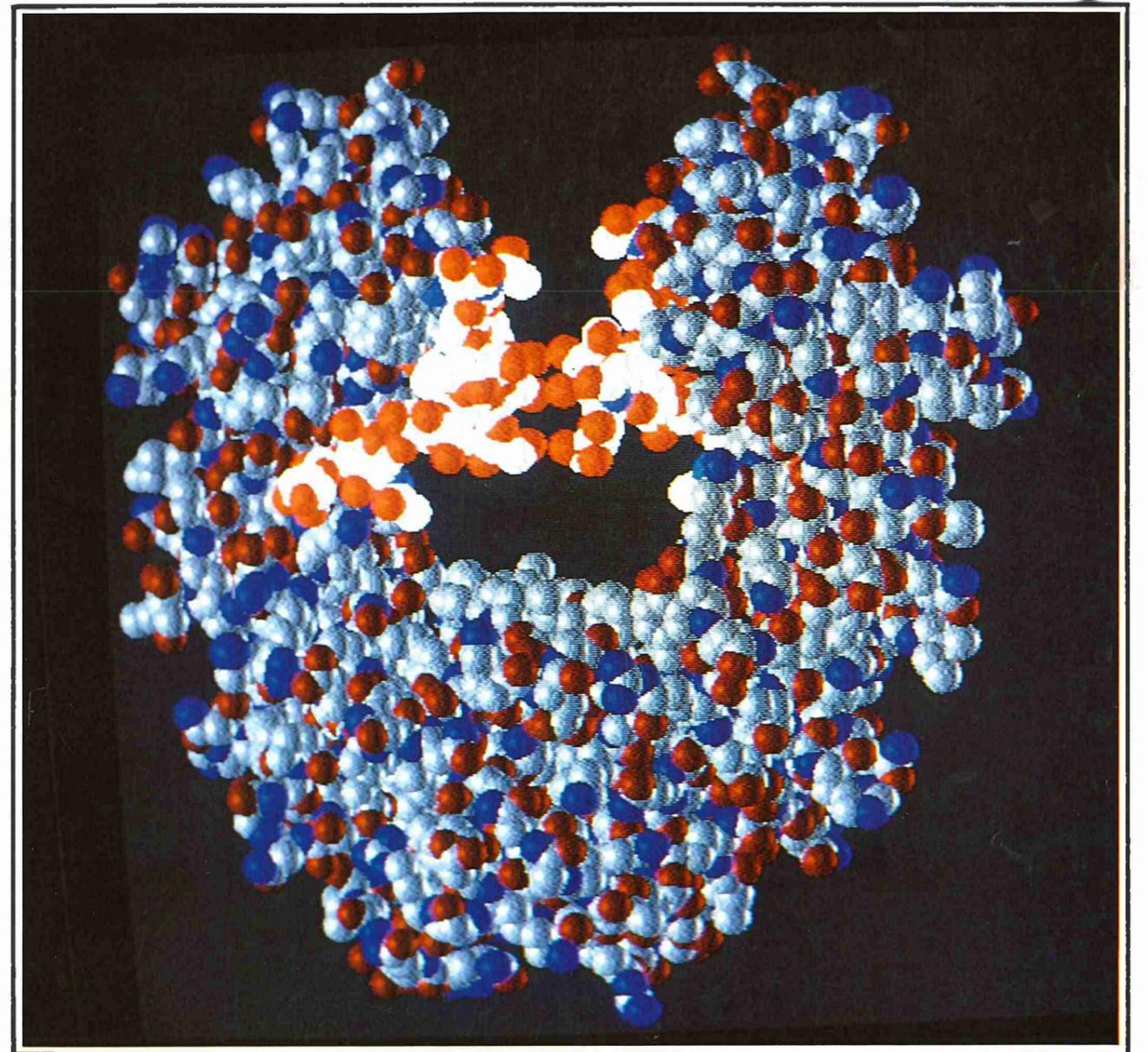


Einblicke

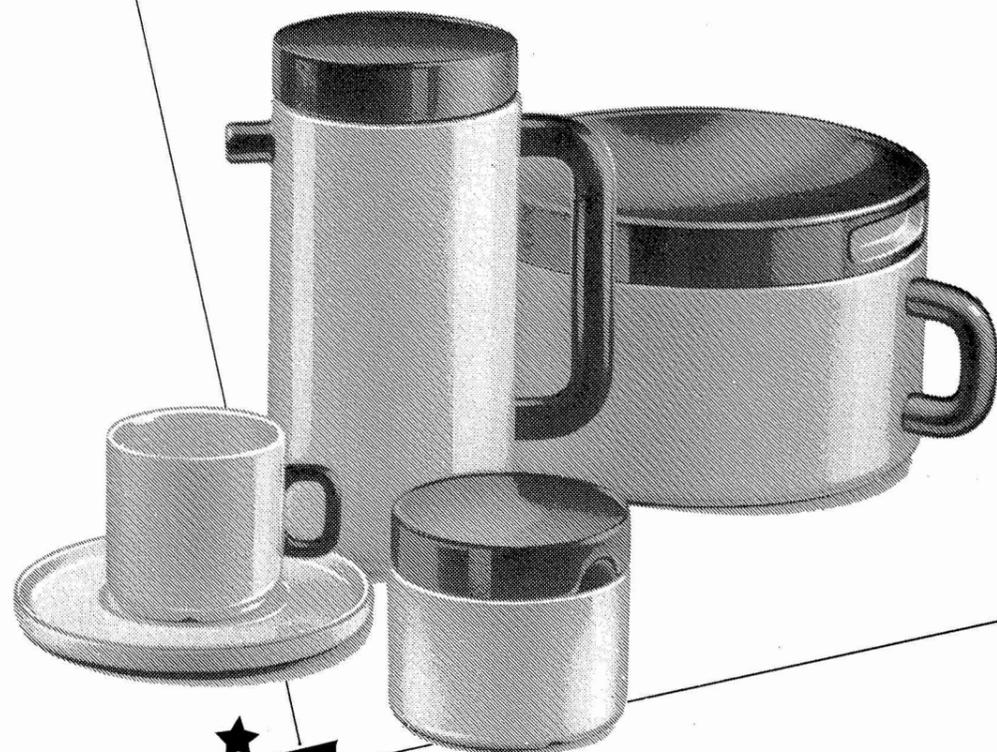
Forschung an der
Universität Oldenburg



Nr. 2

LIFE

Die klare Alternative in Form und Funktion.



Ein **HIT** der das Zeug zum Klassiker unter den Porzellangeschirren hat. Ausgezeichnet mit dem Designpreis 1984 und 1985*. Schönes Geschirr zum schönen Preis. Aus Deutschlands nördlichster Porzellanfabrik.



* Design Plus - Frankfurt

Porzellanfabrik Friesland · Bentz GmbH & Co. KG · Postfach 1560 · 2930 Varel 1

Einblicke

Forschung an der Universität Oldenburg

Inhalt

H. K. Schminke/J.-W. Wägele Biologische Polarforschung	4	August Schick Die laute Nachbarschaft	26
Johann-Wolfgang Wägele Logbuch aus dem Südpolarmeer	5	Ulrich Mees Beobachtung und Analyse aggressiven Kindverhaltens	28
Bernd Meyer Räumliche Struktur und biologische Funktion bei Kohlenhydraten	8	J. Jessen/W. Siebel/Ch. Siebel-Rebell/ U.-J. Walther/I. Weyrather	30
Peter Köll Flüssigkristalle auf Zuckerbasis	11	W. Schulenberg (†)/A. Wolter/W.-D. Scholz/ J. v. Maydell	38
W. Arnold/K. Hinsch/W. Wolff Wie Pflanzen wachsen und Denkmäler korrodieren - Meßtechnik mit Lasergranulation	14	Maria Fölling-Albers Leben und Lernen im Kibbutz - Übergangsbereich Kindergarten - Grundschule	42
Wolfgang Ebenhöf Verstehbare Natur - Ein mathematisches Modell des Ems-Dollart-Ökosystems	19	Hermann Helmers 20 Jahre Oldenburger Forschungen zu Komik, Humor und Verfremdung	44

Einblicke

1. Jahrgang, Heft 2, Oktober 1985

Herausgeber: Der Präsident der Universität Oldenburg
Redaktion: Presse- und Informationsstelle, Stefan Bieck (verantwortlich),
Gerhard Harms, Ammerländer Heerstraße 67-99, 2900 Oldenburg,
Tel.: (0441) 798-6012
Layout: Uwe Koopmann
Satz: Gisela Rodenberg
Reprographie: Klaus Liebig
Fotos: Wilfried Golletz/Immo Raether
Druck und Anzeigenverwaltung: Littmann-Druck, Rosenstraße 42/43, 2900 Oldenburg,
Tel.: (0441) 27051.

Titelbild: Fc-Fragment eines IgG-Immunglobulins in Kalottendarstellung. Der Kohlenhydratanteil ist in helleren Farben dargestellt als das Protein (grau: Kohlenstoffatome, rot: Sauerstoffatome und blau: Stickstoff- und Schwefelatome).

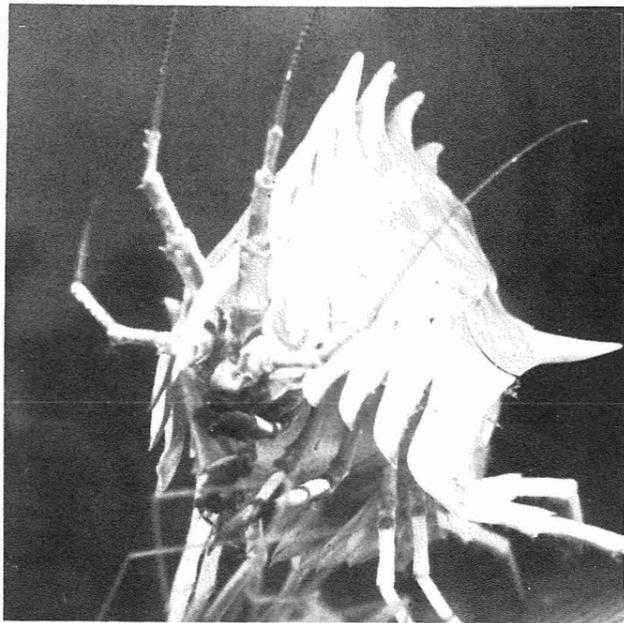
Autoren des Heftes

Dipl.-Physiker Wolfgang Arnold, Fachbereich Physik, Arbeitsgruppe Kohärente Optik
Prof. Dr. Wolfgang Ebenhöf, Fachbereich Mathematik, Mathematische Modellierung
Dr. Maria Fölling-Albers, Institut für Erziehungswissenschaft I, Erziehungswissenschaft/Primarbereich
Prof. Dr. Hermann Helmers, Fachbereich Kommunikation/Ästhetik, Germanistik: Didaktik der deutschen Sprache und Literatur

Prof. Dr. Klaus Hinsch, Fachbereich Physik, Arbeitsgruppe Kohärente Optik
Dr. Johann Jessen, Fachbereich Sozialwissenschaften, Arbeitsgruppe Stadtforschung
Prof. Dr. Peter Köll, Fachbereich Chemie, Arbeitsgruppe Organische Chemie
Prof. Dr. Jost von Maydell, Institut für Erziehungswissenschaft I, Sozialwissenschaft/Schulische Sozialisation
Prof. Dr. Ulrich Mees, Fachbereich Philosophie/Psychologie/Sportwissenschaft, Allgemeine Psychologie II (Motivation und Handlung)
Dr. Bernd Meyer, Fachbereich Chemie (Organische Chemie)
Prof. Dr. August Schick, Institut zur Erforschung von Mensch-Umwelt-Beziehungen, Psychologie II
Prof. Dr. Horst Kurt Schminke, Fachbereich Biologie, Arbeitsgruppe Zoomorphologie
Dr. Wolf-Dieter Scholz, Institut für Erziehungswissenschaft I, Erziehungswissenschaft
Prof. Dr. Wolfgang Schulenberg (†), Fachbereich Sozialwissenschaften, Soziologie
Prof. Dr. Walter Siebel, Fachbereich Sozialwissenschaft, Arbeitsgruppe Stadtforschung
Dr. Christa Siebel-Rebell, Fachbereich Sozialwissenschaften, Arbeitsgruppe Stadtforschung
Dr. Johann-Wolfgang Wägele, Fachbereich Biologie, Arbeitsgruppe Zoomorphologie
Dr. Uwe-Jens Walther, Fachbereich Sozialwissenschaften, Arbeitsgruppe Stadtforschung
Dipl.-Soziologin Irmgard Weyrather, Fachbereich Sozialwissenschaften, Arbeitsgruppe Stadtforschung
Dipl.-Physiker Karin Wolff, Fachbereich Physik, Arbeitsgruppe Kohärente Optik
Dipl.-Pädagoge André Wolter, Institut für Erziehungswissenschaft I, Sozialwissenschaftliche Methoden mit dem Schwerpunkt Unterrichtsforschung

Polarforschung

Von Johann Wolfgang Wägele und Horst Kurt Schminke



Die Tierwelt des antarktischen Meeresbodens enthält viele farbige und formenreiche Organismen, wie diesen Flohkrebs, der im tieferen, kalten Wasser des südlichen Weddellmeeres recht zahlreich ist.

Die Polarmeere sind für den Zoologen ein faszinierendes Untersuchungsgebiet, da sie als Extremlebensraum eine ganz spezifische Tierwelt beherbergen und wegen ihrer Unwirtlichkeit noch relativ unbeeinträchtigt vom Menschen geblieben sind. Allerdings ist abzusehen, daß dieser Zustand nicht mehr lange erhalten bleiben wird. Deshalb ist es nötig, eine umfassende Bestandsaufnahme der gesamten Fauna vorzunehmen und die Empfindlichkeit des Ökosystems, dem sie angehört, zu erkunden, bevor menschliche Eingriffe störende Auswirkungen auf das komplexe Funktionsgefüge haben werden.

Auf dieses Ziel sind die wissenschaftlichen Aktivitäten der Arbeitsgruppen „Zoomorphologie“ und „Zoophysologie“ in der Polarforschung an der Universität Oldenburg ausgerichtet und konzentrieren sich im Augenblick auf folgende Vorhaben:

1. Bestandsaufnahme der am Boden polarer Meere lebenden wirbellosen Tiere (polares Benthos), die den Gruppen der Krebstiere (Crustacea) und der Weichtiere (Mollusca) angehören.
2. Aufbau einer Datenbank zur Erfassung aller in wissenschaftlichen Veröffentlichungen enthaltenen Informationen über systematische Einordnung und Verbreitung der angetroffenen Tierarten.
3. Beschreibung neuer und Nachbeschreibung unvollständig bekannter Tierarten aus diesen Gruppen.

4. Morphologische Untersuchung bestimmter innerer Organe, die für die Bewältigung der extremen Umwelthanforderungen bei jenen Arten von Bedeutung sind, die im ökologischen Funktionsgefüge eine herausragende Rolle spielen.

5. Untersuchungen über physiologische Anpassungen ausgewählter Arten an polare Umweltbedingungen.

6. Beobachtung von Verhaltensweisen, Wachstum und Postembryonalentwicklung lebender Tiere.

Das Tiermaterial für diese Untersuchungen wurde während zweier Expeditionen mit der „Polarstern“ 1982/83 und 1984/85 in der Antarktis gesammelt. Im Juli 1985 sind erstmals auch Vergleichsuntersuchungen in arktischen Gewässern durchgeführt worden. Um ein vollständiges Bild der Lebensweise der untersuchten Tierarten zu erhalten, reichen die Untersuchungen an totem Material und die Lebendbeobachtungen an Bord der „Polarstern“ bzw. in den in der Antarktis bestückten Aquarien des Kühlcontainers vor unserer Haustür nicht aus. Zukünftige Expeditionen sollen deshalb neben der Beschaffung von Material weiterer Tiergruppen vor allem dem Ziel dienen, im Freiland ökologisch bedeutsame Parameter zu messen. Das geht nicht ohne Unterwasserarbeiten, die von Landstationen aus durchgeführt werden müßten. Langfristig werden folgende Untersuchungsziele ins Auge gefaßt:

7. Messung des Materialflusses von der Wasseroberfläche zum Meeresboden;

8. Messung der Aufarbeitung des abgesunkenen Materials durch Filtrierer, Detritusfresser, millimetergroßes Meiobenthos, Bakterien;

9. Messung der Stoffwechselleistung wichtiger Tiergruppen (z.B. der filtrierenden Schwämme);

10. Kleinflächige Feldbeobachtungen zur Feststellung von Siedlungsdichten, der Zusammensetzung von Tiergemeinschaften und vertikaler Zonierung;

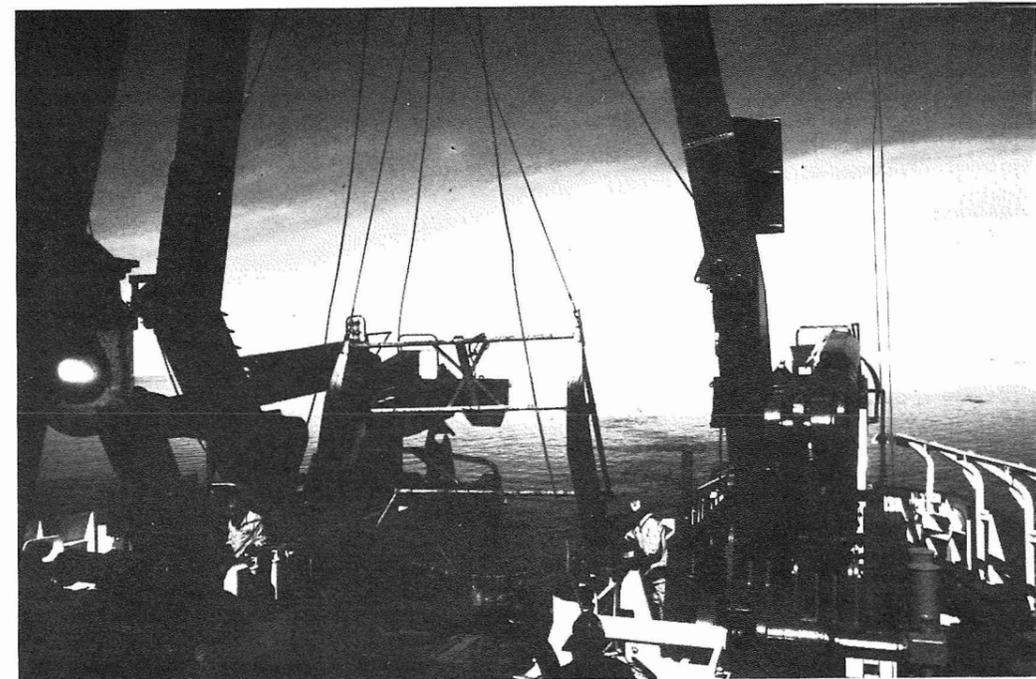
11. Großflächige Probennahme für tiergeographische Studien.

Die Erforschung der Lebensweise der Tiere des polaren Benthos und ihrer Rolle im Gesamtökosystem ist von einem Arbeitsteam allein nicht zu bewältigen. Das geht nur in Zusammenarbeit mit anderen Forschergruppen. Die Zoologen der Universität Oldenburg sind in Kooperation mit Wissenschaftlern des Alfred-Wegener-Instituts in Bremerhaven und den Universitäten Kiel und Hamburg an der Konzipierung und Durchführung eines umfassenden „Benthosprogramms“ beteiligt und bedürfen zur Bewältigung der auf sie zukommenden Aufgaben mittelfristig personeller Verstärkung, die nicht immer nur aus Drittmitteln finanziert werden kann.

Die engen Kontakte zum Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven sollen in absehbarer Zeit in eine Kooperationsvereinbarung zwischen dieser Institution und der Universität Oldenburg münden. Dadurch wird die Möglichkeit eröffnet, mit Unterstützung durch Wissenschaftler dieses Instituts das meeresbiologische und polarbezogene Lehrangebot in Oldenburg so zu erweitern, daß die Studierenden frühzeitig an entsprechende Studieninhalte herangeführt werden können.

Logbuch aus dem Südpolarmeer

Von Johann-Wolfgang Wägele



Die „Polarstern“ auf dem Weg in die Weddell-See

14.11.84 Ein Schlepper trägt uns über das kabelige Wasser der Magellanstraße zur „Polarstern“, die vor Punta Arenas auf Reede liegt. Der schwere Eisbrecherbug sieht nicht mehr ganz neu aus; er hat bereits zwei Saisons in der Antarktis und zwei in der Arktis glücklich überstanden. An Bord erwartet uns bereits ein Oldenburger Doktorand, der in Rio de Janeiro zugestiegen war, um den Laborcontainer einzurichten, den uns dankenswerterweise das Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung zur Verfügung gestellt hat.

15.11.84 In unseren gekühlten Aquarien schwimmen die ersten patagonischen Krebse! Es sind Asseln, deren Namen wir noch nicht kennen. Wir hatten eine Reuse auf dem Meeresboden ausgelegt, als das Schiff vor Anker lag, um Echolote für die Krillfischung zu kalibrieren. Wir sehen den Erfolg des ersten Fanges als gutes Omen an. (Einige der Tiere leben heute noch im Labor, inzwischen kennen wir ihre Lebensgewohnheiten).

18.11.84 Bei schlechtem Wetter und mit Seekrankheit kämpfend haben wir unsere Kisten ausgepackt, Geräte aufgebaut, leere Behälter wieder verstaut, Losen verzurrt oder verpackt, die Kammern wohnlich eingerichtet. Nach 1 1/2 Jahren Vorbereitung ist unsere Ausrüstung ideal zusammengestellt: Von der Ersatzbirne für das Mikroskop bis zum Betäubungsmittel für Wirbellose ist alles Notwendige vorhanden. Die Routine kann beginnen.

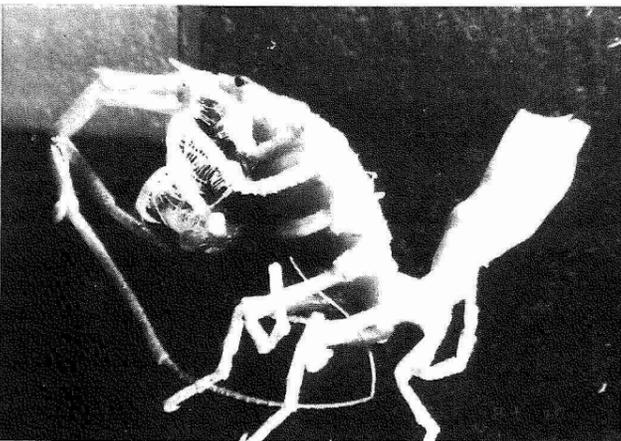
19.11.84 Vor dem grauen Himmel liegt eine märchenhafte Kulisse. Steile Felsen umgeben das Schiff, Gletscher spiegeln sich im Wasser, wenn zwischen schneebedeckten Böden die Sicht besser ist. Wir liegen in der „Admiralty Bay“ der King George Insel, um Kieler Zoophysologen und Botaniker an der polnischen Station „Arctowski“ abzusetzen. Inzwischen besuchen einige von uns die Pinguinkolonie, die hier aus Adelines, Gentoos und Zügelpinguinen besteht, andere sind mit der kleinen Barkasse „Polarfuchs“, die zu diesem Zweck ins Wasser gesetzt wurde, vor der Küste unterwegs und ziehen Baumkurre und Kastendredge über den Meeresgrund. Wir fangen hunderte unserer Versuchstiere und stehen, nachdem wir von „Polarfuchs“ auf „Polarstern“ umstiegen, bis spät in die Nacht bei -1.8°C im Laborcontainer, um den Fang zu versorgen. Es ist unser Ziel, möglichst viel über die Biologie dieser Tiere herauszufinden. In älterer Literatur ist manche bizarre Art gut beschrieben worden, die Namen sind nachzulesen, mehr ist jedoch nicht bekannt. Wir sind uns der seltenen Chance, die sich uns bietet, bewußt. Lebende Tiere vom polaren Meeresgrund (= Benthos) über lange Zeiträume hinweg zu beobachten, festzustellen, was sie fressen, welchen Untergrund sie bevorzugen, wie sie sich verhalten, wie schnell sie wachsen usw., zugleich ihre Anatomie untersuchen, den Zusammenhang zwischen Körperbau und Lebensweise herzustellen, das alles ist jetzt möglich.

25.11.84 Ich bedauere meine Kollegen auf dem vor Elephant Island stampfenden „Polarfuchs“. Die Barkasse hüpfert auf den Wogen, wer an der Reling steht, wird angeseilt. Es wird jedoch ein lohnender Fang geborgen, wohl wenig Krill (*Euphausia superba*, ein garnelenartiger Krebs, der in diesen Breiten von den Sowjets kommerziell befishet wird), dafür jedoch viele *Serolis* (scheibenförmige Meeresassel) für unsere Aquarien.

1.12.84 Admiralty Bay. Endlich kommt die Ausrüstung für den Phytoplanktonforscher El-Sayed an Bord. Von den USA über Punta Arenas nach King George Island sind die Kisten weitergereicht worden, freiwillig geholfen hat dabei ein Touristendampfer. Sedimentfallen der Kieler Geologen werden geborgen. Mit diesen Geräten, die ein Jahr lang im Wasser verankert waren, kann erstmals gemessen werden, wieviel Material auf den Meeresboden sinkt. Wir Biologen sind auf die Auswertung sehr gespannt; alle Tiere des Meeresbodens leben von Partikeln, die von oben auf den Grund sinken. Bisher ist kaum bekannt, wie diese Partikel (Faeces von Copepoden und Krill, Plankton, anorganisches Material) zusammengesetzt sind, in welchen Mengen und zu welcher Jahreszeit sie auftreten.

4.12.84 Der Expeditionsabschnitt muß abgebrochen werden. Die Hydraulik des Verstellpropellers an Steuerbordseite versagt, das Schiff ist nicht mehr voll manövrierfähig. El-Sayed kann seine Kisten schon wieder packen.

24.12.84 Weihnachten! Nach mehreren Experimenten im kalten Container spazieren wir bei Sonnenschein über den Markt von Concepción (Mittelchile). Da die „Polarstern“ im Trockendock liegt, haben wir Zeit, das bunte Treiben in der Stadt zu genießen. Wir treffen Prof. Gallardo, den Meeresbiologen der hiesigen Universität. In seiner Wohnung sondieren wir beim Mittagessen die Möglichkeiten einer Zusammenarbeit auf dem Gebiet der polaren Benthosforschung. Eine schöne Sammlung magellanischer Crustaceen geht in unseren Besitz über. Abends gibt es an Bord ein kaltes Büffet und eine Ansprache von Kapitän Suhrmeyer.



Dieser bizarre Krebs aus der Asselgattung *Dolichiscus* gehört zu den Charakterarten des antarktischen Meeresbodens. Bisher war nur bekannt, wie die Tiere aussehen und wie sie im System des Tierreiches einzuordnen sind. Unsere Aquarienbeobachtungen ergaben, daß es sich um sehr langsame Organismen handelt, die tagelang an einem Ort verharren und mit den feinen Borsten der Vorderbeine aus der Wasserströmung einzellige Algen fangen.



Antarktische Riesensassel, *Glyptonotus antarcticus*, aus dem südlichen Weddellmeer. Die ca. 10 cm langen Tiere gehören zu den auffälligsten Krebsen des antarktischen Meeresbodens. Es ist nicht genau bekannt, wieviele Jahre vergehen müssen, bis diese Tiere geschlechtsreif werden.

19. 1.85 Mit neuer Besatzung und repariertem Verstellpropeller haben wir endlich die Atka-Bucht erreicht. Obwohl das Wetter gut ist, ist die Schiffsführung nicht zufrieden. Das Wasser vor der Eisbucht ist dicht mit Meereis bedeckt, das Schiff kommt nur langsam voran. Von Zeit zu Zeit verlassen wir unseren Laborcontainer, um uns aufzuwärmen und den Fortgang der Manöver zu beobachten. Im Container laufen erste Versuche zur Hälterung von Embryonen, deren Entwicklungsweise und -geschwindigkeit erforscht werden sollen.

20. 1.85 Besuch bei den Kaiserpinguinen. Die Kolonie ist in schlechtem Zustand, da die Eisbedeckung die Alttiere zwingt, kilometerweit zum Wasser zu wandern, um Nahrung zu suchen. Viele Jungvögel sind verhungert und liegen steifgefroren im Schnee. Besichtigung der Georg-von-Neumayer-Station, die jetzt neue Versorgungsgüter erhält. Neugierige Annäherung zwischen Schiffsbewoh-

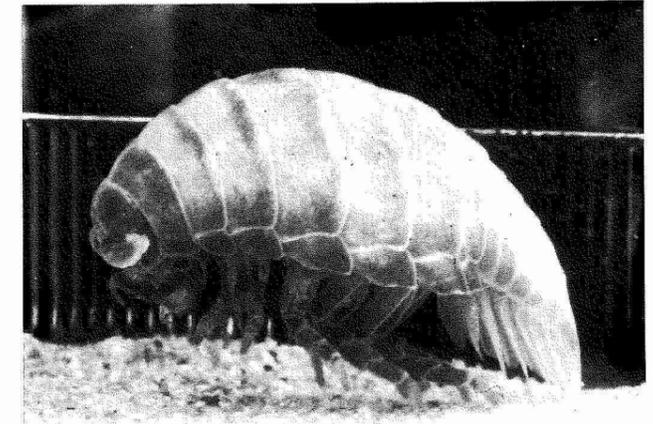
nern und den Stationsinsassen, deren lange, einsame Überwinterung jetzt endet.

4. 2.85 Der südlichste Punkt der Reise ist erreicht (77°42.25' S, 36°48.09' W). Aus dem Filchner-Graben bergen wir die tiefsten Proben dieser Fahrt (1150 m). Zu unserer Verwunderung leben dort unten im unterkühlten Wasser (-2,3°C) noch viele Tiere, von *Serolis* offenbar eine eigene Rasse, die sich schon äußerlich von den benachbarten Populationen unterscheidet.

