, also unterhalb der Vererzung.

Eine solche Schicht war erforderlich, um die mit Uran angereicherte Schwefelsäurelösung im Tiefsten der ausgeerzten Partien sicher zu fassen und schließlich in geeigneter Form nach Übertage zu transportieren. Einige ergänzende Ausführungen zur technologischen Seite dieses für die Wismut erstmals großtechnisch angewandten Verfahrens.

Gewissermaßen handelt es sich um die Verlagerung des chemischen Aufbereitungsprozesses von der Fabrik nach Untertage. Im allgemeinen wird ein etwa 10%-tiger Hohlraum im abzubauenden Bereich bergmännisch gewonnen und abgefordert. Danach wird die verbliebene Vererzung mittels Bohrungen perforiert und gesprengt. Der durch die Abförderung entstandene Kompensationsraum füllt sich mit dem aufgelockerten Gestein und bietet der dann aufgegebenen Schwefelsäure größere Angriffsflächen für den Lösungsvorgang.

Der Vorteil der in-situ Gewinnung besteht darin, daß nicht große Mengen gewonnenen Erzes in die Aufbereitungsbetriebe transportiert wurden, dort keine umfangreichen Aufbereitungsrückstände anfielen und aufgehaldet werden mußten.

Naturgemäß sind die chemischen Prozesse der Uranlösung aus dem Gestein und der Erzanreicherung in einer Fabrik leichter kontrollier- und steuerbar als im Gebirge. Es ist deshalb logisch, daß die prozentuale Erzausbeute geringer wird. Das wird aber durch eine andere Tatsache weitgehend kompensiert. Um geringwertiges Erz nicht transportieren und aufbereiten zu müssen, werden aus ökonomischen Gründen für die rein bergmännische Gewinnung Schwellengehalte vorgegeben. Erze mit geringeren Gehalten verbleiben in der Grube, sie werden nicht gewonnen und gefördert. Die aufgebrachte Schwefelsäure löst auch aus dem geringwertigen Erz noch Uran, ein Vorteil, den es bei konventieller Gewinnung nicht gibt. Zur Lösung aller erwähnten Probleme waren die bergschadenkundlichen und geomechanischen Untersuchungen und erarbeiteten Lösungen grundlegende Voraussetzung, die Gewinnungsarbeiten in beiden Phasen bei Einhaltung aller behördlichen Vorgaben zu ermöglichen und effektiv zu gestalten.

Im Vorgriff auf die Problematik von Betriebsschließung und Sanierung noch ein ergänzender Gedankengang.

Die Einstellung der Gewinnungsarbeiten führte im Königsteiner Betrieb zu besonderen Komplikationen. Es gab keine Möglichkeit, die ton-

nenweise ins Gebirge injizierte Schwefelsäure an die Aufgabestellen zurückzuholen und damit den Lösungsprozeß zu beenden. Die Gewinnung mußte deshalb bis zur iNeutralisierung weitergeführt werden, um das Verbleiben der Säure im Gebirge und daraus möglicherweise resultierende Spätschäden zu verhindern.

Diese Realität hat insbesondere in nicht unbedingt seriösen Publikationsorganen zur Unterstellung geführt, daß die Wismut trotz propagierter Beendigung der Uranproduktion im Elbsandsteingebirge weiterhin geheime und verbotene Gewinnungsarbeiten durchführt.

Für Sachkundige eine absurde Behauptung; leider sind aber derartige Aktionen stets geeignet, Teile der Bevölkerung zu verunsichern und das Bild der Wismut schwärzer als angebracht zu zeichnen.

Lagerstätte Ronneburg

Die in paläozoischen Schiefem, Kalksteinen und Diabasen entstandene sedimentäre Lagerstätte ist tektonisch stark gestört, die Vererzung daher extrem absetzig. Sie beginnt im Raum Seelingstädt/Weida an der Tagesoberfläche und erreicht an der nördlichen Erkundungsgrenze im Bereich der Ortschaften Großenstein/Drosen eine Teufe von etwa 1000 m.

Die Gewinnungsarbeiten erfolgten sowohl im Tage- als auch im Tiefbau, wobei besonders bei der Koordinierung der Arbeiten des Tagebaues Lichtenberg mit denen des Tiefbau-Betriebes Schmirchau Probleme auftraten, die den Rahmen des Vortrags sprengen.

Im Interesse des Zeitfonds beschränke ich mich auf den Lagerstättenteil im Bereich der Ortslage Ronneburg, weil dort die Probleme bei der Einordnung des Bergbaus in territoriale Belange am kompliziertesten waren.

In allen Tiefbaubetrieben der zu behandelnden Lagerstätte wurde der überwiegende Teil der Abbauhohlräume früher mit tonigem Schlamm, der sog. Pulpe; seit Ende der 50-er Jahre mit einem selbsthärtenden Versatzgut, das aus Sand mit tonigen Anteilen, Wasser und Braunkohlenfilterasche als Bindemittel besteht, verfüllt. Dieses Versatzgut wurde in dickflüssiger Form in Versatzwerken gemischt und Über Direktleitungen oder Versatzfahrzeuge nach Untertage verstürzt.

Die Verfüllung der Abbauhohlräume hatte zwei Gründe.

Aus bergschadenkundlicher Sicht sollten im tagesnahen Bereich größere Deformationen an der Tagesoberfläche verhindert werden.

Aus Gründen der Arbeitssicherheit mußte ein anderes schwerwiegendes Problem beherrscht werden. Im Erz und im Nebengesteine treten Pyrit und Markasit auf. Beide Schwefelminerale neigen bei Sauerstoffzutritt zur Selbstentzündung, d. h. zur Entstehung endogener Brande. Da die ständige Frischluftzufuhr in Grubenräume existentiell notwendig ist, entstanden Glutnester im Gestein und wurden Brände angefacht.

Die Verfüllung der geschaffenen Hohlräume mit inertem Material zur Unterbindung der Sauerstoffzufuhr war deshalb eine wesentliche Voraussetzung zur Durchführung der Gewinnungsarbeiten. Die anfangs angewandte Verfüllung mit tonigem Schlamm verhinderte wohl das Entstehen und die Ausbreitung endogener Brände, führte aber zu großen bergmännischen Problemen beim Unterfahren der ausgeerzten Abbauscheiben. Deshalb erfolgte später der Übergang zu selbsthärtendem Versatzgut.

Die Arbeiten hatten 1978 um die Stadt Ronneburg Teufen von etwa 400 m erreicht. Im Rahmen der Erkundungsarbeiten waren unter der Ortslage umfangreiche Vorräte mit relativ hohen Gehalten nachgewiesen worden.

Da das Stadtgebiet in einem zum Schutz der sensiblen Wohn- und Industriebausubstanz festgelegten Sicherheitspfeiler lag, d. h. in einem Bereich, in dem Bergarbeiten nicht oder nur mit besonderen Auflagen durchgefühlt werden dürfen, war eine Sondergenehmigung der Obersten Bergbehörde erforderlich.

In diesem Zusammenhang bedarf eine Besonderheit der Erwähnung. 1975 hatte sich in der Kaligrube Unterbreizbach nahe der damaligen innerdeutschen Grenze ein Gebirgsschlag ereignet, der Teile des Grubengebäudes zerstörte und zu Schäden im Übertagebereich führte.

Es ist logisch, daß seit diesem Ereignis von den aufsichtsführenden Behörden dem Problem der Seismizität in Bergbaugebieten besondere Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Im Zentralinstitut für Physik der Erde war eine Übersicht erarbeitet worden, in der das Gebiete um Ronneburg als mit "hohem seismischen Risiko" ausgewiesen wurde. Diese Einstufung resultierte aus der großtektonisehen Situation und aufgrund eines 1871 im nahen Posterstein registrierten Erdbebens geringer Intensität.

Genauere Untersuchungen zeigten jedoch, daß keine Gefährdungen zu erwarten waren. Die durch den stark gestörten Gebirgsverband entstände-

ne "Kurzbrüchigkeit" des Gesteins verhinderte das Entstehen gefährlicher Spannungsakkumulationen. Außerdem war das Sprengregime mit konzentriertem Sprengen am Schichtende - pro Schicht wurden bis zu 10 Tonnen Sprengstoff gezündet - geeignet, eventuell auftretende Akkumulationen gezielt und zeitlich kontrollierbar zu lösen.

Die im Ergebnis eines langwierigen Verfahrens erteilte Genehmigung zum Abbau unter der Stadt war an die Bedingung gebunden, daß keine Gefährdung der Öffentlichen Sicherheit eintreten darf und nachteilige Auswirkungen weitestgehend vermieden werden.

Der Kenntnisstand reichte zur Erfüllung der genannten Forderungen nicht aus; in den Jahren 1978-84 sind deshalb u. a. folgende Forschungsarbeiten durchgeführt worden:

- die lagerstättenspezifische Modifizierung von Formeln zur Vorausberechnung abbaubedingter Bodenbewegungen und -Verformungen,
- die Festlegung von Verformungsgrenzwerten, d. h. von zulässigen Belastungen für Bauwerke und andere verformungsempfindliche Objekte unter besonderer Berücksichtigung erdverlegter Ver- und Entsorgungsleitungen. Dazu muß erwähnt werden, daß in der Stadt Gasleitungen vorhanden waren, die z. T. Ende des vergangenen Jahrhunderts verlegt wurden und deren Zustand auch den zuständigen Versorgungsbetrieben nicht bekannt war. Es bedarf keiner detaillierten Behandlung, welch spezifische Gefährdungen aus solchen Versorgungsmedien resultieren.

Für den Außenstehenden sicher unverständlich ist die Tatsache, daß kein Rechtsträger von Bauwerken, Versorgungsleitungen und anderen zu schützenden Objekten weiß, welche Deformationen das zu schützende Objekt schadlos übersteht. Andererseits wird vom Bergbautreibenden gefordert, seine Arbeiten so zu führen, daß keine Schäden entstehen. Da eine solche Forderung von den Rechtsträgern erhoben wurde und sich die Bergaufsicht dem anschloß, bestand für diese Instanzen auch keine Veranlassung, sich selbst mit dem sehr sensiblen Problem zu beschäftigen.

Der Bergbautreibende muß sich deshalb mit einer Vielzahl für ihn fachfremder Probleme beschäftigen, die wegen ihrer Allgemeingültigkeit aus meiner Sicht staatliche Aufgaben wären.

Weitere Untersuchungen waren erforderlich

- zur Genese von Bodenbewegungen und zur Separierung bergbaube-

dingter und nicht bergbaubedingter Anteile, z. B, rezenter Krustenbewegungen,

- zur Genese und Größenordnung von Senkungen, die aus Entwässerungsvorgängen im Festgebirge resultieren,
- modifizierte Abbautechnologien und -parameter zur Beeinflussung von Größe und zeitlichem Ablauf der Verformungsvorgänge,

Die Arbeiten führten zu folgenden Ergebnissen, die durch entsprechende Leitungsentscheidungen unmittelbar umgesetzt wurden:

- differenzierte technologische Vorschreibungen z. B. für zulässige Freilegungsparameter und Standzeiten von Abbauhohlräumen bis zur Versatzeinbringung, zum Verfüllungsgrad in Abhängigkeit von den bergschadenkundlichen Auswirkungen und zum Sprengregime,
- Richtlinien für die Dimensionierung von Zonen, in denen in Abhängigkeit von der Empfindlichkeit zu schützender Objekte gegen Deformationen kein Abbau betrieben werden darf, und Kriterien für die Belastbarkeit über- und untertägiger Bauten und Anlagen und
- Formeln für die Ableitung der objektspezifische kritischen Deformationsparameter aus vorausberechneten und meßtechnisch ermittelten S enkungsbeträgen.

Zum letztgenannten Problemkreis sind einige Erläuterungen erforderlich: Für die Prognostizierung von Auswirkungen bergmännisch geschaffener Hohlräume auf die im Einwirkungsbereich liegenden Gebäude und Anlagen sind in der bergschadenkundlichen Fachliteratur eine Vielzahl von Lösungsansätzen und Formeln publiziert worden.

Dabei sollen besonders die Trogtheorie und die daraus abgeleiteten Formeln von Niemczyk sowie deren Weiterentwicklung von Kratzsch erwähnt werden. Niemczyk wird sicher zu recht als der Klassiker der Bergschadenkunde bezeichnet. Wie alle anderen Lösungsansätze haben aber auch seine einen Nachteil, sie setzen stark generalisierte Verhältnisse hinsichtlich des Deckgebirges voraus. Er hat seine Ableitungen in den Steinkohlenlagerstätten Oberschlesiens entwickelt. Dort besteht das Hangende aus mehrere hundert Metern mächtigen homogenen Sandsteinbänken. Die Modifizierungen von Kratzsch stellen eine wesentliche Weiterentwicklung dar, sind aber ebenfalls nur bedingt auf andere Lagerstättenverhältnisse übertragbar.

Vergleichbare Deckgebirgsverhältnisse sind in keiner der Wismut-

Lagerstätten gegeben. Die allgemeinen Senkungsformeln mußten deshalb speziell für die Lagerstätten Ronneburg und Königstein modifiziert und sowohl den Deckgebirgsverhältnissen als auch den angewandten Gewinnungsverfahren angepaßt werden.

Der Praktiker muß mit einer für unsere Zeit typischen Situation fertig werden. Das Vorhandensein von elektronischen Rechnern hat in der Fachliteratur ihren Niederschlag gefunden und zur gravierenden Verkürzung der Rechenzeiten geführt; die notwendige Anpassung an die lagerstättenund abbauspezifischen Verhältnisse aber völlig außer acht gelassen. D. h., man kann zwar in kurzer Zeit Werte auf beliebig viele Stellen hinter dem Komma berechnen und damit hohe Genauigkeiten vortäuschen, die Sicherheit der durch die Natur gegebenen und oft nur qualitativ, nicht aber quantitativ bestimmbaren Ausgangsparameter ist damit nicht größer geworden.

Die meisten Autoren beschäftigen sich mit der Senkungsprognose. Das ist verständlich, weil dies methodisch am einfachsten und die Ermittlung von Senkungen durch Nivellements hoher Genauigkeit mit relativ geringem Aufwand verbunden ist. Dadurch ist es möglich, die Ergebnisse der Vorausberechnung mit tatsächlichen Senkungen zu vergleichen und notwendige Präzisierungen abzuleiten.

Für die zu schützenden Objekte ist aber nur in den wenigsten Fällen die Senkung der kritische Deformationsparameter. Z. B. sind hohe Schornsteine gegen Schieflage; Gebäude, großkalibrige Rohrleitungen und langgestreckte Maschinenkombinationen gegen Zerrungen und Pressungen oder erdverlegte Gas- und Wasserleitungen gegen Krümmungen sensibel. Diese objektspezifischen kritischen Parameter können meist nur mit Näherungsformeln ermittelt werden und sind nur in Ausnahmefallen auf andere Lagerstätten Übertragbar,

Mit den vorgelegten Ergebnissen wurden die Voraussetzungen für die unter der Stadt gebundenen Uranvorräte in Höhe einer ca. 1,5-fachen Jahresproduktion der SDAG Wismut geschaffen.

Allein durch die bergschadenkundlich begründete Einsparung des selbsthärtenden Versatzes ergab sich eine jährliche Selbstkostensenkung in mehrfacher Millionenhöhe.

Zudem konnten durch die Qualifizierung der Vorausberechnungsmethoden für die relevanten Verformungsparameter, die Schaffung von be-

gründeten Beanspruchungskriterien und Zyklen für über- und untertägige Überwachungsmessungen erhebliche Nachteile bei eventuellem Abriß bzw. und Neubau von speziell zu schützenden Gebäuden, Versorgungsleitungen und anderen sensiblen Objekten vermieden werden.