Obwohl wir über Satelliten-Telefon und Deutsche Welle erfahren, daß es in Mitteleuropa bitterkalt ist und wir bei sommerlichen -12°C in diesen Breiten zufrieden sein sollten, gibt es doch Momente, in denen wir nur sehr unwillig zur Decksarbeit antreten. Mit klammen Fingern knien wir stundenlang auf den Planken, gelegentlich früh morgens vor dem Frühstück, oft bis Mitternacht. Zwischendurch die Finger in warmem Wasser auftauen, zur Belebung einen Schluck heißen Kaffees. Ein Glück, daß wir drei Oldenburger die Fänge nicht alleine sortieren müssen; an dem Material sind noch Prof. Arntz (Bremerhaven) und drei Doktoranden (aus Kiel und Bremerhaven) interessiert. Ausdauer lohnt sich. Unter dem Berg von Seegurken, Riesenschwämmen und Schlick liegen an Deck seltene Krebse und Schnecken versteckt. Die Landschaft um uns erregt kaum noch unsere Aufmerksamkeit. Nur Wolken, Eisberge, Wasser. Vielleicht mal die Rückenfinne eines Schwertwales, eine Robbe auf treibender Eisscholle. Täglich das gleiche Bild. Abwechslung nur in den Mahlzeiten und dem Fortschritt unserer Arbeit. Seite um Seite werden Daten notiert, deren spätere Auswertung sich über viele Monate erstrecken wird. Heute raucht das Meer, da die Luft wesentlich kühler ist als das Wasser; feinste Eiskristalle schweben an Deck.

27. 2.85 Der Fahrtleiter, Prof. Hempel (Bremerhaven) hat unseren Expeditionsbericht erhalten. Von 45 Proben haben wir Material, das Untersuchungsgebiet umfaßt eine Strecke von ca. 6000 km. Wir finden deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Fauna der Antarktischen Halbinsel und der südwestlichen Weddell See. Es bestehen zwar zwischen beiden Gebieten nur geringe klimatische Unterschiede, an der unteren Grenze der marinen Temperaturskala macht jedoch offenbar 1°C mehr Wärme schon viel aus. Es entsteht der Verdacht, daß lokal endemische physiologische Rassen existieren, die schon morphologisch erkennbar sind und die geringe Mobilität und Fruchtbarkeit der Populationen dokumentieren. Die Entwicklung der Embryonen dauert wahrscheinlich über ein Jahr. Manche Stadien haben sich in drei Monaten kaum verändert. Bemerkenswert sind neue Beobachtungen an der Assel *Gnathia*. Die Jungtiere saugen Fischblut (experimentell überprüft), die adulten Tiere nehmen keine Nahrung auf. Sie leben stets in Haremsverbänden: ein Männchen bewacht bis zu 50 Weibchen in dem Hohlraum eines kleinen Schwam-

mes. Sind mehrere Männchen anwesend, bekämpfen sie sich und beißen sich mit scherenartigen Mandibeln die Beine ab, der Sieger übernimmt die Weibchen. Der evolutive Vorteil dieses Verhaltens ist noch zu erforschen.



Zu den Raritäten des Südpolarmeeres gehört diese Tiefseeassel (*Anuropus*), die nie am Meeresboden, sondern im freien Wasser schwimmend angetroffen wurde. Ihre Lebensweise ist unbekannt.

Es war eine überaus glückliche Fahrt, ohne größere Verluste; bei stets gutem Wetter haben alle Wissenschaftler ihre ehrgeizigen Ziele weitgehend erreicht. In unserem Laborcontainer sind die Aquarien zum Teil überbelegt. Eine der reichsten Sammlungen seltener antarktischer Nacktschnecken ruht gut fixiert in den Kisten. Die ersten Labors sind schon geräumt und geputzt. Eine traurige Nachricht trifft ein: Eine der Dornier-Maschinen ist auf dem Weg von der Antarktis nach Hause über der Nordwestsahara abgeschossen worden.

28. 2.85 Bouvet Island. Wenige Stunden haben wir Zeit, die reiche Tierkolonie auf dieser entlegenen Insel zu bewundern. Seelöwen, See-Elefanten, diverse Pinguinarten, im Wasser Buckelwale - der Reichtum dieser fast unberührten Landschaft ist beeindruckend. Die Ornithologen und Robbenforscher der „Polarstern“ erläutern uns die Eigenarten der Biologie dieser Tiere. Wir vermuten, daß der Reichtum des Südpolarmeeres täuscht: Die Produktionsraten sind wahrscheinlich sehr niedrig. Mit unserer Arbeit wollen wir dazu beitragen, die gegen menschliche Eingriffe sensiblen Stellen des Ökosystems aufzuzeigen.

5. 3.85 Einlaufen in Kapstadt. Ich fliege bis nach Bremen zurück, schon in zwei Wochen beginnt mein Praktikum.

2. 4.85 In Bremerhaven wird die „Polarstern“ empfangen, nach fast fünf Monaten Fahrt begrüßen die Oldenburger Doktoranden ihre Kommilitonen und Bekannten. Stolz führen sie die Tiere vor, die immer noch leben, z.T. sogar in original antarktischem Oberflächenwasser auf den Transport nach Wechloy warten.

JÜRGENS

Bremer Laborbedarf

H. JÜRGENS & CO - GmbH & Co. -
Langenstr. 76-80 JURCO-Haus
2800 Bremen 1
Tel. 0421 / 1 49 67 - 69

LABORBEDARF ALLER GEBIETE

Komplette Einrichtungen und Ergänzungen

Labor-APPARATE
Labor-BEDARF GERÄTE
Labor-CHEMIKALIEN
Labor-MÖBEL

- Glasbläserei
- Mechanische Werkstatt-Kundendienst
- Holz- u. Kunststoff-Werkstätten

Räumliche Struktur und biologische Funktion bei Kohlenhydraten

Von Bernd Meyer

Die Nennung des Wortes „Kohlenhydrat“ - häufig synonym mit „Zucker“ gebraucht - führt in der Regel zu den Assoziationen Rohrzucker (chem. Saccharose), Traubenzucker (Chem. Glucose) oder Stärke (chem. Amylose, Amylopektin), die alle hinreichend gut aus unseren Nahrungsmitteln bekannt sind. Diese Kohlenhydrate übernehmen in den sie produzierenden Zellen die Speicherung und Übertragung von chemisch gebundener Energie. Da auch der Mensch in der Lage ist, die in Zuckern gespeicherte Energie für sich nutzbringend freizusetzen, spielen diese Kohlenhydrate für die Ernährung eine bedeutsame Rolle.

Neben den Reserve- und Gerüstkohlenhydraten, die in sehr großen Mengen in der Natur vorkommen, existiert eine Vielzahl verschiedener Kohlenhydrate in biologischen Materialien, die normalerweise nur in äußerst geringer Menge zu finden sind. Gleichwohl üben sie häufig essentielle Funktionen aus. Die Zugehörigkeit eines Menschen z.B. zu einer bestimmten Blutgruppe wird durch eine für diese Blutgruppe spezifische Struktur von Kohlenhydraten auf der Oberfläche der roten Blutkörperchen bestimmt. Die meisten Kohlenhydratstrukturen mit biologischer Funktion liegen jedoch in Form komplexerer Moleküle - den Glycokonjugaten - vor. Diese Glycokonjugate werden in zwei große Untergruppen unterteilt:

- Die Glycoproteine - Verbindungen, die einen Zucker- und einen Eiweißanteil enthalten und
- die Glycolipide - Verbindungen, die einen Zucker- und einen Fettanteil enthalten.

Der Zuckeranteil dieser Glycokonjugate reicht von einigen wenigen bis zu über neunzig Prozent. Auch bei den Glycokonjugaten mit prozentual geringem Anteil an Kohlenhydrat bestimmen die Zucker häufig die biologische Funktion des gesamten Moleküls. Der Körper erkennt z.B. fremde Zellen häufig an den auf ihrer Oberfläche sitzenden Kohlenhydratstrukturen. So reagiert das Abwehrsystem des Körpers sofort, wenn versucht wird, Blut eines Menschen mit unterschiedlicher Blutgruppe zu übertragen. Die Wechselwirkung zwischen den Antikörpern des eigenen Immunsystems mit den Zuckerstrukturen (Antigenen) des fremden Bluts führt dann zu einem Blutgerinnsel und im Regelfall zum Tod des Patienten. Neben den Glycokonjugaten, deren Funktion für den Körper wohl bekannt ist, existiert noch eine Vielzahl weiterer solcher Verbindungen, über deren Bedeutung man sich noch weitgehend im unklaren ist. Trotzdem sind auch solche Glycokonjugatstrukturen, deren Funktion noch nicht genau bekannt ist, mit großem Erfolg in der Frühdiagnostik von Krebserkrankungen eingesetzt worden. Auch hierbei beruht der Test auf einer Reaktion zwischen dem Zuckerbestandteil des Glycokonjugats und einem Antikörper.

Die Identifizierung eines bestimmten Kohlenhydrats erfolgt vereinfacht gesprochen nach dem Schlüssel-Schloß-Prinzip. Ein Eiweißmolekül (Antikörper oder Lektin) verfügt über eine zu der Kohlenhydratstruktur komplementäre Bindungsstelle. Will man also Aussagen über die Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit unterschiedlicher Zuckerstrukturen machen, benötigt man Information über den räumlichen Aufbau der Kohlenhydrate. Die vergleichen-

de Analyse der Strukturen ist für die Erforschung des Ablaufes biochemischer Prozesse, aber auch bei der Entwicklung neuer pharmazeutisch wirksamer Substanzen von Bedeutung. Speziell in den Bereichen der autoimmun - oder enzymatisch bedingten Krankheiten sollten auf diesem Weg neue Wirkstoffe zu finden sein.

Chemische Struktur der Kohlenhydrate

Die Grundbausteine aller Kohlenhydrate sind die sogenannten Monosaccharide. Das sind Moleküle mit drei bis neun Kohlenstoffatomen, die jeweils weitere funktionelle Gruppen (z.B.: OH, NH₂, COOH) tragen, zu ihnen gehören u.a. der Traubenzucker (Glucose) und der Fruchtzucker (Fructose). Insgesamt existieren ca. 25 verschiedene Monosaccharide, die in der Natur von größerer Bedeutung sind. Außer Glucose und Fructose liegen die anderen Monosaccharide relativ selten in freier Form vor. Statt dessen sind sie Bestandteil der sogenannten Oligo- oder Polysaccharide. Diese größeren Moleküle entstehen durch die Verknüpfung verschiedener, ganz spezifischer Monosaccharide. Bei der Verknüpfung zweier Monosaccharide entstehen die sogenannten Disaccharide, z.B. Rohrzucker (Saccharose) und Malzzucker (Maltose). Die in der Natur auftretenden Kohlenhydrate, die als Informationsträger fungieren, bestehen im Regelfall aus drei bis mehreren hundert Monosacchariden.

Die Frage, warum die Natur gerade die Kohlenhydrate ausgewählt hat, um als Träger von Information zu dienen, ist leicht beantwortbar, wenn man sich die Anzahl der Möglichkeiten verschiedener Strukturen vor Augen führt. Da es in der Natur ca. 25 verschiedene Monosaccharide gibt, existieren ca. 5000 verschiedene Disaccharide (zwei Monosaccharide über einen Sauerstoff glycosidisch miteinander verknüpft), bereits 2 x 10⁶ verschiedene Trisaccharide und 1.6 x 10⁹ verschiedene Tetrasaccharide. Da die biologisch relevanten Kohlenhydrate häufig aus mehr als zehn verschiedenen Monosacchariden aufgebaut sind, kann man sich die ungeheure Zahl der möglichen Kombinationen leicht vorstellen.

Strukturbestimmung von Oligosacchariden

Da die Erkennung eines bestimmten Oligosaccharids über die Wechselwirkung mit einem Protein (Eiweißmolekül) erfolgt und das Protein an einer bestimmten Bindungsstelle das Kohlenhydrat bindet, liegt es auf der Hand, daß die dreidimensionale Struktur des Oligosaccharids entscheidend für seine biologische Funktion ist. Dieser Erkennungsprozeß ist so spezifisch, daß bereits geringste Abweichungen im Kohlenhydratteil die Erkennung vollständig verhindert. Zur Charakterisierung eines Oligosaccharids ist es also notwendig, außer der Information über die Monosaccharidbestandteile und deren chemische Verknüpfung miteinander auch noch deren relative Orientierung im Raum zu kennen. Gerade aber die dreidimensionale Struktur von Oligosacchariden ist experimentell nur äußerst schwer aufzuklären. Als Methoden werden hierzu nahezu ausschließlich die Röntgenstrukturanalyse und die NMR-Spektroskopie verwendet. Auch diese beiden Verfahren sind allerdings nur eingeschränkt einsetzbar, da für die Röntgenstrukturanalyse ein-

heitlich gewachsene Kristalle (Einkristalle) notwendig sind, die bis jetzt nur im Ausnahmefall von solchen komplexen Strukturen gewonnen werden konnten, und für die NMR-Spektroskopie die Grenze der Interpretierbarkeit bei ca. 8 - 10 Monosaccharidfragmenten liegt.

Um auch für Moleküle, bei denen diese beiden experimentellen Methoden nicht anwendbar sind, eine Vorhersage über die räumliche Struktur machen zu können, wurde ein empirisches Rechenverfahren entwickelt. Die Parameter dieses HSEA genannten Rechenverfahrens wurden in Zusammenarbeit mit Arbeitsgruppen in Dänemark (K. Bock) und Canada (R.U. Lemieux) erarbeitet und bei kleineren Oligosacchariden überprüft, deren Struktur experimentell bestimmbar ist. Insbesondere waren dies die Di-, Tri- und Tetrasaccharide der Blutgruppensubstanzen. Für die Berechnung großer, komplexer Oligosaccharide mußte das Rechenverfahren neu strukturiert werden, um korrekte Ergebnisse zu erhalten. Unter Beibehaltung des an den kleinen Oligosacchariden empirisch gewonnenen Datensatzes wurde das GESA-Programm (*Geometrie von Sacchariden*) entwickelt, das eine simultane Optimierung aller strukturbestimmenden Faktoren erlaubt. Da die Strukturen von komplexen Oligosacchariden anhand der bei den Rechnungen gewonnenen Daten allein selbst für Kohlenhydratchemiker schwer zu beurteilen sind, wurde das Programm PLATO zur graphischen Darstellung dieser Strukturen erstellt.

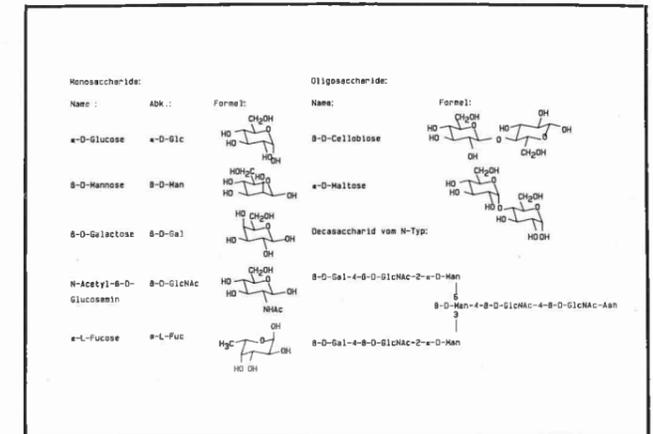
Oligosaccharide vom N-Typ

In sehr vielen Glycopeptiden taucht eine Strukturfamilie auf, die wegen der Verknüpfung des Oligosaccharids über einen Stickstoff mit dem Protein als N-Typ Oligosaccharide bezeichnet werden. Ein Vertreter hiervon ist das Decasaccharid mit einer Verzweigung, weswegen dieses auch „Diantennenstruktur“ genannt wird.

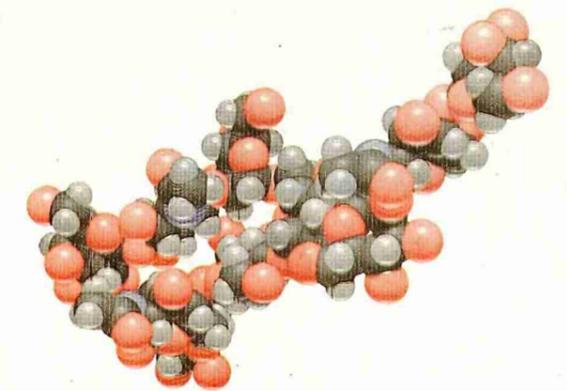
Die dreidimensionale Struktur dieser Verbindung - als isoliertes Kohlenhydrat ohne Proteinanteil - ist von verschiedenen Arbeitsgruppen ausführlich mit Hilfe der NMR-Spektroskopie untersucht worden. Das herausragende Strukturprinzip dieses Moleküls ist die Verzweigung der Oligosaccharidkette an der zentralen β-D-Mannose, wobei zwei identische Trisaccharide in der 3- und in der 6-Position angeknüpft sind. Dabei wurde eindeutig bewiesen, daß der eine Ast der Verzweigung an C-6 der zentralen Mannose zum reduzierenden Ende des Oligosaccharids zurückgebogen ist - man spricht daher auch von einer „broken wing“ Struktur. Diese wird auch von der Rechnung als günstigste vorhergesagt.

Dieses Decasaccharid wird u.a. in den Immunglobulinen gefunden. Immunglobuline sind Verbindungen, die der Körper zur Abwehr ihm fremder Substanzen produziert - z.B. bei der Abwehr einer Bakterieninfektion. Sie bestehen aus zwei langen und zwei kurzen Proteinketten, die über Disulfidbindungen aneinander gebunden sind. Der räumliche Aufbau eines Immunglobulins ähnelt einem „Y“, wobei der untere Teil - oder Stamm - als Fc-Fragment und der V-förmige obere Teil als Fab-Fragment bezeichnet wird. Die Bindung mit dem fremden Antigen geschieht an den Spitzen des Fab-Fragments. Das Fc-Fragment enthält außer den beiden Proteinketten auch noch das oben erwähnte Decasaccharid. Die Funktion dieses Kohlenhydratanteils war bislang unklar.

Bei dem Fc-Fragment eines IgG-Immunglobulins gelang als ersten einer Arbeitsgruppe am MPI-München (Deisenhofer und Huber) die Auflösung der Röntgenstruktur eines Glycoproteins mit Bestimmung der Kohlenhydratstruktur. Ein Vergleich mit den berechneten Strukturen des Decasaccharids zeigte jedoch einige Ab-



Namen und chemische Formeln einiger in der Natur bedeutsamer Mono- und Oligosaccharide.



Kalottenmodell des Decasaccharids in der in Lösung vorliegenden räumlichen Anordnung („broken wing“ Struktur).

weichungen zwischen Experiment und Rechnung. Unter Zuhilfenahme der berechneten Struktur gelang dann eine Verbesserung der Röntgenstruktur des Kohlenhydratanteils.

Um den Einfluß des Proteinteils auf die Kohlenhydratstruktur zu untersuchen, wurde dann nicht nur die Struktur des isolierten Kohlenhydrats berechnet, sondern auch die des gesamten dimeren Glycoproteins. Die so rechnerisch bestimmte räumliche Struktur stimmt exakt mit der in der verfeinerten Röntgenstruktur experimentell ermittelten dreidimensionalen Struktur überein. Diese gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Rechnung bei einem Molekül dieser Größenordnung zeigt, daß mit dem GESA-Programm ein generelles Verfahren zur Bestimmung des dreidimensionalen Aufbaus des Kohlenhydratanteils auch komplexer Glycokonjugate vorhanden ist.

Der räumliche Aufbau des an das Protein gebundenen Kohlenhydrats weicht allerdings sehr von der oben erwähnten Struktur des



Kalottenmodell des Decasaccharids in der im Immunglobulin vorliegenden räumlichen Anordnung.

isolierten Decasaccharids ab. Die Verzweigung an C-6 der zentralen Mannose steht nahezu senkrecht vom „Rückgrat“ ab. Diese Anordnung der Zucker im Raum führt zu einem wesentlich höheren Energieinhalt des Kohlenhydrats. Wenn man sich fragt, warum diese für den Zucker an sich ungünstige Änderung bei der Bindung an das Protein erfolgt, ergibt sich als wahrscheinlichste Hypothese, daß das Decasaccharid mit seiner hohen Energie die Bewegung der beiden „Arme“ des „Y“ unterstützt, die bei der Bindung von Antigenen notwendig ist. Die Kohlenhydrate zeigen (siehe hierzu das Titelbild dieses Heftes) keinen direkten Kontakt miteinander. In wässriger Lösung liegt also eine Schicht Wassermoleküle an dieser Stelle und wirkt gewissermaßen als Schmiere bei Bewegungen im Fc-Fragment. Anders formuliert wird der Energieaufwand, der notwendig ist, die beiden Arme des Immunglobulins bei der Bindung des Antigens zu bewegen, an das Fc-Fragment weitergeleitet

und dort - zumindestens teilweise - vom Kohlenhydratanteil geliefert.

An diesem Beispiel kann man sehen, daß der immense Aufwand der Berechnung selbst so großer Moleküle wie des Immunglobulins äußerst wertvolle Informationen über die Funktion von Kohlenhydratbestandteilen machen kann.

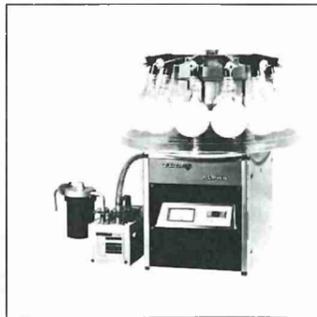
Nachdem es also mit Hilfe des GESA-Programms möglich ist, Saccharide sowohl isoliert als auch in Glykokonjugatstrukturen korrekt zu berechnen, wird es des weiteren notwendig werden, die Wechselwirkungen von verschiedenen Molekülen rechnerisch zu erfassen, um Fragen zur Spezifität der Bindung von Substraten mit Proteinen zu untersuchen. Diese Fragestellung ist allerdings nur mit einem wesentlich größeren Rechneraufwand zu bearbeiten, da hierbei die Strukturen mindestens zweier Moleküle in Abhängigkeit voneinander zu berechnen sind.

Christ® Gefriertrocknungsanlagen

- Eiskondensatorkapazität 6, 12 oder 20 kg
- Eiskondensatortemperatur -54°C oder -84°C
- Verschlußmöglichkeit im Vakuum unter sterilen Bedingungen
- Kontrollmöglichkeit der Produkt-, Stellflächen- und Eiskondensatortemperatur

Einfrieren und Trocknen innerhalb des Eiskondensators unter sterilen Bedingungen zwischen -55°C und $+80^{\circ}\text{C}$.

Einfrieren von Flüssigkeiten z. B. in Rundkolben nach dem Shell-Freezing oder Spin-Freezing Verfahren in einem separaten Kühlbad.



Martin Christ GmbH & Co. KG
An der unteren Söse, D 3360 Osterode/Harz, Tel. 0 55 22 / 20 71, Telex 9 65 101

Flüssigkristalle auf Zuckerbasis

Von Peter Köll

Sogenannte Flüssigkristalle sind seit fast einhundert Jahren bekannt, wurden aber lange Zeit nur als Exoten angesehen. Erst in den letzten zwanzig Jahren haben ihre ungewöhnlichen Eigenschaften (insbesondere die Farbphänomene) auch technische Anwendungen gefunden. So basieren die optischen Anzeigen in Digitaluhren, vielen Taschenrechnern, Digitalthermometern usw. auf Flüssigkristallen. Extrem flache Fernsehbildschirme, die auf gleichem optoelektronischen Prinzip basieren, befinden sich in der Entwicklung bzw. sind als Miniaturen bereits im Handel. Flüssigkristalle eignen sich auch dazu, Temperaturdifferenzen durch Farbänderungen sichtbar zu machen. Dies wird in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und in der Medizin („Thermotopographie“) ausgenutzt. Besonders interessant sind auch Kunststoffe mit flüssigkristallinen Eigenschaften, da diese eine extreme mechanische Stabilität aufweisen. Dies wird z.B. an der Kevlar-Faser von Du Pont deutlich, die bei entscheidend geringerem Gewicht wesentlich stärker als Stahl ist und z.B. zur Herstellung von kugelsicheren Westen und von Arbeitsschutzkleidung für explosionsgefährdete Bereiche verwendet wird.

Darüber hinaus wird aber in letzter Zeit die grundsätzliche Bedeutung von Substanzen mit flüssigkristallinen Eigenschaften immer deutlicher. Sie spielen in allen Lebewesen eine bedeutende Rolle. So bestimmen sie z.B. die Eigenschaften von Zellmembranen wesentlich mit.

Physikalisch nehmen die Flüssigkristalle, wie auch der Name schon sagt, eine Zwischenstellung zwischen kristallinen Festkörpern und Flüssigkeiten ein. Während in Festkörpern die Moleküle hochgeordnet in einem Kristallverband fest eingebunden sind, sind in einer Flüssigkeit alle Moleküle weitgehend frei beweglich. Solche Flüssigkeiten werden „isotrop“ genannt und entstehen normalerweise immer beim Schmelzen eines Festkörpers. Hingegen bildet sich beim Schmelzen eines Flüssigkristalls zunächst eine sogenannte „anisotrope“ Flüssigkeit und erst bei höherer Temperatur, am sogenannten Klärpunkt, erfolgt der Übergang zur isotropen Flüssigkeit. Die anisotrope Phase, die eigentliche flüssigkristalline Phase, hat Eigenschaften, die zwischen denen des Kristalls und der isotropen Flüssigkeit liegen. So sind die Moleküle zwar beweglich, weisen aber eine gewisse Ordnung (bestimmte Orientierung) auf, die sich darüber hinaus aber - und dies macht diese Verbindungen technisch so interessant - durch äußere Faktoren beeinflussen läßt. So kann diese Ordnung durch elektrische und magnetische Felder, durch Druck, aber auch durch Temperatur beeinflusst werden. Die hieraus resultierende Veränderung der optischen Eigenschaften kann dann z.B. an den Farbwechseln der Substanz direkt beobachtet werden.

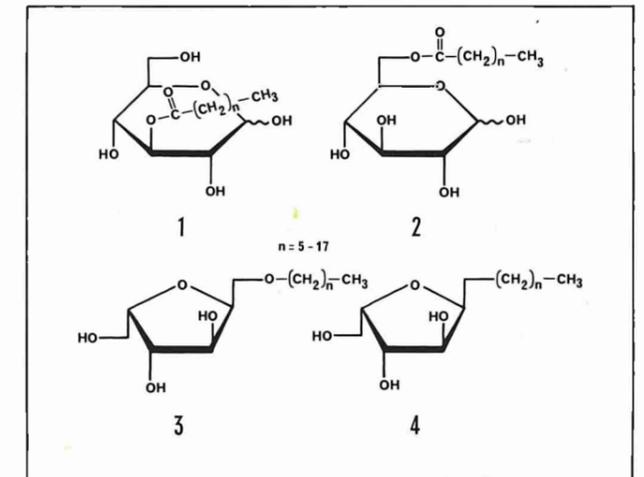
Amphiphile Zucker

Zur Zeit sind ca. 15.000 Substanzen mit flüssigkristallinen Eigenschaften bekannt. Bis vor kurzem befanden sich unter diesen nur

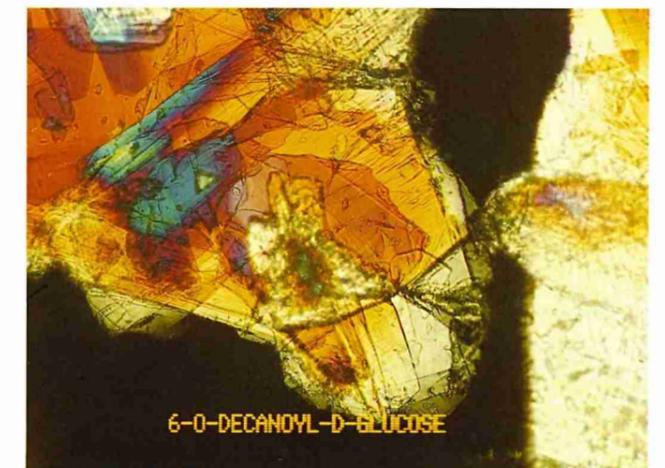
einige ganz wenige, die ein Zuckermolekül enthielten. Da die Chemie der Zucker ein wesentlicher Gegenstand der Forschung in unserer Arbeitsgruppe (an den Arbeiten zu diesem Projekt waren

neben dem Autor die Drs. S. und E. Balarezo, Dipl. Chem. M. Oelting und die Herren R. Irmer und H. Komander beteiligt) darstellt, haben wir die Suche nach entsprechenden weiteren derartigen Verbindungen aufgenommen.

Zucker („Kohlenhydrate“), von denen einzelne Vertreter wie die Saccharose (gewöhnlicher „Zucker“), die Glucose („Dextrose“)



Formeln der Flüssigkristalle zu den Abbildungen 1 bis 4



Kristalle einer Verbindung von Typ 2 (n=8) bei Raumtemperatur in polarisiertem Licht betrachtet.

oder auch die Cellulose („Zellstoff“) jedem Laien geläufig sind, gehören zu den zentralen Substanzen in allen Lebensprozessen und stellen mengenmäßig den Hauptanteil aller Biomasse. Entspre-



Gleiche Kristalle vom Typ 2 nach Erhitzen über den Schmelzpunkt von 132°C. Betrachtung in polarisiertem Licht bei parallelen Nicols.

chend werden sie seit Urzeiten von Menschen nicht nur als Nahrung, sondern auch als Rohstoff bzw. auch als „Chemikalie“ genutzt. Der niedrige Preis und der Vorteil, daß es sich um regenerative Rohstoffe handelt, haben in den letzten Jahren zu vermehrten Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet geführt.

Zucker sind im allgemeinen sehr gut wasserlöslich, oder wissenschaftlich ausgedrückt, „hydrophil“. Hingegen sind Fette, eine weitere wichtige auch jedem bekannte Klasse von Naturstoffen, wasserabweisend bzw. „hydrophob“.

Verknüpft man nun in geeigneter Weise ein Zuckermolekül mit der Fettsäurekomponente der Fette bzw. tauscht die Alkoholkomponente Glycerin in den Fetten gegen ein Zuckermolekül aus, werden Verbindungen erhalten, die sowohl hydrophil als auch hydrophob sind. Man sagt, sie sind „amphiphil“.

Derartige amphiphile Substanzen, wie z.B. die sog. Glykolipide (eine etwas ungebräuchliche Übersetzung würde Zuckerfette hei-

ßen), sind in der Natur von erheblicher Bedeutung, bilden sie doch z.B. die Wände unserer Körperzellen und treten in hoher Konzentration im Hirn und im Nervengewebe auf. In reiner Form können sie im Reagenzglas ebenfalls zu geordneten Strukturen zusammenreten, die wir als Vesikel oder Mizellen bezeichnen und die von erheblichem praktischen Nutzen sind, obwohl hier noch ein gewaltiges Entwicklungspotential zu vermuten ist. Im weitesten Sinne sind diese Substanzen oberflächenaktiv, d.h. sie haben den Charakter von Detergentien. Tatsächlich kann man auf der Basis Rübenzucker und Fett in einfacher Weise Waschmittel herstellen, wie ein durchentwickeltes industrielles Verfahren zeigt hat.

Auch für die sog. Tertiärförderung von Erdöl konnten entsprechende Verbindungen bereits erfolgreich getestet werden. Die gleichartig aufgebauten Handelsprodukte „Tween“ und „Span“ sind wichtige Hilfsmittel als Emulgatoren und Entschäumer in der Biotechnologie und Pharmazie.