Es war ein wesentliches Resultat der modifizierten bergschadenkundlichen Arbeitsgrundlagen, daß die Sicherheitspfeilervolumina auf die fachlich begründeten Dimensionen beschränkt werden konnten. Dadurch ist der Anteil der Gewinnungsarbeiten mit besonderen Auflagen auf das Maß beschränkt worden, das zum Schutz der Objekte und Anlagen notwendig war.

Umweltprobleme und Sanierung

Die vormalige SDAG Wismut hat in den Jahren 1946-1989 etwa 220.0001 Uran produziert. Sie ist damit der größte Produzent Europas und nach den USA und Kanada mit einer Produktion von 334.0001 bzw. 240.0001 der drittgrößte der Welt.

Die mit Abstand größten Anteile stammen dabei aus den Lagerstätten des Ronneburger Erzfeldes und des Erzgebirges. Dort wurden ca. 86%, d. h. nahezu 190.0001 gewonnen.

In diesen Jahren waren insgesamt etwa 600.000 Menschen in Bergbau-, Aufbereitungs- und Nebenbetrieben beschäftigt, in den Spitzenjahren mehr als 100.000.

Bild 1 gibt eine Übersicht über die Lage der Sanierungsbetriebe und der früheren Bergbau- und Aufbereitungsbetriebe; in Bild 2 werden mit Stand 1990 Angaben zu den SanierungsObjekten gemacht.

Es ist im Rahmen meines Vortrages nicht möglich, auf Details der Sanierung einzugehen. Gestatten Sie mir deshalb bitte, mich auf einige Schwerpunkte zu konzentrieren.

Nach Beendigung der Gewinnungs- und Aufbereitungsarbeiten wurden die bestehenden Bergbau- und Aufbereitungsbetriebe aufgelöst bzw. mit neuen Strukturen und wesentlich vermindertem Personalbestand zu den jetzigen Sanierungsbetrieben umgestaltet. Aue ist für die vormaligen Betriebsteile Aue und Pöhla, Königstein für die früheren Bergbaubetriebe Königstein und Freital zuständig. Alle Thüringer Bergbaubetriebe fallen in

SANIERUNGSBETRIEBE DER WISMUT GMBH

FRÜHERE BETRIEBE DER SAG / SDAG WISMUT

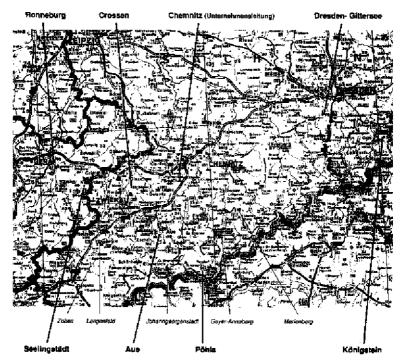


Bild 1

die Zuständigkeit von Ronneburg und die Aufbereitungsbetriebe Seelingstädt und Crossen wurden zu Seelingstädt zusammengefaßt.

Nach dem 1990 bzw. 1991 erarbeiteten Konzept waren für die Sanierung einschließlich der notwendigen Vorarbeiten etwa 10-15 Jahre mit einem Kostenvolumen von ca. 13 Mrd DM vorgesehen; dem erreichten Stand entsprechend, dürften diese Vorgaben in etwa bestätigt werden. Die Konzeptionen und Projekte werden in Zusammenarbeit mit ausgewiesenen Spezialisten des In- und Auslandes erarbeitet und dem neuesten Erkenntnisstand entsprechend laufend präzisiert. Die Realisierung der unter-

Angaben zu den Sanknincsobjekten der SDAG Wismut (Stand zu Beginn der Sanierung 1990)

	Aue	KÖ utg- stein	Ronne- burg	Seeling- städt	Summe
Vctriebsjjriille	(Ju)				
	569.4	143,4	1 670,7	1 314,8	3 698,3
TageschSchte	è				
	8	10	38	-	56
Halden					
Anzahl Fläche	20	3	16	9	48
(ha)	342,3	37,9	604,4	533,1	1 517,7
Volumen (Mio m³)	47.2	4,5	187,8	72,0	311,5
Schlammletch	e				
Anzahl Fliehe	1	3	3	7	14
(ha) Inhalt	3,5	4,6	9,0	706,7	723,8
(Mio ttf)	0,3	0.2	0,2	159,7	160,4
ijniPCfi Cviu0	Qi				
Ausdehnung (km") offene UUige	30,7	7,1	73,4	-	111,2
(km)	240	112	1 043		1395
T> tb>ue					
Anzahl Fläche			1		1
(!»)			160		160
offenes Volum (Mio m»)	nen		84		84

Bild 2

und Ubertägigen Verwahrungs- und Sanierungsarbeiten bietet einer großen Zahl ehemaliger Wismutmitarbeiter die Chance der Weiterbeschäftigung, ein Umstand, der zum einen fachlich fundierte Arbeit gewährleiset, zum anderen aber, und das ist gleichermaßen wichtig, eine soziale Komponente darstellt.

Lassen sie mich die Aufgaben, die zwischenzeitlich realisiert wurden bzw.sich in Arbeit befinden, in folgenden Schwerpunkten zusammenfassen:

- Säuberung der Grubengebäude von wassergefährdenden Stoffen;
- Verfullung solcher Grubenräume, die langfristig eine Gefährdung der Tagesoberfläche und von Grundwasserleitern verursachen können;
- Flutung der Grubengebäude; die überlaufenden Flutungswässer sind in der Regel chemisch und radioaktiv kontaminiert. Sie werden in vorhandenen oder neu zu errichtenden Anlagen zur Wasserreinigung so lange behandelt, bis die Verunreinigungen unter die Grenzwertkonzentrationen gesunken sind und dann in die Vorfluter entlassen;
- Demontage und Abbruch kontaminierter Anlagen und Gebäude; zur Entsorgung des kontaminierten Schrotts und Bauschutts ist vorzugsweise eine Einlagerung in die Schlammteiche mit Zwischenlagerung im Betriebsgelände vorgesehen;
- Verwahrung der Schlammteiche am Ort. Zunächst muß das Freiwasser abgestoßen werden und die Entwässerung der eingelagerten Aufbereitungsschlämme erfolgen. Mit der nachfolgenden Abdeckung soll eine Abdichtung des Deponiekörpers erreicht werden. Nach Abschluß dieser Maßnahmen werden langfristig Umweltbelastungen über den Luft- und Wasserpfad unterbunden. Beim Abstoßen von Freiwasser und beim Entwässern der Schlämme fallen ebenfalls kontaminierte Wässer an. Sie werden wie die Hutungswässer gereinigt und dann in die Vorfluter geleitet. Die Dämme der Schlammteiche werden konturiert, abgedeckt und erosionssicher gestaltet;
- Verwahrung der Halden vorzugsweise am Ort, Sie werden je nach Notwendigkeit abgeflacht, konturiert, abgedeckt und begrünt. Mehrere Halden müssen umgelagert werden, z. B. im unmittelbaren Nahbereich von Wohngebieten im Raum Aue/Schlema und zur Verfullung des Tagebaurestloches in Ronneburg;
- Anlage und kontinuierliche Beobachtung von Meßnetzen im Umkreis der Sanierungsobjekte, um die Umgebung zu überwachen und den langfristigen Sanierungserfolg zu erfassen.

Die bisherigen Arbeiten haben die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges gezeigt. Die Sanierungsergebnisse können auch die unsachlichsten Sensationsjournalisten und Kritiker nicht negieren und rückgängig machen.

Ohne jeden Zweifel wird es noch viele Probleme geben, und trotzdem erfüllt es die Menschen dieser extrem belasteten Regionen mit Optimismus, wenn sie die Entwicklung in ihrer Heimat sehen.

Es gab viele selbsternannte Spezialisten, die der in den früheren Bergbaugebieten lebenden Bevölkerung ein düsteres Bild von ihrer verstrahlten Umwelt zeichneten. Sie haben diesen Menschen aber keine Wege gezeigt, was sie denn eigentlich tun sollen. Es ist schließlich unzweifelhaft, daß nicht alle Bürger des Erzgebirges und des Ronneburger Raumes ihre Heimat verlassen und anderswo eine unsichere Zukunft suchen können

Lassen sie mich trotz einer Vielzahl noch zu lösender Probleme mit einem Ausblick schließen, der auch Skeptiker überzeugen sollte.

Die vom Wismut-Bergbau extrem betroffene Gemeinde, das frühere weltweit bekannte Radiumbad Oberschlema, hat durch einen großflächigen Senkungstrog und Abraumhalden seinen gesamten Ortskern verloren und stand nach Beendigung der Bergarbeiten am Beginn eines völligen Neuaufbaus. Dort gibt es aber Menschen, die nicht klagten, sondern mit Unterstützung der Wismut-Nachfolge-GmbH und der öffentlichen Hand schon vieles für ein neues Lebensgefühl erreichten.

Aus dem Senkungsgebiet ist eine "grüne Mitte" für Einwohner und Erholungssuchende entstanden. Eine Vielzahl von rekonstruierten Wohnungen und neu gebaute Einfamilienhäuser sind sichtbare Zeichen des Neuanfangs.

Schlema hat mit Unterstützung der Landesregierung Sachsens gute Chancen, bei der EXPO 2000 zu demonstrieren, was aus einer fast liquidierten Ortschaft schon wieder geworden ist und noch werden soll. Die rotwendigen Pilotversuche waren erfolgreich und noch in diesem Jahres werden im neu entstehenden Kurmittelhaus die ersten heilungsuchenden Patienten erwartet

Daß es zu dieser Entwicklung Kritiker und Pessimisten gibt, kann nicht verwundern. Auch sie können aber nicht leugnen, daß es Radiumbäder nur dort geben kann, wo natürliche Radioaktivität vorhanden ist. Warum sollte dies in Schlema anders als in anderen Heilbädern sein.

Radioaktivität und Uran sind naturgegeben, sie können für die Menschheit zweifellos von großem Nutzen sein, wenn sie beherrscht werden. Die aktive Unterstützung nahmhafter Wissenschaftler für diese Gemeinde zeigt schon heute positive Ergebnisse. Ihr Beitrag zur fachgerechten Aufklärung der Bevölkerung sowie zur Minimietung und Beseitigung der spezifischen Gefahren haben sich gelohnt, sie sind weiterhin erwünscht und notwendig.

Lothar Dünkel

Forschungen zum photographischen Elementarprozeß*

Abstract

Concerning the conventional silverhalide system, the fundamentals of Photographie sensitivity are far away from complete understanding up to now. The survey to be given in this lecture emphasizes some impoitant differences between both concepts of running latent image theory related to microscopic description of the alternating mechanism between photoelectronic and ionic steps, i.e. the direct photolysis theory and the photoaggregation theory. It will be demonstrated that systemsanalysis based on Volterra-oriented modelling may indeed provide very successful tools to close the gap between the macroscopic results available by photographic characteristic curves on one hand and the elementary mechanism during exposure on the other one. In this way, monochromatic time-scale sensitometry transforms itself into a method of clustering rate spectroscopy, which uses mechanistic Information to be invoJved in the higher-order terms for the rate equation of the curve. Thus, instructive studies may be performed on photographic layers as well under in-situ conditions as under moderate camera-sensitive exposure. Since it seems to be very likely that silverhalide photography will maintain its importance in the next future too, relevant research should profit from developments more or less influenced by methods of artificial intelligence as well.

Einleitung

Die Erfindung der Silberhalogenidphotographie datiert man heute auf das Jahr 1839 zurück. Bereits die Hervorhebung des lichtempfindlichen Auf-

 Vortrag in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät, gehalten am 15. Februar 1996

nabmematerials verweist auf die einzigartigen Eigenschaften, die durch Nutzung dieses Systems erschlossen worden sind. Hohe Ansprüche an ein effizientes Verfahren, das die permanente Aufzeichnung visueller Informationen über optische Kanäle erlaubt, haben sich immer wieder sehr stimulierend auf seine weitere Vervollkommnung ausgewirkt.

Die photographischen Empfindlichkeit stellt aber auch gegenwärtig noch bei vielen fundamentalen Fragen eine große Herausforderung für die Forschung dar. So werden Schlüsseloperationen der chemischen und spektralen Sensibilisierung theoretisch bislang durchaus nicht vollständig verstanden, und es bleibt ein offenes Problem, ob und wie die noch bestehende erhebliche Diskrepanz zur theoretischen Grenze der Quantenempfindlichkeit überbrückt werden kann. Die damit zusammenhängende Erschließung zusätzlicher Spielräume für innovative Potentiale wird schließlich auch darüber entscheiden, wie sich das System unter dem zunehmenden Druck der high-tech-Entwicklung in Konkurrenz und Kombination mit anderen Verfahren behaupten wird. Photographische Empfindlichkeit beinhaltet aber auch ein sehr allgemein interessierendes Problem. Die hohe Komplexität, Faszination und Rätselhaftigkeit des Prozesses werfen nicht zuletzt auch die Frage auf, was man hieraus generell über die Funktionsweise hochempfindlicher Systeme lernen kann und ob der photographische Prozeß vielleicht auch sogar in manch aufschlußreicher Weise mit Vorgängen der Kognition, der visuellen Rezeption oder auch der Photosynthese korrelieren mag.

Die folgenden Ausführungen lehnen sich an systemanalytische Arbeiten des Autors zur prozeßorientierten Behandlung photographischer Schwärzungskurven an. Sie versuchen einen zusammenhängenden Einblick in die Problematik zu vermitteln, wobei keineswegs Vollständigkeit angestrebt wird und auch nicht immer eine erschöpfende Antwort auf alle aufgeworfenen Fragen gegeben werden kann. Hinsichtlich divergierender Auffassungen bei sehr fundamentalen Aspekten der Latentbildtheorie werden mögliche Wege der weiteren Klärung aufgezeigt.

Entwicklungsetappen der wissenschaftlichen Photographie

Zur Einführung in die wissenschaftliche Photographie, eine breit gefächerte Disziplin, die sich aus vielen Einzelgebieten zusammensetzt, soll eine Darstellung hilfreich sein, woraus man in komprimierter Form wichtige Entwicklungsetappen entnehmen kann. In Abb. 1 wird das Entstehungsjahr der Silberhalogenidphotographie mit dem Jahr 1890 verknüpft, wo man das erste Mal sehr berechtigt von wissenschaftlicher Photographie sprechen kann. Als weiteres Datum ist das entscheidende Jahr 1939 angegeben, als schließlich auch eine systematisch begründete Latentbildtheorie entsprechend modemer Vorstellungen der Photohalbleiter- und Mikroclusterphysik entstanden war.

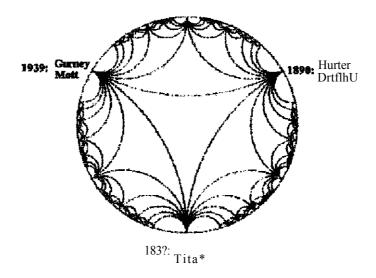


Abb. 1: Darstellung der Hauptetappen der Entwicklung der wissenschaftlichen Photographie

Es handelt sich folglich um eine sehr lange Entwicklung, und die angegebenen Daten sind durch viele Dekaden voneinander getrennt.

Warum sprechen wir nicht sofort von wissenschaftlicher Photographie?

Tatsächlich beinhaltet die zuerst angegebene Jahreszahl 1839 einen

Kompromiß, da es mehrere Erfinder der Silberhalogenidphotographie gegeben hat, wobei hier insbesondere die beiden Erfindungen der Daguerrotypie durch Louis Jacques Mandó Daguerre (1787 bis 1851) in Paris und die der Kalotypie durch William Henry Fox Talbot (1800 bis 1877) in England berücksichtigt sind. Die auf den britischen Astronomen Sir John Frederick William Herschel (1792 bis 1871) zurückgehende Bezeichnung Photographie bedarf heute einer gewissen kritischen Sicht. Konventionelle Silberhalogenidphotographie stellt grundsätzlich ein Parallelverfahren für die Aufzeichnung sehr hoher Mengen an Bildinformationen dar, wofür man Zahlenwerte in der Größenordnung von 10⁸ bis 10'° Pixeln pro Quadratzentimeter angeben kann. Die damit verbundene hohe Effizienz der Informationsübertragung bleibt ein wichtiger prinzipieller Vorzug gegenüber den elektronischen Verfahren auf Basis der Halbleitertechnologie, die ganz im Sinne des graphischen Prinzips lineare Informationsübertragung s systeme sind und die diesen Nachteil durch hohe Taktfrequenzen kompensieren müssen.

Die Herausbildung der wissenschaftlichen Photographie als Disziplin setzt indessen nicht nur die Verfügbarkeit über den photographischen Prozeß selbst, sondern auch einen allgemein verbindlichen Zugang zu geeigneten Maßbeziehungen und Verfahren für seine systematische Untersuchung voraus. Eine solche Möglichkeit ergab sich erst durch Registrierung der photographischen Schwärzungskurve, die 1890 in der grundlegenden Arbeit von Hurter und Driffield eingeführt worden ist. Seitdem wird der wesentliche Zusammenhang zwischen dem optischen Eingangssignal der aufgewandeten Belichtung und dem makroskopischen Ausgangssignal der photographischen Schwärzung auf wohl definierte Weise durch sensitometrische Messung erfaßt.

Die Darstellung der photographischen Schwärzungskurve und ihre analytische Untersuchung blieben indessen immer noch sehr lange von den Mikrovorgängen des photographischen Elementarprozesses losgelöst. Hierbei besteht auch heute noch die grundsätzliche Schwierigkeit, daß man in bildlicher Ausdrucksweise von den nach der Entwicklung "verbleibenden Ruinen des zu metallischem Silber reduzierten Silberhalogenids" auf die während der Belichtung ablaufenden Elementarvorgänge zurückschließen muß. Das latente Bild selbst als Produkt der primären Infomationseinschreibung in Gestalt eines Silberclusters bestimmter

Größe wurde bisher noch niemals anders als über die katalytische Metallphasenverstärkung durch Voll- oder AnentwickJung detektiert. Aufgrund der recht komplizierten Realbedingungen der Einbettung der Silberhalogenidmikrokristalle in eine Gelatinebindemittelmatrix bleibt es auch zukünftig recht vage, ob eventuell einmal eine Visualisierung mit Hilfe der atomar auflösenden Methoden gelingen wird.

Bei der weiteren Darstellung lassen wir uns abwechselnd von den beiden Betrachtungsebenen leiten, die einerseits durch die mikroskopischen Vorgänge der Latentbildentstehung in den primären Sensorelementen der Silberhalogenidmikrokristalle und andererseits durch die phänomenologische Beschreibung des Gesamtprozesses mit Hilfe der photographischen Schwärzungskurve unter Einschluß der verstärkenden Entwicklung gegeben sind. Der Hauptteil soll wie bereits erwähnt der Verbindung beider Ebenen durch Vorstellung von Ergebnissen einer prozeßkorrelierten Sensitometrie gewidmet sein.

Der AgX-Mikrokristall als primäres Sensorelement

Abb. 2 zeigt ein Ergebnis einer zurückliegenden Zusammenarbeit zwischen der Akademieforschung in Berlin-Adlershof und der Berliner Chemischen Industrie. Der abgebildete Silberhalogenidmikrokristall wurde von Herrn Dr. Radowsky in den Fotochemischen Werken Berlin im Rahmen eines Forschungsprojektes zur photographischen Emulsionsentwicklung mit speziell strukturierten Kristallen synthetisiert und anschließend vom Autor an der Foschungsstelle für informationelle Photochemie und Photophysik unter Anwendung von Anentwicklungstechniken zur Zentrendetektierung elektronenmikroskopisch untersucht. Die Einzelheiten stellen wir zunächst zugunsten einer generellen Fragestellung zurück:

Warum ist das Silberhalogenidsystem immer noch so überaus erfolgreich, daß es dem Vordringen der elektronischen Bildaufzeichnung auf vielen Anwendungsgebieten verhältnismäßig unangefochten widersteht, und warum hat der unabsehbare Zuwachs an photoempfindlichen Verbindungen bislang noch keine generelle Ablösung durch ein silberfreies Verfahren herbeizufuhren vermocht?



Abb. 2: Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Silberhalogen idmikrokrista Iis unter Anwendung der Kohle-Platin-HüUabdrucktechnik. Die vermutlichen Latentbildzentren aus der vora losgegangenen Belichtung der photographischen Schicht wurden durch Anentwicklung als beginnende Silberfadenextrusion sichtbar gemacht.

Die Antwort ergibt sich zum Teil bereits aus Betrachtung der Aufnahme in Abb. 2. Der Kristall entspricht mit seiner mittleren Ausdehnung im Mikrometerbereich sehr gut den optimalen Bedingungen für die sogenannte Photoenergiekonzentration, indem er im Ergebnis des photographischen Gesamtprozesses nach erfolgter Entwicklung auf die signaleinschreibende Wirkung einer geringen Anzahl von Photonen durch Umwandlung in ein Speicherelement als Ganzes reagiert. Ähnliche Situationen sind im übertragenen Sinne auch bei den visuellen Rezeptoren der Retina des Wirbeltierauges und bei den Thylakoidvesikeln in den Chloroplasten höherer Pflanzen realisiert. Hiervon unterscheiden sich die Sensoren einer CCD-

Matrix bei der elektronischen Aufzeichnung insofern, daß ein Mindestdurchmesser von 10 |im grundsätzlich nicht weiter unterschritten werden kann, so daß eine vergleichsweise signifikante Verminderung der Detailwiedergabequalität in Kauf genommen werden muß. Die photoaktiven Verbindungen weichen hiervon in der Regel in anderer Richtung ab. Die geringere Molekül große schränkt infolge des photochemischen Äquivalenzgesetzes den Spielraum sehr stark ein, daß man Empfindlichkeit und Detailwiedergabequalität für die Erfordernisse der kameraempfindlichen Stehbildgewinnung optimal zueinander anpassen kann.

Der zweite Teil in der Beantwortung der Frage nach den Ursachen für die besondere Eignung des Silberhalogenide für die photographische Aufzeichnung ist vor allem mit den Nebengruppeneigenschaften des Silbers korreliert. Daraus ergeben sich solche wichtigen Eigenschaften wie die Schwerlöslichkeit der Silberhalogenide in Wasser und das ausgezeichnete Komplexbildungsverhalten, wie sie jeder Chemiestudent bereits in der Anfangssemesterausbildung kennenlernt. Die strukturgleichen Alkalihalogenide, die bei Störstelleneinbau ebenfalls recht interessante photophysikalische Eigenschaften aufweisen können, dürften demgegenüber allein schon aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit solche entscheidenden Verfahrensschritte der photographischen Emulsionsherstellung wie die physikalische und chemische Reifung kaum überstehen.

Bei dem abgebildeten Kristall wurden die vermutlichen Orte der Latentbildentstehung durch beginnende Silberfadenextrusion nach erfolgter Belichtung und Anentwicklung sichtbar gemacht. Die Lokalisierung an den Kristallrändern weist auf die Bedeutung der Störzonen in der Realstruktur hin. Der Befund wirft die immer noch nicht vollständig verstandene Frage auf, wie die Konzentrierung der statistisch im Gesamtkristall durch Lichtabsorption erzeugten Photoelektronen an einer bestimmten Stelle zustandekommt, so daß unter Mitwirkung der ionischen Leitfähigkeit infolge Frenke 1-Fehlordnung im Kationenteilgitter ein bei Entwicklung katalytisch wirksamer Silbercluster bestimmter geringer Größe aus drei bis fünf oder sechs Silberatomen entsteht. Die Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz des Prozesses greifen vielfältig bis in die Kristallstruktur etwa durch Herstellung tafelförmiger Kristalle, durch Jodideinbau in das AgBr-Grundgitter und durch Chloridepitaxie ein. Die zunehmende Komplexität der Beeinflussung des Prozesses verlangt aller-

dings auch geeignet angepaßte Methoden, die unter insitu-Bedingungen bei moderater kameraempfindlicher Belichtung detaillierte Einblicke in die verkoppelten Prozeßabläufe erlauben.

Zeitstufensensitometrie

Bei der photographischen Schwärzungskurvenregistrierung trägt man die nach Belichtung, Entwicklung und Fixierung einer photographischen Schicht erhaltenen Schwärzungswerte über den Logarithmus der jeweils aufgewandten Belichtung auf, die sich aus den beiden Faktoren der Bestrahlungsstärke und Belichtungszeit zusammensetzt. Es resultiert eine doppelt logarithmische Darstellung, da die Schwärzung als dekadischer Logarithmus der negativen Transparenz gemessen wird, die aber auch in guter Näherung linear von der entwickelten Silbermenge abhängig ist. Der aus Zweckmäßigkeitsgründen vorgenommene logarithmische Auftrag der Belichtungsachse beinhaltet eine interessante Parallelität zum Weber-Fechnerschen Gesetz, indem die Retina des menschlichen Auges ebenfalls annähernd als logarithmisch arbeitendes Strahlungsmeßsystem fungiert.

Die große Bedeutung der photographischen Schwärzungskurve liegt vor allem in der mehr technologisch orientierten Möglichkeit einer allgemein verbindlichen Charakterisierung der Bildübertragungsqualität durch geeignete Größen, die man hieraus für die Empfindlichkeit, für die Minimal- und Maximalschwärzung und für den Kontrast ableiten kann.

Für mechanistische Rückschlüsse liefert die Kurve dagegen zunächst nur ein recht dürftiges Resultat. Im Vergleich etwa zu den spektroskopischen Methoden sind keine energetischen Informationen verfügbar, die direkt mit Anregungszuständen im atomaren Bereich korrelieren.

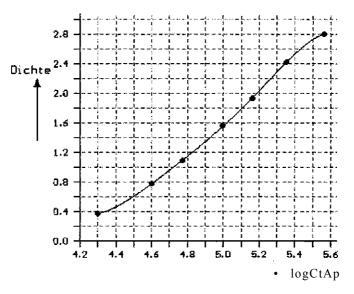


Abb. 3: Meßwertregistrierung durch monochromatische Zeitstufensensitometrie am medizinischen Röntgenfilm Fuji Super-HRG. Die Bestrahlungswellenlänge von 550 nm liegt im Absorptionsmaximum des Sensibilisatorfarbstoffes. Die Photonenabsorptionsrate wurde absolut bestimmt und beträgt $9.91 \cdot 1(P \text{ Photonen pro Sekunde für } K = 1000 \text{ Kömer, Dieser Wert bleibt in allen Belichtungstufen konstant.}$

Die Überwindung dieser Situation verlangt eine entsprechend angepaßte Modellierung, und Abb. 3 zeigt eine von uns registrierte Schwärzungskurve, die diesem Ziel entgegenkommt. Die Messung erfolgte unter kinetisch wohldefinierten Bedingungen der monochromatischen Zeitstufensensitometrie. Darüber hinaus wurde auch der Absolutwert für die Anzahl der absorbierten Photonen pro Silberhaiogenidmikrokristall und Sekunde mitbestimmt. Das erlaubt eine aussagekräftige quantifizierte Behandlung der zugrundeliegenden Clusterbildungsraten, die im Verlauf des weiteren Vortrages vorgestellt werden soll.

Grundvorstellungen der Latentbildtheorie

Die Ausfuhrungen 2ur Latentbildtheorie berühren ein Kardinalproblem der Wissenschaftlichen Photographie. Es gibt eine Unterscheidung zwischen den makroskopischen Beschreibungen im Rahmen der thermodyflämischen Phasenbildungstheorie, die allerdings auf die photolytische Bildung der hier in Frage kommenden Silbercluster sehr geringer Größe nur bedingt anwendbar ist, und den mikroskopischen Theorien, die einen alternierenden Mechanismus aus elektronischen und ionischen Schritten diskutieren. Die kontroversen Betrachtungen beziehen sich gegenwärtig vor allem auf die mikroskopischen Theorien, wobei nach Mitchell zwischen der direkten Photolyse- und der Photoaggregationstheorie unterschieden wird.

Die direkte Photolysetheorie entspricht weitgehend der ursprünglichen Theorie von Gurney und Mott, die sich auf die Photohalbleitereigenschaften des Silberhalogenidmikrokristalls bezieht. Durch Absorption von aktinischem Licht wird gemäß Abb. 4 ein zuvor an ein Bromidion der Kristallstruktur diskret gebundenes Elektron in das Leitungsband überführt. Es erfolgt eine wirksame Ladungstrennung, da die direkte Band-zu-Band-Rekombination aus quantenmechanischen Gründen symmetrieverboten ist. Das freie Photoelektron im Leitungsband und das als positive Ladung verbleibende Defektelektron im Valenzband bewegen sich unabhängig voneinander fort.

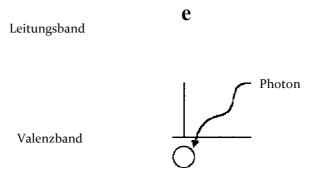
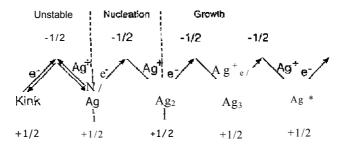


Abb. 4: Termschema für die direkte Band-zu-Band Anregung beim Silbe rhalogenid

Für die Latentbildentstehung ist aber auch die ionische Dunkelleitfeitfähigkeit mitentscheidend, die durch thermische Aktivierung entsteht. Es handelt sich um die Frenkelfehlordnung im Kationenteilgitter, die zur Besetzung von Zwischengitterlagen durch Silberionen führt. Dabei finden sehr schnelle Platzwechselvoränge mit Halbwertszeiten in der Größenordnung von 10^{12} Sekunden statt. Als bevorzugte Orte für die Silberclusterbildung sieht man sogenannte Kink-Sites an, die an Stufenversetzungen oder an Durchbruchstellen linearer Versetzungslinien auftreten und denen eine halbe positive Partialladung zugeschrieben wird. Die abwechselnde Anlagerung eines Photoelektrons und eines Zwischengittersilberions entsprechend Abb. 5 ist mit UmladungsVorgängen verbunden, die hier infolge der halben Partialladung nicht zur Neutralisierung führen, so daß abwechselnd auch die Triebkraft zur Coulombanziehung des jeweils entgegengesetzt geladenen Partners aufrecht erhalten wird.