Sind Substanzen dieses Typs nun aber auch evtl. flüssigkristallin?

Wir untersuchten zunächst (vergl. obige Grafik) Verbindungen der Typen 1 und 2, sog. Monoacylster der Glucose. In allen Fällen wurden bei hinreichender Kettenlänge der Fettsäure ($n > 6$) thermotrope Flüssigkristalle erhalten (es sind auch sog. „lyotrope“ Flüssigkristalle bekannt, die hier aber nicht interessieren sollen), mit flüssigkristallinen Phasen zwischen ca. 80 - 180°C. Eine Ausdehnung dieser Versuche auf entsprechende Derivate der D-Mannose und der D-Galactose zeigte, daß angesichts der Isomeriemöglichkeiten der Zucker eine extrem große Zahl bisher unbekannter Flüssigkristalle gewonnen werden kann. Die Abbildungen 1-4 zeigen das typische Schmelzverhalten dieser Substanzen im polarisierten Licht, das aufgrund der Doppelbrechung geordneter Strukturen den flüssigkristallinen Charakter besonders deutlich werden läßt.

Es zeigte sich aber bei diesen Untersuchungen, daß die gewonnenen Verbindungen relativ empfindlich sind und sich z.B. bei längerem Erwärmen verändern bzw. sich sogar zersetzen. Wir haben daher eine stabilere Verbindung zwischen dem Zuckerteil und dem hydrophoben Rest angestrebt und dies durch Synthese von Verbindungen der Typen 3 und 4 erreicht. Im Typ 3 erfolgt die Bindung über eine sehr stabile Etherbrücke und bei Typ 4 sind die Kohlenstoffatome der beiden Komponenten sogar direkt verknüpft. Auch diese Verbindungen haben flüssigkristalline Phasen, teilweise sogar bei Raumtemperatur, und stellen völlig neuartige Typen von Flüssigkristallen dar.

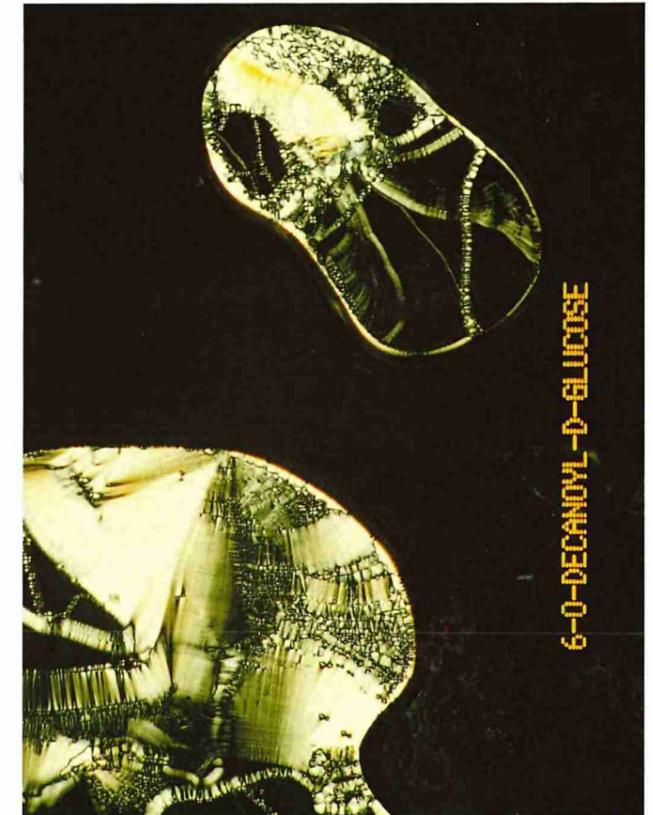
Man muß annehmen, daß bei Erwärmen der von uns dargestellten Kristalle zunächst die Ordnung des Kohlenwasserstoffteils zusammenbricht, also schmilzt, daß aber der Kohlenhydratteil dank der Kräfte von intermolekularen Wasserstoffbrückenbindungen noch kristallin bleibt. Erst am Klärpunkt brechen auch diese Strukturen unter Bildung der isotropen Schmelze zusammen.

Unter Berücksichtigung besonders dieser Ergebnisse kann man nun relativ sicher davon ausgehen, daß auf der Grundlage einfacher Zucker die Zahl der bisher bekannten Flüssigkristalle auf eine Million und mehr erhöht werden kann. Man muß lediglich auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen hydrophilen Hydroxygruppen im Zuckerteil und hydrophobem Kohlenwasserstoffrest achten.

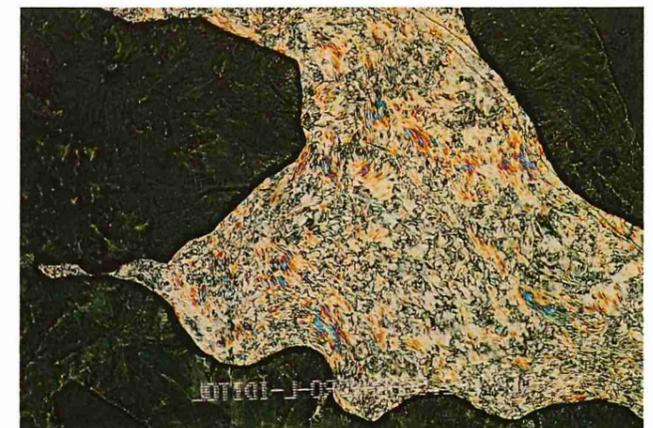
Leider sind aber alle bisher von uns exemplarisch dargestellten Verbindungen vom sog. „smektischen“ Typ, die bisher technisch nicht so interessant sind, wenn man davon absieht, daß derartige Substanzen vereinzelt mit Erfolg in der Chromatographie zur Lösung sehr schwieriger analytischer Aufgaben eingesetzt wurden. Es bleibt zu hoffen, daß es uns gelingt, auch „nematische“ oder „cholesterische“ bzw. noch interessanter, sog. „diskotische“ Phasen entdecken zu können, wobei diese Begriffe unterschiedliche Ordnungszustände in der flüssigkristallinen Phase beschreiben. Es soll aber nicht unerwähnt bleiben, daß gerade die smektischen Phasen, von denen es viele Untertypen gibt, besonderes theoretisches Interesse beanspruchen können, da ihre Strukturen außerordentlich kompliziert sind und bisher nur wenig verstanden werden.

Gleichwohl könnten diese Substanzen aufgrund ihres amphiphilen Charakters bereits für eine andere Verwendung interessant werden, nämlich als Detergentien für Zwecke der Isolierung von Proteinen der Zellmembranen. Entsprechende Versuche werden in Kooperation mit der Universität Freiburg durchgeführt.

Zwar hat die Einführung des n-Octylglucosids, einer der wenigen bisher bekannten Kohlenhydratflüssigkristalle, vor einigen Jahren für derartige Zwecke zu einem dramatischen Fortschritt auf die-



Gleiche Probe (Typ 2). Betrachtung jedoch jetzt bei gekreuzten Nicols. Diese smektische flüssigkristalline Phase bleibt beim weiteren Aufheizen bis zum Klärpunkt bei 160°C erhalten.



Unterkühlte flüssigkristalline Phase einer Verbindung vom Typ 4 ($n=9$), die nach Aufheizen auf den Klärpunkt von 135°C und nachfolgendes Abkühlen unter den Schmelzpunkt von 84°C erhalten wird. Die zu beobachtenden vielfarbig („pleochromen“) Mosaikstrukturen sind typisch für die beschriebenen Flüssigkristalle.

sem wichtigen Gebiet der Biochemie und Medizin gesorgt, doch kann dieses Reagenz noch nicht als optimal gelten. Es muß nach einer Ausweitung der Palette derartiger die Zellmembranen schonend auflösender Substanzen gesucht werden.

Wie Pflanzen wachsen und Denkmäler korrodieren

Von W. Arnold/K. Hinsch/K. Wolff



Mit dem Optischen Korrelator wird die Veränderung einer rauhen Steinoberfläche in Abhängigkeit von Umweltparametern gemessen. Die Steinprobe befindet sich in einer Versuchsatmosphäre innerhalb einer Glasküvette. Der Ausgangszustand des mit grünem Laserlicht beleuchteten Steins wird als Lasergranulationsfeld in einem Hologramm gespeichert. Das an diesem Hologramm gebeugte Licht von der (eventuell veränderten) Steinprobe erzeugt auf der Lochblende einen Lichtpunkt, dessen Helligkeit proportional zur Ähnlichkeit der Steinproben ist. Sie wird mit einer Fotodiode gemessen.

Unsere Umwelt ist in ständiger Veränderung begriffen: Viele Veränderungen spiegeln natürliche Prozesse wider wie das jahreszeitliche Wachstum von Pflanzen oder das wetterbedingte Verwittern von Gesteinen. Andere Veränderungen sind Ausdruck veränderter Umweltbedingungen wie das Absterben der Bäume oder der beschleunigte Korrosionsprozeß an Steindenkmälern. Veränderungen als Funktion der Zeit quantitativ zu erfassen und natürliche von atypischen Veränderungen zu unterscheiden, ist daher eine wichtige Aufgabe bei der Analyse von Umwelteinflüssen. Je empfindlicher dabei das Meßverfahren ist, d.h. je kleiner die schon erkennbaren Veränderungen sind, desto erfolgversprechender ist es, weil die andernfalls erforderlichen langwierigen Meßreihen wesentlich verkürzt werden. Die besonderen Eigenschaften des Laserlichtes haben Meßverfahren möglich gemacht, die bei Veränderungen von weniger als einem tausendstel Millimeter schon sehr empfindlich reagieren und daher für die genannten Untersuchungen hervorragend geeignet sind.

Eine rauhe Oberfläche, wie dieses Blatt Papier, streut auffallendes weißes Licht in alle Richtungen und erscheint einem Betrachter daher als gleichmäßig helle Fläche. „Rauh“ bedeutet dabei, daß die feinen Strukturen der Oberfläche größer sind als die Lichtwellenlänge, also größer als ca. $1 \mu\text{m}$.

Ein vollkommen anderes Bild beobachtet man bei Beleuchtung mit Laserlicht. Die ehemals gleichmäßig helle rauhe Fläche ist nun mit einem körnigen Helligkeitsmuster überzogen, das sich z.B. bei Kopfbewegungen verschiebt oder bei Verkleinern der Augenöffnung gröber wird. Beim Fotografieren ist das Bild jeder rauhen Oberfläche ebenfalls mit dieser körnigen Struktur, die Lasergranulation (englisch: Speckle) genannt wird, überzogen.

Zur Erzeugung der Granulation ist nicht unbedingt eine Abbildung wie im Auge oder Fotoapparat erforderlich; der gesamte Raum vor einer mit intensivem Laserlicht beleuchteten rauhen Wand ist mit Granulation erfüllt, die sich z.B. dadurch zeigen läßt, daß ein weißer Schirm oder eine Mattscheibe in das Lichtfeld gehalten wird.

Was ist der Grund für die Entstehung der Lasergranulation? Das Laserlicht unterscheidet sich vom weißen Licht durch seine Kohärenz, das ist die Fähigkeit, bei Überlagerung beobachtbare Interferenzmuster zu erzeugen. Dies ist im wesentlichen eine Folge der schmalen spektralen Bandbreite des Laserlichtes, die oft dazu verführt zu sagen, das Laserlicht enthalte Licht von „genau einer Wellenlänge“. Bei Streuung solchen Lichtes an einer rauhen Oberfläche entstehen viele neue Wellen, die aufgrund der Rauigkeit

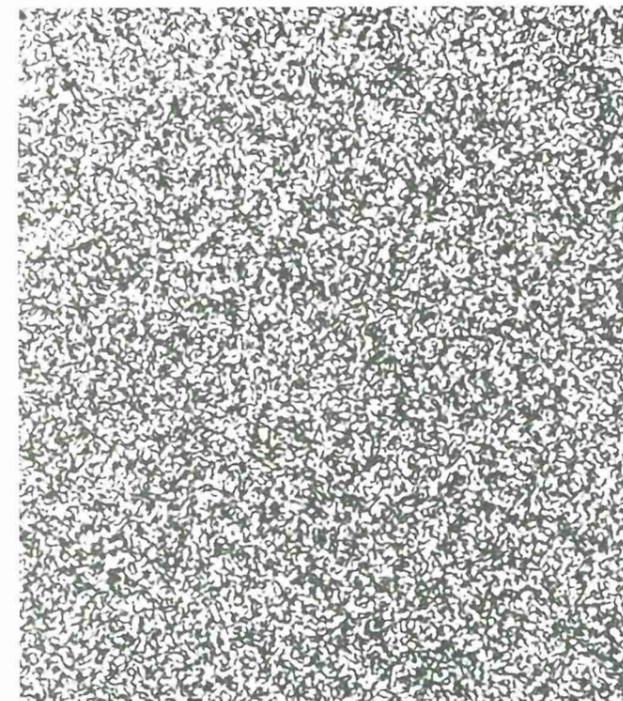
mit zufällig verteilten unterschiedlichen Phasen einen Beobachtungspunkt im Raum erreichen. So gibt es Stellen, an denen sich diese Wellen im Endresultat durch Interferenz gerade auslöschen, andere Stellen, an denen sie sich verstärken usw. Das Ergebnis ist das Granulationsmuster im Raum. Ähnlich erklärt sich das mit Granulation überzogene Bild im Auge oder der Kamera dadurch, daß auch bei der Abbildung als Folge von Beugung Licht aus einem größeren Bereich zur Überlagerung kommt. Die mittlere Größe der Körner ist

$$d \cong (1 + M) \cdot S \cdot \lambda$$

wobei S der sog. Blendenwert des Objektivs ist (beim Fotoapparat bekannt als die Folge z.B. der Zahlen 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22 usw.) und λ die Lichtwellenlänge. M ist der Abbildungsmaßstab.

Ein Foto dieses Blattes Papier, zum Beispiel, mit rotem Laserlicht der Wellenlänge $\lambda = 0.63 \mu\text{m}$ beleuchtet, im Maßstab $M=1$ abgebildet und bei Blende $S = 2.8$ aufgenommen, wird von einer winzig feinen Körnigkeit der mittleren Größe ca. $4 \mu\text{m}$ überdeckt, wie das Einsetzen in die Formel zeigt. Um solche feine Granulation auf Film aufzuzeichnen, ist sehr feinkörniger holografischer Film, der bis $0.3 \mu\text{m}$ auflöst, erforderlich.

Da die Granulation durch die Anordnung der Streuzentren auf der Oberfläche bestimmt ist, ist sie starr mit dem fotografierten Gegenstand verknüpft. Verschiebt man das streuende Blatt Papier, so findet man das sonst unveränderte Granulationsmuster an einer entsprechend anderen Stelle. Hier ergibt sich eine wichtige Meßmethode, durch die Fotografie rauher Objekte im Laserlicht (sog. Laser-Granulationsfotografie) Bewegungen dieser Objekte zu

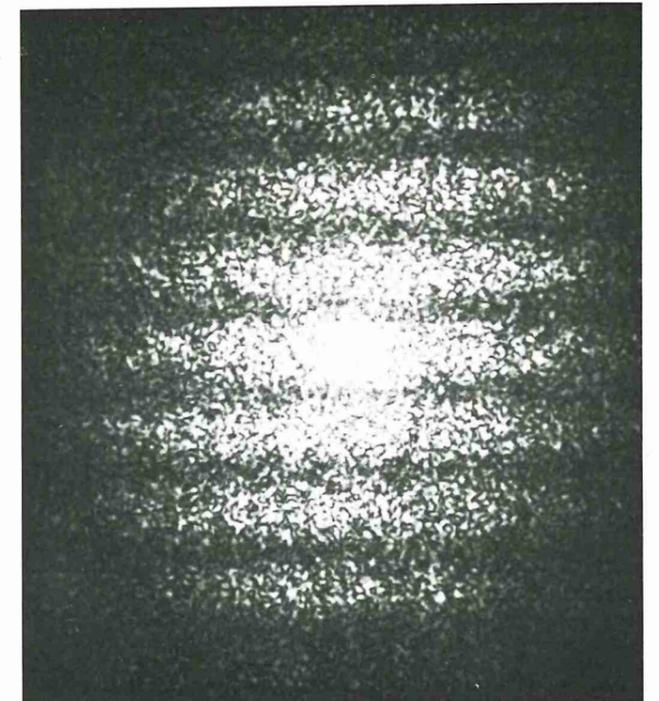


Lasergranulation. So sieht z.B. das Foto eines mit Laserlicht beleuchteten Blattes weißen Papiers aus.

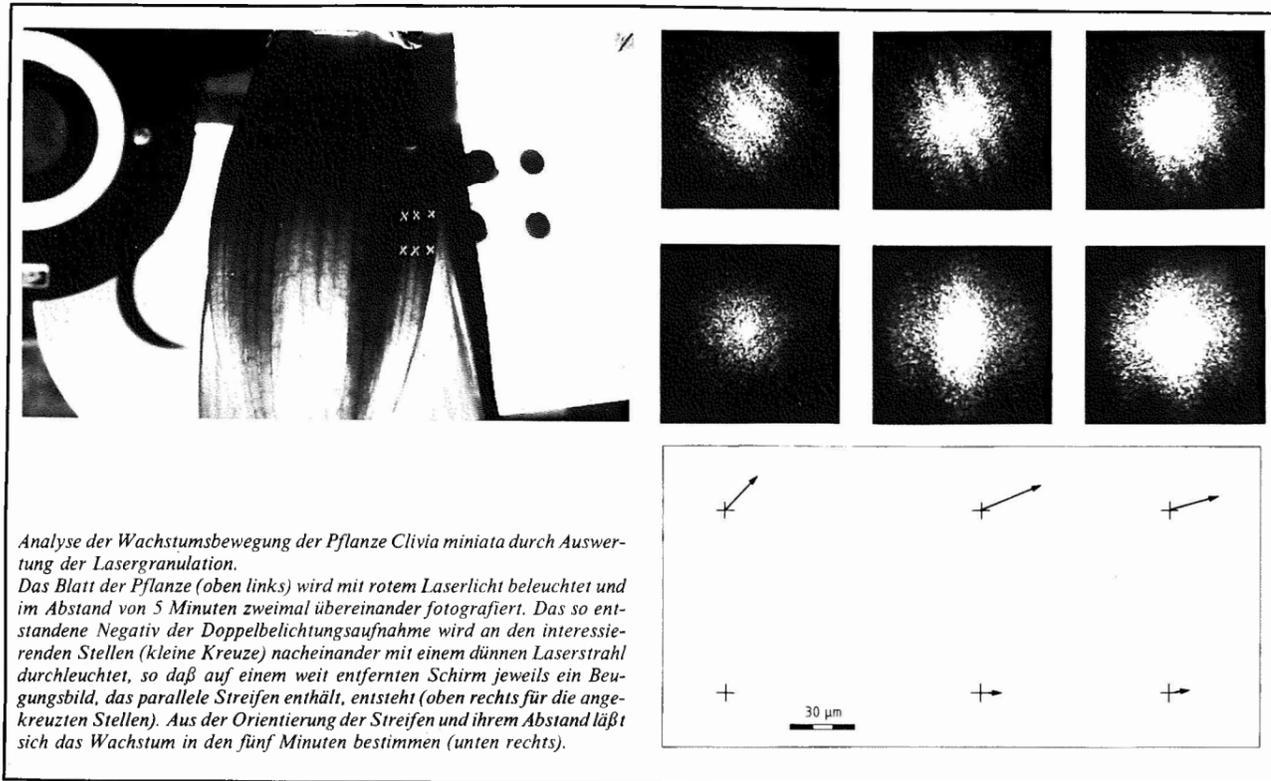
messen. Da das Granulationsmuster sehr fein ist, sind Messungen höchster Empfindlichkeit möglich.

Eine weitere bedeutende Meßmethode ergibt sich aus der Verknüpfung des Granulationsmusters mit der jeweiligen individuellen Rauigkeit der streuenden Oberfläche. Wenn sich die Oberflächenstruktur des lichtstreuenden Gegenstandes mit der Zeit ändert, sind die Streuzentren nach einer Weile alle etwas gegeneinander verschoben, was zur Folge hat, daß sich das Körnigkeitsmuster auch etwas verändert hat. Die Ähnlichkeit der Muster ist ein Maß auch für die Oberflächenveränderungen.

Diese einleitenden Erläuterungen haben gezeigt: Die im Streulicht rauher Oberflächen auftretende Lasergranulation liefert Information über Bewegungen der streuenden Objekte oder über Veränderungen der streuenden Mikrostrukturen. Für die zuerst genannte Anwendung muß die Verschiebung der Granulation bestimmt werden, im zweiten Fall muß die Ähnlichkeit von Granulationsmustern gemessen werden. Zur Lösung dieser Aufgaben an einem Muster statistisch verteilter „Körnchen“ sind spezielle Techniken zu entwickeln. Es wäre z.B. kaum möglich, auf einer Doppelbelichtungsaufnahme eines bewegten Objektes die zusammengehörenden „Körnchenpaare“ durch visuelle Inspektion zu identifizieren. Schwierig dürfte es auch sein, die „Ähnlichkeit“ von Granulationsmustern zu beurteilen. Es lassen sich aber rein optische Methoden zur erfolgreichen Lösung dieser Aufgaben einsetzen. Damit stehen Meßtechniken zur Verfügung, die jeweils Veränderungen zu messen gestatten, die im Bereich der Lichtwellenlänge λ (d.h. $\cong 1 \mu\text{m}$) liegen. An zwei Beispielen aus dem aktuellen Forschungsprogramm soll dies illustriert werden.



Beugungsbild vom Negativ einer zweifach belichteten Lasergranulationsaufnahme einer rauhen Metallfläche. Zwischen den Aufnahmen wurde das Granulationsmuster um $50 \mu\text{m}$ verschoben. Charakteristisch sind die Streifen, deren Richtung senkrecht auf der Verschiebungsrichtung steht, und deren Abstand umgekehrt proportional zum Betrag der Verschiebung ist.



Analyse der Wachstumsbewegung der Pflanze *Clivia miniata* durch Auswertung der Lasergranulation. Das Blatt der Pflanze (oben links) wird mit rotem Laserlicht beleuchtet und im Abstand von 5 Minuten zweimal übereinander fotografiert. Das so entstandene Negativ der Doppelbelichtungsaufnahme wird an den interessierenden Stellen (kleine Kreuze) nacheinander mit einem dünnen Laserstrahl durchleuchtet, so daß auf einem weit entfernten Schirm jeweils ein Beugungsbild, das parallele Streifen enthält, entsteht (oben rechts für die angekreuzten Stellen). Aus der Orientierung der Streifen und ihrem Abstand läßt sich das Wachstum in den fünf Minuten bestimmen (unten rechts).

Blattwachstum

Pflanzen sind als biologische Systeme einer großen Vielfalt von äußeren Faktoren, sog. Milieuparametern, ausgesetzt, auf die sie mit bestimmten Reaktionen antworten. Im Zusammenhang mit unnatürlichen Veränderungen des Milieus (z.B. Schwermetalle im Boden, Schwefeldioxid in der Luft) ist es von Interesse, die Antwort biologischer Systeme zu erkunden und eventuell die Reaktion als Indikator für das Milieu zu interpretieren (Bioindikation). Neben vielen anderen physikalischen oder chemischen Größen werden auch morphologische Daten als Indikator herangezogen. So ist es verständlich, daß Wachstumsprozesse markant von Umwelteinflüssen abhängen. Durch regelmäßige Fotografien von besonders empfindlichen Flechten-Transplantaten ist z.B. versucht worden, Wachstum und Luftqualität in Zusammenhang zu bringen. Durch den Einsatz der Lasergranulationsmeßtechnik sollen charakteristische strukturelle Veränderungen an der Pflanzenoberfläche, die sich in der Streulichtgranulation wiederfinden, meßbar werden. Atypisches Verhalten könnte mit Umweltparametern in Verbindung gebracht werden.

Für erste Versuche, Pflanzenwachstum so zu analysieren, wurden Doppelbelichtungs-aufnahmen von Blättern im Laserlicht gemacht. Es werden also die mit Granulation überzogenen Blattbilder zu zwei unterschiedlichen Zeiten auf dem gleichen Film übereinanderbelichtet. Bewegt sich ein Bereich auf dem Blatt aufgrund von Wachstum, so sind auch die beiden sonst identischen Granulationsmuster in diesem Bereich gegeneinander verschoben. Um diese Verschiebung aus dem Negativ zu erhalten, wird ein überraschend einfaches optisches Verfahren verwandt: Wenn der interessierende Bereich auf dem Negativ mit einem dünnen Laserstrahl durchleuchtet wird, bildet sich dahinter ein Beugungsbild,

das hauptsächlich aus parallelen Streifen besteht. Die Beugungstheorie liefert, daß die Richtung dieser Streifen senkrecht zur Verschiebung des Granulationsmusters liegt und daß ihr Abstand umgekehrt proportional zum Betrag der Verschiebung ist. Die Analyse des Beugungsbildes liefert also (bis auf das Vorzeichen) den Wert der Verschiebung. So läßt sich das gesamte Negativ des Blattes Punkt für Punkt mit dem Laserstrahl abtasten und aus den Beugungsstreifen die jeweilige örtliche Verschiebung bestimmen.

Mit einem Zeitabstand von nur wenigen Minuten läßt sich schon ein recht gutes Bild der durch Wachstum hervorgerufenen unterschiedlichen Verschiebungen eines Blattes gewinnen. Natürlich muß darauf geachtet werden, daß keine störenden Instabilitäten das Bild verfälschen. Üblich ist es, Untersuchungsobjekt und Fotoapparat schwingungs isoliert aufzustellen. Damit sind keine langen Wartezeiten mehr erforderlich, um festzustellen, daß und wie eine Pflanze wächst.

Bisher wurde davon ausgegangen, daß sich als Folge des Wachstums jeweils kleine Bereiche des Blattes als ganzes verschieben, wobei ihre Mikrostruktur unverändert bleibt. Meistens ist dies nicht der Fall, denn es finden Zellteilungen oder -streckungen statt, lichtstreuende Bestandteile der oberflächennahen Zellen bewegen sich usw.. Die für das Granulationsmuster verantwortliche „Rauigkeit“ ändert sich also und die beiden registrierten Muster sind nicht mehr identisch. Ihre Ähnlichkeit soll als Maß für die pflanzlichen Prozesse dienen, die zwischen den Zeitpunkten der Doppelbelichtung ablaufen.

Veränderungen im Granulationsmuster wirken sich bei der Lasergranulationsfotografie im Beugungsbild aus. Die ausgeprägten Streifen ergeben sich dadurch, daß auf dem Negativ zwei leicht

verschobene, aber identische Muster vorhanden sind. Liegen dagegen vollkommen verschiedene Muster vor, so werden sich überhaupt keine Streifen ausbilden. In den Fällen zwischen diesen Extrema, d.h. bei zwei Granulationsmustern unterschiedlich großer „Ähnlichkeit“, ergeben sich Streifensysteme unterschiedlich guter „Qualität“. Die Begriffe „Ähnlichkeit“ und „Qualität“, die hier verwendet wurden, lassen sich auch mathematisch exakt definieren, indem für die Granulationsmuster der Korrelationskoeffizient berechnet wird und für die Streifensysteme aus den Helligkeitswerten jeweils benachbarter Intensitätsmaxima und -minima ein Kontrastwert V bestimmt wird, der Werte zwischen $V=0$ (keine Streifen) und $V=1$ (voll ausgebildete Streifen) annimmt. Es zeigt sich, daß Korrelationskoeffizient und Kontrast proportional sind. $V=0$ entsprechen somit vollkommen verschiedene Granulationsmuster, $V=1$ identische Muster. Die Analyse des Kontrastes in Systemen von Beugungsstreifen gibt somit ein gutes Mittel, Veränderungen der streuenden Mikrostrukturen in der Zeit zwischen den Belichtungen quantitativ zu erfassen.

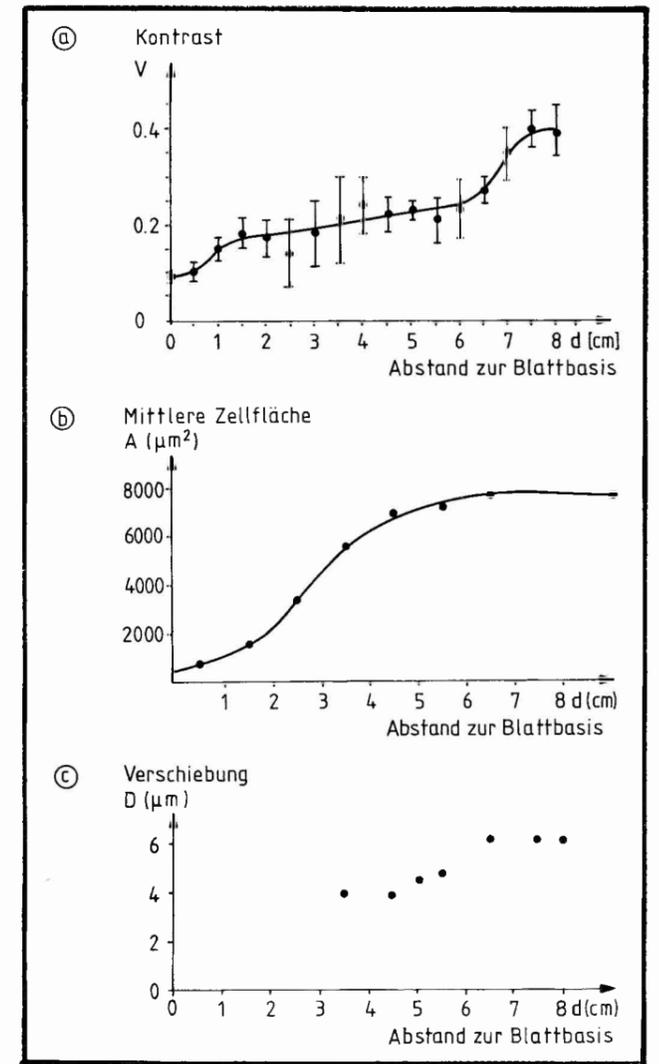
Dieser Effekt wurde systematisch für ein Blatt der *Clivia* untersucht. Am günstigsten für solche Messungen ist es, zur Entstehung von Streifen nicht auf die durch Wachstum hervorgerufene Verschiebung des Blattes zu warten, sondern zusätzlich von außen eine kleine Verschiebung (ca. $50 \mu\text{m}$) der Bilder der Pflanze zwischen den beiden Aufnahmen hervorzurufen. Oft reicht dafür schon die leichte Verkipfung eines Spiegels im optischen Aufbau, die sich mühelos in sehr kurzer Zeit durchführen läßt.