Abb, 5: Die Triebkraftalternierung zwischen elektronischen und ionischen Schritten entsprechend der direkten Photolysetheorie der Latentbildentstehung nach Gurney und Hott (übernommen von Hailstone)

Die von Mitchell aufgestellte **Photoaggregationstheorie** durchbricht das soeben entwickelte Konzept in einem wesentlichen Punkt, indem Latentbildentstehung nicht mehr durchgängig photolytisch erfolgen soll. Hierbei spielen Einwände eine Rolle, die sich auf Abschätzung des Energieaufwandes für die notwendige Zerlegung des Silberhalogenids in seine Elemente beziehen. Die nachstehende Bilanz zieht aus sehr berechtigten Gründen der hohen Dispersität des latenten Bildes nicht nur die Bildungsenthalpie des Silberhalogenids, sondern auch die Verdampfungsenthalpien

von metallischem Silber und flüssigem Brom bei Normaltemperatur mit in Betracht:

		kcal Mol'
$Ag_s + \frac{1}{2} (Br)\ddot{u}q$	$AgBr_s$	23.99 ± 0.2
Ag_s	Ag_s	68.14 ± 0.2
Va (Br)iiq	Br_{g}	26.60 ± 0.2
		118.73 ± 0.6

Die korrigierte Gesamtbilanz, die auch die Beiträge aus den Absorptionswärmen mitberücksichtigt, führt auf ein wesentliches Resultat: Oberhalb einer Grenzwellenlänge, die mit 400 nm angegeben kann, reicht die Quantenenergie der absorbierten Photonen nicht mehr aus, daß der Silberhalognidmikrokristall photolytisch in die Elemente zerlegt werden kann.

Um die fehlende Energie aufzubringen, gelangt Mitchell zu einem Mechanismus, der die durch chemische Reifung gebildeten Mikrodotierungen auf der Kristalloberfläche, die man gelegentlich auch als Empfindlichkeitszentren bezeichnet, mit aktiv in die Vorgänge der Latentbildentstehung einbezieht.

Abb. 6 veranschaulicht den hierbei diskutierten Auger-Zerfall eines durch LichtabSorption oberhalb von 400 nm erzeugten Exzitons, das sich als Anregungszustand in Form eines gebundenen Elektron-Loch-Paares über energetische Resonanz in der verbotenen Zone des Photohalbleiters fortbewegen soll. Bei Wechselwirkung mit einem Donor-Zentrum in Gestalt etwa eines Ag?-, AgsO- oder eines AgiS-Moleküls findet ein Elektronenübergang in den Loch-Grundzustand des Exzitons unter Aufoxidation des Donor-Zentrums statt. Die freiwerdende Rekombinationsenergie wird allerdings nicht thermisch über eine Phononenkaskade dissipiert, sondern zur Injektion des zuvor am Exziton gebunden Elektrons ins Leitungsband genutzt. Die Energie für den elektronischen Anregungsprozeß wird demzufolge partiell chemisch durch das Donor-Zentrum aufgebracht, und im Endresultat werden auch keine Defektelektronen freigesetzt. Da aber auch das aufoxidierte Donor-Zentrum sofort weiter unter Abgabe eines Zwischengittersilberions an das Kristallgitter dissoziiert, wird auf diese Weise auch ein molekularer Schalter verwirklicht, der die sofortige Rekombination des Leitungselektrons mit dem aufoxidierten Zentrum

verhindert, so daß es für die Folgeprozesse der Latentbildentstehung zur Verfügung stehen kann.

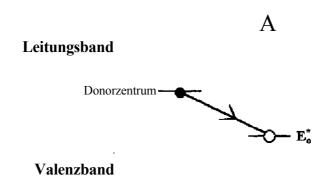


Abb. 6: Der Auger-Mechanismus für den Exzitonenzerfall an einem Donorzentrum entsprechend der Photoaggregationstheorie von Mitchell

Der weitere Reaktionsweg sei im folgenden an Hand der dabei in Frage kommenden Silberduster gemäß Abb. 7 unter gleichzeitiger Berücksichtigung des in Abb, 8 gezeigten Termschemas für die Clusterbildungsenergien dargestellt:

Photolytisch gebildete Silberatome, die durch Kombination des freigesetzten Leitungselektrons mit einem Zwischengittersilberatom entstehen können, sind thermisch instabil. Dieser Reaktionsweg bedeutet im allgemeinen auch einen Verlustprozeß, weil die Wiederholung des Vorganges an gleicher Stelle zum Aufbau größerer Cluster extrem unwahrscheinlich ist.

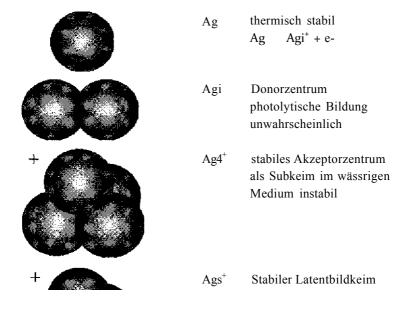


Abb. 7: Silberclusterbildung entsprechend der Photoaggregationstheorie

Agi-Cluster können sich demzufolge nicht photolytisch bilden, sondern sie entstehen vor der Belichtung auf reduktivem Wege durch chemische Reifung. Sie erfüllen eine wichtige Rolle als Donarzentren beim Exzitonenzerfall, der zu ihrer Aufoxidation und zum anschließenden Zerfall des Ag2⁺-Aggregats fuhrt.



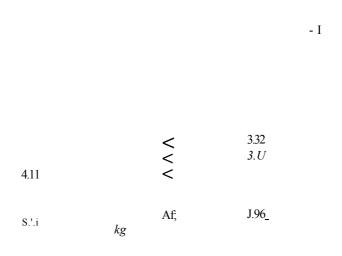


Abb. 8: Energiestufendiagramm für die Überführung eines Ag⁺-Ions aus dem Unendlichen an unterschiedliche Cluster und Fehlstellen im AgBr-Kristall einschließlich wässrige Umgebung (nach Mitchell). Während beispielsweise bei Positionierung an ein neutrales Silberatom 1.63 eV freigesetzt werden, ist die Überführung in die Zwischengitterposition mit einem Energiegewinn von 3.32 eV verknüpft. Daraus folgt, daß die spontane Dissoziation von Ag2⁺ mit einem Energiegewinn von 1.69 eV verbunden ist, woraus sich eine Zeitkonstante von 10¹⁰ Sekunden errechnet.

Die Bildung eines Ag3-Clusters, die durch diffusive Annäherung eines Leitungselektrons und eines Zwischengittersilberions an ein Agz-Molekül möglich ist, stellt jetzt den entscheidenden Folgeprozeß für die weitere Latentbildentstehung dar. Aus energetischen Gründen gemäß Abb. 8 stabilisiert sich dieser Cluster sofort weiter unter Anlagerung eines Zwischengittersilberions, so daß ein Ag4⁺-Aggregat gebildet wird. Damit ist erstmalig ein Subkeim entstanden, der als tiefe Falle fungiert und ein weiteres Photoelektron anziehen kann. Dieser Keim ist allerdings im wässrigen System instabil, so daß er die Entwicklung noch nicht zu katalysieren vermag.

104 Lothar dünkel

Erst ein durch weiteren Einfang eines Photoelektrons und Anlagerung eines Zwischengitterions entstandene Ags⁺-Cluster bleibt auch im wässrigen Medium so stabil, daß er als Latentbild die Entwicklung auslösen kann.

Im Ergebnis beinhaltet der Photoaggregationsprozeß eine lichtinduzierte Triggerung, die die Überführung von bereits vorhandenen Silberatomen aus den Donorzentren zum Latentbildkeim bewirkt. Als Nachteil dieser Vorstellungen mag aber erscheinen, daß sie keineswegs einfacher geworden sind. Nicht nur die vielen indirekten Schlüsse, die zur Stützung der Grundaussagen benötigt werden, stehen einer allgemeinen Akzeptanz entgegen. Bei Verbesserungen lichtempfindlicher Materialien hat sich auch noch nicht viel daran geändert, daß diese immer noch nicht wesentlich anders als durch aufwendige Versuchsreihen zu erzielen sind.

Das Soft-Systemkonzept in der prozeßkorrelierten Sensitometrie

Anküpfungspunkt unserer Untersuchungen ist die bereits eingangs aufgeworfene Frage, inwieweit man die makroskopischen Meßwertkurven der Sensitometrie direkt mit Elementarvorgängen korrelieren kann. Auch Dainty und Shaw heben in dem unter englischem Titel erschienen Buch "Image Science" die große Bedeutung einer solchen Möglichkeit für den Latentbildtheoretiker hervor. Sie vertreten aber auch die Auffassung, daß dies aufgrund der vielen ungelösten Detailprobleme keine folgerichtige Aufgabe sein kann.

Das von uns aus den Arbeiten von Peschel und Mende zur VolteiraModellierung sinngemäß übernommene Soft-Systemkonzept beachtet
dagegen einen hiervon abweichenden Aspekt, der die Forderung nach
Berücksichtigung aller Einzelprozesse, die in der einen oder anderen
Weise in der Schwärzungskurve enthalten sind, wieder etwas entschärft.
Vorbild sind die hochkomplexen Systeme in der Ökologie, die durch
Zufuhr von Stoffen oder Energie getrieben werden, und wo vielfach eine
hohe Redundanz und Abstimmung zwischen aggregierten Untersystemen
gefunden wird. Auch in der Chemie ordnet sich beispielsweise die
bekannten Stabilität der Puffersysteme gegenüber Störeinflüssen auf den

pH-Wert recht gut in solch ein System-Konzept ein. Aus funktionaler Sicht ergibt sich eine bedeutsame Konsequenz, Dem hochaggregierten Systemverhalten sind große Beschränkungen auferlegt, wodurch aber die Komplexität tatsächlich vermindert wird.

Diesen Überlegungen entspricht ein Gleichungsystem, das von uns zur Formulierung der Clusterbildungsraten bei der Latentbildentstehung aufgestellt worden ist:

```
\begin{array}{rcl}
dxi/dt & = & Ai - Aj xi - A3 xi^2 \\
dxz/dt & = & Bi + Bi xi^2 - xi xj \\
dxj/dt & = & C]Xi (1 - X3/X2I)(X2 - C2 X3) \\
dWdt & = & dxi/dt (1 - x4/K).
\end{array}
```

Dem Chemiker sind Gleichungen der vorgestellten Art aus der Formalkinetik und insbesondere auch aus der formalkinetisehen Herleitung des Massenwirkungsgesetzes im allgemeinen recht gut bekannt. Die dynamischen Variablen xi bis X4, die hier gleichfalls Konzentrationen sind, indem sie sich auf eine betrachtete Gesamtzahl K von Silberhalogenidkörnem beziehen, werden im Fall von xi mit der Anzahl der erzeugten Photoelektronen, im Fall von xi mit der Anzahl der gebildeten Subkeime, im Fall von X3 mit der Anzahl der gebildeten Latentbildkeime und schließlich im Fall von X4 mit der Anzahl der entwicklungsfähigen Silberhalogenidkörner identifiziert.

Systematische Untersuchungen haben gezeigt, daß sich das Modell sehr präzise an unterschiedliche Meßkurvenverläufe anpassen läßt. Die Bewährungsprobe besteht in der Eindeutigkeit der Parameteridentifikation. Das anfänglich sehr heikle Problem wurde durch kombinierte Anwendung der direkten und numerischen Integration so gelöst, daß die Bestimmung der Parameter trotz ihrer Vielzahl und trotz zusätzlicher Erschwernisse durch die eingeschränkte Meßwertpräzision hinreichend reproduzierbar und allgemein nachvollziehbar geworden ist. Auf diese Weise haben wir ein analytisches Verfahren für die Gewinnung detaillierter Prozeßeinblicke erhalten, das die Informationen im wesentlichen mit aus den höheren Termen für die Krümmung der integralen Meßwertkurve bezieht

Demonstrationsbeispiele zur Funktionsweise und Meßkurvenanpassung des Prozeßmodells

Die mit dem Model! durchgeführten Untersuchungen seien an einigen Beispielen demonstriert.

Abb. 9 gibt einen Einblick, wie die integrale Meßwertkurve für den Gesamtprozeß in die entsprechenden Wachstumskurven für die photolytischen Keimbildungsstufen und für die photoelektronische Anregung zerlegt werden kann. Die Simulation bezieht sich auf Ergebnisse, die durch Meßkurvenanpassung beim medizinischen Röntgenfilm HS 90 erhalten worden sind.

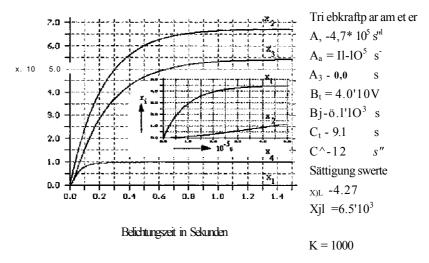


Abb. 9: Beispiel der Zerlegung der integralen Meßwertkurve in eine zeitabhängige Wachstumskurvendarstellung ßr die dynamischen Variablen auf den unterschiedlichen Hierarchiestufen des Prozeßablaufs.

Die integrale Meßwertkurve wird durch die zeitabhängige Wachstumskurve für die dynamische Variable X4 repräsentiert, wobei eine Identifikation mit der relativen Schwärzung gemäß Drei = (Dabs- F)/(D $_{\rm ma}$ i- F) vorgenommen wird. Dabs, Dmai und F stellen entsprechend die absolute Schwärzung, die Maximalschwärzung und den Schleier dar. Die dynamische Variable X4 ist durch einfache Umrechnung umkehrbar eindeutig mit

der dynamischen Variable xa für die Anzahl der Latentbildkeime korreliert, so daß die zugehörige Wachstumskurve auch zur Modellanpassung bei der Parameteridentifikation dient. Die Darstellung zeigt schließlich auch die beiden Wachstumskurven auf den unteren Stufen der Prozeßhierarchie für die Anzahl der Subkeime und der freien Photoelektronen, die hier einzig durch Simulation auf Grundlage der Ergebnisse der Parameteridentifikation zugängig sind.

Als wichtiges Resultat ist erkennbar, daß alle Wachstumskurven bei fortgesetzter Belichtungsdauer einem Grenzwert zustreben, der in unterschiedlicher Höhe liegt, wobei zum Teil aber auch die Zeitkonstanten für die Einzelprozesse sehr verschieden sind. So stellt sich das photostationäre Gleichgewicht für die erste Stufe mit der dynamischen Variable xi bereits im Mikrosekundenbereich ein, während die Folgeprozesse der Clusterbildung erst im Millisekundenbereich beginnen. Die zugehörigen Zeitskalen sind durch Größenordnungen voneinander getrennt, so daß man in Übereinstimmung mit dem Tichonov-Theorem voraussetzen kann, daß photoelektronische Anregung und photolytische Keimbildung dynamisch nicht miteinander interferieren und für den Antrieb des Gesamtprozesses nicht die kurzzeitigen Änderungen der Variablen xi zu Beginn und am Ende der Belichtung sondern der konstante Sättigungswert (limit value) XIL wirksam ist.

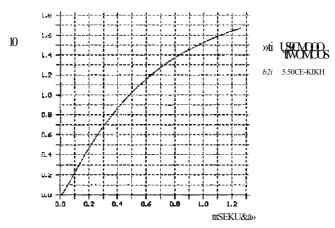


Abb. 70; Beispiel der Parameteridentifikation durch Meßkurvenanpassung im Computerdialog

108 Lothar dünkel

Abb. 10 zeigt ein Beispiel für die Analyse der Meßwertkurve im Computerdialog, die auch eine Angabe der Varianz zur Bewertung der Güte der Anpassung enthält. Ein sehr wichtiges analytisches Resultat ist der Sättigungswert ai = xil für die freie Elektronenkonzentration im photostationären Gleichgewicht. Hieraus läßt sich unmittelbar auch der Wert für die Lebensdauer der Photoelektronen bestimmen, wenn man durch die Photonenabsorptionsrate dividiert, die aus der absoluten Messung unabhängig von der sensitometrischen Kurvenanpassung erhältlich ist. Da der Wert der Photonenabsorptionsrate auch von der Kristallitgröße abhängig ist, erlauben die Untersuchungen an dieser Stelle, daß man sehr aussagekräftige Unterscheidungen zwischen den geometrischen Einflüssen durch die Kristallgröße und den inhärent prozeßbedingten Einflüssen, die die Effizienz der photolytischen Clusterbildung und mithin auch die photographische Empfindlichkeit mitbestimmen, vornehmen kann. Die Größen b2 und a4 beschreiben multiplikative Einflüsse aus unterschiedlichen Prozeßstufen, die sich in gegenläufiger Weise auf den Kurvenverlauf im Anstiegs- und Sättigungsbereich auswirken. Die Effizienz des photolytischen Keimbildungssystems ist hierbei insbesondere auch mit dem Sättigungswert für die Anzahl der Latentbildkeime korreliert, der aus den gewonnenen Angaben mit Hilfe der Beziehung XIL = 2b2 /ai a* berechnet werden kann.

Rückschlüsse über den Elementarprozeßablauf

Die Untersuchungstrategie bei Anwendung des Gleichungssystems beinhaltet ein systemanalytisches Verfahren, indem von integralen Ausgangsdaten bei der Meßwertanpassung auf eine bestimmte Anzahl von Eingangsgrößen zurückgeschlossen wird, die als Triebkraftparameter auf unterschiedlichen Stufen des verkoppelten Prozeßablaufs wirksam sind. Für die mechanistische Interpretation ist die Verfolgung der systematischen Änderungen wichtig, die bei Variation solcher Einflußgrößen wie Photonenabsorptionsrate, BeStrahlungsweilenlänge, Entwicklungsbedingungen und Belichtungstemperatur gefunden werden. Es handelt sich hierbei durchaus um die Gewinnung sehr spezifischer Informationen, die ein a posteriori Ergebnis der systemanalytischen Untersuchung sind und

die sich auch als besondere Befunde aus den vielen Möglichkeiten der Modellanpassung keineswegs immer a priori vorhersehen lassen. Die folgenden Beispiele zur Untersuchung des Niedrigintensitätsfehlers und des Entwicklereinflusses auf den Schwärzungskurvenverlauf mögen auch die hohe Konsistenz der mechanistischen Aussagen verdeutlichen, die dadurch erhältlich sind.

So konnte bei Untersuchungen des Niedrigintensitätsfehlers an medizinischen Röntgenfilmen unterschiedlicher Hersteller übereinstimmend gezeigt werden, daß dieser oberhalb von 400 nm hauptsächlich durch Wirkung eines Nichtlinearterms verursacht wird, der die Silbercluster-nukleationsgeschwindigkeit mitbestimmt und der sich auch auf die Höhe des Sättigungswertes für die Anzahl der Latentbildkeime auswirkt.

Die Untersuchung der mechanistischen Ursachen für den Entwicklungseinfluß auf den Meßkurvenverlauf erbrachten dagegen Hinweise auf einen topologischen Effekt, der auch gut mit der gefundenen Abhängigkeit von der Photonenabsorptionsrate korreliert. Wie die Ergebnisse der Parameteridentifikation zeigten, driften die Photoelektronen bei höheren Photonenabsorptionsraten zunehmend in die Volumenphase ab. Damit geht auch eine Verlagerung der Latentbildentstehung von der Oberfäche in darunter befindliche Bereiche einher. Die potentiellen Latentbildkeime bleiben demzufolge katalytisch unwirksam, wenn der verwendete Entwickler etwa aufgrund geringerem Sulfitanteils nicht korrosiv genug ist, um durch Auflösung der Oberfläche in darunter liegende Bereiche vorzudringen.

Kehren wir abschließend zu den strittigen Fragen der Latentbildtheorie zurück. Welche Möglichkeiten ergeben sich, daß man aus den differenzierten Einblicken in den Prozeßablauf auf mehr direktem Wege besser gesicherte Aussagen zu den eingangs erörterten Kontroversvorstellungen erhalten kann?

Die Beantwortung dieser Frage bleibt auch weiterhin ein sehr schwieriges Problem. Das Modell mit seinen aggregierten Triebkraftgleichungen erfüllt a priori gerade eine besondere Plausibilitätsbedingung, indem die gefundene Beschreibungsform mehr in der Art eines top down Konzepts mit unterschiedlichen Vorstellungen der Latentbildtheorie gleichermaßen verträglich ist. So wird beispielsweise zunächst nicht darüber entschieden, ob die Variable X2 für die Subkeime als Ag2-Aggregat nach der Theorie

von Gurney und Mott oder als Ag4⁺-Aggregat nach der Theorie von Mitchell interpretiert werden soll. Es hängt infolgedessen auch hier entscheidend von den a posteriori Ergebnissen der Meßkurven an alyse ab, ob wir Ansatzpunkte für systematische Untersuchungen finden, die die weitere Klärung voranbringen können. In solch einem Zusammenahang zeigt Abb. 11 eine Folge von Meßwertkurven, die bei 365 nm für unterschiedliche Werte der Photonenabsorptionsrate gemessen worden sind.

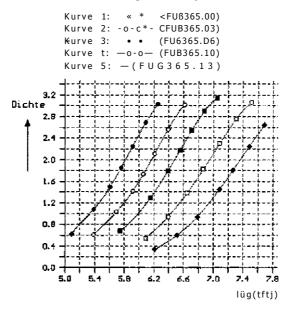


Abb. 11: Meßwertkurven der monochromatischen Zeitstufensensitometrie bei 365 nm mit systematischen Verschiebungen, die durch einen ausgeprägten Niedrigintensitätsfehler bei unterschiedlichen Werten für die Photonenabsorptionsrate verursacht sind.

In der gegenseitigen Verschiebung der Kurven drückt sich ein vergleichsweise hoher Niedrigintensitätsfehler aus. Die mechanistische Deutung im Ergebnis der Parameteridentifikation weist auf einen besonderen Einfluß durch den photoelektronischen Anregungsprozeß hin, indem eine ausgeprägte Abhängigkeit der Lebensdauer der Photoelektronen von der Photonenabsorptionsrate gefunden wird. Das ist sehr im Unterschied zu Ergeb-

nissen, die bei Messung oberhalb von 400 nm erhalten werden, wo die Lebensdauer der Photoelektronen in der Regel nur unmerklich variiert. Die bisher erhaltenen Befunde sind tatsächlich gut konsistent mit den Unterschieden im Prozeßablauf, die Mitchell aus thermodynamisehen Gründen oberhalb und unterhalb von 400 nm diskutiert.

Schlußbemerkungen und Ausblick

Der Vortrag, der durchaus auch als ein Plädoyer für die Anwendung systemanalytischer Methoden verstanden werden kann, sollte verdeutlichen, welche Faszination eine Beschäftigung mit den Grundprozessen der photographischen Empfindlichkeit immer noch auszuüben vermag, ganz abgesehen von der Faszination, die die Photographie mit ihren vielfältigen Möglichkeiten der präzisen Aufzeichnung von Ereignissen ohnehin in sich birgt. Dem steht etwas die Situation entgegen, daß die Latentbildtheorie zunehmend aus der allgemeinen Aufmerksamkeit herausgerückt ist, indem die verwickelten Einzelprobleme nur noch in einigen wenigen Fachzeitschriften behandelt werden, die im allgemeinen auch nur einer sehr begrenzten Leserschaft zugängig sind. Die Silberhalogenidphotographie behält in absehbarer Zeit zweifelsohne, wenn auch in modifizierter Form und mit Einschränkungen in dem einen oder anderen Anwendungsfall. ihre Bedeutung bei. Dabei ist auch zu beachten, daß sich auf dem Gebiet der Wissensmodellierung etwa durch Bereitstellung neuronal plausibler Modelle sehr interessante Entwicklungen vollziehen, die bisher bei weitem noch nicht für die photographische Prozeßuntersuchung erschlossen worden sind

Als wichtige Methode, die sowohl zur weiteren Vervollkommnung der latentbildtheoretisehen Vorstellungen wie zur Unterstützung der Entwicklungsarbeiten bei der Verbesserung der photographischen Schichten beitragen kann, sollte sich die kombinierte Andwendung von Modellierungsverfahren erweisen, die auf den beiden entgegengesetzten Prinzipien nach top down und buttom up beruhen. Das zu lösende Problem hierbei ist, daß nach beiden Verfahren eine präzise Meßwertanpassung und weitgehend eindeutige Bestimmung der Prozeßparameter vorgenommen werden kann. Schließlich bleibt die sorgfältig ausgewogene Desintegration des Gesamt-

Prozesses auch im Vergleich zu den photophysikalischen und anderen direkten Methoden ein wichtiger Schlüssel für das Verständnis der photographischen Empfindlichkeit, zumal bei den zuletzt genannten Methoden die Rekonstruktion nur bruchstückweise möglich ist und die direkte Untersuchung unter Abkopplung der Entwicklung Anregungsbedingungen erfordert, die weit außerhalb der kameraempfindlichen Belichtung liegen.

Anmerkung zur Diskussion

Eine wichtige Frage in der Diskussion bezog sich auf die empfindlichkeitsbestimmende Wirkung der Gelatine und den Möglichkeiten ihrer Substitution durch ein synthetisches Polymer. Die Frage ist deshalb sehr schwierig zu beantworten, weil die Nutzung der Gelatine als Bindemittelmatrix einer photographischen Schicht ein außerordentlich glücklicher Griff gewesen ist und ihre unverzichtbare Wirkung bei der Erreichung sehr hoher Empfindlichkeiten eben auch mit der wenig gut verstandenen Funktion der sogenannten Empfindlichkeitszentren bei der Latentbildentstehung überhaupt zusammenhängt.

Die gelegentliche Bezeichnung der Gelatine als "launische Diva" weist hierbei vielleicht auch auf eine durchaus nicht zu vernachlässigende Lebensnähe des photographischen Prozesses hin. Neben den verhältnismäßig gut untersuchten Zusammenhängen, die sich aus der Wirkung bestimmter Reif- und Hemmstoffe in Gestalt von flüchtigen Schwefel Verbindungen und Nukleinsäuren in der Gelatine ergeben, bleiben die Schlüsse über besondere Einflüsse durch die makromolekulare Struktur ein sehr schwierig zu durchschauendes Gebiet.

Die im Vortrag unterstrichene hohe Bedeutung der unterschiedlichen Zeitskalen beim photographischen Prozeß, die sich allein schon aus der notwendigen Irreversibilität der Informationsaufzeichnung ergeben muß, läßt sich auf die Wirkung der Gelatine dahingehend erweitern, daß sie solche zeitabhängigen Prozesse wie die Reifung, Überreifung und Alterung entscheidend mitbestimmt. So ist auch die Schleierzunahme ein großes Problem, wenn man die Empfindlichkeit weiter steigern will.

Die Einführung der Gelatine hat die vorherigen Verfahren abgelöst, die an den feuchten Zustand der photographischen Schicht gebunden waren, um eine hinreichende Empfindlichkeit zu erzielen. Es ist Auffassung des Autors, daß eine gültige Latentbildtheorie auch diese naßchemischen Verfahren gebührend mitberücksichtigen muß. Vermutlich kommt in diesem Zusammenhang der hydrophoben Grenzflächenwechselwirkung an den Silberhalogenidkristallen mit ihren Störbereichen sowohl während der Belichtung wie auch während der Entwicklung eine besondere Bedeutung zu. Entsprechende Hinweise lassen sich auch aus den im allgemeinen unerwünschten "Dreck"effekten gewinnen, wenn man etwa die Oberflächenspannung während der Entwicklung durch Zugabe von Netzmitteln herabsetzt, Insgesamt beinhalten diese Fragen noch einen großen Forschungsbedarf, und es ist denkbar, daß man mit Hilfe der vorgestellten systemanalytischen Verfahren die Wirkung der Gelatine besser mit in die Betrachtung einbeziehen kann.

Joachim Auth

50 Jahre Transistor - von der Spitzendiode zur Mikroelektronik*

Im Dezember 1947 wurde der Bipolartransistor von BARDEEN und BRATTAIN erfunden und am 30. Juni 1948 der Öffentlichkeit erstmalig in Form des Spitzentransistors vorgestellt. Dabei wurden experimentelle Erfahrungen und vor allem Germanium-Halbleiterkristalle genutzt, die aus der Weiterentwicklung des Kristalldetektors zu Spitzendioden für die Radartechnik stammten. SHOCKLEY, der in den BELL-Laboratorien die Forschungsarbeiten, die zum Transistor führten, geleitet hatte, gab 1948/49 mit seinem eindimensionalen Modell des pnp- bzw. npn-Junctiontransistors die theoretische Erklärung für die Funktionsweise des bipolaren Transistors und gehört daher zu den Erfindern des Transistors. Er stützte sich dabei auch auf SCHOTTKYs Theorie des Halbleitergleichrichters. SCHOCKLEY erschloß damit den Weg für neue Transistorkonzeptionen, die sich äußerlich ganz und gar vom Spitzentransistor unterschieden, u. a. für die Silizium-Planartransistoren, die letztlich die moderne Mikroelektronik ermöglichten

SCHOCKLEYs Bemühungen um ein verstärkendes Halbleiterbauelement wurden anfangs getrieben von der Idee des Feldeffekt-Transistors, der bis 1948 dreimal erfunden wurde, der aber nicht erfolgreich verwirklicht werden konnte. Die mit den Silizium-Planartransistoren entstandene Technologie erlaubte es dann doch, in der Form des MOS-FET einen Feldeffekt-Transistor zu verwirklichen, der sich für die Weiterentwicklung der Mikroelektronik als außerordentlich erfolgreich erwies. Integrierte Festkörperschaltkreise mit einem Integrationsgrad von einigen 100 Millionen MOS-FET sind heute Wirklichkeit, Integrationsgrade von Milliarden Bauelementen werden in wenigen Jahren erwartet. Dabei werden die kritischen Abmessungen nur noch 180 nm betragen. Wenn sich

 ^{*} Kurzfassung des Vortrags in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 18.
 Dezember 1997

JOACHIM AUTH

diese der de-Broglie-Wellenlänge der Ladungsträger im Halbleiter (um 30 nm) nähern, wirft das neue grundsätzliche Fragen der Funktion von verstärkenden Halbleiterbauelementen auf.

Die Erfindung des Transistors im Verein mit der des Computers gehört zu den bedeutendsten Ereignissen dieses Jahrhunderts.

Horst Hennig

Perspektiven der chemischen Speicherung von Sonnenenergie*

Die Möglichkeiten einer chemischen Speicherung von Sonnenenergie spielen in der Öffentlichkeit nur eine ganz untergeordnete Rolle, obwohl die Natur uns hierfür mit der Photoysynthese der Pflanzen ein Modell bietet, das in seiner Dimension im Vergleich zu allen zivilisatorisch bedingten Stoff- und Energiewandlungsprozessen konkurrenzlos ist. Wie bereits zu Beginn dieses Jahrhunderts von *W. Ostwald* erkannt wurde, stellt streng genommen die chemische Modellierung der Photosynthese den Hauptweg dar, um die für das Überleben der Menschheit erforderliche Energie perspektivisch zur Verfügung zu haben R]-

Im Verlaufe der Evolution ist mit der Photosynthese der grünen Pflanzen ein äußerst trickreiches System zur lichtgetriebenen Elektronen- und Protonenübertragung von Wasser auf Kohlendioxid entstanden, das eine Umwandlung von Sonnenenergie in chemische Energie sowie deren Speicherurig in Form von Kohlenhydraten und Sauerstoff ermöglicht.