Durch die Kontrastanalyse von Doppelbelichtungs-aufnahmen des *Clivia*-Blattes im Zeitabstand von wenigen Minuten lassen sich deutlich verschiedene Blattbereiche unterscheiden: An der Blattspitze, oberhalb von ca. 8 cm Entfernung, beobachtet man konstant bleibenden relativ guten Kontrast, darunter liegt eine Zone mittlerer, nach unten leicht abnehmender Kontrastwerte und in der Nähe der Blattbasis findet man sehr niedrigen Kontrast. Also: An der Blattbasis ändern sich die streuenden Strukturen so schnell, daß schon nach 2 Minuten kaum Ähnlichkeit besteht, im Zwischenbereich ändern sie sich in dieser Zeit merklich, aber nicht vollkommen, und in der Nähe der Blattspitze bleiben sie relativ unverändert. Diese Beobachtungen lassen sich mit den jeweiligen biologischen Wachstumsprozessen wie Zellteilung, Zellstreckung oder Protoplasmaströmungen, die in unterschiedlichen Blattbereichen besonders wirksam sind, in Verbindung bringen. Experimente mit unterschiedlich polarisiertem und verschieden farbigem Licht sowie Serien in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand zwischen den Belichtungen liefern dazu weitere Aufschlüsse.

Mit den ersten Granulationsuntersuchungen an *Clivia* ist die Basis für künftige Messungen an Pflanzen gelegt, deren Verhalten von umweltbezogener Relevanz ist. Es sind z.B. Messungen an Getreidekeimlingen auf schwermetallverseuchtem Boden geplant. Innerhalb kurzer Zeit sollten sich Abweichungen vom charakteristischen Verhalten feststellen lassen.

Steinkorrosion

Viele mineralische Baustoffe, so der Krensheimer Muschelkalk am Kölner Dom, haben raue lichtstreuende Oberflächen, die sich im Laufe der Zeit und unter dem Einfluß von Umweltparametern wie Regen, Frost, Schadstoffen usw. ständig verändern. Für viele Kunstdenkmäler aus Stein ist eine beschleunigte Verwitterung der Gesteinsoberflächen festgestellt worden, manche von ihnen sind heute nur noch zu erkennen, wenn man sie mit früher gemachten Fotos oder Abgüssen vergleicht. Wissenschaftlern, die mit diesem Problem befaßt sind, stellen sich Fragen nach der Relevanz von



Wachstumsuntersuchung durch Kontrastanalyse an einem Blatt der *Clivia*
 a) Analyse des Streifenkontrastes der Beugungsbilder von Doppelbelichtungs-aufnahmen im Abstand von 2 Minuten. Je weniger sich die lichtstreuenden Blattstrukturen verändert haben, desto größer ist der Kontrast.
 b) Mittlere Zellgröße in Abhängigkeit vom Abstand von der Blattbasis (aus mikroskopischen Messungen).
 c) Örtliche Verschiebung des Blattes als Folge von Wachstum innerhalb von 5 Minuten (aus dem Streifenabstand von Laserdoppelbelichtungs-aufnahmen).

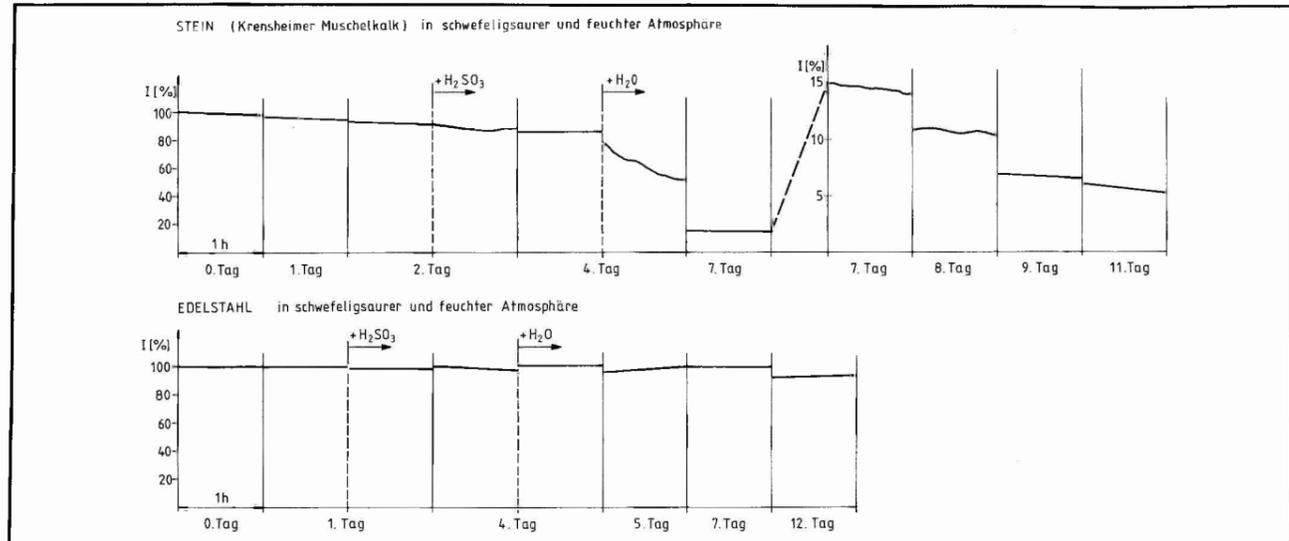
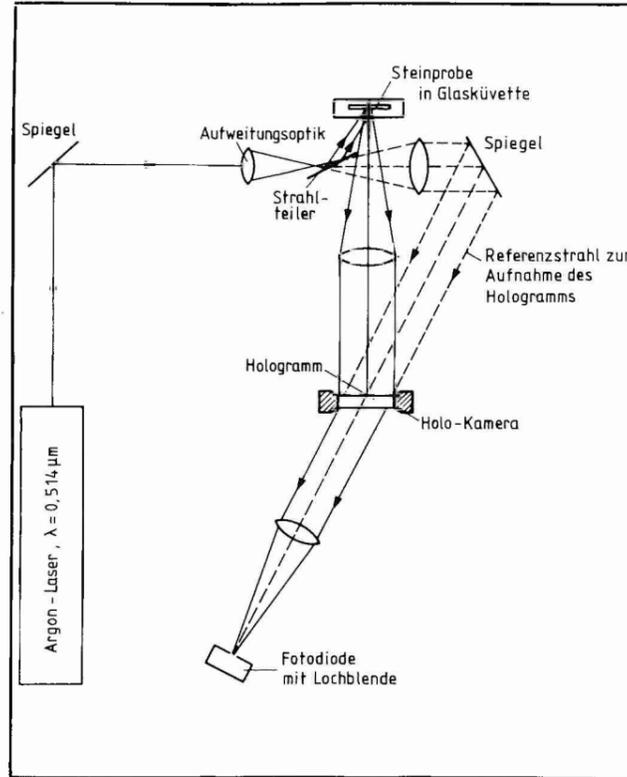
Die Kurve der Kontrastwerte ist Ausdruck gewisser durch andere Messungen bestimmter biologischer Prozesse: An der Blattbasis sind die Zellen sehr klein (Zone der Zellteilung), durch die dünne Wachsschicht werden Strömungen des pflanzlichen Protoplasmas beobachtet (schnelle Veränderungen, d.h. kleiner Kontrast). Bei mittleren Abständen nehmen die Zellgrößen nach außen zu (Zone des Wachstums durch Zellstreckung; merkliche Veränderungen, aber geringer als an der Blattbasis; mittlerer Kontrast). Im Außenbereich des Blattes sind die Zellgrößen konstant (kaum Wachstum, d.h. guter Kontrast), so daß alle Blattbereiche gleiche Verschiebung erfahren.

Umweltparametern und der Möglichkeit, Steine vor solchen Schäden zu konservieren. In allen Fällen ist ein quantitatives Maß für die durch Korrosion bedingte Steinveränderung erwünscht. Ein solches Maß könnte die Ähnlichkeit von Granulationsmustern sein, die von Gesteinsproben zu unterschiedlichen Zeiten ge-

nommen wurden. Die Meßmethoden im Laserlicht könnten zum Anzeiger des Denkmalverfalls werden.

Es wurden einige orientierende Versuche zur Einsatzmöglichkeit beim Verwittern von Steinen gemacht. Dabei wurde nicht das oben erklärte Verfahren der Kontrastanalyse benutzt, um die Ähnlichkeit der zu vergleichenden Granulationslichtfelder zu bestimmen, sondern eine Methode, die den Vorteil hat, die Änderung der Ähnlichkeit kontinuierlich verfolgen zu können. Hierzu wird ein Ausgangszustand gespeichert und dieser dann ständig mit dem Momentanzustand des Steines verglichen. Auch dafür läßt sich ein optisches Verfahren einsetzen, das den Korrelationskoeffizienten (das Maß für die Ähnlichkeit) direkt als Helligkeitswert eines kleinen Lichtpunktes liefert. Vom Ausgangszustand wird ein optisches Filter hergestellt; das ist in diesem Fall ein Hologramm. Wird dieses Hologramm mit dem Licht des Ausgangszustandes beleuchtet, so wird dieser wiedererkannt, indem das Hologramm dieses Licht auf einen kleinen hellen Punkt bündelt. Ändert sich das Lichtfeld, weil sich z.B. der beleuchtete Stein verändert, so gelangt immer weniger Licht in diesen Punkt. Eine Fotodiode hinter einer Lochblende am Ort des Punktes liefert ein Signal, das proportional zum Korrelationskoeffizienten ist. Dieses Signal, der Diodenstrom, ist das Maß für die Veränderung der Gesteinsoberfläche, das dieser „optische Korrelator“ liefert.

Wird eine Gesteinsprobe in künstlicher Atmosphäre in einer Glas-küvette im Korrelator beleuchtet, so kann z.B. der Einfluß von Feuchtigkeit oder schwefeliger Säure auf das Ähnlichkeitssignal registriert werden. Über viele Stunden oder Tage werden die Veränderungen des Gesteins messend, verfolgt. Hierbei hat sich deutlich gezeigt, daß beim Zusammenwirken von Säure und Feuchtigkeit die Steinoberfläche merklich verändert wird.



Reaktion einer Gesteinsprobe von Krensheimer Muschelkalk und einer Stahloberfläche bei Veränderung der Umweltbedingungen durch Feuchtigkeit und schwefelige Säure. Das Signal ist der im optischen Korrelator gemessene

Fotostrom, der die Ähnlichkeit der Gesteinsoberfläche zum Ausgangszustand angibt. Gezeigt sind einstündige Ausschnitte aus vieltägigen Versuchsreihen.

Messungen mit Lasergranulationsverfahren nutzen das kohärente Licht als empfindliche Sonde, deren Längenskala die sehr kleine Wellenlänge des Lichtes ist, so daß Meßzeiten gegenüber vielen anderen Verfahren stark reduziert werden. Ein Beispiel: Beim Test von Steinkonservierungsmitteln sind mit einem bisher üblichen Verfahren, bei dem der Abtrag von kleinen Steinwürfeln gewogen wird, Meßzeiten von einigen Monaten erforderlich. Granulations-

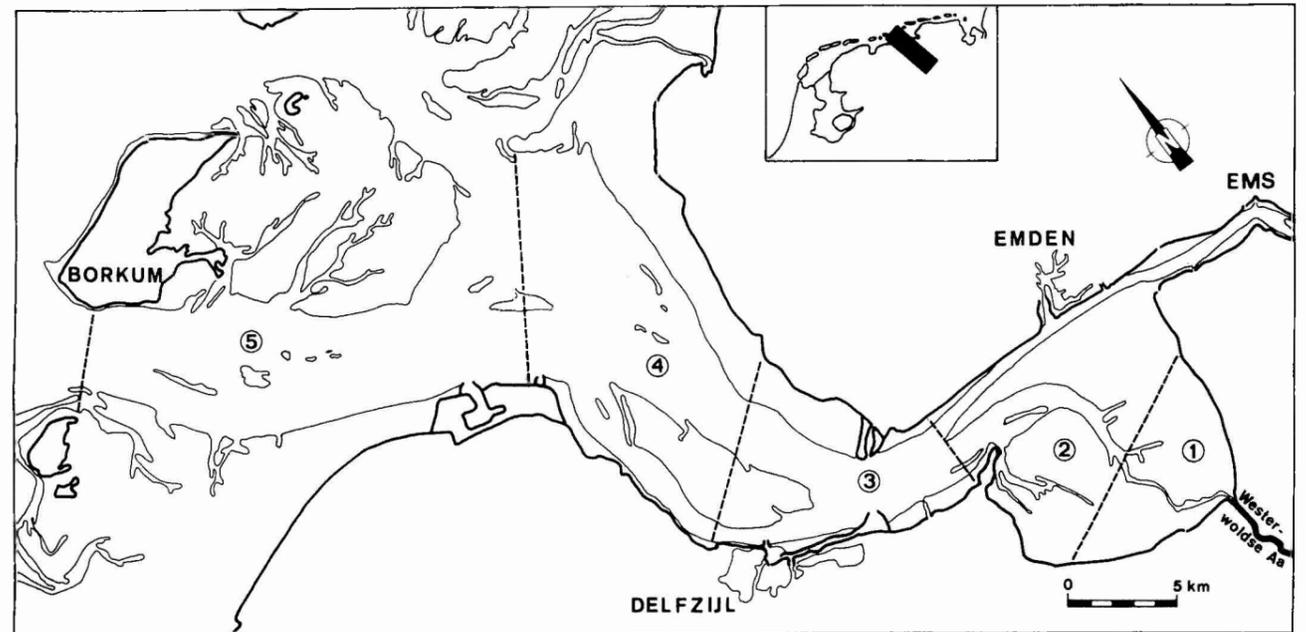
veränderungen melden, wie gezeigt, bereits nach Stunden oder Tagen Korrosionseffekte. Viele Wissenschaftler, die Meßprobleme haben, kennen wohl Analysenwaage, Schublehre oder Mikroskop, nicht aber die Lasergranulation. Das Ziel der in diesem Bericht vorgestellten Anwendungen ist es, die Stärken moderner optischer Meßtechnik in umweltrelevante Bereiche einzubringen, in denen sie bisher kaum bekannt sind.

Mathematik

Verstehbare Natur

Ein mathematisches Modell des Ems-Dollart-Ökosystems

Von Wolfgang Ebenhöh



Das Ems-Dollart-Ästuar (aus dem Report der BOEDE-Gruppe, 1983, NIOZ, Texel).

Dieser Aufsatz verfolgt das Ziel, eine Übersicht über ein komplexes mathematisches Modell eines Ökosystems zu geben und exemplarisch an einzelnen Modellteilen spezifische Schwierigkeiten darzustellen, mit denen sich der Modellierer plagt. Diese Schwierigkeiten sind auch im Zusammenhang mit den Versuchen zu sehen, mit Modellrechnungen auf neue Situationen zu extrapolieren. Das gesamte Modell ist pragmatisch auf biologische Fragestellungen zugeschnitten.

Das Ems-Dollart-Ästuar* liegt im deutsch-niederländischen Grenzgebiet. Es hat eine Länge von ca. 60 km und eine Breite von 4 bis 10 km. Die Ems ist der Hauptsüßwasserzufluß, daneben ist die Westerwoldsche Aa (WWA), die die Landgrenze zu den Niederlanden bildet, von Bedeutung. Der Übergang vom Ästuar zur Nordsee ist etwa bei der Insel Borkum anzusetzen.

Vor 10 Jahren begannen die Arbeiten der niederländischen Biologengruppe BOEDE mit dem Ziel, die Auswirkungen der organischen Abwässer von Zuckerrüben- und Kartoffel-verarbeitenden Fabriken auf den Dollart zu untersuchen. Diese Abwässer gelangen über die WWA zu bestimmten Zeiten, die man steuern kann, in den Dollart und haben beträchtliche Auswirkungen auf den Sauerstoffgehalt im Wasser und das ganze Ökosystem.

Seit 1980 werden die Ergebnisse in einem komplexen mathematischen Modell zusammengefaßt. Das Modell selbst geht jedoch

* Ästuar = die unter dem Einfluß der Gezeitenströme trichterförmig erweiterte Mündung eines Flusses

hinter so konkrete Fragestellungen, wie den Einfluß der Abwässer und des geplanten Dollart-Hafens auf das Ökosystem, zunächst einen Schritt zurück und versucht, die Funktion des Ökosystems durch modellhafte Nachbildung durchschaubar zu machen. Erst danach können die Fragen nach Reaktionen des Systems auf Eingriffe beantwortet werden. Es bedarf besonderer Untersuchungen am Modell, ehe man Vorhersagen, also Extrapolationen auf neue Situationen, trauen darf, selbst wenn das Modell den Ist-Zustand des Systems reproduziert.

Ein so komplexes realitätsnahes Modell kann nicht Produkt eines Einzelnen sein. Eine interdisziplinäre Gruppe ist erforderlich. Ein Mathematiker kann seinen Platz in einer solchen Gruppe nur finden, wenn er sich in biologische Fragestellungen einfinden kann und deren Primat vor den mathematischen Problemen akzeptiert. Er kann dann allerdings als biologischer Nichtspezialist besonders effektiv mithelfen, die Kommunikation zwischen den Spezialisten zu verbessern. Das Modell wird schließlich zur verbindenden Sprache der beteiligten Wissenschaftler. Der Mathematiker kann den Biologen neue Sichtweisen eröffnen, da er automatisch einen das Gesamtsystem überblickenden Standpunkt einnimmt.

Modellstruktur

Das Ökosystem wird nachgebildet, indem die verwobenen Stoffkreisläufe modelliert werden. Im Zentrum steht der Kreislauf des Kohlenstoffs als Grundbaustoff der organischen Materie. Dane-

ben ist noch die Betrachtung der Kreisläufe der Nutrienten Stickstoff, Phosphor und Silizium (für die Kieselalgen) erforderlich, sowie die des Sauerstoffs und des Schwefels (im anaeroben Sediment) für die organischen Energieerzeugungsprozesse. Schließlich ist noch die Bewegung von Wasser und Sediment als Transportvehikel für gelöste und partikuläre Substanzen zu modellieren.

Die Zustandsvariablen sind - entsprechend diesem Konzept - Konzentrationen organischer und anorganischer Substanzen, in denen die oben genannten Elemente in bekannten, möglicherweise veränderlichen Verhältnissen enthalten sind.

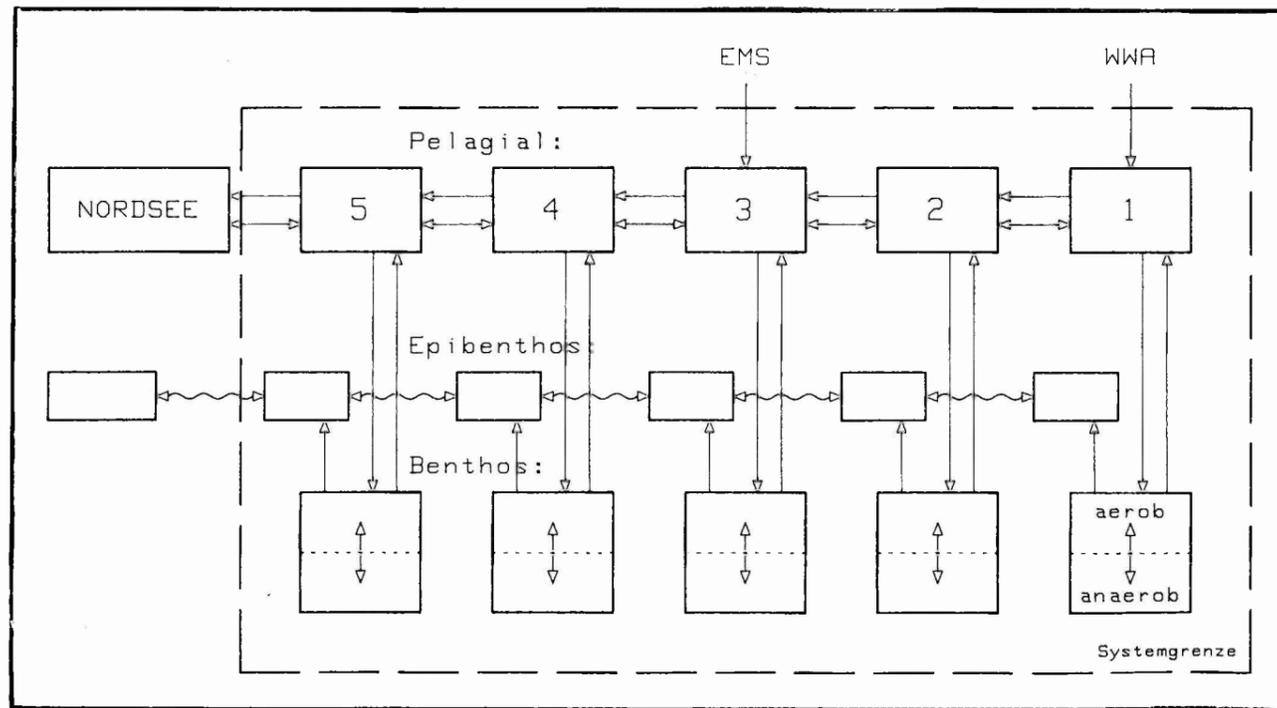
Die Stoffkreisläufe bestehen zum einen aus chemischen und biochemischen Prozessen, aus Umwandlungen zwischen den Zustandsvariablen, zum anderen aus physikalischen Transportprozessen, horizontal durch den Transport zusammen mit dem Wasser, vertikal durch Sedimentation, Resuspension und Turbulenz im Wasser und durch Mischungprozesse und Diffusion im Sediment. Silt und andere partikuläre Substanzen können durch die Gezeitenasymmetrie auch aktiv gegen den Gradienten transportiert werden.

Die physikalischen Transportvorgänge sind sehr kompliziert. Um z.B. für physikalische Modelle die Wasserbewegung durch die Gezeiten zu beschreiben, muß man partielle Differentialgleichungen, die Navier-Stokes-Gleichungen, lösen. Zehntausende von Stützpunkten und Zeitschritte in Minuten sind erforderlich. Infolge der bei Niedrigwasser trockenfallenden Gebiete (der Hälfte des Ästuars) treten bewegliche Ränder auf, und an den offenen Rändern sind die Randbedingungen unbekannt. Außerdem müssen empirische Zusatzterme erfunden werden, um Wind- und Wellenwirkung und Bodenreibung bei flachem Wasser angemessen zu beschreiben.

Das führt zu äußerst schwierigen mathematischen und mathematisch-numerischen Problemen, die aber prinzipiell lösbar sind. Wir kamen jedoch nach anfänglichen Versuchen, auf ein solches Modell die Biologie aufzupropfen, zur Einsicht, daß beim gegenwärtigen biologischen Wissensstand - und vielleicht grundsätzlich - das betrachtete ästuarine Ökosystem nicht mit großer räumlicher und zeitlicher Auflösung beschrieben werden kann.

Deshalb ist im bestehenden Ems-Dollart-Modell das Ästuar in nur 5 geographische Kompartimente eingeteilt worden, zwischen denen horizontale Transportprozesse durch die Gezeitenbewegung und den Durchfluß stattfinden. Sie werden durch am Salzgradienten kalibrierte Austauschvolumina beschrieben. Trotz aller Vereinfachungen gehören die horizontalen Transporte noch zu den kompliziertesten, auch unsichersten Teilen des Gesamtmodells.

Die 5 geographischen Kompartimente sind weiter aufgeteilt in je ein pelagisches (Wasserkörper), ein benthisches (Sediment) und ein epibenthisches Subsystem, welche jeweils durch vertikale Transportprozesse miteinander in Verbindung stehen. Das benthische Subsystem besteht wiederum aus zwei Teilen, der aeroben (sauerstoffhaltigen) Schicht und der anaeroben (sauerstofffreien) Schicht. Zwischen diesen Schichten erfolgt der Stoffaustausch durch Diffusion und Sedimentdurchmischung, für die besonders markobenthische Organismen (hauptsächlich große Würmer) verantwortlich sind (Bioturbation). Das epibenthische Subsystem besteht aus den zu aktiver Wanderung befähigten Tieren, die sich von den Produkten des benthischen Systems ernähren. Die aktive Wanderung wird modelliert, indem wir den Tieren einen Optimierungsprozeß zumuten: Ihr Verhalten wird aus dem Gradienten einer hypothetischen Komfort-Funktion abgeleitet.



Transportprozesse zwischen den Teilmodellen. Fünf räumlich getrennte Kompartimente sind je in 3 Subsysteme geteilt. Die Transportprozesse (von oben) sind Ausspülung durch Flußwasser, Mischung

durch Gezeitenbewegung, Sedimentation und Resuspension, aktive Wanderung der epibenthischen Predatoren, Diffusion und Sedimentmischung zwischen aerober und anaerober Schicht im Sediment.

Mathematisch ist das Modell ein nichtlineares Differenzgleichungssystem, wobei die Nichtlinearitäten nicht kleine Störungen, sondern groß und essentiell sind. Als biologisch adäquater Zeitschritt wurde der Tag gewählt. Abgesehen von der Rechenzeitproblematik würden kleinere Zeitschritte biologisch eine neue Ebene der Komplexität eröffnen, da sich das System tags und nachts, bei Ebbe und Flut, bei Bewölkung und Sonnenschein, ganz verschieden verhält. Ohne entsprechende Modellerweiterungen würden kleinere Zeitschritte eine höhere Genauigkeit nur vortäuschen.

Wie in jedem komplexen System stehen im Ökosystem Prozesse sehr unterschiedlicher Zeitskalen miteinander in Wechselwirkung. In diesem Fall richten wir das Augenmerk auf einen Zeitraum von wenigen Jahren. Folglich werden langsamere Vorgänge (z.B. evolutionäre) unterdrückt. Andererseits werden zu schnelle Vorgänge nicht dynamisch, sondern nur beschreibend, in ihrem über den Tag integrierten Effekt, modelliert.

Die numerische Genauigkeit ist im übrigen nie ein Problem, da die meisten Parameter mit großen Unsicherheiten und die zum Vergleich herangezogenen Meßwerte mit großen Schwankungen behaftet sind.

Die Zustandsvariablen sind die Konzentrationen von etwa 40 organischen und anorganischen Stoffen, jeweils in den 5 räumlichen Kompartimenten. Dabei wird ein Stoff mehrfach gezählt, wenn er in mehreren Subsystemen (pelagisch, epibenthisch, benthisch-aerob und benthisch-anaerob) auftritt. Es handelt sich also um etwa 200 gekoppelte, stark nichtlineare Differenzgleichungen von folgender Form:

$$\Delta Z_{i,j} = \text{Wachstumsterme} - \text{Sterbeterme} + \text{Transportterme}$$

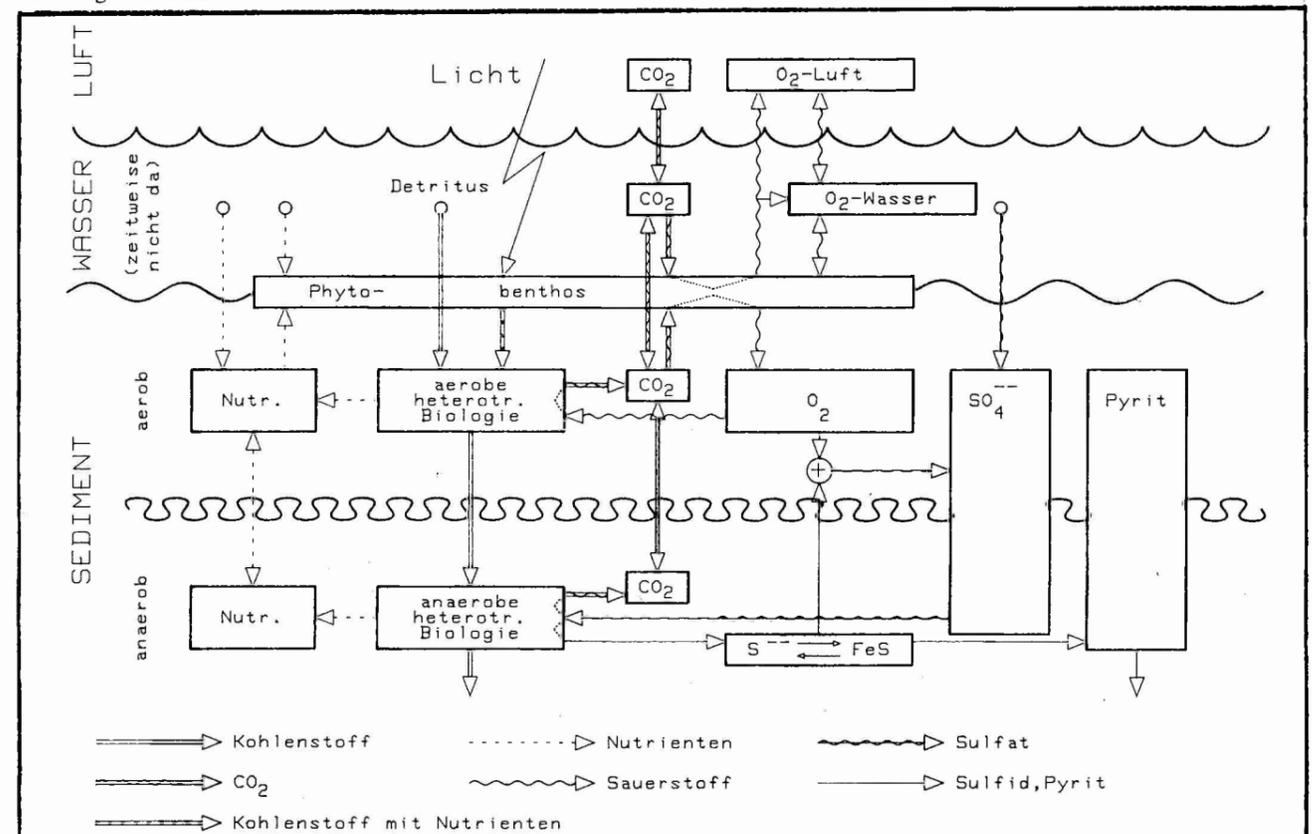
$i=1 \dots 40$ Zustandsvariablenindex
 $j=1 \dots 5$ Kompartimentindex

Hier sind die Z die Zustandsvariablen, die ΔZ die täglichen Änderungen, die übrigen Terme nichtlineare Funktionen der Zustandsvariablen und externer Konzentrationen (in der Nordsee und in den Flüssen), die als zeitabhängige Randbedingungen vorgegeben werden müssen. Außerdem ist das Gleichungssystem nicht autonom durch die Abhängigkeit von jahreszeitlich veränderlichen Größen wie Temperatur, Lichtverhältnisse, Wasserführung der Flüsse usw.. Wachstumsterme, Sterbeterme und Transportterme der verschiedenen Zustandsvariablen sind infolge der Erhaltungssätze (Kreisläufe) miteinander verknüpft.

Die Komplexität des Modells liegt nicht in der Anzahl der Zustandsvariablen, sondern besteht darin, daß jede Zustandsvariable, jeder Wachstums- und jeder Sterbeterm auf individuelle Art modelliert werden muß. Die Entscheidung darüber, welche Systemkomponenten als Zustandsvariable ausgewählt werden, welche zu Zustandsvariablen zusammengefaßt werden und welche vernachlässigt werden, wurde während der Modellierungsarbeiten mehrfach umgestoßen und dem neuen Systemverständnis angepaßt.

Stoffkreisläufe im benthischen Subsystem

Im benthischen Subsystem steht wie bei allen Subsystemen der Kohlenstoffkreislauf im Zentrum der Betrachtung. Andere ökologi-



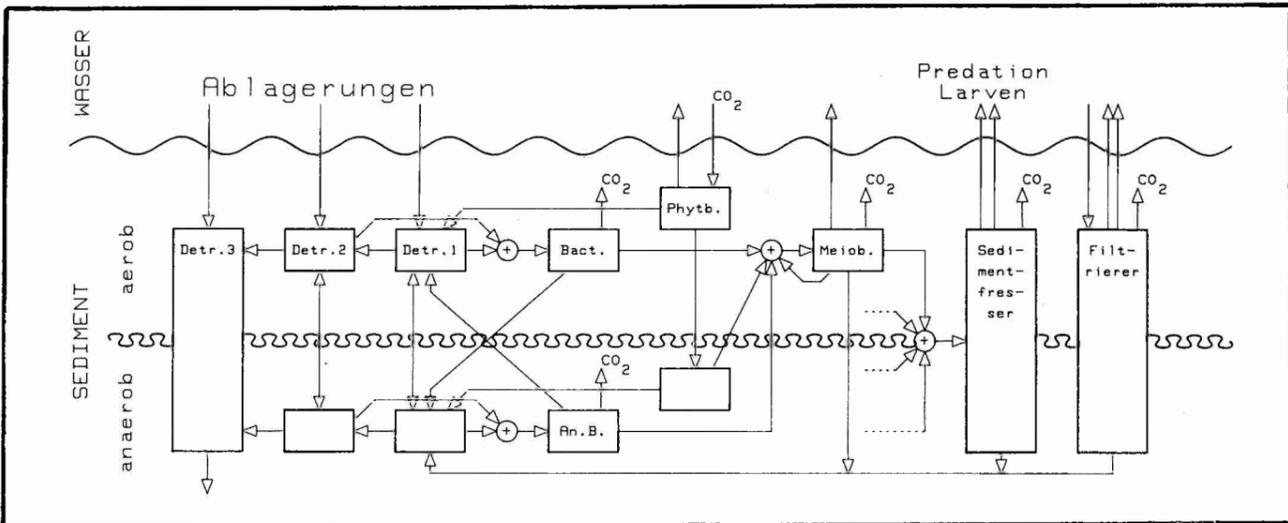
Die Kreisläufe von Kohlenstoff, Sauerstoff, Schwefel und Nutrienten im benthischen Submodell.

sche Modellierungsansätze basieren auf dem Transfer biologisch verwertbarer Energie, der etwa dem Kohlenstoff-Transfer in Form von organischem Material entspricht. Durch Assimilation wird der Kohlenstoff durch die autotrophen biologischen Komponenten (Phytobenthos) vom CO₂ in organisches Material übergeführt und im Endeffekt vom Rest des biologischen Systems, den heterotrophen Komponenten wieder mineralisiert, d.h. zu CO₂ veratmet. Der Eintrag von abgestorbenem organischen Material (Detritus), das aus dem Wasser absinkt, ist für das benthische System von gleicher Bedeutung als Kohlenstoffquelle wie die Assimilation. Detritus wird hauptsächlich von den Bakterien teils mineralisiert, teils in die weitere Nahrungskette eingebracht. Der Kohlenstoffkreislauf läßt sich im Modell weiter aufschlüsseln. Detritus tritt in 3 Komponenten auf, die ein kontinuierliches Spektrum simulieren, von leicht abbaubaren, energiereichen frischen Leichen bis zu selbst Bakterien unbekömmlichen alten Resten, die schließlich den Anfang neuer fossiler Lagerstätten bilden können. Die Nährstoffkreisläufe (N, P, Si) sind im Bild eher symbolisch aufzufassen, da alle Nährstoffe Besonderheiten haben. Für die Modellierung ist bedeutsam, daß - selbst wenn die Nährstoffe auf die Assimilation von der im System vorhandenen Menge her nicht limitierend wirken - die Diffusionsgeschwindigkeit über kleine Distanzen den entscheidenden begrenzenden Faktor darstellen kann.

Systems beitragen soll. Auch muß die Komplexität des Modells im angemessenen Verhältnis zur Menge der bekannten experimentellen Fakten stehen.

Eine Unterscheidung der sedimentfressenden Makrofauna von den bodenbewohnenden filtrierenden Organismen ist aus funktionellen Gründen geboten. Die Filtrierer stellen nämlich eine Verbindung zum pelagischen System dar, indem sie ihre Nahrung aus dem Wasser beziehen, aber im Sediment leben und sterben. Eine weitere Verbindung zum Pelagial besteht durch die planktonische Phase benthischer Larven. Schließlich wird der Überschuß der besonders im Wattenmeer reichen benthischen Produktion durch wandernde Predatoren (Vögel, Plattfische, Krabben) abgeschöpft.

Eine Besonderheit des benthischen Modells ist die verschiebbare Trennschicht zwischen aerober und anaerober Zone. Ihre Lage wird an jedem Modell-Tag neu berechnet, indem ständig der Sauerstoffverbrauch im Sediment mit dem Sauerstoff-Eintrag in das Sediment verglichen wird, den, wie auch den Austausch partikulärer Substanzen zwischen den beiden Zonen, die makrobenthischen Organismen, hauptsächlich die großen Würmer, durch ihre Aktivität entscheidend mitbestimmen. Sie erzeugen Löcher, durch die die Gezeiten Wasser pumpen, und verbringen tieferliegendes Sedi-



Der Kohlenstoffkreislauf im Sediment.

Im anaeroben Sediment wirkt Sulfid als Sauerstoffdarlehn. Deshalb muß auch der Schwefelkreislauf, der vom Sulfat des Meerwassers gespeist wird, betrachtet werden. Dort sind außerdem Nitrat-reduzierende und Methan-produzierende Bakterien wesentlich an den biologischen Prozessen beteiligt.

Der heterotrophe Teil der Nahrungskette ist grob der Größe nach gegliedert: Bakterien, Meiofauna und sedimentfressende und filtrierende Makrofauna. Diese Komplexitätsreduzierung zu wenigen Zustandsvariablen ist ein generelles Modellierungsproblem. Einerseits ist sie bedauerlich, da man sich die Chance nimmt, etwa Zusammenhänge zwischen Umweltqualität und Diversität zu modellieren, und weil man durch Verzicht auf die Diversität in Stabilitätsproblemen geraten kann, die man auf Kosten der Vorhersagekraft des Modells durch künstliche Nichtlinearitäten beheben muß. Andererseits bedeutet Aggregation nicht einfach den Verlust von Details, sondern sie kann auch zu besseren Modellen führen. Sie ist unverzichtbar, um ein Modell durchschaubar zu machen. Durchschaubar muß es sein, wenn das Modell zum Verstehen des

ment als die den Wattwanderern bekannten kunstvollen Kothäufchen an die Oberfläche.

Das Phytoplanktonwachstum im Modell

Exemplarisch aus dem pelagischen System und exemplarisch für die Behandlung eines einzigen Wachstumsterms betrachten wir das Phytoplanktonwachstum. Die benachbarten Differenzgleichungen lauten:

$$\begin{aligned} \Delta N &= \dots - \alpha(N, T, L) P + \text{Transportterme} \\ \Delta P &= \alpha(N, T, L) P - \sum_i \beta_i(P, Z, T, \dots) + \dots \\ \Delta Z &= \beta_1(P, Z, T, \dots) - \dots + \dots \end{aligned}$$

Hier stehen N, P und Z für die Zustandsvariablen Nährstoffe, Phytoplankton und herbivores Zooplankton, T und L bedeuten Temperatur und Licht, beide sind gegebene Funktionen der Zeit



Dollart bei Niedrigwasser

(des Tags im Jahr). Der Sterbeterm β , vom Phytoplankton, verursacht von Zooplankton, wo er positiv erscheint, ist ein (wichtiger) Term neben anderen, die in diesem kurzen Ausschnitt des Differenzgleichungssystems nicht weiter auftreten. Es soll nur der Wachstumsterm in P, der auch als Nährstoffverbrauch auftritt, diskutiert werden.

Für ihn wählen wir willkürlich einen Produktansatz. Eine Alternative wäre Liebig's Formel. In dieser Freiheit drückt sich unser mangelndes Wissen über den gleichzeitigen Einfluß von mehreren der wachstumsbeschränkenden Faktoren N, T und L aus:

$$\alpha(N, T, L) = \alpha_0 \alpha_N(N) \alpha_T(T) \alpha_L(L)$$

Der Wachstumsterm ist das Produkt aus einer Konstanten, die das Wachstum unter gewissen Standardbedingungen ausdrückt, und aus Funktionen, die bei diesen Standardbedingungen den Wert 1 annehmen. Die Nährstofflimitierung wird durch eine Michaelis-Menten-Formel beschrieben:

$$\alpha_N(N) = \frac{N}{N_0 + N}, \quad N_0 \text{ Michaeliskonstante}$$

Für die Temperaturabhängigkeit kann eine Exponentialformel:

$$\alpha_T(T) = Q_{10}^{(T - 12^\circ)/10^\circ}$$

mit einem Q_{10} -Wert als Parameter und der Normalbedingung 12°C oder eine kompliziertere Formel angesetzt werden.

Die Lichtabhängigkeit wird in eine Zeitabhängigkeit übergeführt, da Lichtintensität, Tageslänge und Lichtmenge/Tag - was immer wir unter L verstehen wollen - jahreszeitlich periodisch schwanken, mit einem Winterminimum und einem Sommermaximum. Also lockt ein Ansatz (t = Zeit im Jahr in Tagen):

$$\alpha_L(L(t)) = 1 - a \cos\left(\frac{2\pi}{365}(T + 10)\right)$$

Nun bleibt für den Modellierer die Arbeit, für den Parameter a einen Zahlenwert (Vermutung: zwischen 0.4 und 0.8) zu gewinnen und, falls nötig, den einfachen Ansatz zu modifizieren. Für die Abschätzung von a kann er sich auf viele Laborexperimente stützen, in denen man Meerwasserproben bei unterschiedlichen Tem-

peraturen unterschiedliche Zeiten unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen ausgesetzt und danach die Kohlenstoffaufnahme der Algen gemessen hat. Eine Reihe von biologischen Theorien und Konzepten steht zur Auswertung dieser Experimente zur Verfügung. Das einfachste Konzept ist das der „Produktivität“, die (bei festgehaltenen N- und T-Werten) nur von der Lichtintensität abhängt. Man nimmt dabei also an, daß die Produktion einer Phytoplanktonpopulation zeitlich additiv ist:

$$\text{Prod/Tag} = \int_{\text{Vol}} \int_{\text{Tag}} p(l(\tau, h)) d\tau P(x) d^3x$$

l Lichtintensität
 $p(l)$ Produktivität

Die Lichtintensität hängt infolge der Trübigkeit von der Wassertiefe h und damit vom Ort x ab:

$$l(\tau, h) = l(\tau, \text{Oberfläche}) e^{-c \cdot h}$$

c Extinktionskoeffizient

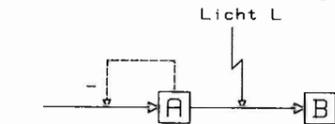
Die zeitliche Integrationsvariable läuft dabei über einen Tag. Allerdings ist aus Gründen der Klarheit hier die Gezeitenbewegung nicht berücksichtigt. Die Formel läßt sich auch stochastisch interpretieren mit $P(x)$ - entsprechend normiert - als Dichte der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Phytoplanktonpartikeln. Somit gilt sie auch im turbulenten Ästuar, in dem jene in der Wassersäule auf und ab treiben.

Diametral entgegengesetzt ist die Auffassung, daß die Produktion einer Algenzelle am Tag von der am Tag insgesamt aufgefangenen Lichtmenge abhängt. Zeitintegration und Produktionsfunktion sind vertauscht:

$$\text{Prod/Tag} = \int_{\text{Vol}} f\left(\int_{\text{Tag}} l(\tau, x) d\tau\right) P(x) d^3x$$

Eine stochastische Form dieser Gleichung ist schwieriger zu gewinnen, da die Produktivität einer Algenzelle nun von ihrer Geschichte über den ganzen Tag hinweg abhängt.

Zwischen diesen extremen Konzeptionen liegen Produktionsmodelle verschiedener Art mit dem gemeinsamen Charakteristikum, daß sie eine Hell- und eine Dunkelreaktion unterscheiden. Ein solches Modell könnte z.B. folgende Form haben:



$$\dot{A} = r(1 - A/A_0) - sAL \quad \dot{B} = sAL$$

r, s Ratenkonstanten, A_0 Konstante
 A Zwischenprodukt, B Endprodukt

Die Produktion setzt sich danach aus einem zeitlich additiven Term mit Lichtsättigung und aus einem Zusatzterm zusammen, der bei kurzen Belichtungszeiten erhöhte Produktion ermöglicht.

Die von Biologen subjektiv bevorzugte Modellvorstellung beeinflusst die Planung der Laborexperimente und ihre Interpretation. Aber bei genauer Analyse zeigt sich oft, wie auch hier, daß die Ergebnisse nicht deutlich zwischen verschiedenen Konzepten unterscheiden lassen.

Approximiert man nun die Integrale, um einen Zahlenwert für den Parameter a abzuleiten, so erhält man abhängig von der Modell-

vorstellung divergierende Resultate. In jedem Fall aber ergibt sich die Notwendigkeit, daß man die einfache Formel für den Wachstumsterm in zwei Weisen modifizieren muß: Erstens tritt im Sommer eine Art Lichtsättigung auf, zweitens macht sich der Gezeitenrhythmus bemerkbar - die Lichtverhältnisse im Wasser sind verschieden, je nachdem ob zu Mittag Hochwasser oder Niedrigwasser eintritt.

Schließlich ist ein stochastischer Zusatztermin erforderlich, um die Bewölkung und die Stürme, die die Trübheit des Wassers erhöhen, zu berücksichtigen.

Aktive Wanderung epibenthischer Arten

Im Modell vertreten einige Zustandsvariablen die aktiv wandernden Komponenten. Für sie werden Komfortfunktionen aufgestellt:

C (Nahrung, Temperatur, Salinität, O₂, Predatoren, Populationsdichte, hormonaler Zustand...)

Als Grundhypothese wird angenommen, daß die Wanderungen (und im Prinzip das gesamte Verhalten der betrachteten Art oder Artenfamilie) so erfolgt, daß der Komfort maximiert wird. Der Gradient der Komfortfunktion bestimmt die Richtung der Wanderung.

Analog zur Thermodynamik, wo die Besetzungszahlen von Energieniveaus E_i sich verhalten wie

$$n_i \sim e^{-E_i/kT}$$

berechnet man Gleichgewichtskonzentrationen:

$$K_{i,j} \sim e^{C_i/kT}, \quad i \text{ Kompartimentindex}$$

Dabei sind die C_i die Komfortwerte in den einzelnen Kompartimenten. Die Konstante G normiert den Komfort und wirkt wie eine Art Temperatur auf die Verteilung. Die aktuellen Konzentrationen K_i laufen dann dynamisch den Gleichgewichtskonzentrationen nach, wobei Geschwindigkeitsparameter beschreiben, wie schnell die Adaption an die günstigen Bedingungen erfolgt. Da über die räumliche Verteilung wandernder Arten und über die Gründe der Wanderungen und die Navigation zu wenig bekannt ist, hat dieses theoretisch schöne Konzept jedoch den praktischen Nachteil, daß sowohl die Komfortfunktionen C, als auch die Parameter geraten oder geschätzt werden müssen.

Stabilität

Es ist ein heikles Problem, ein komplexes nichtlineares System so zu konstruieren, daß es einerseits stabil ist, andererseits aber auch nicht zu unempfindlich gegen Störungen von außen wird. Das Wort „stabil“ wird hier nicht ganz im üblichen Sinne gebraucht (Absterben kleiner Störungen), sondern in einer ganzheitlicheren Interpretation: Ein System soll hier „stabil“ heißen, wenn die Systemkomponenten sich für alle Zeiten zwischen positiven Schranken bewegen, also keine Systemkomponente ausstirbt oder explodiert (Persistenz).

Pragmatisch wird man die Anforderungen schärfer stellen, nämlich daß (recht weite) mit den Beobachtungen vereinbare obere und untere Grenzwerte nicht überschritten werden. Ein in diesem Sinne stabiles Modell zeigt in den meisten Zustandsvariablen periodisches oder quasiperiodisches Verhalten, das durch den Jahresrhythmus erzwungen wird. In anderen Zustandsvariablen kann zeitweise durch starke Kopplung bedingtes chaotisches Verhalten auftreten. Nur die wenigen dynamisch langsamen Variablen übertragen die Information von einem Sommer zum nächsten.

Erste Modellversionen sind fast nie stabil in diesem Sinne. Das liegt daran, daß die biologischen Regulationsmechanismen nicht oder nicht befriedigend modelliert worden sind, teilweise sind sie gar nicht bekannt. Der Modellierer versucht dann, die natürlichen Mechanismen zu erraten und zu simulieren, indem er sein System durch Wachstumsgrenzen und andere oft recht künstliche Nichtlinearitäten stabilisiert. Dies führt einerseits zu neuen Parametern, die die Biologen meistens nicht gemessen haben, da sie recht subtiler Natur sind und eben auch gelegentlich gar keine Entsprechung in der Natur besitzen. Andererseits, da der Modellierer diese Parameter aus den Erfordernissen des Modells schätzt, verliert das Modell einen Teil seiner Vorhersagekraft. Bei Extrapolationen kann nämlich die genaue Form der Nichtlinearitäten wesentlich werden, obwohl diese für den Zweck der Stabilisierung belanglos bleibt. Zweischneidig können sich diese Nichtlinearitäten auch für die Stabilität selbst erweisen. Eine das Zooplankton stabilisierende Wachstumsgrenze wirkt z.B. destabilisierend auf das Phytoplankton.

Ein ganz wichtiger stabilisierender Mechanismus ist ein Schwellenwert der Nahrungskonzentration, unter dem keine Nahrung aufgenommen wird. Ohne ihn kann Phytoplankton im Modell nur über große Umwege stabilisiert werden. Betrachten wir dazu eine vereinfachte Form der Phytoplankton-Differenzgleichung:

$$\Delta P = \alpha P - \beta Z \quad \text{mit} \quad \alpha(N(P)) \quad \text{und} \quad \beta(P)$$

Hier sei N(P) der zur Phytoplanktondichte P gehörende Gleichgewichtswert der Nutrienten N, durch deren Reduktion bei hohen Dichten P der Wachstumsterm begrenzt wird; die Aufnahmekapazität $\beta(P)$ des Zooplankton Z pro Tag ist beschränkt. Ein stabiler Gleichgewichtswert für P tritt nur auf, wenn im Kreuzungspunkt der Graphen von αP und βZ als Funktionen von P der zweite Term steiler steigt. Dies kann nur durch eine Art Schwellenverhalten des Zooplankton bei der Nahrungsaufnahme erreicht werden: Bei niedrigen Dichten P soll $\beta(P)$ erst sehr klein sein, dann überproportional steigen. Eine physiologische Interpretation wäre, daß bei niedrigen Dichten der Energieaufwand der Nahrungsaufnahme den Gewinn übersteigt, und daß deshalb jeder vernünftige Wasserfloh lieber hungert und auf bessere Zeiten wartet. Experimente, die diese Interpretation biologisch belegen sollten, hatten kein eindeutiges Ergebnis.

Der Modellierer, der den Schwellenwert braucht und verteidigen muß, sucht deshalb nach möglichen anderen Gründen. Es könnte z.B. sein, daß der modelltechnische Schwellenwert Folge der kleinstmaßstäblichen Inhomogenität der Dichten im realen Ästuar ist, die im Modell unterdrückt wurde. Die im Modell stets begrenzte räumliche und zeitliche Auflösung erfordert in jedem Fall eine vorsichtige und durchdachte Interpretation auch scheinbar einfacher Parameter.

Ein anderer wichtiger Stabilisierungsmechanismus ist die Futterselektion der Omnivoren (Allesfresser). Neben den natürlichen Omnivoren treten im Modell durch die nötige Artenzusammenfassung künstliche Omnivoren auf, z.B. wird aus 20 - 30 nahrungsspezialisierten Nematodenarten und einigen anderen kleinen Sedimentbewohnern die Zustandsvariable „Meiobenthos“, die alles frisst (auch sich selbst - der kannibalistische Term wirkt natürlich auch stabilisierend). Im Modell wird die Nahrungselektion durch eine Potenz p beschrieben, die im Falle $p > 1$ die großen Nahrungskomponenten bevorzugt:

$$S = \left(\sum_{i=1}^n (c_i Y_i)^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

$$\Delta Y_i = \dots - (c_i Y_i / S)^p g(S) X \quad (i=1 \dots n)$$

$$\Delta X = g(S) X - \dots$$



Probenentnahme am Rand des Dollarts

Hier sind die Y die Konzentrationen der Nahrungskomponenten, die Konstanten C Präferenzfaktoren, X die Omnivorenkonzentration, S die gewichtete und mit p modifizierte Nahrungssumme und g(S) eine Sättigung beschreibende Funktion. Ohne eine solche durch $p > 1$ beschriebene Nahrungselektion sind infolge fehlender Rückkopplung kleine Nahrungskomponenten von Omnivoren neben großen zum Aussterben verurteilt. Der Modellparameter p ist jedoch nicht direkt am natürlichen System meßbar und muß vom Modellierer nach Gefühl aus den Modellerfordernissen erraten werden. Realer als die sofortige Anpassung an geänderte Nahrungsverhältnisse wäre eine verzögerte Anpassung, also ein Hysteresis-Effekt. Auch un stetiges Ändern des Verhaltens ($p = \infty$) ist möglich.

Als letzter dieser nichtlinearen Stabilisierungsmechanismen soll die aktive Wanderung der epibenthischen Systemkomponenten erwähnt werden. Diese wandern in jene räumlichen Kompartimente, in denen sie neben annehmbaren physikalischen Verhältnissen die höchste Nahrungsdichte vorfinden. Dieses Verhalten birgt jedoch auch schon den Keim neuer Instabilitäten in sich (chaotisches Verhalten bei zu starker Kopplung).

Schlußbemerkungen

Das Modell ermöglicht ein ganzheitliches Verständnis des Ökosystems, indem es die wesentlichen Komponenten des Systems und die auf sie wirkenden Regulationsmechanismen nachbildet. Es erlaubt, Hypothesen über solche Regulationsmechanismen zu testen. Unzählige Feldbeobachtungen verschiedenster Art und Laborexperimente werden konsistent zu einander in Beziehung gesetzt, nebenbei bedeutet das eine effektive Buchhaltung der Beobachtungsergebnisse. Das Modell dient als gemeinsame Sprache für die biologischen Spezialisten. Es reproduziert qualitativ den Ist-Zustand des Systems und erlaubt in begrenztem Umfang

Extrapolationen auf neue Situationen. Aber die Vorhersagekraft des Modells ist reduziert, denn trotz vieler aus Beobachtungen und Messungen abgeleiteter Parameter enthält das Modell eine Reihe von Konstanten, die der Modellierer aufgrund des Gesamtverhaltens des Systems und seines Gefühls für das reale System eher geraten als geschätzt hat. Andererseits zeigte sich aber, je mehr Züge des natürlichen Systems - wenn auch nur qualitativ - nachgebildet wurden, umso robuster wurde das Modell gegen Parametervariationen.

Eine Sensitivitätsanalyse im klassischen Sinn ist wegen der hohen Anzahl von Parametern nicht durchführbar. Jedoch kann auch eine unvollständige und unsystematische Sensitivitätsanalyse helfen, das schwächste, das heißt das empfindlichste Glied des Modells zu finden. Dieses muß dann besser modelliert werden. So werden die grundlegenden Regulationsmechanismen aufgedeckt.

Nicht nur die Simulation mit vielen Parametersätzen, sondern auch die Beurteilung des einzelnen Simulationsergebnisses ist zeitaufwendig. Eine Simulation liefert Hunderte von Diagrammen, die die Jahressgänge der verschiedenen Zustandsvariablen, der Flüsse zwischen ihnen, der Verzweungsverhältnisse usw. im Vergleich zu den Meßpunkten darstellen. Das Simulationsergebnis ist - übertrieben ausgedrückt - fast so kompliziert, wie die Natur selbst. Wir arbeiten deshalb derzeit an einer automatischen Beurteilung der Modellierungsergebnisse im Vergleich zu den Meßdaten, an einem Verfahren, das die subjektive Bewertung nachahmt. Die Methode der kleinsten Quadrate ist wegen der nur qualitativen Reproduktion der Meßwerte unbrauchbar.

Für den Modellierer besteht der Wert des Modells vor allem darin, daß er genau weiß, warum das Modell sich in gegebenen Situationen gerade so verhält. Wenn dieses Verhalten im realen System auch auftritt, bedeutet dies ein intellektuelles Vergnügen, und er darf sagen: Möglicherweise habe ich ein Stückchen Natur verstanden.

Die laute Nachbarschaft

Von August Schick

„Es kann der, wenn es dem bösen Nachbarn nicht gefällt!“

„...Meine Frau bekommt bei stundenlangen Radio- und Fernsehgeräuschen aus der unter uns liegenden Wohnung Herzbeschwerden und Lähmungserscheinungen am linken Bein.“

„...Wir haben seit August neue Mieter unter uns, ein Pärchen, zwischen 20 und 30. Trotz wiederholter Schritte und mündlicher Bitten, in dem hellhörigen Mietshaus nicht immer wieder auch nachts oder morgens die Türen laut zu schlagen, geht das so weiter. Monatelang wurde unter uns gehämmert; Autotüren werden zugeschlagen, wenn er nachts gegen 2, 4 oder 6 Uhr heimkehrt.“

(Zitate aus Briefen über Nachbarschaftslärm)

Wir werden häufig gefragt, warum sich wohl Psychologen mit Lärm beschäftigen. Die Antwort fällt nicht schwer: während die Physik die Erzeugung und Weiterleitung des Schalls zum Gegenstand hat, beschäftigt sich die Psychologie neben anderen Fächern mit der Wahrnehmung und Bewertung der Wirkung des Schalls. Wenn man mit BARKHAUSEN und LÜBCKE den Lärm als „unerwünschten Schall“ oder „unterbrochene Stille“ definiert, so wird klar, daß die Physik etwa nicht in der Lage wäre, als wissenschaftliche Physik die Erscheinungen des Unerwünschtseins zu analysieren; die Physik kennt keine Methoden, um Aussagen über die Unerwünschtheit physikalischer Ereignisse zu machen. So wird deshalb Lärm zu einem beträchtlichen Teil ein Forschungsgegenstand der Psychologie.

Eines der Forschungsthemen, denen sich das Institut zur Erforschung von Mensch-Umwelt-Beziehungen widmet, ist der Nachbarschaftslärm.

Einer Studie des Battelle - Instituts ist zu entnehmen, daß in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 2 bis 5 Millionen Menschen allein unter Wohnungslärm leiden; auch eine eigene Untersuchung, die wir derzeit für das Umweltbundesamt in Berlin durchführen, beweist, daß der private Nachbarschaftslärm für die Menschen in der Bundesrepublik den häufigsten Anlaß bietet, sich an die Beratungsstellen des Deutschen Arbeitsrings für Lärmbekämpfung zu wenden.

Wiewohl eigentlich anzunehmen wäre, daß durch die zahlreichen Verbesserungen des Schallschutzes im Hausbau die Klagen über den Nachbarschaftslärm abnehmen müßten, scheint eher das Gegenteil der Fall: von dieser Zunahme besonders betroffen scheinen die Mehrfamilienhäuser. Ob die von den Regierungen geförderten Maßnahmen zum Schallschutz an den Gebäuden zu einer Verminderung der Klagen über Nachbarschaftslärm führen, bleibt fraglich, da wenigstens teilweise damit zu rechnen ist, daß durch die Abschirmung des Außenschalls die Hörbarkeit der Geräusche innerhalb des Hauses ansteigt. Außerdem wird sich durch die Verlängerung der Freizeit sowie die neuen audio - visuellen Medien die Situation eher noch verschlimmern.

Was ist Nachbarschaftslärm?

Innerhalb einer umfangreicheren Erhebung interessierten wir uns

für folgende Fragen: Welche Geräusche hören die Nachbarn voneinander? Durch welche Geräusche fühlen sie sich gestört?

Während in der bisherigen Lärmforschung vor allem die Belastung des Menschen (des „Opfers“) im Vordergrund stand, erweitern wir unsere Fragestellung um die Sicht des Verursachers (des „Täters“). Aus diesem Grund halten wir unsere Befragten an, sich nicht nur Gedanken über ihre eigene Belastung zu machen, sondern bitten sie ebenso, sich einmal zu vergegenwärtigen, wodurch sie selbst ihre Nachbarn stören (sog. vermutetes Fremdurteil). Vermutete Fremdurteile sind zwar keine objektiven Aussagen über Verhalten, liefern jedoch jeweils bei deren Vergleich mit den Selbstbeurteilungen Hinweise, in welcher Weise jemand das Verhältnis beider Sichtweisen verarbeitet. Die Frage lautet dann: welche selbstverursachten Geräusche faßt ein Mensch als belästigend für andere auf?

Wir meinen, daß man einen Menschen vor allem als Lärmverursacher beeinflussen kann, wenn er selbst sein Tun als Lärmverursachend auffaßt.

Wir befragten 296 Bewohner ruhiger gelegener Mehrfamilienhäuser in der Stadt Oldenburg; dieselbe Befragung lief auch in der Türkei, Japan, China und in den USA.

Durch welche Lärmquellen fühlen sich die Menschen belästigt?