Die bei der Photosynthese umgesetzten Energie- und Stoffmengen übertreffen alle artifiziellen energie- und stoffwandelnden Prozesse auf der Erde. Das verdeutlicht, welch beeindruckendes Potential an energetischen Umsätzen sich hinter der Photosynthese verbirgt und warum eine chemische Modellierung dieses biologischen Prinzips von so herausragender Bedeutung für die Entwicklung einer zukünftigen Energiebasis der Menschheit ist.

In diesem Sinne kann die chemische Speicherung von Sonnenenergie als Weg zu alternativen Energiequellen verstanden werden, wobei allerdings festzustellen ist, daß einerseits die chemische Wirkungsweise des natürlichen Modells Photosynthese noch nicht vollständig aufgeklärt ist und andererseits nur vereinzelt Ansätze zur Entwicklung vergleichbarer

 ^{*} Kurzfassung des Vortrags in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 14. Mai 1998.

118 HORST HENNIG

artifizieller Systeme bekannt sind, die dem Ziel einer effizienten chemischen Sonnenenergie-Speicherung dienen [2], [3], [4].

Die chemische Wandlung von Sonnenenergie beruht auf dem Wesen der chemischen und photochemischen Energiespeicherung, Basierend auf den chemischen und photochemischen Wirkprinzipien der Photosynthese erweisen sich photokatalytische Systeme zur Umwandlung von solarer in chemische Energie als besonders geeignet [2], [5].

Die Vorzüge photochemischer Reaktionen beruhen im Vergleich zu thermischen Umsetzungen darauf, daß durch eine photochemische Anregung die Aktivierungsbarriere in der Regel bei beliebig niedrigen Temperaturen überwunden werden kann und sogenannte "Bergauf-Prozesse" ermöglicht werden.

Natürlich ist auch unter photochemischen Bedingungen die Aktivierungsenergie zur Verlustbilanz der Strahlungsenergie rechnen. Das bedeutet, daß eine photochemische Reaktionsführung nur dann wirtschaftlich gestaltet werden kann, wenn die Photonen kostengünstig zur Verfügung stehen. Letzteres gilt ausschließlich für solare Photonen, da sie einer Energiequelle entstammen, die im Gegensatz zu den Ressourcen der Erde kostenlos verfügbar ist.

Einige ausgewählte Beispiele zeigen die Anwendung photochemischer Wirkprinzipien zur Umwandlung von Sonnenenergie in chemische Energie und andere nutzbare Energieformen.

Es gibt die unterschiedlichsten Ansätze dafür, wie Lichtenergie (im Idealfall Sonnenenergie) in chemische Energie umgewandelt werden kann (s. z. B. [2], [3], [4], [5], [6j). Sie sind von der jeweiligen Zielstellung abhängig. Wenn es sich um Wege zur Umwandlung von Sonnenenergie in nutzbare Energie handelt, dann steht die photokatalytische Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff (Nutzung von Knallgas z, B. zur direkten oder indirekten Erzeugung von Elektrizität) oder zu Wasserstoff (der aus verschiedenen Gründen einfachere Weg) [7], die photoelektrochemische Erzeugung von elektrischer Energie [8] oder die Speicherung auf dem Wege von Molekülumlagerungen, die thermisch auf katalytischem Wege unter Abgabe von Wärmeenergie rückgängig gemacht werden können [9], im Mittelpunkt vielfältigster Untersuchungen. Einer indirekten chemischen Energiespeicherung dient die Nutzung von Sonnenenergie für photochemische bzw. photokatalytische Stoffwandlungspro-

zesse mit dem Ziel der Hoch- bzw. Höchstveredlung von einfachen Synthesbausteinen (s. z. B. [10], [11]),

Der Anspruch hinsichtlich einer praktischen Nutzung einer chemischen Speicherung von Sonnenenergie erscheint insofern als realistisch, da mit der Photosynthese der grünen Pflanzen ein natürliches Modell vorliegt, das (neben seiner lebensspendenden biologischen Funktion) den bedeutendsten energie- und stoffwandelnden Prozeß auf der Erde repräsentiert. Bei einem Wirkungsgrad von weniger als 1% und einer aus technischer Sicht höchst geringen Effizienz von < 1% wird zugleich deutlich, daß biologische Konstruktionen nach den völlig anderen Prinzipien der Evolution geordnet sind. Zu welchen Leistungen die Natur dabei fähig ist, verdeutlicht sich am Weltenergieverbrauch, der gegenwärtig um eine Zehnerpotenz unter der Energiespeicherung der Photosynthese liegt.

Zu den Nachteilen photochemischer Wirkprinzipien sind unterschiedliche physikalische und chemische De saktivierungsprozesse zu zählen, die die Effizienz photochemischer Reaktionen erheblich beeinträchtigen können. Allerdings zeigt die Photosynthese, mit welchen chemischen Tricks es der Natur gelingt, diese Barrieren zu überwinden. Ein weiterer, wesentlicher Nachteil liegt in der spektralen Breite und damit Energieverteilung des auf die Erde einfallenden Sonnenlichts begründet. Sonnenlicht verfügt Uber keine nennenswerten Anteile an energiereicher ultravioletter Strahlung. Da aber zahlreiche Verbindungen, die auf Grund ihrer Reaktivitätsmerkmale für eine chemische Energiespeicherung von Sonnenenergie als besonders geeignet erscheinen, nur (oder überwiegend) im ultravioletten Spektralbereich Licht absorbieren, macht sich für deren Nutzung eine spektrale Sensibilisierung für die energieärmeren Bereiche des Sonnenspektrums erforderlich [12],

Literatur

- [1] W. Ostwald; Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaften, Leipzig, 1909
- [2] N. Serpone, E. Pelizzetti (Eds.); Photocatalysis, John Wiley, New York, 1989
- [3] M. Grätzel (Ed.); Energy Resources through Photochemistry and Catalysis, Academic Press, New York, 1983
- [4] H. Hennig; Chemische Speichcrang von Sonnenenergie eine alternative Energiequelle, Sitzungsberichte Sächs. Akad. Wiss., 126, Heft 3 (1997)

120 HORST HENNIG

[5] H. Hennig, D. Rehorek; Photochemische und photokatalytische Reaktionen von Koordinationsverbindungen, Akademie-Verlag, Berlin, 1987, Thieme, Stuttgart, 1988

- [6] V. Balzani, F. Scatidola; Supramolecular Photochemistry, Horwood, Chichester, 1991
- [7] H, Hennig, K. Ritter, R. Billing; 3. prakt. Chem., 338 (1996) 604
- [8] B, O'Regan, M. Grätzel; Nature, 33S (1991) 737
- [9] C. Kutal; Coord. Chem. Rev., 64 (1985) 191
- [10] H. Hennig, L. Weber, R. Stich, M. Grosche, D. Rehorek; in: J.F. Rabek (Ed.); Progress in Photochemistry and Photophysics, Vol. VI, CRC Press, Boca Raton, 1992
- [11] P. Esser, B. Pohlmann, H.-D. Scharf; Angew. Chem., 106(1994) 2093
- [12] H. Hennig, R. Billing, H. Knoll; in: K. Kalyanasundaram, M. Gräuel (Eds.); Photosensitization and Photocatalysis Using Inorganic and OrganometaHic Compounds, Kluwer, Dordrecht, 1993

Rudolf Herrmann

Zur Struktur von Kohlenstoffclustern im Abgas von Verbrennungsmotoren*

Bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen im Dieselmotor und im Ottomotor entstehen bei Temperaturen um 2000 °C und einem Druck von 60-100 bar bzw. 2500 °C und 40-70 bar, neben einer Vielzahl von Gasen, Rußteilchen. Die kleinsten Teilchen bestehen aus reinem Kohlenstoff und sind für beide Motoren gleich.

Es sind sphäroidale, amorphe Cluster mit einer mittleren Abmessung von 25 nm. Im hochauflösenden Elektronenmikroskop erkennt man eine Schalenstruktur von radial um das Zentrum angeordneten, graphitähnlichen Unterstrukturen, die kleine Kristallite bilden. Diese haben Abmessungen zwischen 1,5 und 3 nm und enthalten 3 bis 6 Gitterebenen. Der Abstand der Gitterebenen liegt zwischen 3,4 und 5 A. (Graphit hat einen Gitterabstand von 3,34 A). Es ist die Tendenz festzustellen, daß mit zunehmender Clustergröße die Zahl der Gitterebenen in den Kristalliten zunimmt und diese enger zusammenrücken.

Neben diesen elementaren Clustern enthält der Benzinruß jedoch noch drei andere Teilchengruppen, die wesentlich größer sind und auch recht unterschiedliche Formen aufweisen. Das sind zum einen größere, aber auch noch kugelförmige Teilchen mit Durchmesser um 75 nm, die neben Kohlenstoff Kalium, Silizium und Schwefel enthalten, sowie massive Teilchen mit Ausdehnungen von 500 bis 700 nm mit Kalzium und Schwefel. Besonders interessant sind langgestreckte, röhrenförmige Teilchen, die eine Länge zwischen 500 und 1500 nm erreichen. Sie sind mit elementaren Kohlenstoffclustern gefüllt.

Die Gitterparameter zeigen, daß die Röhren CazP₂07 enthalten. Bei längerer Bestrahlung im Elektronenmikroskop verschwinden diese Röhren langsam und y-CazPsOy wandelt sich in ct-Ca^PjO7 um.

Kurzfassung des Vortrags in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozität am 18, September 1997.

Die Kristallite in den elementaren Kohlenstoffe lustern zeigen eine Rotationsunordnung der Gitterebenen im Unterschied zur Rotationsordnung, die der Autor auf speziell gestörten Graphitoberflächen beobachten konnte. Diese Rotationsordnung der gestörten Oberfläche fuhrt zu einem Übergitter mit eiener Gitterkonstanten von ca. 20 A. (Die Gitterkonstante einer ungestörten Graphitoberfläche beträgt 2,46 A)

Das IR-Spektrum vom Dieselruß zeigt eine Absorptionslinie bei 6,3 (im. Benzinruß hat neben der Absorption bei 6,3 pm auch eine Linie bei 11,3 pm. Diese Absorpionslinien stimmen mit charakteristischen Linien von circumstellarem Dunst von Kohlenstoffsternen überein.

KORRESPONDENZ 123

Böhme versus Hohlfeld

Aschersleben, den 5. Mai 1998

Sehr geehrter Herr Kollege Dr. Hohlfeld,

mit großem Interesse habe ich vor einigen Tagen Ihren Beitrag: "Zwischen Autonomie und staatlichem Dirigismus: Genetische und biomedizinische Forschung" in dem Buch: "Naturwissenschaft und Technik in der DDR" gelesen. Mein Interesse ergibt sich u. a. natürlich auch aus der Tatsache, daß ich in dem von Ihnen behandelten Zeitraum aktiv an den Entwicklungen in Gatersleben und auch an der Arbeit einiger Gremien, die sich mit biowissenschaftlichen Problemen befaßten, sowohl im Rahmen der Akademie als auch des Forschungsrates beteiligt war. Ich hatte Ihnen darüber bei meinem Besuch in der Jägerstraße 1995 (damals ging es u. a. um Probleme der Entwicklung der Humangenetik) erzählt und Ihnen dabei auch meine Bereitschaft zu weitergehenden Auskünften erklärt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß Sie in jener Zeit die Entwicklungen in der DDR nur indirekt von einem westdeutschen Beobachter-Standpunkt verfolgen konnten, haben Sie einen beachtlichen Abriß der Probleme dieser Zeit geliefert. Sollten Sie darauf Wert legen, wäre ich bereit auch noch künftig eventuelle Ergänzungen beizutragen.

Auf einige Dinge möchte ich Sie jedoch schon heute sehr konkret hinweisen, da sie mir bereits beim ersten noch flüchtigen Lesen auffielen.

- Im Zusammenhang mit der "dogmatischen Periode in der Biologie-Geschichte" (welche Art von Periodisierung ist das?) und der "Lyssenkoschen Doktrin" (S. 219) machen Sie die interessante Feststellung, daß sich das Zentralinstitut f. Genetik und Kulturpflanzenforschung mit Hilfe der Unterstützung der SMAD in Haile seine wissenschaftliche Autonomie sichern und die Lyssenkoschen Behauptungen experimentell widerlegen konnte. Diese Feststellung entspricht nicht den Tatsachen, Eine Unterstützung von Offizieren der SMAD (Vavilov-Mitarbeiter) erhielt Stubbe bei der Ausklammerung der Domäne Gatersleben aus den Maßnahmen zur Bodenreform 1945/46 und den allerersten

Schritten zur Einrichtung von Versuchsanlagen auf Grundstücken dieser Domäne. In die inhaltliche Gestaltung der wissenschaftlichen Tätigkeit haben sich Offiziere der SMAD in keiner Weise, weder materiell noch intellektuell, eingeschaltet. Die experimentelle Widerlegung Lyssenkoscher Behauptungen durch *Stubbe* und seine Mitarbeiter (Böhme, Zacharias u. a.) geschah aus einem Bewußtsein der Verantwortung für die wissenschaftliche Arbeit.

- Sie erwähnen das Großforschungsvorhaben MOGEVUS, das im Kontext mit der "Akademie-Reform" etabliert worden sei. Das ist falsch. Die Geschichte von MOGEVUS und der "Kontext", von dem Sie sprechen, ist nur zu verstehen, wenn man die Aktivitäten des Ministeriums f. Wissenschaft und Technik, des Forschungsrates und der Zentralen Arbeitskreise {hier insbesondere "Biochemie" sowie "Genetik und Züchtungsforschung") einbezieht und vor allem auch das Nachfolgeprogramm "Biowissenschaften und naturwissenschaftliche Grundlagen der Medizin" berücksichtigt, Unterlagen darüber haben Sie sicher bzw. finden Sie im Akademie-Archiv oder auch in dem von Ihnen zitierten Archiv Bielka, denn Herr Bielka war an der Ausarbeitung, kritischen Diskussion und Umsetzung dieser wissenschaftspolitischen und wissenschaftsorganisatorischen Materialien aktiv beteiligt.
- Als sehr bedauerlich empfinde ich die Tatsache, daß Sie die Aktivitäten der Klasse Biowissenschaften (1969-1973 Biologische Prozeßsteuerung; 1974-1990 Biowissen Schäften) bei der Gestaltung der genetischen und biomedizinischen Forschung unberücksichtigt lassen. Auch hier liegen genügend schriftliche Materialien vor. Das betrifft insbesondere einen vom wissenschaftshistorischen Standpunkt aus bedeutenden Vorgang wie die "Stellungnahme der Klasse zu Problemen der Sicherheit bei molekulargenetischen Experimenten". Diese Stellungnahme, mit der wir auf die internationale Diskussion zur Problematik der rekombinanten DNA (u, a. Asilomar-Konferenz) reagierten, wurde im ersten Entwurf 1975 formuliert und dem Ministerium f. Gesundheitswesen und anderen staatlichen Einrichtungen übergeben.
- Als Direktor des Gaterslebener Institutes im Zeitraum von 1969-1983 (von 1967-1969 amtierender Stellvertreter) kann ich die Strategie dieses Instituts einigermaßen authentisch beurteilen. Von einem "Unterlaufen" (S, 221) einer vorgegebenen Strategie kann absolut nicht die

KORRESPONDENZ 125

Rede sein, und es würde mich schon interessieren, von wem Sie diese merkwürdige Information bekommen haben. Gerade in dieser Zeit wurden die "Vorgaben" durch die Mitarbeit zahlreicher Wissenschaftler der Institute in den staatlichen Beratungsgremien bei der Erarbeitung der Prognosen und Planungsunterlagen in starkem Maße von den Instituten mitbestimmt.