Unsere Diagnose lautet:

- knallende Türen
- Geräusche von Treppenhäusern und Fluren
- Heimwerkergeräte
- Mopeds und Motorräder der Nachbarn
- Autos der Nachbarn
- Trampeln und Hüpfen im oberen Stock
- Stereoanlagen
- Badezimmer und Toiletten

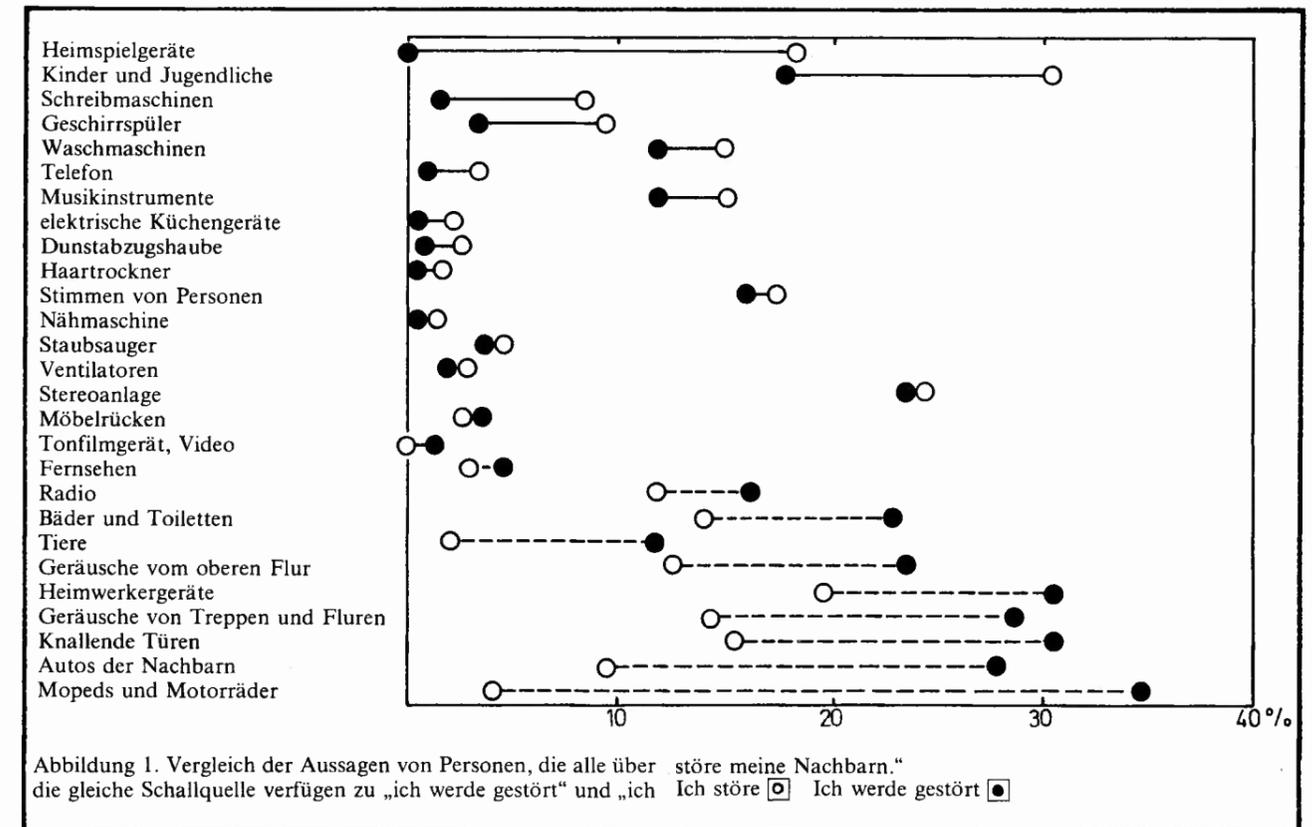
Wenn man jedoch die Anzahl der tatsächlich vorhandenen Geräuschquellen berücksichtigt, so erweisen sich die motorisierten Zweiräder, Autos, Kinder und Jugendlichen sowie die Heimwerkergeräte als besonders belästigend. Das bedeutet: wenn die Anzahl der Heimwerkergeräte weiterhin zunimmt, dann ist zu erwarten, daß dadurch eine Lärmquelle entsteht, welche erhebliche Konflikte in Mehrfamilienhäusern auslösen wird. Wider Erwarten fallen die üblichen Küchengeräte, auch der so berüchtigte Staubsauger, als nicht sonderlich störend auf.

Spannend wird nun aber unser Unternehmen, wenn man fragt, „durch welche Geräusche die Bewohner vermeintlich ihre Nachbarn stören“.

Denn so sind wir nun auch in der Lage, den Nachbarschaftslärm aus der Sicht des Opfers sowie des vermeintlichen Täters zu betrachten. Die Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse unserer Untersuchung; dabei ist zu beachten, daß in dieser Abbildung nur jene Personen Berücksichtigung gefunden haben, welche jeweils selbst

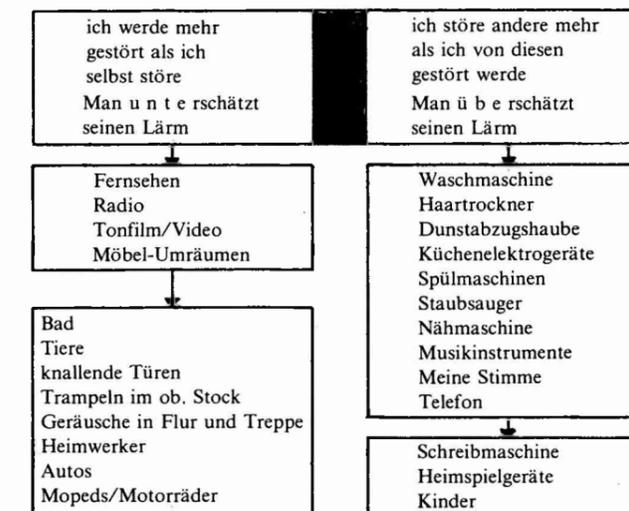
im Besitz des lärmverursachenden Gerätes sind; eine Person, die selbst kein Auto fährt, „darf“ sich nach Regeln des Alltags von Autos belästigt fühlen; besitzt jedoch jemand selbst ein Auto, so werden

wir erwarten dürfen, daß er den eigenen und fremdverursachten Autolärm nach gleichen Maßstäben beurteilt. Tut er dies tatsächlich?



Die Abbildung 1 enthält Fälle von Über- und Unterschätzung des selbst verursachten Lärms etwa folgender Art:

Danach können wir 2 verschiedene Fälle unterscheiden:



Wie soll man sich diese Ergebnisse erklären?

Es scheinen uns verschiedene Erklärungen denkbar, die sich nicht einmal gegenseitig ausschließen:

Einmal kann die Wirkung vor allem solcher Lärmquellen überschätzt werden, deren Besitz selbstverständlich und deren Betrieb lebensnotwendig und technisch kaum beeinflussbar erscheint. Außerdem erlebt man selbst beispielsweise den Betrieb von Haushaltsgeräten als sehr laut, weil man als Betreiber immer nahe an der Schallquelle steht und konkret die Beeinträchtigung erlebt; vielleicht neigt man dazu, diese Intensitätswahrnehmung auch bei anderen Personen zu vermuten. Dagegen handelt es sich bei den unterschätzten Lärmquellen vor allem um solche, die durch mehr Rücksichtnahme nicht so störend wären. Wir glauben jedoch auch hier, daß die Unterschätzung des eigenen Lärms teilweise daher kommt, daß man sich selten der Wirkung des selbstverursachten Lärms bewußt wird. Wir haben dies einmal so formuliert: unser Emissionsbewußtsein ist psychologisch diffus, unser Immissionsbewußtsein dagegen strukturiert und klar.

Beobachtung und Analyse aggressiven Kindverhaltens

Von Ulrich Mees

Eine Grundannahme dieses von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Projekts bestand darin, daß aggressives Verhalten - so wie anderes Sozialverhalten auch - zu wesentlichen Anteilen im Lauf der Sozialisation erlernt wird (also nicht bereits durch Erbanlagen festgelegt ist). Eine zweite Prämisse bestand in der Überzeugung, daß die Sozialpartner der Kinder (hier: Erzieher/in und Spielkameraden = Peers) wesentliche Einflußgrößen für den Erwerb und die Veränderung aggressiven Kindverhaltens darstellen. Sie liefern häufig den Anlaß für aggressive Reaktionen; ferner können sie durch die Art ihrer einer kindlichen Aggression nachfolgenden Verhaltensweise diese begünstigen: so etwa, wenn auf eine kindliche Aggression eine Reaktion folgt, die als „Belohnung“ für dieses aggressive Kindverhalten angesehen werden muß. All dies natürlich ungewollt und eigentlich „in bester Absicht“! Diese Überlegungen legten ein bestimmtes methodisches Vorgehen nahe: Die aufeinander bezogenen Verhaltensweisen (Interaktionen) der Sozialpartner mit dem jeweiligen Zielkind (ZK) sollten beobachtet werden: Befragungen (etwa der Kinder) werfen sprachliche Probleme auf, Befragungen der Erwachsenen über eigene Aggressionen erbringen häufig nur sozial erwünschte Antworten.

Methode/Stichprobe

In einem ersten Schritt wurde daher ein Beobachtungssystem konstruiert, das zunächst 31 Kategorien umfaßte, nach einer Revision nun aus 25 Kategorien besteht (KAZEAK: Kategoriensystem zur Erfassung aversiver Kindverhaltensweisen). Die Kategorien wurden ebenso wie die Kodierregeln in einer Handanweisung definiert und durch einen Lehrfilm verdeutlicht; die Interaktionsqualitäten von sieben dieser 25 Kategorien sind (von Psychologen und Erziehern) als potentiell „positiv“, acht als „negativ“ und zehn als „neutral“ beurteilt worden. Die acht negativen oder aversiven (potentiell unangenehmen) Kategorien enthalten solche scheinbar „harmlose“ Verhaltensweisen wie z.B. „Nicht-Einwilligen“, „Mißbilligen“ und „Ignorieren“; diese unschuldig erscheinenden Verhaltensweisen führen aber nur zu oft zu den ernsteren aggressiven Handlungen wie z.B. „Kränken“ oder „Negativer Körperkontakt“ (wie Schlagen und Treten). Die Kategorien wurden sowohl zur Erfassung des Kindverhaltens wie des Erwachsenenverhaltens angewendet. Mit diesem neu erstellten Beobachtungssystem wurden 42 5- bis 6jährige Kinder in ihren Interaktionen mit den Peers und Erziehern jeweils über einen Zeitraum von acht Stunden in Kindertagesstätten sequentiell beobachtet.

Der Begriff „sequentielle Beobachtung“ bezieht sich auf die Beschreibung (Kodierung) von Verhaltensabfolgen oder -sequenzen: In bestimmten Zeitintervallen (alle sechs Sekunden) wird sowohl das Verhalten des jeweiligen Zielkindes protokolliert als auch das darauf bezogene Verhalten des jeweiligen Interaktionspartners. Auf diese Weise entsteht ein fortlaufender, chronologischer Bericht über die Interaktionen zwischen einem bestimmten Kind und seinen Sozialpartnern. Zur Kodierung auf dem Kodierbogen erhält das Zielkind (ZK) eine bestimmte Identifizierungsnummer (eine „1“), ebenso wie die Erziehungsperson (eine „2“) sowie alle Peers

zusammen (eine „3“). Jede Kategorie wird durch zwei Buchstaben abgekürzt. Die Kodierung: .../2 IF 1 AU/2 AF 1 NE/2 MI... besagt also: Im ersten 6 sec-Intervall stellt die Erzieherin (2) eine Frage (IF), worauf das Zielkind (1) mit Aufmerksamkeit (AU) reagiert; im zweiten 6 sec-Intervall gibt die Erzieherin (2) einen Auftrag (AF), in den das Zielkind (1) nicht einwilligt (NE), worauf



die Erzieherin im dritten Intervall mit Mißbilligung (MI) reagiert. Von den 42 beobachteten Kindern sind 21 von ihren jeweiligen Erziehern als „aggressiv“ beurteilt worden, 21 als „nicht-aggressiv“. Auf diese Weise erhielten wir über 200.000 einzelne Daten über die 42 Kinder und ebenso viele über ihre Interaktionspartner. Es lassen sich so nicht nur die einzelnen Auftretenshäufigkeiten der 25 Kategorien ermitteln, sondern v. a. auch die sogenannten Übergangshäufigkeiten (also wie oft folgt einer bestimmten Kategorie der Erzieher - z.B. der Kategorie „Auftrag geben“ - eine bestimmte Kindkategorie - z.B. „Nicht-Einwilligen“?). Mit bestimmten statistischen Verfahren läßt sich prüfen, ob solche Übergangshäufigkeiten statistisch bedeutsam (signifikant) sind oder nicht.

Ergebnisse

a) Kategorienhäufigkeiten:

Etwa zehn Prozent aller Verhaltensweisen der 21 „aggressiven“ Kinder sind aversive (negative) Verhaltensweisen im Vergleich zu etwa fünf Prozent bei den 21 „nicht-aggressiven“ Kindern. Die „aggressiven“ Kinder zeigen zwar signifikant häufiger aversives Verhalten, aber *nicht* zugleich weniger „positives“ Verhalten als die „nicht-aggressiven“ Kinder.

In den Interaktionen mit den Peers treten weit mehr aversive Verhaltensweisen der „aggressiven“ Zielkinder (ZK) auf als in den Interaktionen mit den Erziehungspersonen (EZ) und zugleich sehr viel seltener „positive“ Verhaltensweisen. Umgekehrt äußern die EZ in der Interaktion mit den „aggressiven“ ZK mehr „negative“ und weniger „neutrale“ Verhaltensweisen

als in der Interaktion mit den „nicht-aggressiven“ ZK - aber nicht weniger „positives“ Verhalten.

b) Analyse der Übergangshäufigkeiten

Bei den Übergangshäufigkeiten können zwei Effekte untersucht werden: Einmal das einem ZK-Verhalten vorausgehende Sozialpartner (SP)-Verhalten als Bedingung dieses Kindverhaltens; zum anderen das einem ZK-Verhalten nachfolgende SP-Verhalten in seiner Wirkung auf späteres ZK-Verhalten. Einige Ergebnisse der Analyse des *SP-Verhaltens als vorausgehende Bedingung*:

Ein vielleicht triviales, aber dennoch sehr wichtiges Ergebnis besteht darin, daß vorausgehendes aversives Sozialpartner-Verhalten sehr signifikant zu aversiven ZK-Verhalten führt; anders gewendet: Die Auftrittswahrscheinlichkeit aversiven Kindverhaltens wird durch vorausgehendes aversives SP-Verhalten signifikant erhöht. Dies gilt v. a. für vorausgehendes aversives Peer-Verhalten.

Vorausgegangene aversive SP-Verhaltenskategorien werden bedeutsam häufig mit *denselben* aversiven Kategorien durch die ZK beantwortet. Dies gilt allerdings nur für die Interaktion zwischen Peers und Zielkindern, *nicht* für die Interaktion zwischen EZ und ZK. Unter dem Aspekt dieser Äquivalenz der Kategorien verläuft die Interaktion zwischen EZ und ZK asymmetrisch - oder anders: die Kinder verhalten sich geradezu „alttestamentarisch“, d.h. sie vergelten Gleiches mit (funktional) gleichem!

Einige Ergebnisse der Analyse des nachfolgenden SP-Verhaltens:

Bei den „aggressiven“ ZK ist - im Unterschied zu den „nicht-aggressiven“ ZK - festzustellen, daß sie häufig von ihren Peers für ihr aversives Ausgangsverhalten „belohnt“ werden, d.h. es erfolgt auf ihr aversives Verhalten häufig eine positive Reaktion der Peers (dies sind natürlich nicht diejenigen, die das Opfer der aversiven Handlung der ZK sind, sondern „beifallspendende Zuschauer“!).

Es wurde ferner eine *Eskalationshypothese* überprüft: Diese besagt, daß ein positiver Zusammenhang besteht zwischen der Länge aufeinanderfolgender aversiver Sequenzen und der Zunahme in der Auftrittswahrscheinlichkeit aversiver Kategorien bei beiden Interaktionspartnern: Je länger die aversive Auseinandersetzung zwischen zwei Interaktionspartnern bereits andauert, desto höher die Wahrscheinlichkeit, daß eine negative Verhaltenskategorie kodiert wird. Es handelt sich also um einen Prozeß der gegenseitigen „Aufschaukelung“, in dessen Verlauf es dieser Annahme zufolge zunehmend schwieriger wird, auf eine aversive Kategorie eines Partners mit einer nicht-aversiven Kategorie zu antworten. Diese Eskalationshypothese wurde für die Interaktion zwischen den ZK und ihren Peers voll bestätigt: Aversives Verhalten führt hier mit großer Wahrscheinlichkeit zu aversivem Verhalten des Sozialpartners - und diese Wahrscheinlichkeit erhöht sich um so mehr, je länger die aversive Interaktion bereits andauert! (Für die Interaktion zwischen ZK und EZ trifft diese Eskalationshypothese übrigens *nicht* zu).

Schließlich interessierte noch die sogenannte *Beendigungsreaktion (BR)*; damit ist die Qualität derjenigen Reaktion des SP gemeint, die erstmalig eine nicht-aversive Verhaltensweise der zuvor mehrfach hintereinander aversiv reagierenden ZK zur Folge hat. Diese SP-Reaktion beendet also die aversive Handlungskette der ZK. Von welcher Qualität ist diese BR (ist sie also „positiv“, „neutral“ oder „aversiv“)? Und gibt es Unterschiede zwischen den „aggressiven“ und den „nicht-aggressiven“ ZK? Hier zeigte sich:

Mit zunehmender Länge der aversiven Sequenz (in der also beide Partner - das ZK und sein SP - jeweils aversiv reagieren) wird die Beendigungsreaktion der Peers der „nicht-aggressiven“ ZK immer negativer (aversiver); demgegenüber steigt der Anteil negativer Beendigungsreaktionen bei den Peers der „aggressiven“ ZK kaum. Ähnlich sieht es in der Interaktion mit den Erziehungspersonen aus. Fortgesetztes aversives Verhalten „lohnt“ sich also für die „aggressiven“ ZK mehr als für die „nicht-aggressiven“ ZK! Umgekehrt werden die Interaktionspartner der „aggressiven“ ZK für ihre nicht-aversive Reaktion auf fortgesetztes aversives ZK-Verhalten durch den Stop der aversiven Verhaltensweise der ZK „belohnt“ - dieser Prozeß ist den Beteiligten durchaus nicht bewußt, so daß man von einer unfreiwilligen, den eigenen Absichten zuwider laufenden Belohnung aversiven ZK-Verhaltens sprechen kann.

In diesem ersten Untersuchungsabschnitt - der Mikroanalyse aversiver Interaktionen - ist also festgestellt worden, daß die einem aversiven Kindverhalten unmittelbar vorausgehenden bzw. nachfolgenden Verhaltensweisen der Sozialpartner tatsächlich einen großen Einfluß auf dieses aversive Kindverhalten ausüben!

Trainings

In einem zweiten Untersuchungsabschnitt wurde nun überprüft, ob sich durch entsprechende Trainings das Erziehverhalten ändern läßt und dann dieses geänderte Verhalten zu einer Verringerung der Auftrittshäufigkeit aversiven Kindverhaltens führt. Dazu wurden in einer Reihe von Einzelfall- und Gruppenstudien zunächst wiederum die Interaktionen zwischen den EZ und bestimmten „aggressiven“ ZK beobachtet und ausgewertet. Auf der Basis dieser Auswertungen konnten den Erziehungspersonen ganz gezielte, konkrete Hilfen angeboten werden, wie ihr eigenes Verhalten zu ändern ist, um bestimmtes aggressives Kindverhalten zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Der Erfolg dieser Trainings wurde danach wiederum durch Beobachtung der Interaktionen überprüft. Insgesamt läßt sich feststellen, daß mit diesem Vorgehen



bedeutsame Verringerungen aggressiven Kindverhaltens zu erzielen sind - und zwar nehmen nicht nur die Aggressionen der jeweiligen ZK ab, sondern auch die der übrigen Kinder in der Kindergartengruppe!

Verallgemeinerungen sind immer problematisch, dennoch sei es erlaubt, zum Schluß eine Analogie von den Interaktionen zwischen den Kindern zum Verhalten von Politikern der zwei Supermächte herzustellen: Auch dort scheint es um so schwieriger zu sein, aggressive Drohgebärden zu beenden, je länger sie bereits demonstriert worden sind - wie „unten“ (im Kindergarten) so „oben“ (bei den Politikern)!...

Mythos informelle Ökonomie

von J. Jessen/W. Siebel/Ch. Siebel-Rebell/U.-J. Walther/I. Weyrather

„Abmarsch in die Schattenwirtschaft“ war ein Leitartikel in der FAZ überschrieben, der über ein Symposium zur informellen Ökonomie berichtete. Die Überschrift drängt zu einem Schlagwort zusammen, was breiter Konsens zwischen Politikern, Publizisten und Sozialwissenschaftlern ist. Dieser Konsens kann in zwei Thesen zusammengefaßt werden:

Die These vom Wachstum der informellen Ökonomie: Die informelle Ökonomie wachse absolut und relativ. Der Anteil an der gesamtgesellschaftlichen Wertschöpfung nehme schneller zu als der der formellen Ökonomie. Der Zuwachs speise sich im wesentlichen aus Zuflüssen aus dem Markt- und Staatssektor. Ursache seien veränderte Kostenrelationen und Prioritäten. Wegen der Last der Steuern und Abgaben, der Vielzahl staatlicher Regulierungen, aber auch der „Kostenkrankheit“ der sozialen Dienste würde informelle Arbeit zur billigeren Alternative. Wegen des Markt- und Staatsvergens gegenüber zunehmend differenzierteren Bedürfnissen, aber auch aufgrund des Wertwandels in den Arbeitsorientierungen würde informelle Arbeit zudem zur besseren Alternative.

Die These vom eigenständigen Potential der informellen Ökonomie: Die informelle Ökonomie sei ein eigenständiger Wirtschaftsreich, der in Konkurrenz, subsidiär oder als politische Alternative zum formellen Bereich diesem Aktivitäten entziehe.

Beide Thesen haben in den letzten Jahren in den verschiedensten Varianten Eingang in sozialwissenschaftliche wie politische Diskussionen gefunden. Das Thema informelle Ökonomie hat in der ökonomischen Krise Konjunktur. Es wird in einer Vielzahl von Fragestellungen und Erkenntnisinteressen aufgegriffen:

- Aus der Perspektive des *Fiskus und der Sozialversicherungsträger* interessiert die „Untergrundwirtschaft“ als unterirdische Lagerstätte hinterzogener Steuern und Abgaben. Ähnlich bei Handwerkskammern und bestimmten Branchen (Bau- und KFZ-Gewerbe), die die informelle Ökonomie als Konkurrenz fürchten: informelle Ökonomie als illegale Untergrundwirtschaft.
- Aus *sozialpolitischer Perspektive* interessiert informelle Ökonomie als eine leistungsfähige Ressource, mit deren Hilfe arbeitsmarkt- und sozialpolitische Probleme bewältigt werden können. Durch Mobilisierung sozialer Netze und Selbsthilfe sollen sozialpolitische Ziele besser oder billiger realisiert werden.
- Aus der *Perspektive der Globalsteuerung* interessiert informelle Ökonomie als Beitrag zum nationalen Wohlstand, der im Bruttosozialprodukt nicht erfaßt wird.
- Aus *neoliberaler Perspektive* interessiert „...die Untergrundwirtschaft (als) ...ein Sicherheitsventil, das den Schaden staatlicher Mißwirtschaft reduziert - vor allem in den sozialistischen Wohlfahrtsstaaten Westeuropas und in den kommunistischen Ländern“. Vor der Last der Regulierungen, Steuern und Abgaben zieht sich der Homo Oeconomicus zurück in die 'Untergrundwirtschaft'.
- Schließlich interessiert informelle Ökonomie aus *grün/alternativer Perspektive* als andere Form des Lebens und Arbeitens: informelle Ökonomie als alternative Ökonomie.

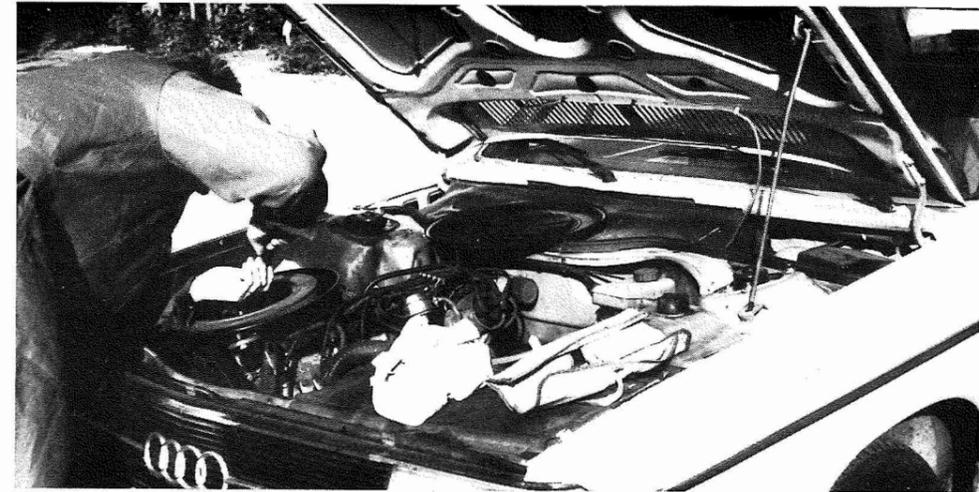
Die Kategorie der informellen Ökonomie ist in einer makroanalytischen Betrachtungsweise verankert, nach der das gesellschaftliche Arbeitsvermögen in drei Sektoren organisiert ist: Markt, Staat und informelle Ökonomie. Dieses Modell ist in doppelter Hinsicht fruchtbar: Erstens verweist es auf die Beschränktheit eines Arbeitsbegriffes, der gebunden ist an eine historisch besondere Form, nämlich die organisierte Lohnarbeit. Zweitens deutet sich im Thema „Informelle Ökonomie“ eine andere Auffassung von der Richtung des Vergesellschaftungsprozesses an. Wir sind es gewohnt, sozialen Wandel als Ausweitung formell organisierter Produktion zu denken: immer mehr Markt (und Staat), immer weniger Oikos.

„A myth, I might point out, is not a lie. It is something almost everyone wants to believe. In believing it he sometimes embraces a cold figure too warmly“ (de Grazia)

Die These vom relativen Wachstum der informellen Ökonomie stellt dieses Denkmodell infrage, indem sie die Aufmerksamkeit auf gegenläufige Trends einer Rückverlagerung von Produktionen in den informellen Sektor lenkt und damit einen Umbruch im Vergesellschaftungsprozeß behauptet. Das bisherige Modell der Entwicklung kapitalistischer Industriegesellschaften, wonach immer größere Bereiche marktförmig organisiert bzw. Gegenstand und Bezugspunkt staatlicher Politik werden, verlöre damit an Gültigkeit.

Die These vom relativen Wachstum der informellen Ökonomie

Für ökonomisch relevante Aktivitäten außerhalb der formellen Wirtschaft kursiert eine Fülle von Bezeichnungen: Schattenwirtschaft, informelle Ökonomie, paralleler, autonomer, dritter Sektor, Ausweichwirtschaft... Bisher hat sich kein einheitlicher Begriffsapparat herausgebildet. Unter unterschiedlichen Etiketten können gleiche Sachverhalte gefaßt werden, hinter gleichen Etiketten sich unterschiedliche Gegenstände verbergen. Entsprechend schwingt bei vielen Autoren ein begriffliches Unbehagen an einem Vorgehen mit, das so verschiedene Aktivitäten wie Freiwillige Feuerwehr, Drogenhandel, selbstorganisierte Kinderläden, Schwarzarbeit am Bau und häusliches Kuchenbacken unter einen definitiven Hut zwingen muß. Doch trotz aller Bemühungen um komplexe Definitionen bleibt informelle Ökonomie eine Residualkategorie, die jedem erlaubt, sie entsprechend seinen Erkenntnisinteressen und besonderen Fragestellungen mit anderen Inhalten zu füllen. In ihrer Summe werden die Arbeiten nur, und wiederum mit Ausnahmen, durch die Negativdefinition zusammengehalten, daß „informelle Ökonomie“ alle produktiven Tätigkeiten umfaßt, „die nicht zum Unternehmenssektor und zum Staatssektor gehören und damit weitgehend unerfaßt sind“.



Fast jeder zweite Haushalt in der Bundesrepublik macht Reparaturen am Auto selbst. Arbeit nach Feierabend - wirtschaftsschädigende Schwarzarbeit, Freizeitbeschäftigung oder ökonomisch notwendige Eigenleistung?

Informelle Ökonomie ist ein begriffliches Passepartout, in das sonst unvereinbare wissenschaftliche und politische Positionen ihre Definitionen und Interessen einfügen. Es liegt nahe, den Sinn einer solchen Sammelsuriumskategorie in ihrem ideologischen Ertrag zu suchen. Die Neoliberalen können darin die Alternative zum Sozialstaat sehen, Selbsthilfe und Schwarzarbeit sind ihnen eine Abstimmung mit den Füßen gegen den alles kontrollierenden und umverteilenden Wohlfahrtsstaat. Die Grünen erkennen darin die Alternative zur kapitalistisch organisierten Gesellschaft. Ganz sicher wächst die politische Aufmerksamkeit, die die informelle Ökonomie auf sich zieht. Und diese politische Aktualität lebt von der These des relativen Wachstums der informellen Ökonomie. Allerdings wäre Ideologieverdacht erst dann gerechtfertigt, wenn das politische Interesse die empirischen und theoretischen Argumentationen prägte.

Messungen des Wachstums der informellen Ökonomie

In den vergangenen Jahren ist in fast allen Ländern versucht worden, Schattenwirtschaft zu messen. Die verschiedenen Ansätze sind inzwischen ausführlich diskutiert und dokumentiert. Der größte Teil dieser Meßversuche bezieht sich jedoch allein auf den illegalen bzw. geldvermittelten Teil der Schattenwirtschaft - die 'Untergrundwirtschaft' - und läßt etwa die Selbstversorgungsaktivitäten der Haushalte außer acht.

Die meisten Meßversuche kommen zu dem Ergebnis, daß die Untergrundwirtschaft einen beträchtlichen Teil des gesellschaftlich produzierten Reichtums ausmache und im Wachsen begriffen sei. Die Ergebnisse schwanken jedoch je nach Ansatz außerordentlich.

Nur selten wird versucht, den Umfang der Selbstversorgungsaktivitäten von Haushalten zu messen. Bislang kommen die Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß die Selbstversorgungsaktivitäten von Haushalten quantitativ der dominierende Bestandteil der informellen Ökonomie sind. Nach einer Untersuchung von Schettkat (1982) macht die Haushaltsökonomie über ein Drittel des Bruttosozialprodukts aus. Zählt man die Wertschöpfung, die in freiwilliger Selbsthilfe erbracht wird, als dritten Bereich in einer weitgefaßten Definition zur informellen Ökonomie hinzu, so kommt man in der Bundesrepublik zu Schätzungen zwischen einem Drittel und der Hälfte des Bruttosozialprodukts.

Der Umfang der informellen Ökonomie ist also beträchtlich, auch dann, wenn man die enormen Meßprobleme in Rechnung stellt. Doch die bloße Tatsache der Existenz einer nicht erfaßten Wertschöpfung ist für sich genommen für die aktuelle politische Diskussion weniger interessant. Sie kann die Verkürzungen sozialwissenschaftlicher Begriffe wie Arbeit, Freizeit, Konsum und Produktion deutlich machen und das schöne Gefühl vermitteln, viel reicher zu sein, als man gedacht hat, mehr aber auch nicht. Das Thema bezieht seine politische Brisanz erst aus der Annahme, daß „die Schattenwirtschaft im Vergleich zur offiziellen Wirtschaft ein relativ kräftiges Wachstum aufweist“. Erst diese Tatsache inspiriert die neoliberale Kritik an der Staatsintervention, die grün-alternativen Hoffnungen auf einen Ausweg aus der kapitalistischen Industriegesellschaft und die Kritik an den Defiziten keynesianischer Wohlfahrtspolitik. Kurz: Erst relatives Wachstum der informellen Ökonomie im Vergleich zur formellen indiziert einen Umbruch im Vergesellschaftungsprozeß.

Dieses relative Wachstum zu belegen ist aber gerade die entscheidende Schwierigkeit. Wenn Untersuchungen über den Umfang der Untergrundwirtschaft - zum selben Zeitpunkt im selben Land - bereits Schwankungen um das 7-fache aufweisen (für die BRD 1970 zwischen drei und 22 Prozent des Bruttosozialprodukts; vgl. Schrage 1984, 32), so ist schwer vorstellbar, wie reale Veränderungen von Meßfehlern überhaupt unterschieden werden können. Würden alle Messungen ein Wachstum im Zeitablauf ausweisen, bliebe immerhin nur die Höhe der Wachstumsraten zweifelhaft. Es gibt aber auch Untersuchungen, die im Gegensatz zur überwiegenden Zahl der Messungen einen rapiden Rückgang belegen.

Noch undeutlicher werden die Ergebnisse, wenn man die Haushaltsproduktion einbezieht. Ein Teil dieser Wertschöpfung wird in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung erfaßt. Von 1950 bis 1980 ist dieser statistisch gemessene Bereich der Wertschöpfung privater Haushalte deutlich zurückgegangen von 0,9 auf 0,1 Prozent des Bruttosozialprodukts. Die Annahme eines Wachstums der Haushaltsproduktion müßte also auf der Annahme besonders intensiven Wachstums in den nicht erfaßten Aktivitäten beruhen. Nach Schettkat ist eben das aber nicht der Fall: „Alle Schätzungen zeigen eine Abnahme der Relation der Haushaltsproduktion zum Bruttosozialprodukt“. „Eine Umkehrung der Strukturverschiebung zurück in die Haushalte ist also zumindest nach den hier vorliegenden Schätzungen nicht feststellbar. Die These, daß die

informelle schneller als die formelle Ökonomie wächst, kann zumindest für den Bereich der Haushaltsökonomie nicht bestätigt werden". Wenn aber die Haushaltsproduktion der mit weitem Abstand größte Bestandteil der informellen Ökonomie ist, und wenn dieser gewichtigste Teilbereich schrumpft, dann könnte dies selbst durch sehr hohe Wachstumsraten in den übrigen Bereichen kaum zu einem insgesamt positiven Saldo für den Gesamtsektor der informellen Ökonomie ausgeglichen werden.

Die enorme Streubreite der Meßergebnisse wird meist auf die großen Meßprobleme zurückgeführt. Die im engeren Sinn methodischen Einwände treffen jedoch nicht den Kern der Problematik: Denn ob in Zeit- (Timebuget) oder Geldquanten (monetäre und andere indirekte Methoden) gemessen wird, jede quantitative Messung setzt eine gültige und meßfähige Definition des Gegenstands voraus. Hier offenbart sich dann das Dilemma der informellen Ökonomie, die als Residualkategorie keine Basis für Messungen abgeben kann.

Fast alle sozialwissenschaftlichen Versuche, informelle Ökonomie zu definieren, ziehen nur eine Grenzlinie „nach oben“ zur formellen Ökonomie, bleiben aber „nach unten“ offen. Die Trennungslinie zwischen den produktiven Aktivitäten der Selbstversorgung und den übrigen Lebensäußerungen von Haushalten bzw. ihren Mitgliedern wird gar nicht erst thematisiert.

Daß dies unterbleibt (mit Ausnahme der wenigen Studien, die den Umfang der Haushaltsproduktion messen wollen), ist kein Wunder. Eben das, was die Diskussion über informelle Ökonomie fruchtbar erscheinen läßt - der Blick über das im politisch-administrativen und im ökonomischen System institutionalisierte gesellschaftliche Arbeitsvermögen hinaus - hat zur „Entdeckung“ eines Reichs der Arbeit geführt, dessen Realität unabweisbar ist, das sich aber zugleich den Kategorien einer quantifizierenden Wissenschaft entzieht. Denn welche Aktivitäten aus dem Universum menschlicher Lebensäußerungen außerhalb staatlicher Organisationen und privater Betriebe sind einer informellen Ökonomie zuzurechnen? Mit dieser Frage ist ein altes theoretisches Problem angesprochen, das vom Beginn der politischen Ökonomie an bis zur Diskussion über den Wohlfahrtsbegriff und soziale Indikatoren ungelöst geblieben ist, nämlich das Problem der Unterscheidung zwischen Konsumtion und Produktion, zwischen produktiver und unproduktiver Arbeit.

Die Schwierigkeiten, die dabei entstehen, kann man sich leicht vergegenwärtigen am Beispiel des bei Messungen der Haushaltsproduktion am häufigsten verwandten Trennkriteriums, dem sog. „Drittpersonenkriterium“: „Es besagt, daß Aktivitäten im Haushaltsbereich nur dann als produktiv angesehen werden, wenn sie normalerweise auch von einer dritten Person erbracht werden könnten“. Versucht man den Begriff „normalerweise“ zu operationalisieren, so läuft das Kriterium darauf hinaus, außerhalb von Markt und Staat all jene Handlungen als produktive Arbeit zu definieren, für die Äquivalente im Bereich der marktförmig und der staatlich produzierten Güter und Dienstleistungen existieren, also für die (Schatten-)Preise oder Opportunitätskosten berechenbar sind. Informelle Ökonomie wird damit als parallele Produktion zum Markt- und Staatssektor definiert. Je entfalter eine Gesellschaft, desto nichtssagender wird das, denn je weiter sich Markt- und Staatssektor ausdifferenzieren, desto weiter und desto differenzierter wird auch der Bereich der nicht-markt- oder staatsförmig organisierten Produktionen. Anders gesagt: Das Kriterium, wonach all jene Tätigkeiten einer Konsumtionseinheit als produktiv gelten, für die sich ein Äquivalent in der marktförmig resp. politisch-administrativ organisierten Welt der Güter- und Dienstleistungsproduktion findet, tendiert in unserer Gesellschaft

dazu, das gesamte Alltagshandeln im Haushalt zur (informellen) Ökonomie zu erklären. Beinahe alles, auch die Befriedigung der intimsten Bedürfnisregungen, ist mittlerweile käuflich. Auch für die affektive Zuwendung und die Zärtlichkeit des Ehepartners lassen sich auf dem Psychomarkt und in den verschiedenen Formen der Prostitution warenförmige Substitute finden. „Festzuhalten bleibt, daß es kein theoretisches Kriterium gibt, anhand dessen befriedigend zwischen Konsum und Produktion differenziert werden kann“.

Fazit: Eine positive und theoretisch stichhaltige Abgrenzung von informeller Ökonomie gegenüber den nichtökonomischen Bereichen alltäglichen Handelns ist unmöglich. Eine konventionelle Definition als Basis für Messungen - analog der Konvention über den Inhalt der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung - gibt es nicht. Damit werden aber die Berechnungen der Dynamik der informellen Ökonomie im Kern tautologisch: Die informelle Ökonomie wächst, stagniert oder schrumpft, je nachdem, was man vorher definitorisch hineingesteckt hat. Und dafür, was man hineinstecken darf, fehlen die systematischen Kriterien.

Theoretische Begründungen des Wachstums der informellen Ökonomie

Die theoretischen Begründungen lassen sich in fünf Hypothesen zusammenfassen:

- (1) „Wertwandelhypothese“ (Joerges), wonach informelle Arbeit als humane Alternative zur Erwerbstätigkeit attraktiv wird. Die Mitte der Identität von Individuen verlagere sich in den außerbetrieblichen Lebensbereich. Gretschmann/Heinze (1982, 140) erwähnen die Wiederaufwertung von arbeitsmarktexternen Rollen, wodurch „sozioökonomische Aktivitäten in die quasi private Sphäre“ verlagert würden, was „eine (Wieder-)Belebung der informellen Ökonomie“ zur Folge habe. Als Beispiel dienen die Alternativbetriebe und die „neuen Selbständigen“ (Vonderach 1980).
- (2) Die Hypothese vom „Markt- und Staatsversagen“ (Matzner). Zentralisierung, Bürokratisierung, Massenproduktion und fehlende Partizipation hätten zu wachsenden qualitativen Diskrepanzen zwischen Angebot und Nachfrage geführt; das veranlasse die Haushalte, in Selbsthilfe und Eigenarbeit ihre Bedürfnisse zu befriedigen. Beispiele dafür sind die wachsende Zahl selbstorganisierter Kindergärten.
- (3) „Rationalitätshypothese“ (Joerges), wonach informelle Arbeit die billigere und effizientere Befriedigung von Bedürfnissen erlaube. Steigende Preise insbesondere für Dienstleistungen und steigende Belastung des Lebenseinkommens durch Steuern und Abgaben würden den Kauf von Gütern und Dienstleistungen erschweren. Billigere, kleinere und einfacher zu handhabende Werkzeugmaschinen zusammen mit (besserer) Ausbildung würden es gestatten, die Qualität und Produktivität von Do-It-Yourself (DIY) zu erhöhen. Beides lege nahe, Konsumgüter und Dienstleistungen unter Einsatz von „Haushaltsinvestitionsgütern“ und eigenem Arbeitsvermögen selbst zu produzieren. Als Beispiele hierfür dienen die Expansion des DIY und die Rückverlagerung einiger Versorgungsfunktionen in die Haushalte (etwa das Wäschewaschen dank privater Waschmaschinen).
- (4) „Ausbeutungshypothese“ (Joerges). Ihr zufolge wächst informelle Arbeit durch Auslagerung unrentabler Bereiche der Güter- und Dienstleistungsproduktion (Endfertigung, Selbstbedienung) und Überwälzen von Risiken (Lagerhaltung) aus

der formellen Ökonomie in die Haushalte. Beispiele sind IKEA und manche Formen von Selbstbausätzen.

- (5) *Krisenhypothese*. Aufgrund von krisenbedingten Steuerausfällen würden staatliche Leistungen verteuert, eingeschränkt oder abgeschafft. Im Zuge einer Dualisierung des Arbeitsmarktes würden niedrig qualifizierte, konfliktschwache Gruppen an den unsicheren, schlechtbezahlten Rand des Arbeitsmarktes oder ganz aus ihm herausgedrängt. Weniger Sozialleistungen, niedrigere, unstete Löhne und längere lohnarbeitslose Zeiten veranlaßten „verhinderte Arbeitnehmer“ dazu, „informelle Formen der Arbeit... zu suchen“ (Heinze/Olk 1982, 6). Als Beispiele dienen Schwarzarbeit und Gelegenheitsverdienste von Arbeitslosen.

Die beiden ersten Hypothesen zeigen einen Wandel der subjektiven Prioritäten an, in dessen Folge Aktivitäten in die informelle Ökonomie verlagert werden. Die restlichen drei beschreiben einen Wandel der objektiven Bedingungen, der in einer Kombination von Zwang und neueröffneten Chancen die Individuen in die informelle Ökonomie drängt. Jede einzelne der Hypothesen ist für sich genommen hoch plausibel. Aber addieren sie sich zu einem Wachstum der informellen Ökonomie? Zwei Einwände sind zu machen:

- (a) Die Aussagen zur Verlagerung von produktiven Aktivitäten werden nicht genügend differenziert nach sozialen Gruppen, die solche Aktivitäten ausüben, und nach den objektiven Bedingungen, unter denen sie ausgeübt werden können.
- (b) Die Verlagerungen zwischen formellem und informellem Sektor werden nicht vollständig bilanziert. Gegenbewegungen, also Verlagerungen von früher informell verrichteten Tätigkeiten in den formellen Sektor, werden meist ausgeblendet.

Zu (a) *Fehlende Differenzierung nach sozialen Gruppen und objektiven Bedingungen*:

Neben sozialen und demographischen Merkmalen spielen branchen- und arbeitsmarktspezifische Differenzierungen sowie die *Lebensbedingungen außerhalb der Erwerbsarbeit* eine wichtige Rolle.

Informelle Produktion setzt soziale und stoffliche Ressourcen voraus, die nicht überall und nicht für alle gleichermaßen verfügbar sind. Der Anbau von Lebensmitteln z.B. benötigt Gartenfläche, die Herstellung von Gebrauchsgütern Platz, z.B. eine Werkstatt. Es ist einsichtig, daß diese Voraussetzungen in städtischen Agglomerationen weniger verfügbar sind als auf dem Lande. Zwischen Stadt und Land lassen sich denn auch große Unterschiede in Art und Umfang informeller Arbeit feststellen.

Objektive materielle und soziale Bedingungen bestimmen nicht nur, wo und von wem und mit welchen ökonomischen Effekten, sondern vor allem, was informell produziert werden kann. *Technische Standards, economies of scale, Unteilbarkeiten des Produktionsprozesses* entziehen die meisten Güter und Dienstleistungen, die in einer modernen Wirtschaft produziert werden, ohnehin jeglicher Konkurrenz durch informelle Produzenten (Skolka 1984, 11; Dallago 1984, 21). Auch die exorbitantesten Steigerungen des Benzinspreises beispielsweise werden kaum eine informelle Benzinsproduktion anregen können.

Betriebsgröße, Entwicklung der Produktivkräfte und außerbetriebliche Lebensbedingungen grenzen also die Substituierbarkeit formeller durch informelle Produktion auf einen engen Bereich ein. Die Spielräume für ein Ausweichen des Homo Oeconomicus in die informelle Ökonomie sind geringer, als es die neoliberalen Warnungen vor der steigenden Last von Regelungen, Steuern und

Sozialabgaben glauben machen. Die Untergrundwirtschaft ist auf bestimmte Branchen, vornehmlich Baugewerbe, Textilfertigung, Kraftfahrzeugreparaturen, Handwerk und Kleinhandel, sowie eine - gemessen am Spektrum der formellen Ökonomie - enge Palette von Aktivitäten innerhalb dieser Produktionsbereiche eingengt (Skolka 1984).

Fazit: Die verschiedenen Faktoren, die für die Ausweitung der informellen Ökonomie sprechen sollen, wirken in verschiedene Richtungen, je nach allgemeiner ökonomischer Situation, Schichtzugehörigkeit, außerbetrieblichen Lebensbedingungen und dem Stand der Produktivkräfte in verschiedenen Tätigkeitsbereichen. Das heißt, je nachdem, welcher Ausschnitt produktiver Tätigkeit untersucht wird, und je nach Rahmenbedingungen ist ein Schrumpfen, Wachsen oder Stagnation festzustellen.

Zu (b) *Fehlende Bilanzierung*:

Industrialisierung, Urbanisierung, Funktionsverlust der Familie, Ausbau öffentlicher Infrastruktur sind klassische Stichworte, die auf die Ausweitung von Markt und Staat zu Lasten der informellen Ökonomie hindeuten. Sie bleiben in der Diskussion über informelle Ökonomie weitgehend unbeachtet. Eine Bilanzierung wird fast nirgends versucht. Ebenso selten ist die Suche nach Argumenten, die für den Rückgang der informellen Ökonomie sprechen. Hier ist Pahl (1984) einer der wenigen, der den einlinigen Wachstumsbehauptungen unter Hinweis auf Gegentendenzen widerspricht:

- Rückgang der Selbständigen. Weil diese die besten Chancen zur Steuerhinterziehung haben, schrumpft mit der Verringerung ihrer Zahl auch das Volumen dieses Bereiches der Untergrundwirtschaft;
- Verstärkte polizeiliche, steuerliche und nachbarliche Überwachung;
- Zunahme der Arbeitslosigkeit, was geringere Chancen bedeutet, den Betrieb als Basis für informelle Ökonomie zu nutzen.

Zwar beziehen sich Pahls Argumente vor allem auf die Entwicklung der Untergrundwirtschaft, also auf den illegalen Teil der informellen Ökonomie in der Krise, sie sind aber teilweise auch für die legale Haushaltsproduktion übertragbar.

- Steigende Marktpreise legen es gerade bei Arbeitslosigkeit den Haushalten nahe, Güter und Dienstleistungen nicht zu kaufen, sondern unter Einsatz von Haushaltskapitalgütern selbst zu produzieren. Zugleich nimmt aber die Arbeitslosigkeit ihnen das Geld für Anschaffungen und Betrieb solcher Haushaltskapitalgüter. Dies steht im Widerspruch zur häufig vertretenen Argumentation, daß „eine Zunahme informeller Tätigkeiten“ aus der „Strukturkrise des Arbeitsmarktes“ direkt abzuleiten sei.
- Große Haushalte mit mehreren arbeitsfähigen Mitgliedern betreiben sehr viel mehr informelle Ökonomie als kleine Haushalte. Die massive Zunahme der Ein- und Zwei-Personen-Haushalte in der BRD müßte also ein Schrumpfen der Haushaltsproduktion zur Folge haben.
- Rückgang der in der Landwirtschaft und Industrie Beschäftigten und Zunahme der Büroberufe bedeuten, daß immer weniger Berufstätige Zugang zu den für stoffliche Produktion nutzbaren Qualifikationen und Produktionseinrichtungen haben.

Die Reihe solcher Argumente ließe sich ebenso verlängern, wie sich zu Tiefkühltruhe, Schlagbohrer und Wäschetrockner, mit denen ein Zurück in die informelle Ökonomie gern illustriert wird, Gegenbeispiele aufzählen lassen: Tiefkühlkost, „fast food“, Psychomarkt.

Entscheidend aber ist, daß ohne solche Bilanzierungen, die zentrale Behauptung, „daß per Saldo Aktivitäten von der offiziellen Wirtschaft in die Schattenwirtschaft verlagert werden“ (Langfeldt 1983, 75) nicht haltbar ist.

Die These vom eigenständigen Potential der informellen Ökonomie

Bisher haben wir uns mit den Schwierigkeiten auseinandergesetzt, ein Wachsen, Schrumpfen oder Stagnieren der informellen Ökonomie zu belegen. Die empirische und theoretische Beweisführung kann solange nicht überzeugen, wie zuverlässige und gültige Indikatoren und Meßmethoden fehlen und eine allgemein akzeptierte Konvention über den Gegenstand nicht hergestellt ist.

Es stellt sich aber die Frage, ob die Fixierung der Diskussion auf die Veränderungen von Quantitäten und auf *Verschiebungen* zwischen Sektoren gesellschaftlicher Arbeit - im Sinne von „Auslagerung aus dem Markt- und Staatssektor“, „Rückverlagerung in die informelle Ökonomie“ überhaupt dem Gegenstand gerecht wird. Um es schlagwortartig vorwegzunehmen: Wir halten die Frage nach dem quantitativen Wachstum des informellen 'Sektors' im Vergleich zum formellen für falsch gestellt; wir halten sie auch für kaum beantwortbar. Was sich abzeichnet, ist eher ein *Qualitätswandel* in Richtung auf Marktintegration der informellen Arbeit. Die Schwierigkeiten, einen 'Sektor' informeller Ökonomie definitorisch abzugrenzen und seine Veränderungen quantitativ zu messen, liegen eben darin, daß das Modell getrennter Sektoren seine Gültigkeit mehr und mehr verliert. Die aus dem Marktsektor abwandernden Produktionen treten mit ihrer „Rückkehr“ in die private Haushaltsproduktion nicht wieder in den Stand der Jungfräulichkeit vor dem Sündenfall kapitalistisch organisierter Industrialisierung. Es handelt sich keineswegs um die bloß spiegelbildliche Umkehr des Qualitätswandels, der mit der realen Subsumtion verbunden war, sondern um eine neue Qualität marktmittelter oder politisch-administrativ vermittelter Produktionen.

Will man die unbestreitbar hohe Attraktivität der informellen Ökonomie als Fokus für die Analyse sozialen Wandels nutzen, so ist diesen qualitativen Veränderungen nachzugehen. Was hier behauptet wird, soll mit zwei zugespitzten Thesen verdeutlicht werden:

- Die Verflechtung von Markt-, Staats- und informellem Sektor wird immer enger. Damit verändert sich der informelle Sektor zu einem zunehmend integrierten, nicht von anderen Sektoren getrennt betrachtbaren Bereich gesellschaftlicher Produktion.
- Die informelle Ökonomie ist nicht Alternative, sondern Komplement zur formellen Ökonomie.

Nicht Wachstum, sondern Verflechtung

Die formelle Lohnarbeit ist in einem langen historischen Prozeß der Arbeitsteilung entstanden, in dessen Verlauf sich Freizeit und informelle Arbeit als Residuen herausgebildet haben. Die arbeitsfreien Poren der Ruhe, der nicht instrumentell gerichteten Handlungen wurden aus den beruflich organisierten Arbeitsprozessen herausgepreßt und am Ende des Arbeitstages als (lohn-)arbeitsfreie Zeit konzentriert. Umgekehrt wurden die profitabel organisierten Tätigkeiten aus dem Alltagshandeln herausgelöst und als berufliche Arbeit institutionalisiert. Solche Segregationsprozesse vollziehen sich nicht ohne Folgen für die Qualität der Handlungen. Das beginnt bei der geschlechtsspezifischen Arbeitsteilung, die einen Teil der Produktion als unbezahlte Hausarbeit der Frau

überläßt, und endet bei der Gleichsetzung von Arbeit mit Lohnarbeit. Von Anfang an ist informelle Arbeit das Pendant zur formellen. Solange sich die kapitalistische Produktionsweise noch nicht durchgesetzt hatte, solange es noch Inseln einer vorkapitalistischen Produktion und Distribution gab, ließ sich noch von 'Sektoren' sprechen. Heute zeichnet sich eine immer enger werdende Verflechtung zwischen Markt, Staat und informeller Ökonomie ab, die die Differenzierung nach Sektoren obsolet macht.

Genau auf diesen Qualitätswandel in den Beziehungen zwischen den Sektoren und den sich daraus ergebenden strukturellen Veränderungen für die informelle Arbeit verweist explizit oder implizit jede einzelne der oben genannten fünf Hypothesen, die ein Wachstum des informellen Sektors behaupteten.

Die zunehmend auf den außerbetrieblichen Bereich gerichteten Orientierungen, die nach der *Wertwandelhypothese* sich auch in produktiven Tätigkeiten in der alternativen Ökonomie ausdrücken, haben häufig ihre materielle Grundlage in - wie auch immer bescheiden bemessenen - staatlichen Transferzahlungen.

Besonders deutlich, da gewollt, ist die Verflechtung zwischen formellem und informellem Sektor bei der *Ausbeutungshypothese*; sie konstatiert die wachsende Indienstnahme der Arbeitskraft von Konsumenten durch Unternehmen mit dem Ziel, die Kosten durch Ausweitung der „informellen“ Selbstbau- und Selbstbedienungskultur zu senken.

Auch die *Krisenhypothese* wäre unterschätzt, würde man sie als reine Wachstumsthese auffassen. Unterschätzt würde die Funktion der Selbsthilfeorganisationen und der informellen Arbeit, die technischen, aber vor allem die moralischen Qualifikationen der Arbeitskraft wachzuhalten für den Fall, daß der formelle Arbeitsmarkt sie doch noch einmal anfordern sollte. Soweit die informelle Ökonomie in diesem Sinn als Durchgangsstation dient, ist sie funktional verflochten mit der formellen.

Schließlich beinhaltet die Selbstversorgung mit Gütern und Dienstleistungen aufgrund von *Markt- und Staatsversagen* in der Regel mehr als bloße Substitution. Nur wenige selbstorganisierte Infrastruktureinrichtungen müssen auf staatliche Unterstützung in jeder Form verzichten, und wenn, so ist die Forderung nach Förderung fast immer Teil ihrer politischen Ziele.

Die wachsende Verflechtung zwischen den Sektoren läßt sich am Beispiel der *Rationalitätshypothese* besonders plastisch machen, nach der eine wachsende Zahl von Haushalten auf dem Markt angebotene Leistungen selbst herstellt, um Geld zu sparen. Daraus ergeben sich komplexe und durchaus nicht einlinig gerichtete Konsequenzen:

- hinsichtlich der Gegenstände informeller Arbeit: Die Entwicklung neuer, leicht handhabbarer und billiger Werkzeuge, Maschinen und Materialien hat neue Betätigungsfelder für immer größere Bevölkerungskreise eröffnet und vorhandene erweitert. Andererseits hat die relative Verbilligung von Konsumgütern (Kleidung, Nahrungsmittel) sowie der Ausbau der technischen Infrastruktur (Energieversorgung, Wasserversorgung) einstmals wichtige Tätigkeiten der informellen Arbeit erleichtert oder überflüssig werden lassen bzw. die Arbeit von der Herstellung eines Produkts auf bloße Instandhaltung reduziert. Schließlich verringern technische Komplizierungen, black boxes, eingebauter, nicht reparierbarer Verschleiß die Chancen, Geräte zu warten und zu reparieren.
- Hinsichtlich der Arbeitsprozesse in der informellen Arbeit: Die genannten Faktoren haben die Arbeitsprozesse, die geforderten Qualifikationen und den sozialen Kontext verändert. Einerseits werden die Bedienungen von Apparaten und Maschinen sowie

die Handhabbarkeit von Materialien erleichtert. Andererseits setzt die Differenzierung und Komplizierung der Geräte (Auto, Personal-Computer) aufwendigere und sich verändernde Qualifikationen voraus. Tradierte Wissensbestände werden zunehmend entwertet, und die Qualifikation zur informellen Arbeit wird zunehmend selbst Gegenstand von Marktstrategien (Do-it-yourself-Kurse, Hobby-Zeitschriften usw.). Es entstehen neue haushaltsbezogene Dienstleistungen im Informations-, Wartungs- und Versicherungsbereich (Kundendienste, Verbraucherberatung usw.). Diese formelle Vermittlung informeller Arbeit verändert auch deren soziale Qualität: Märchenkassetten ersetzen die Oma, das Gartenhandbuch den Ratschlag des Nachbarn, der Kundendienst die aushelfende Hand des Kollegen. An die Stelle persönlicher, kommunikativer Verhaltensweisen treten stoffliche Produkte („Verstofflichung persönlicher face-to-face-Tätigkeiten“, Ostner/Willms 1983, 219).

- Hinsichtlich der Marktchancen formeller Produzenten: Auch Veränderungen innerhalb des formellen Sektors sind nicht zu übersehen; sie ergeben sich aus der Tatsache, daß die Bestände an Sachkapital in den Haushalten 'Investitionen' darstellen, die teilweise an die eines industriellen Arbeitsplatzes heranreichen. Was den Wäschereien an Aufträgen entgeht, wächst also nicht allein den Haushalten wieder zu, sondern zunächst auch den Produzenten von Waschmaschinen und Wäschetrocknern; analog verhält es sich mit dem Bauhandwerk im Verhältnis zum Heimwerkermarkt. Es ist hier eher von Verschiebungen innerhalb der neu entstandenen Konkurrenz zwischen einer Koalition aus Großindustrie und privaten Haushalten einerseits und

kleinen Handwerksbetrieben andererseits, denn von einer Verlagerung aus dem formellen in den informellen Sektor zu reden.

Um die Dominanz des Qualitätswandels gegenüber den quantitativen Verschiebungen auch zwischen Staat und Familie an einem plastischen Beispiel deutlich zu machen: Wurden vor 100 Jahren psychisch Kranke auf dem Lande in der Rolle des Dorftrottelers geduldet, später hinter hohen Mauern in psychiatrischen Großkliniken kaserniert und heute in einer Kooperation zwischen Tages- oder Nachtambulanz, Sozialarbeitern und privaten Familien betreut, so ist mit der bloßen Charakterisierung der Verschiebungen von Arbeitsprozessen zwischen Staat und Familie für die Beschreibung der Veränderungen in der Betreuung psychisch Kranker wenig Erkenntnisgewinn verbunden. Entscheidend ist, daß im Zuge dieser Veränderungen die sozialen Netze, die privaten Haushalte und die staatlichen Betreuungsinstitutionen sowie das professionelle Personal sämtlich ihre Rollen geändert haben, und zwar in Richtung auf engere Verflechtung.

Nicht Alternative, sondern Komplement

Die informelle Ökonomie verdankt ihre Aktualität nicht nur ihrer Eignung als analytischer Fokus, sondern vor allem der Tatsache, daß man in ihr eine *programmatische Alternative* heranwachsen sieht. Für liberale Ökonomen ist die Schattenwirtschaft die flexible Antwort des Marktes auf zu viel Dirigismus und zugleich eine eigenständige, stets verfügbare Ressource, mit der sich auch ein

MEMMERT kompetent in Sachen Temperatur

Wärmeschränke, Brutschränke, Bäder, Sterilisatoren

Memmert GmbH, Postfach 1520, D-8540 Schwabach

Rückzug des Staates aus seinen bisherigen sozialpolitischen Verpflichtungen begründen läßt. Für Politiker der Grünen und ihnen nahestehende Sozialwissenschaftler ist die informelle Ökonomie dagegen nicht nur Ausweis postmaterialistischen Wertwandels oder Folgeerscheinung der ökonomischen Krise, sondern auch ein im Schoße des Kapitalismus heranwachsendes Potential alternativer „Ausstiegsformen“, die auf grundlegende Umstrukturierungen der gesellschaftlichen Produktion, wie sie etwa in Konzepten der Dualwirtschaft, in den Vorstellungen von kleinen Netzen, Dezentralisierungen usw. sichtbar werden, hoffen lassen.