- Einen breiten Raum nahm in den siebziger und achtziger Jahren die Ausarbeitung und Bearbeitung von Gentechnik-Vorhaben ein; dies erfolgte in der Regel gemeinsam von Wissenschaftlern, die in Einrichtungen der AdW, der Universitäten und der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften tätig waren. Leider haben Sie diese umfangreichen Aktivitäten gar nicht erfaßt.
- Zu der Auswahl der von Ihnen zitierten Wissenschaftler, die in dem in Ihrem Beitrag behandelten Zeitraum aktiv waren, nehme ich nur insoweit Stellung: sie entspricht nicht den unter Wissenschaftlern in der Regel üblichen Fairneß-Grundsätzen. Das hat mich sehr verwundert, da ich Sie und Ihre Grund-Auffassungen bei verschiedenen Gelegenheiten, u. a. bei den Gaterslebener Begegnungen, kennen und schätzen gelernt habe.

Ich wiederhole meine Bereitschaft, für weitere Informationen zur Geschichte, die natürlich immer einen subjektiven Anteil tragen, zur Verfügung zu stehen, und verbleibe

mit freundlichem Gruß Helmut Böhme

20 November 1998

Lieber Herr Böhme,

der Redakteur der Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Herr Dr. H. Wöltge, hat mich darüber informiert, daß er gern Ihren Brief vom 5.5.1998 an mich, in welchem Sie meinen Beitrag "Zwischen Autonomie und Dirigismus: Genetische und biomedizinische Forschung in der DDR"erschienen in D. Hoffman und C. Makrakis (Hg.), Naturwissenschaft und Technik in der DDR, Berlin 1997 einer kritischen Würdigung unterzogen haben, veröffentlichen möchte und hat mir die Gelegenheit zu einer Antwort ein-

geräumt. Diesen Anlaß möchte ich gern nutzen, um das zu tun, was ich schon lange beabsichtigt hatte, meine Arbeit in der Akademie bisher jedoch leider keine Zeit ließ, nämlich Ihnen zu antworten. Da ich die Meinung von Herrn Wöltge teile, daß einige der Punkte, die Sie ansprechen, von allgemeinem Interesse sind und es zusätzlich doch einige gravierende Dissense zwischen uns gibt, möchte ich meine Antwort gleichfalls veröffentlichen.

Zunächst einmal möchte ich mich bei Ihnen für die Aufmerksamkeit bedanken, die Sie meinem Beitrag zukommen ließen; leider ist es ja heute eher die Ausnahme, daß eine Autor mit so ausführlichen Kommentaren bedacht wird

Bevor ich nun auf Ihre einzelnen Kritikpunkte eingehe, möchte ich eine generelle Vorbemerkung machen, die sich auf Ihre gesamte Argumentation bezieht. Ich denke, daß wir viele Meinungsunterschiede ausräumen könnten, da sie auf Mißverständnissen beruhen. Sie haben Ihre Ursache darin, daß wir (immer noch) in zwei unterschiedlichen politischen Semantiken leben, und darin, daß wir in unserer Interpretation der historischen Entwicklung zusätzlich unterschiedliche Perspektiven einnehmen: Ich bin nicht nur ein westdeutscher (inzwischen Berliner) Beobachter des Geschehens - der Zugang zu den Archiven und zu direkten Quellen hat unsere 'indirekten' Analysen, die wir in den 80er Jahren am Erlanger Institut für Gesellschaft und Wissenschaft (IGW) durchführten, eindrucksvoll bestätigt - sondern nehme auch die Beobachterperspektive der Wissenschaftsforschung ein, während Sie aus der Perspektive des Akteurs und Zeitzeugen argumentieren, also eine Teilnehmerperspektive haben. Der Konsens in der Beurteilung zeitgeschichtlicher Sachverhalte kann hier im besten Falle das Ergebnis von Verständigungsprozessen sein, kennzeichnet jedoch fast nie die Ausgangslage im 'Meinungsstreit'; hier gibt es fast nie einen gemeinsamen Nenner. Das zeigen sehr eindrucksvoll alle Erfahrungen mit der Befragung von Zeitzeugen im Rahmen einer 'oral history'. Ich meine das nicht wertend, sondern bin der Auffassung, daß beide Perspektiven komplementär zueinander gesehen werden müssen. Und so verstehe ich auch meine Antwort als den Beginn eines Verständigungsprozesses.

Zum ersten Punkt: Ihre Behauptung, "meine Feststellung entspreche nicht den Tatsachen", ist für mich nicht nachvollziehbar. Denn ich sage KORRESPONDENZ 127

nichts anderes, als Sie in ihrem Einwand bestätigen, nämlich daß die SMAD Halle nicht das geringste Interesse daran hatte, die wissenschaftliche Autonomie - und zwar im bürgerlichen WissenschaftsVerständnis - zu verletzen. Diese Politik verfolgte sie auch gegenüber den Bucher Instituten. Und genau das bestätigen sie mit Ihrer Aussage: "In die wissenschaftliche Tätigkeit haben sich Offiziere der SMAD in keiner Weise weder materiell noch intellektuell eingeschaltet". Und genau diese Tatsache wollte ich mit meiner Interpretation unterstreichen. Warum lesen Sie aus meinem Text das genaue Gegenteil dessen heraus, was ich behaupte? Das kapier ich nicht.

Zum Zweiten: Auch bei MOGEVUS ist nicht meine Behauptung, daß das Vorhaben als Teil der Akademiereform verstanden werden muß. Hier ist meine Interpretation - Sie auch hier wieder in Ihren Detailangaben bestätigend - daß MOGEVUS als ein Programm der 'Grundlagenforschung' unabhängig konzipiert wurde und sich nicht an die politische Rhetorik der Akademiereform 'auftragsgebunden' und 'aufgabenfinanziert* hielt, sondern die Rhetorik des damaligen Präsidenten H. Klare 'unterlaufen' hat. (Da hier eine innerer Zusammenhang mit Ihrem Punkt 4 besteht, komme ich gleich auf diesen zu sprechen). Die Rede vom Unterlaufen ist keine 'merkwürdige Information' (wie kommen Sie nur darauf?) sondern meine Interpretation im Rahmen von theoretischen Überlegungen zur Wissenschaftslenkung. Mit 'unterlaufen' ist gemeint, daß vorgegebene Ziele eines Staatsprogramms, wie z. B. ein forcierter Praxisbezug, nicht zum Erfolg führen, weil die wissenschaftlichen Grundlagen dafür noch nicht reif sind. Die Wissenschaftler haben ein sehr feines Gespür dafür und 'untersetzen' (DDR-Semantik) deshalb mit ihren (internen) Projektzielen das offizielle Staatsprogramm und gingen damit zunächst einmal andere Wege als vom politischen Programm intendiert. Das meine ich mit 'Unterlaufen' und diese 'merkwürdige Information' habe ich sehr ausführlich dargelegt und analysiert am Beispiel der amerikanischen Krebsforschungsplanung, erschienen in "Geplante Forschung", Frankfurt 1979.

Zu Ihrem dritten Punkt: Ich bin dankbar für diese Ergänzung, von dieser Stellungnahme wußte ich wirklich nichts. Ich kannte nur den Hinweis von Erhard Geißler, daß sich am Rande der Kühlungsboraer Kolloquien schon ab 1971 ein Arbeitskreis konstituiert hatte, um eine DDR-Richtlinie vorzubereiten. Möglicherweise waren Beteiligte dieses Arbeitskreises

identisch mit Mitgliedern der Klasse der Bio Wissenschaften, die diese Stellungnahme vorbereiteten. Es dauerte allerdings - wie Sie wissen - dann doch noch immerhin mehr als zehn Jahre, bis das Gesundheitsministerium 1985 die Richtlinie erlassen hat. Ich habe die DDR-Dislcussion über rekombinante DNS an anderer Stelle - im Deutschlandfunk und im Deutschland-Archiv - sehr ausführlich als erster Westdeutscher dokumentiert; Papiere, die Sie kennen, Herr Böhme, also, warum hier der harte Vorwurf, ich hatte etwas 'unberücksichtigt' gelassen?

Das gilt auch für Ihren fünften Punkt: Ich habe auf den Seiten 221-223 die prominentesten Projekte zur Gentechnik in Gatersleben und Buch beschrieben, dazu ausführlich in den oben erwähnten Publikationen, Leider haben in diesem Falle wohl Sie offensichtlich "umfangreiche Aktivitäten gar nicht erfaßt."

Zu Ihrem letzten Punkt: Es ging mir nicht darum, die von mir erwähnten Wissenschaftler besonders herauszustreichen und andere damit in den Hintergrund zu drängen, sondern ich wollte - vor allen Dingen im Hinblick auf die westlichen Leser - an bestimmten Beispielen deutlich machen, daß auch in der DDR 'normal science' betrieben wurde und mußte dazu notgedrungen qualitativ und selektiv vorgehen wie das in solchen Fällen in der Wissenschaftsforschung durchaus üblich ist, aber ist das deshalb "unfair"? Sie wissen so gut wie ich, daß es zur Zeit des Umbruchs bestimmte Leute in der Politik gab und auch heute noch gibt, die eine solche Botschaft gar nicht gern hören wollten und wollen.

Ich hoffe, lieber Herr Böhme, daß meine Erwiderungen dazu beitragen, daß Mißverständnisse zwischen uns ausgeräumt werden können und daß wir beide lernen, in der Wortwahl, im Zuhören und Lesen ganz besonders sorgfältig zu sein, um den Graben zwischen den verschiedenen wissenschaftlichen und politischen Kulturen allmählich zu überbrücken.

Mit freundlichen Grüßen Rainer Hohlfeld REZENSION 129

Volker Heyse - John Erpenbeck

Der Sprung über die Kompetenzbarriere: Kommunikation, selbstorganisiertes Lernen und Kompetenzentwicklung von und in Unternehmen.

Mit einem Beitrag von Robert Neumann, W. Bertelsmann Verlag, wbv, Bielefeld 1997, 395 Seiten

Der Wissenschaftsphilosoph John Erpenbeck von der Universität Potsdam, Mitglied der Leibniz-Sozietät, und der Leiter des Trainingszentrums für Personalentwicklung in Bernhardswald bei Regensburg untersuchen die neuen Kompetenzforderungen, die sich für Unternehmen in der Marktwirtschaft unter den gegenwärtigen Entwicklungsbedingungen ergeben. Sie stehen wie eine Barriere zwischen den Unternehmen mit ihren Mitarbeitern einerseits und dem Erfolg am Weltmarkt andererseits. Ziel des Buches ist es, durch theoretische Einsichten, Trenderkennung, Umfrageergebnisse, Unternehmensanalysen und die Vermittlung praktischer Erfahrungen den Sprung über die Barriere zu erleichtern, um Innovationen zu fördern und den Erfolg zu erreichen. Ausgehend von den konzeptionellen Überlegungen zur Theorie der Selbstorganisation und zur Rolle der Werte für Motivationen zum erfolgsorientierten Handeln werden die Anforderungen an die Kompetenzentwicklung lernender Individuen und lernender Unternehmen in den Mittelpunkt gestellt.

Die Ausgangsbasis schildert das erste Kapitel mit den globalen Umbruchprozessen und deren Auswirkungen auf Unternehmen, auf die betriebliche Kompetenzent wicklung und damit auf die Weiterbildung der Mitarbeiter sowie mit den theoretischen Grundlagen des Konzepts der Selbstorganisation als dem Schlüssel zum Verständnis der Umbruchprozesse in Beziehung zu Wertewandel und Kompetenzentwicklung. Das zweite und dritte Kapitel behandeln lernendes Unternehmen und Individuum mit dem Wertmanagement als Kern der Kompetenzentwicklung. Im vierten Kapitel beantwortet der Wissenschaftler Robert E. Neumann (Universität Klagenfurt) die Frage, warum die Idee vom lernenden Unternehmen gerade jetzt so wichtig ist. Dem folgt die Rolle der Kompetenzent wicklung des lernenden Individuums im lernenden Unternehmen. Nach diesen vorwiegend theoretischen Darlegungen folgen im

130 HERBERT HÖRZ

Kapitel sechs Beispiele für die ansatzweise Umsetzung der Ideen des Buches mit Hinweisen zur Unternehmensdiagnose. Eine Literaturliste, ein Anhang zu Untersuchungsinstrumenten und ein Stichwortverzeichnis ergänzen das Ganze.

Der Abschnitt 6.1. bietet Untersuchungsergebnisse zu Lernprozessen eines ostdeutschen Bergbauunternehmens bei der Umstrukturierung in den Jahren 1990 bis 1995. Der dabei charakterisierte Wertewandel ist allgemein interessant, weil sich Strategien zur Bewältigung von Konfliktsituationen zeigen, die woanders auch auftraten. "Die Jahre 1990 bis 1993 waren mit Orientierungslosigkeit, ängstlichem Abwarten, Unkenntnis der Einflußgrößen und Entscheidungsbedingungen, Versuch und Irrtum gekennzeichnet." (S. 250) In den beiden folgenden Jahren sei man "härter gegen sich selbst und andere" geworden. Man habe realistischere Reorganisationen und Personeneinsätze durchgeführt, Ostdeutsche Führungskräfte werden vier allgemeinen Phrasen zur Bewältigung von Konflikten zugeordnet, so 1. Schock und Abwehr, 2, Versuch der Wiedergewinnung des verlorenen Objekts, 3. kritische Verarbeitung und Umstrukturierung der Bezugssysteme, 4, Akzeptanz und Reorganisation. (S. 251) 1992 bis 1993 waren viele Führungskräfte in Phase 2 und 3, während die Untersuchung der gleichen Personen für 1995 ergab, daß sie sich im Übergang zur Phase 4 oder schon in ihr befanden. (S. 252) Zur weiteren kritischen Aufarbeitung des umfangreichen Transformationsprozesses von der Kommando Wirtschaft in der Staatsdiktatur des Frühsozialismus zu den Marktmechanismen der Kapitaldiktatur mit ihren bürokratisch-rechtlichen und monetären Strukturen ist sicher noch viel Arbeit zu leisten. Es ist jedoch interessant, erste Ergebnisse aus einem bestimmten Bereich zum Wertewandel im individuellen Verhalten zur Kenntnis zu nehmen. Wirtschaftliches Handeln erfolgt nicht politik- und gesell schaftsneutral, sondern immer unter bestimmten allgemeinen sozialen Rahmenbedingungen, die sich auf das Verhalten auswirken. So sind die Hinweise eines Steigers zur Konfliktbewältigung interessant, der auf die fehlende soziale Sicherheit hinweist und betont, daß private Kontakte und Kommunikation abgebaut wurden und die Führungskraft mehr Respektsperson sei, dafür aber weniger erfahre. (S. 256) Man liest manches, was generell für Prozesse der Abwicklung ehemaliger DDR-Einrichtungen und ihre Auswirkungen auf die Werte der Individuen zutrifft

REZENSION 131

Die unterschiedlichen Kompetenzen der Autoren, d. h. deren Fähigkeiten zu praktischen und theoretischen Problemlösungen auf den verschiedensten Gebieten führen dazu, daß interessante Zusammenhänge zwischen Leistungsanforderungen an die Mitarbeiter, Führungsqualitäten der Manager und unternehmerischen Erfolg aufgedeckt werden, die in einem pragmatisch orientierten Werk oder einem abstrakt formulierten konzeptionellen Ansatz kaum eine Rolle spielen würden. Das stellt jedoch Anforderungen an den Leser. Er muß bereit sein, sich den theoretischen Erörterungen zu stellen, kreativ das Angebotene für seinen spezifischen Bereich zu verarbeiten und Konsequenzen zu ziehen. Einen abarbeitbaren Algorithmus bekommt er zwar nicht, wohl aber viele Anregungen dafür, wie ein erfolgreiches Unternehmen zu gestalten sein könnte. Sicher ist dabei das Verhältnis von Ideal und Wirklichkeit zu beachten. Idealisierte Unternehmen und Individuen sind Illusionen. Nimmt man jedoch die Kompetenzanforderungen ernst, dann können die Ideale Ziele des Handeln sein, die zwar nicht erreicht, jedoch angestrebt werden und so Erfolg garantieren.

Den rezensierenden Philosophen interessieren einige weitergehende Probleme, die zu den Rahmenbedingungen des dargestellten Konzepts gehören und kurz erwähnt werden sollen. So spielen die gesellschaftlich determinierten Beziehungen von Effektivität und Humanität in wirtschaftlichen Unternehmen für die Beurteilung des Freilieitsgewinns eine wichtige Rolle. Folgt man den Autoren, so bieten sich dem lernenden Individuum im lernenden Unternehmen viele Chancen zum Erfolg. Nur ist sein Erfolg an den des Unternehmens gebunden, denn mit dessen Scheitern scheitert es selbst zeitweilig. Die Feststellung ist berechtigt: "Unternehmen können nur lernen, wenn ihre Mitarbeiter lernen." (S. 183) Sie wäre jedoch vom generellen Gesichtspunkt her zu ergänzen. Lernfähige Mitarbeiter sind zu suchen. Sie entwickeln sich jedoch erst mit einer breiten Volksbildung. Die Aufwendungen für Bildung sind derzeit kaum den Erfordernissen einer humanen Zukunftsgestaltung angemessen. Auch bekommt mancher gut Ausgebildete wegen der hohen Arbeitslosigkeit nicht mal die Chance seinen Lernwillen zu demonstrieren. Der Ausbau individueller Fähigkeiten bedarf gesellschaftlicher Unterstützung, damit Humankriterien erfüllt werden. Vision bleibt damit immernoch der Gedanke, eine Gesellschaft freier Individuen mit einer wirtschaftlichen

132 HERBERT HÖRZ

Organisation zu haben, in der jedes Individuum, was auch für Behinderte gilt, einen den Fähigkeiten angemessenen Platz zur sinnvollen Tätigkeit findet. In ihr wäre das Recht auf sinnvolle Tätigkeit Verfassungsgrundsatz und damit Staatsziel.

Zu problematisieren ist die These: "Wohl gibt es Wertewandel ohne Kompetenzentwicklung, aber keine Kompetenzentwicklung ohne Wertewandel." (S. 36) Jeder Wertewandel fordert eine entsprechende Kompetenzerweiterung zur Lösung der neuen Konflikte heraus, wenn das dem Wandel unterliegende System mit seinen Elementen nicht deformiert oder zerstört werden soll. Stellt sich ein lernendes System oder Individuum auf ständigen Wertewandel der Umgebung ein, dann erweitert es seine Kompetenzen ohne äußere Anforderungen, unterliegt also selbst keinem Wertewandel. Das würde sogar die Gegenthese rechtfertigen, nach der Kompetenzerweiterung ohne Wertewandel stattfinden kann. Es wäre also wichtig, die Dialektik von inneren und äußeren Faktoren bei unterschiedlichen Systemen und Elementen zu beachten.

Über den Charakter der Arbeit wäre weiter zu diskutieren. Im Buch steht: " Der gegenwärtige Wandel des Arbeitsprozesses wird verursacht von der Globalisierung der Märkte, dem Weltweiten Wettbewerbsdruck, den Hohen Qualitätsansprüchen an Produkte und Dienstleistungen und den raschen technologischen und gesellschaftspolitischen Veränderungen." (S. 39) Das scheint mir zwar eine gängige Formulierung zu sein, die jedoch zu differenzieren wäre. Offensichtlich haben doch die Ergebnisse der wissenschaftlich-technischen Revolution (WTR), die mit der Roboterisierung und Computerisierung dazu führten, daß der Mensch immer mehr aus dem eigentlichen Fertigungsprozeß materieller Güter heraustritt und die Steuerung und Regelung von Steuerungs- und Regelfunktionen übernimmt, zu einer prinzipiellen Veränderung des Charakters der Arbeit geführt. Gesellschaftsysteme können nur überleben, wenn sie flexibel auf die damit verbundenen Herausforderungen reagieren. Weitere grundlegende Veränderungen in der WTR betreffen genetic engeneering und die Informationsrevolution, also die Revolution der Denkzeuge. Mit den Ergebnissen der WTR wachsen die Komplexität von Aufgaben und ENscheidungssituationen. Sind sie nicht die entscheidenen Ursachen für die Globalisierung? Wie oft bei Ursache-Wirkungs-Relationen ist die Wechselwirkung zu berücksichtigen und die wesentliche Ursache zu REZENSION 133

bestimmen. Wenn man die Herausforderungen der WTR berücksichtigt, dann wird deutlich, daß eine Strukturreform der Arbeit ansteht, wenn gegen Arbeitslosigkeit prinzipiell angegangen werden soll. Noch wird den im Buch genannten Anforderungen an Weiterbildung kaum entsprochen. Gefördert werden manchmal aus beschäftigungspolitischen Gründen ABM für Kräfte, die weniger als andere geeignet sind, die Aufgaben zu erfüllen. Manche Arbeitsziele sind marginal. Durch die Ausgrenzung von Eliten liegen Potenzen brach. Das ist jedoch nicht der Hauptgrund für den Reformstau, Eine prinzipielle Umorientierung auf Gebiete für sinnvolle Beschäftigungen unter den neuen Bedingungen müßte erfolgen. Zu ihnen gehören neben den bisherigen Tätigkeiten, die innovativer gemacht werden sollen und denen, die immer noch körperlichen und wenig geistigen Aufwand erfordern vor allem die großen Gebiete zur Regulierung ökologischer Zyklen. Notwendige Arbeiten werden oft erst als Hilfe bei Katastrophen konzipiert. Große Bedeutung erlangen die Dienstleistungen der verschiedensten Art. Das wird anerkannt, ohne Konsequenzen daraus zu ziehen. Wichtig wären jedoch mehr Arbeitskräfte im sozialen Bereich, für Pflege und Prävention. Ein großes Beschäftigungsgebiet ergibt sich aus der Herstellung von Unikaten, die immer mehr in dem durch Massenproduktion bestimmten Konsum an Bedeutung gewinnen könnten. Reformen zur Struktur der Arbeit sind jedoch nicht in Sicht. Wie man sieht, regt das Buch nicht nur zur praktischen Realisierung theoretischer Vorschläge an, sondern auch zum Weiterdenken in philosophischer Hinsicht, Dabei verwundert es allerdings, daß unter den Disziplinen, die Systemtheorie beeinflussen und verwerten (S. 120), die Philosophie keinen Platz hat. Das Buch hat ein begrenzteres Thema. Es will dazu beitragen, "die Innovationsfähikeit und -geschwindigkeit deutscher Unternehmen zu erhöhen." (S. 13) Dazu gibt es interessante Analysen, Erfahrungen und begründete Forderungen. So haben sich die Unternehmen unter den im Buch genannten Bedingungen der Marktwirtschaft zu bewähren, wenn sie erfolgreich sein wollen. Es ist jedoch auch wichtig über den status quo und seine absehbaren Trends hinauszugehen. Anregungen dazu gibt es ebenfalls.

Herbert Hörz (Berlin)

Hermann Klare

zur 90. Wiederkehr seines Geburtstages am 12. Mai 1999

Das Lebenswerk von Hermann Klare ist so immens vielschichtig und reichhaltig, daß es unmöglich erscheint, auf begrenztem Raum eine angemessene Würdigung zu bringen und auf alle Leistungen gebührend einzugehen.

Hermann Klare wurde in Hameln geboren, begann das Chemiestudium 1928 in Heidelberg und ging 1929 nach Kiel, um bei Otto Diels und Kurt Alder, die gerade die Diensynthese entdeckt hatten, zu promovieret). Er war auf diese Weise 1931 in seiner Dissertation mit einem neu entdeckten chemischen Wissenszweig in Berührung gekommen und hatte wiederum das Glück, in Berlin-Lichtenberg bei Paul Schlack, der 1938 die Perlonsynthese gefunden hatte, über Polyamide und ihre technische Verwendung zu arbeiten, was mit dem Aufbau der ersten Polyamidseiden-Anlage in eine ganz neue Chemiefaser-Technologie führte.

Diese Jahre prägten seinen Lebensweg, der ganz im Zeichen der Leibnizschen Prämisse theoria cum praxi stand. Neben dem Experiment und der Anwendung der Erkenntnisse hatte auch das Organisatorische für Hermann Klare seinen Reiz. Er erinnerte sich später gern daran, daß er sein erstes selbstverdientes Geld bei Otto Diels als Verwaltungsassistent erhielt. Hermann Klare hat sich immer wieder dem komplexen Wechselspiel zwischen Forschung und Wissenschaftsorganisation gestellt und beiden Seiten der Tätigkeit eines Wissenschaftlers mit Erfolg entsprochen.

Der Aufbau der Polyamidseiden-Produktion in Berlin-Lichtenberg 1940/41 war eine verfahrenstechnische Aufgabe, deren Schwierigkeiten nur mit großem Einfallsreichtum überwunden werden konnten. Die Versuch sproduktion wurde in einer Anlage in Landsberg/Warthe weitergeführt, die nach Kriegsende deportiert und in Klin bei Moskau wieder aufgestellt wurde. Nach kurzer Tätigkeit in der Sowjetunion kehrte Hermann Klare im September 1949 zurück und arbeitete als wissenschaftlich-tech-

136 HERMANN KLARE

nischer Leiter im Kunstfaserwerk Schwarza. Es war der Beginn einer jahrzehntelangen fruchtbaren Zusammenarbeit mit Erich Correns, dem damaligen Direktor des Kunstfaserwerkes.

Bereits 1950 wurde in Schwarza die erste Ausbaustufe zur Produktion von Polyamidseide angefahren, die neben dem Damenstrumpf auch in Wirkerei und Weberei umfangreiche Einsatzgebiete fand. Im Jahre 1951 übernahm Hermann Klare die Gesamtleitung des Kunstfaserwerkes.

Ab 1953 arbeitete er im Institut für Faserstoff-Forschung in Teltow-Seehof, dem bis 1962 Erich Correns als Direktor vorstand. Von 1962 bis 1969 war Hermann Klare Direktor dieses Instituts und darüber hinaus von 1962 bis 1968 Vorsitzender der Forschungsgemeinschaft der naturwissenschaftlichen, technischen und medizinischen Institute der Deutschen Akademie der Wissenschaften.

Die Forschungstätigkeit von Hermann Klare ist durch eine stete Wechselwirkung zwischen Theorie und Praxis gekennzeichnet. Bedeutende Verbesserungen im Produktionsprozeß sind auf seine grundlegenden Arbeiten zur Fadenbildung zurückzuführen, und das nicht nur für das Gebiet der Polyamidseiden, sondern auch der Viskoseseiden.

Seine Erfahrungen auf dem Polyamidgebiet hat Hermann Klare in einer Monografie Synthesefasern aus Polyamiden zusammengefaßt. Eine umfassende Darstellung der gesamten Problematik wurde von ihm in der Monografie Geschichte der Chemiefaserforschung von den Anfängen bis zur Gegenwart gegeben, die im Akademie-Verlag 1985 erschien. In zahlreichen Veröffentlichungen zum Bildungsmechanismus von Polyamidund Viskosefasern sowie über die Rolle der Einflußfaktoren bei ihrer Herstellung hat Hermann Klare mit seinen Mitarbeitern die Ergebnisse jahrelanger Forschungen mitgeteilt. Sie sind auch heute noch mit Gewinn zu lesen. Einen besonderen Genuß bereiteten den Zuhörern die Plenar- und Hauptvorträge von Hermann Klare auf internationalen Tagungen.

Hermann Klare war ab 1955 Mitglied der Klasse Chemie der Deutschen Akademie der Wissenschaften, wurde 1961 zum Ordentlichen Mitglied der Akademie gewählt und war von 1968 bis 1979 Akademiepräsident. In dieser Zeit hat er die Forschungspotentiale der Akademie zusammengeführt und der Wechselwirkung verschiedener Disziplinen sowie der

Zusammenarbeit von Natur- und Geisteswissenschaften entscheidende Impulse verliehen. Die internationale Forschungskooperation wurde ausgebaut, besonders mit der Akademie der Wissenschaften der Sowjetunion, der Polnischen, der Tschechoslowakischen und der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften.

Als Vorsitzender der Klasse Chemie der Akademie der Wissenschaften der DDR hat Hermann Klare ab 1980 Vorträge zu den Programmen der Grundlagenforschung, zu Fragen aus den Grenzgebieten der Chemie und zur Zusammenarbeit verschiedener Wissenschaftsdisziplinen initiiert, woraus grundsätzliche Stellungnahmen zur Wissenschaftsentwicklung erwuchsen. Nach dem 30. Juni 1988 hat er als Ehrenvorsitzender der Klasse Chemie immer wieder seinen reichen Erfahrungsschatz in die Diskussion eingebracht.

Die Persönlichkeit von Hermann Klare wäre unzureichend gewürdigt, wenn angesichts dieser hervorragenden wissenschaftlichen Leistungen sein aufrichtiges, warmherziges Wesen vergessen würde, seine Eigenschaft, an den Sorgen anderer Anteil zu nehmen, mit Rat zur Seite zu stehen und die Meinung anderer zu achten, ohne den eigenen Standpunkt aufzugeben. Sein erfrischender Humor hat eine Unterhaltung mit ihm stets aufgelockert. Auf den Empfängen von Leibniz-Tagen wurden seine erheiternden Beiträge aus der Akademiegeschichte mit viel Beifall bedacht.

Mit großem Ernst hat sich Hermann Klare in der Verantwortung des Wissenschaftlers für das friedliche Miteinander der Völker und für einen konstruktiven Wettbewerb eingesetzt, er ist für Abrüstung und gegen den Mißbrauch von Wissenschaft und Technik zur sinnlosen Zerstörung des Geschaffenen eingetreten.

Die Leistungen von Hermann Klare wurden mit hohen Auszeichnungen der DDR und des Auslandes gewürdigt. Prof. Klare ist mehrfacher Ehrendoktor (Merseburg, Sofia, Dresden), Er ist Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina, Halle. Die Sowjetunion hat ihm den Orden der Völkerfreundschaft verliehen, und die Sowjetische Akademie der Wissenschaften, die ihn 1971 zum Auswärtigen Mitglied wählte, ehrte ihn mit ihrer höchsten wissenschaftlichen Auszeichnung, der Lomonossow-Medaille. Die Akademien der Wissenschaften Polens, der Tschechoslowakei, Bulgariens und der Mongolischen Volksrepublik wählten ihn zum Mitglied. Die Mitgliedsurkun-

138 HERMANN KLARE

de der Russischen Akademie der Wissenschaften, der Nachfolgerin der Akademie der Wissenschaften der Sowjetunion, wurde ihm 1996 durch den russischen Botschafter überreicht.

Die Leibniz-Sozietät wünscht dem Jubilar auch weiterhin Gesundheit, Zufriedenheit und viele glückliche Stunden im Kreis der Familie.

Lothar Kolditz