Diese weitreichenden Annahmen über das Potential informeller Ökonomie beruhen, wie beschrieben, auf perspektivischen Verlängerungen von Trends, die an Randphänomenen, nämlich der Alternativökonomie einerseits und der Untergrundwirtschaft andererseits, beobachtet wurden. Betrachtet man aber das Gesamt der informellen Arbeit, das sowohl Selbstversorgungsaktivitäten, freiwillige Arbeit für Dritte und Schwarzarbeit umfaßt, so wird deutlich, daß informelle Arbeit funktional angewiesen ist auf formelle Arbeit. Zu diesem Ergebnis kommt sowohl eine britische Studie (Pahl 1984) als auch unsere Untersuchung über Versorgungsstrategien von Werftarbeitern: Umfang, Art und Qualität informeller Arbeit privater Haushalte ist abhängig von ihrer Integration in das formelle Beschäftigungssystem. Informelle Ökonomie ist demnach keine Alternative zur formellen, sondern deren Komplement.

Die empirische Untersuchung von Pahl zeigt, daß Arbeitslosigkeit die Haushalte von Aktivitäten in der Untergrundwirtschaft weitgehend ausschließt, sowohl als erfolgreiche Anbieter wie als zahlungsfähige Nachfrager:

- Arbeitslosigkeit betrifft vor allem Gruppen, deren Arbeitskraft weniger nachgefragt wird (Frauen, Unqualifizierte, Ältere, Behinderte). Wenig spricht dafür, daß die Arbeitskraft dieser schwachen Gruppen auf dem informellen Arbeitsmarkt mehr Chancen hätte.
- Bei sinkendem Realeinkommen verdrängt Do-it-yourself nicht nur legale, sondern auch illegale Marktproduktion.
- Bei Arbeitslosigkeit fallen Haushalte als Nachfrager für Schwarzarbeit aus. Soweit Unternehmer Schwarzarbeiter einsetzen, kann der Effekt schwer abgeschätzt werden: einerseits Rückgang entsprechend dem Rückgang der allgemeinen Auftragslage, andererseits Umschichtung von formeller Beschäftigung zu befristeter Arbeit und zu Schwarzarbeit als flexibleren Formen der Beschäftigung.

Das heißt: auch für die Rolle der außerbetrieblichen Arbeit in der Versorgung des Haushaltes ist ihre materielle und soziale Angewiesenheit auf die betrieblich organisierte Lohnarbeit entscheidend. Dieser Zusammenhang zwischen informeller und formeller Arbeit wird in erster Linie durch die schlichte Tatsache konstituiert, daß auch informelle Arbeit Ressourcen benötigt: materielle (Raum, Werkzeug, Maschinen, Material), soziale (soziale Netze und Verbindungen), technische und moralische Qualifikationen (Fertigkeiten, Arbeitsdisziplin).

Für Industriearbeiter sind diese Ressourcen unter gegebenen gesellschaftlichen Bedingungen zum großen Teil gebunden an den Arbeitsplatz in der formellen Ökonomie. Das Lohneinkommen erlaubt, Produktionsmittel für höherwertige informelle Arbeiten zu erwerben; die berufliche Qualifikation ist häufig auch in außerbetrieblicher Arbeit zu verwenden; das soziale Netz der Betriebsbelegschaft ist den nachbarlichen und verwandtschaftlichen Netzen an Qualifikation und Information meist überlegen; schließlich eröffnet der Zugang zum Betrieb ein vielfältiges Material-, Werkzeug- und Maschinenpotential.

Deutlicher noch wird die Komplementarität von informeller Arbeit und betrieblich organisierter Lohnarbeit, wenn man die Entwicklung über längere Zeiträume in einer ländlichen Region (in unserer Studie Ostfriesland) untersucht. Dort hat sich mit dem Zugang zur industriellen Lohnarbeit für die Industriearbeiter auch ein grundlegender Wandel ihrer informellen Arbeit vollzogen. Vorher, ohne Zugang zur industriellen Lohnarbeit war sie

- fester Bestandteil einer Mischökonomie von (Saison-)Arbeit, gewerblicher Produktion für den Markt und reiner Subsistenzproduktion, bei der der abhängigen Beschäftigung eher die Rolle eines Zubrots zukam;
- gekennzeichnet durch eine Not, die auch dort informelle Arbeit erzwingt, wo sie weit unter dem Stand der Produktivkräfte bleiben mußte.

Erst mit dem Zugang zur industriellen Lohnarbeit, auch mit der Ausweitung der öffentlichen Infrastruktur sowie der Verbilligung von Industrieprodukten, die als Investitionsgüter in privaten Haushalten nutzbar wurden, konnte die informelle Arbeit mehr sein als eine zeitlich aufwendige, physisch belastende Plackerei für rückständige Güter und Dienstleistungen, die auf dem Markt längst zu höheren Gebrauchswertstandards angeboten wurden. Und erst damit bot sie auch Anhaltspunkte für weitergehende Ansprüche wie Erholung und Selbstverwirklichung.

Die von uns befragten Arbeiter sahen daher in der informellen Arbeit keine Alternative zur betrieblich organisierten Lohnarbeit:

- (1) *Nicht im ökonomischen Sinne.* Trotz der erheblichen materiellen und subjektiven Relevanz, die viele der Befragten ihrer informellen Arbeit zubilligen, erscheint sie ihnen nicht als realistische Alternative. Dies ist sie allenfalls für die kleine Gruppe von Werftarbeitern, die der älteren Generation angehören und auf dem Land wohnen. Für sie ist sie eine Alternative sowohl hinsichtlich der existenziellen Angewiesenheit auf den Lohn wie auch hinsichtlich ihrer subjektiven Vorstellungen über ein sinnvolles Leben. Allerdings ist sie das nur unter der Voraussetzung eines festen, wenn auch niedrigeren Einkommenssockels in der Form von Arbeitslosengeld, Renten und Sozialplänen. Und daß eine solche Perspektive für eine bestimmte Gruppe von Werftarbeitern überhaupt realistisch und sogar subjektiv erstrebenswert erscheinen kann, ist an Voraussetzungen geknüpft, die man als einmaligen historischen „Glücksfall“ bezeichnen muß: Sie haben über viele Jahrzehnte über ein stetiges und sich real erhöhendes Lohneinkommen verfügen können. Sie hatten die Möglichkeit, trotz des Arbeitsplatzes (auf der Werft), am ländlichen Wohnstandort und an den dortigen sozialen und materiellen Voraussetzungen für informelle Arbeit festzuhalten. Erst das gab ihnen die Möglichkeit, die Ressourcen ihrer sozialen Netze, ihres Lohneinkommens und ihres Arbeitsvermögens so zu kombinieren, daß sie nach einer langen Zeit, teilweise außerordentlich mühseliger Arbeit in einem gesicherten Besitz leben können.
- (2) *Nicht im psychologischen Sinne.* Für die in der Wertwandeldiskussion von einigen Autoren vertretene These einer Verlagerung der Mitte der Identität aus der beruflichen Arbeit in das außerbetriebliche Leben finden sich bei den Werftarbeitern ebenfalls kaum Anhaltspunkte. Die berufliche Arbeit als zentraler Maßstab der Selbstbewertung ist weiterhin in Kraft. Die außerbetriebliche Arbeit ist in erster Linie aus der Logik der Versorgungsprobleme der Haushalte zu verstehen und allenfalls sehr nachrangig aus der Erfahrung der Werftarbeiter im Betrieb. Trotzdem ändern sich die Interpretationen der außerbetrieblichen Arbeit, aber eben nicht nach dem Muster, daß

aus der beruflichen Arbeit verdrängte Orientierungen nun in außerbetrieblicher Arbeit gleichsam Asyl erhielten. Vielmehr geben außerbetriebliche Arbeiten, die die Arbeiter immer schon ausgeübt haben, zunehmend Raum für weitere Motive: Erholung durch verpflichtungsfreies Tun, Entfaltung von Fähigkeiten, Realisierung von Gebrauchswertstandards und eigenen Ideen usw. Eben diese humanen Qualitäten gewann außerbetriebliche Arbeit, indem sie durch die Lohnarbeit von existentieller Not entlastet worden ist. Dies ist den Befragten auch bewußt. Selbst die zehn Prozent, die in ihrer informellen Arbeit eine begrenzte Lockerung der existentiellen Angewiesenheit auf den Lohn sehen, sagen, wie einer das ausdrückt:

„...aber das wäre doch dann kein Leben mehr“. Die industrielle Lohnarbeit ist für die abhängig Beschäftigten in Ostfriesland in der Tat ein Stück Befreiung gewesen, sie hat in der Tat einen gewissen Reichtum gebracht. Dieser bei vielen unserer Befragten noch biographisch aktuelle Hintergrund der Erfahrung mit Industriearbeit muß beachtet werden, wenn man sich Gedanken macht über das politische Potential von informeller Arbeit als einer Alternative. Gerade die Tätigkeiten, die nahe an der ländlichen Subsistenzproduktion liegen, tragen den Makel der Erinnerung an frühere, schlechte Zeiten. Die Arbeit auf der Werft ist assoziiert mit Erinnerung an die Zeit, in der es einem besser ging, wo man gutes Geld verdient hat, gutes im dreifachen Sinne: ausreichend, stetig und im Sinne von Geld für eine qualifizierte Arbeit.

Fazit: Weder ökonomisch im Rahmen der Versorgung des Haushalts, noch subjektiv, im Bewußtsein der Arbeiter, kommt der

informellen Arbeit die Rolle einer Alternative zu. Was sie bedeutet, bedeutet sie gerade auf der Basis von betrieblich organisierter Lohnarbeit.

Die These von der Komplementarität zwischen informeller und formeller Arbeit richtet sich gegen konservative wie progressive Überschätzungen. Die Aktiven in der informellen Ökonomie sind eher die in vielfältige soziale Netze integrierten, gutverdienenden, hochqualifizierten Arbeiter auf sicheren Arbeitsplätzen. Die informelle Ökonomie ist keine Alternative zur formellen Arbeit, jedenfalls nicht für die Masse der Industriearbeiter oder für eine Region. Die informelle Ökonomie ist kein Federkissen, das den sanft aufhängt, der aus dem Arbeitsmarkt und durch die gröber geknüpften Maschen des sozialen Netzes gefallen ist. Sie ist auch kein autonomer Sektor, innerhalb dessen eine Transformation des kapitalistischen Systems sich anbahnt. Sie ist vielmehr dessen mehr und mehr integrierter Bestandteil.

Für die Politik heißt dies zunächst etwas Negatives: Die informelle Ökonomie ist keine Ressource, auf die Sparstrategen in der Wohnungs-, Arbeitslosen- und Sozialpolitik zurückgreifen könnten. Eine solche Politik, die die informelle Ökonomie als eine Alternative für formelle Beschäftigung und sozialstaatliche Absicherung zu funktionalisieren sucht, wird gegenteilige Effekte haben, nämlich kumulative negative Wirkungen auch in der informellen Ökonomie. Positiv formuliert bedeutet dies: Umverteilung der vorhandenen formellen Arbeit, also Verkürzung der Arbeitszeit des Einzelnen. Gleichverteilung der formellen Arbeit ist die Basis, auf der sich eine informelle Arbeit entfalten kann, die über die bloße Selbstverwaltung der eigenen Armut hinausgeht.

Ihr Partner bei all Ihren
Aufgaben für die
Druckindustrie

Littmannndruck

seit 1863

Offsetdruck · Buchdruck

Rosenstraße 42/43
2900 Oldenburg
Telefon (04 41) 2 70 51/52

Studium zwischen Beruf und Bildung

- Ansätze empirischer Bildungsforschung

Von W. Schulenberg*/A. Wolter/W.-D. Scholz/J. von Maydell

Welche Bedeutung hat Bildung eigentlich im Bewußtsein der Bevölkerung oder im Lebenslauf des Einzelnen? Wie verändern sich die Bildungsinteressen und -vorstellungen mit den sozialen Lebensbedingungen? Solche Fragen bezeichnen ein bereits seit der Zeit der Pädagogischen Hochschule etabliertes Untersuchungsfeld empirischer Bildungsforschung in Oldenburg. Bildung und Bildungsbereitschaft als zentrale Faktoren der gesellschaftlichen Entwicklung - dieses Thema hat gerade in der letzten Zeit wieder eine besondere wissenschaftliche, bildungs- und gesellschaftspolitische Aufmerksamkeit gewinnen können, so z.B. durch die neuere sozialwissenschaftliche Forschung über den „Wertewandel“ in den westlichen Industriegesellschaften oder über den Beitrag von Aus- und Weiterbildung zur Bewältigung manifester gesellschaftlicher Krisensituationen.

Im Rahmen eines methodisch breit angelegten Forschungskonzeptes, das empirische und sozialhistorische, quantitative und qualitative Untersuchungsmethoden verbindet, wurden mehrere aufeinanderfolgende Untersuchungen über den Wandel des Bildungsbewußtseins in der westdeutschen Bevölkerung durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, wie sich in einem Zeitraum von fast 30 Jahren im Zuge eines grundlegenden Wandels der sozialen Lebensverhältnisse auch die subjektive Bedeutung von Bildung und Weiterbildung im gesellschaftlichen Bewußtsein kontinuierlich schärfer ausgeprägt hat. Gegenüber früheren, eher personalistischen Vorstellungen hat sich im Bildungsdenken immer stärker ein pragmatischer Grundzug durchgesetzt, indem Bildung, Ausbildung und Weiterbildung in erster Linie als Wege zur Verbesserung der eigenen sozialen Lebenssituation und der gesellschaftlichen Teilhabechancen gelten.

Auch wenn sich darin noch Unterschiede zwischen sozialen Statusgruppen feststellen lassen, so hat diese Entwicklung doch tendenziell alle Bevölkerungsteile erfaßt. Vor allem hat die dauerhafte Steigerung der subjektiven Bildungsansprüche eine Eigendynamik zur Folge, die ein wesentlicher Motor der Bildungsexpansion in der Bundesrepublik ist und nicht nur das gesamte Bildungswesen, sondern auch die gesellschaftlichen Funktionen von Bildung tiefgreifend verändert hat.

Studierende unterschiedlicher Bildungswege

Solche Wandlungsprozesse des Bildungsbewußtseins sind nicht nur repräsentativ für die erwachsene Bevölkerung in der Bundesrepublik, sondern auch für einzelne soziale Teilgruppen untersucht worden. So ist soeben ein Forschungsprojekt abgeschlossen worden, das sich mit den Studienvoraussetzungen und den Studienverläufen von Absolventen der Zulassungsprüfung zum Hochschulstudium ohne Reifezeugnis (dem sog. Dritten Bildungsweg, im folgenden Z-Prüfung genannt) befaßt hat. Studierenden, die ihre (fachgebundene) Studienberechtigung erst nach Abschluß einer

vorangegangenen Schul- und Berufsausbildung bzw. -ausübung erworben haben, kommt für die Erforschung von Veränderungen im Bildungsverhalten eine Schlüsselrolle zu. Mit ihrem freiwilligen Entschluß, aus dem Beruf auszusteigen und ein Studium aufzunehmen, dokumentieren sie genau jene Anforderungen, die heute von der Berufsausbildungs- und Arbeitsmarktforschung (und -politik) gleichsam zu „Tugenden“ erhoben werden: Nämlich eine hohe berufliche Mobilitätsbereitschaft und Weiterbildungsmotivation.

Die hier zugrunde liegenden Untersuchungsergebnisse stützen sich hauptsächlich auf eine 1982 abgeschlossene, vergleichend angelegte, standardisierte schriftliche Befragung von über 2.000 Studierenden (mit und ohne Abitur bzw. Berufstätigkeit) an vier niedersächsischen Universitäten. Diese Erhebung wurde um qualitative Interviews mit Studierenden und Hochschullehrenden sowie Auswertungen der amtlichen Studienstatistik ergänzt.

Zulassungsprüfung: Image und Realität

Zahlreiche Vorstellungen über die Z-Prüfung und ihre Absolventen, die sich in der Bildungspolitik, in der Öffentlichkeit und auch in den Hochschulen selbst finden, entsprechen nach den Untersuchungsergebnissen weithin nicht der Realität. Das läßt sich schon an der demographischen Zusammensetzung dieser Gruppe zeigen.

- So wird der Beitrag, den die Z-Prüfung zum Abbau sozialer Chancenungleichheit beim Zugang zur Hochschule leistet, häufig überschätzt. Die Z-Prüfung ist nicht der Weg, der in erster Linie Arbeiterkinder oder Arbeiter in die Hochschule bringt. Zwar liegt der Anteil der Studierenden aus einer Arbeiterfamilie unter ihren Absolventen mit 28 % deutlich höher als etwa unter den Gymnasialabiturienten (10 %). Dennoch bewirkt die Z-Prüfung die oft davon erwartete soziale Öffnung der Universität nur sehr begrenzt. Auch die Mehrheit ihrer Absolventen stammt primär aus jenen mittleren Statusgruppen, die schon auf dem Regel-Weg in ein Hochschulstudium überrepräsentiert sind. Überdies ist die Zahl der Nicht-Abiturienten innerhalb der Gesamtstudentenschaft viel zu gering, als daß davon eine Korrektur der Ungleichheit der Zugangschancen zur Universität ausgehen könnte.

- Ebenso wenig erreicht die Z-Prüfung in der angenommenen Weise die Angehörigen gewerblich-manueller Berufe (Facharbeiter, Handwerker). Auch diese sind mit ca. 10 % erheblich gegenüber ihrem Anteil in der gesamten erwerbstätigen Bevölkerung unterrepräsentiert. Mit ca. 85 % kommt die deutliche Mehrheit der Nicht-Abiturienten aus sozialen, kaufmännischen, administrativen oder technischen Dienstleistungsberufen bzw. - ihrer beruflichen Stellung nach - aus Angestellten- und Beamtenpositionen und weist damit bereits einen Berufsstatus auf, der nicht zu den heute auf unseren Universitäten typisch unterrepräsentierten Sozialschichten zählt.

- Dagegen bietet kein Zugang zur Hochschule den Frauen eine so

hohe Studierchance wie die Z-Prüfung. Der Frauenanteil beträgt hier gegenwärtig 52 % (mit steigender Tendenz in den jüngeren Semesterjahrgängen), während er unter allen Studierenden in Niedersachsen bei 38 % liegt. Aber auch hier muß manches herkömmliche Stereotyp korrigiert werden. So fällt z. B. der Anteil derjenigen Frauen, die vor ihrem Studienbeginn überwiegend im eigenen Familienhaushalt tätig waren, mit 20 Prozent geringer aus als vielfach angenommen. Überdies hätten drei Viertel von ihnen die Zulassungsvoraussetzungen für die Z-Prüfungen auch ohne Anrechnung ihrer Berufstätigkeit als Hausfrau erfüllt.

Insgesamt bleibt die schulische und berufliche Vorbildung der Frauen nicht hinter der ihrer männlichen Kommilitonen zurück. Allerdings kommen Frauen häufiger aus einem Elternhaus oder einer Partnerbeziehung mit günstigeren soziokulturellen Ausgangsbedingungen. So haben z. B. 80 % der befragten Frauen, die in einer Ehe- bzw. Partnerbeziehung leben, einen Partner, der entweder zur Zeit selbst studiert oder sein Studium bereits abgeschlossen hat.

- Die Z-Prüfung bringt auch nicht, wie gelegentlich unterstellt wird, vornehmlich frühere „Schulversager“ bzw. -abbrecher oder Personen mit unbeständigen, eher ziellos verlaufenden Biographien in die Hochschule. Vielmehr kann die Mehrheit von ihnen auf einem breiten Fundament an schulischen und beruflichen Ausbildungsvoraussetzungen aufbauen. So haben z. B. 70 % einen mittleren Schulabschluß und 40 % eine abgeschlossene Fachschulausbildung. Dieses überdurchschnittliche Ausbildungsprofil findet seine Fortsetzung in umfangreichen berufspraktischen Qualifikationen und Erfahrungen aus einer durchschnittlich sechs bis zwölf Jahre dauernden Phase berufli-



cher Beanspruchung und Bewährung in zumeist mittleren bis gehobenen Berufspositionen. Auch die bisherige Weiterbildungsteilnahme ist überdurchschnittlich.

Die Bildungs- und Berufsbiographien entsprechen in ihrer Bewegungsrichtung eher dem Muster einer stufenweisen Kumulation von Vorleistungen und Kompetenzen als dem einer abgebrochenen oder gescheiterten Laufbahn. Die schulischen und beruflichen Vorleistungen der Nicht-Abiturienten bleiben - insgesamt gesehen - hinter der „Normalbiographie“ eines Gymna-



sialabiturienten (mit in der Regel nur drei weiteren Schuljahren) keineswegs zurück. So findet durch die Z-Prüfung zwar nur eine begrenzte soziale, aber doch eine bemerkenswerte berufliche Öffnung der Universität statt.

Studierfähigkeit

Um die Studienbewährung der Nicht-Abiturienten im Vergleich zu Abiturienten zu untersuchen, ist zunächst ein neues theoretisches Konzept entwickelt worden, das „Studierfähigkeit“ nicht - der bisherigen Studierfähigkeitsforschung entsprechend - über die schulischen, kognitiven oder dispositionalen Eingangsvoraussetzungen eines Studiums definiert. Vielmehr wird „Studierfähigkeit“ funktional im Blick auf die Bewältigung der realen Studienanforderungen bestimmt. „Studierfähigkeit“ ist eine dynamische Größe, die sich in erster Linie im Studienverhalten und im Studienverlauf selbst zeigt. Man kann deshalb auch von einem funktionalen, handlungsorientierten Konzept von Studierfähigkeit sprechen.

Dazu ist eine Vielzahl studienverlaufsbezogener Indikatoren ausgewählt und erhoben worden, wie z.B. die individuelle Studienplanung und Arbeitsorganisation, die Häufigkeit und die Motive des Fachwechsels, die Studienabbruchneigung, die Studiendauer und ihre Bedingungen, bisher aufgetretene Arbeitsstörungen und Lernschwierigkeiten im Studium, der Studienabschluß u.ä.. Die genaue Prüfung aller einzelnen Indikatoren ergab dabei ein weitgehend einheitliches Bild: Studierende, die über die Zulassungsprüfung in die Universität gekommen sind, haben im Studium insgesamt keine größeren Schwierigkeiten und keine geringeren nachprüfbaren Studienerfolge als ihre Kommilitonen mit Abitur. Das Studienverhalten wird offenbar wesentlich stärker durch die jeweiligen Studienfachzugehörigkeit als durch die Art der Studienberechtigung und der formalen Studienvoraussetzungen beeinflusst. Gegenüber unterschiedlichen Eingangsbedingungen scheint das gewählte Studienfach einen erheblichen Sozialisationsinfluß im Sinne einer Vereinheitlichung des Studienverhaltens auszuüben.

Gleichwohl zeigen sich auch einige Unterschiede zwischen Abiturienten und Nicht-Abiturienten, so z. B. in ihren Studienschwierigkeiten und den besonderen kompensatorischen Lernstrategien, mit

* Wolfgang Schulenberg ist am 26. Juni 1985 verstorben. Die Grundzüge dieses Artikels sind noch gemeinsam mit ihm entworfen und abgestimmt worden. An seiner Fertigstellung konnte er nicht mehr mitwirken.

denen sie aufgetretene Studienprobleme bearbeiten. Es läßt sich jedoch nicht belegen, daß solche Unterschiede im Studienverhalten überdauernde Auswirkungen auf den weiteren Studienverlauf haben. Es sind also keine gruppentypischen 'Defizite', sondern interpersonale 'Differenzen' im Lernverhalten, die gerade bei unterschiedlichen Ausgangsbedingungen ein - wie die Studienabschlüsse zeigen - erfolgreiches Studium ermöglichen. Der Einwand gegen die Öffnung des Hochschulzugangs für Berufstätige, Nicht-Abiturienten seien für ein akademisches Studium nicht hinreichend qualifiziert, kann danach nicht länger bestehen.

Die empirisch nachgewiesene Studierfähigkeit der früheren Berufstätigen läßt sich im wesentlichen mit drei Faktoren erklären:

- Sie beruht auf überdurchschnittlichen schulischen und beruflichen Vorleistungen, die offenkundig ein funktionales Äquivalent zur gymnasialen Schulbildung darstellen können.
- Offensichtlich wirken sich hier die Möglichkeiten aus, berufli-

che Erfahrungen und Kompetenzen gleichsam als 'Schlüsselqualifikationen' im Studium zu mobilisieren. Dabei kann es sich zunächst um spezifische, fach- und berufsgebundene Erfahrungen und Qualifikationen handeln (z.B. der Umgang mit Rechtsnormen beim ehemaligen Verwaltungsbeamten, der jetzt Jura studiert). Wichtiger noch aber sind die eher abstrakteren, extrafunktionalen Kräfte (z.B. Aufgabenbewußtsein, Belastbarkeit, Arbeitsgestaltung, soziale Fähigkeiten).

In der Studienmotivation der früheren Berufstätigen ist stärker als bei ihren Kommilitonen eine lebensgeschichtlich verankerte, personenbezogene Komponente wirksam (vgl. Tabelle 1). Anders als die Abiturienten, die ihr Studium primär aus fachlichen und beruflichen Motiven aufgenommen haben, begreifen sie ihr Studium gleichermaßen als Möglichkeit fachlich-beruflicher Qualifizierung wie als eine persönliche Herausforderung, als individuelle Chance der eigenen Weiterentwicklung und Weiterbildung. Deshalb entwickeln sie auch eine ausgeprägte Leistungsorientierung und Studienidentifikation.

Tabelle 1: Studienmotivation, verteilt nach Art der Studienberechtigung (in Prozent)

Motivationsdimensionen	Studienberechtigung		
	Z-Prüfung	Abendgymnasium/ Kolleg	Gymnasium
Vorrangig berufs- und fachorientiert	42	50	72
Vorrangig persönlichkeits- und bildungsorientiert	41	31	15
keine eindeutige Präferenz/ andere Gründe	17	19	13
Summe	100 (n=704)	100 (n=513)	100 (n=822)

Z-Prüfung im offenen Bildungssystem

Über eine Ventilfunktion für individuelle Ausnahmen hinaus erfüllt die Z-Prüfung faktisch eine systemlogische Funktion innerhalb unseres Bildungswesens, indem sie Angehörigen aus der zentralen Schicht beruflicher Leistungsträger einen Zugang zur Universität öffnet. Mittlere Schulbildung und qualifizierte Berufsausbildung werden heute zunehmend zu gesellschaftlichen Standards. Daher dürfen diese Wege keine Sackgassen innerhalb des Bildungs- und Berufssystems sein, erst recht dort nicht, wo sie sich mit ausgeprägtem (Weiter-) Bildungsbewußtsein und hohem beruflichen Anspruchsniveau verbinden. Hier muß vielmehr die prinzipielle Option eines Universitätsstudiums als ein Weg aktiver

Weiterbildung und beruflicher Mobilität offengehalten werden.

Diese systemlogische Funktion der Z-Prüfung wird auch dadurch noch unterstrichen, daß den Abiturienten heute verstärkt beide Alternativen angeboten werden - der Zugang zum Studium ebenso wie der zum dualen Berufsausbildungssystem. Im Interesse der Gleichwertigkeit beruflicher und allgemeiner Bildung darf dann die Mehrheit der Berufstätigen nicht von der prinzipiellen Möglichkeit des Hochschulzugangs abgeschnitten werden.

Langfristig wird das Abitur der Hauptweg zur Universität bleiben. Aber die Durchlässigkeit des Hochschulzugangs muß - mindestens als individuelle Option - in beiden Richtungen gewährleistet sein: Gegenüber dem Berufssystem ebenso wie gegenüber dem höheren

Schulwesen. Dafür sprechen nicht nur die Individualrechte des Einzelnen (etwa auf größere Chancengleichheit für alle Bildungswege), sondern auch die inneren Entwicklungs- und Qualifizierungsmöglichkeiten des Berufs- und Beschäftigungssystems selbst.

Perspektiven

Die Ergebnisse der Untersuchung lassen darauf schließen, daß das heute weit verbreitete Stereotyp von der frustriert und lustlos in der Massenuniversität dahin studierenden Jugend nicht zutrifft. Ganz im Gegenteil finden sich eher Belege für eine überraschend große Studienzufriedenheit. Wenn man z. B. die Frage als Indikator für die Studienidentifikation heranzieht, ob die Studierenden sich heute noch einmal für ein Studium entscheiden würden, dann steht in allen drei befragten Gruppen die deutliche Mehrzahl uneinge-

schränkt zu ihrer damaligen Studien- und Fachentscheidung - bei den früheren Berufstätigen sogar noch mehr als bei den Abiturienten.

Die Entwicklung auf dem akademischen Arbeitsmarkt mit verschlechterten Beschäftigungsperspektiven für viele akademische Berufe ist zwar der wichtigste Faktor, der diese allgemeine Studienzufriedenheit vermindern kann. Dennoch würde selbst in den am stärksten davon betroffenen Studienfächern die Mehrheit der Befragten jederzeit wieder studieren - ein Teil würde allenfalls ein anderes Fach wählen. Diese Ergebnisse sind durch vergleichbare Erhebungen des Hochschulinformationssystems (Hannover), des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (Nürnberg) und der Forschungsgruppe „Hochschulsozialisation“ (Konstanz) z.T. bis in die genauen Zahlen hinein bestätigt worden. Danach hat das Universitätsstudium offensichtlich auch in Zeiten arbeitsmarktpolitischer Krisen eine beträchtliche Attraktivität.

Tabelle 2: Studienidentifikation, verteilt nach der Art der Studienberechtigung (in Prozent)

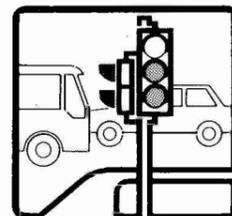
Würden Sie sich heute noch einmal für ein Studium entscheiden?	Studienberechtigung		
	Z-Prüfung	Abendgymnasium/ Kolleg	Gymnasium
Ja, und zwar im gleichen Fach	60	60	60
Ja, aber für ein anderes Fach	20	16	12
Nein	2	5	6
Ich bin mir da nicht sicher	18	19	22
Summe	100 (n=704)	100 (n=513)	100 (n=822)

Das Übergangsverhalten der nachkommenden Abiturientenjahrgänge belegt deutlich, daß es sich hierbei nicht nur um eine Rationalisierungsercheinung handelt, indem die befragten Studierenden nachträglich eine besondere psychische Bindung an ihre Studienentscheidung herstellen. Längsschnittuntersuchungen zeigen, daß bis zu 75 % derjenigen Abiturienten, die nach der Reifeprüfung zunächst eine betriebliche Berufsausbildung begonnen haben, später doch noch ein Studium aufnehmen. Obwohl sich das Studien- und Berufswahlverhalten der Abiturienten deutlich diversifiziert hat, bleiben Berufsausbildung und Berufstätigkeit für viele nur vorübergehende Phasen auf dem regelmäßigen Weg zum Studium. Offensichtlich reagieren Abiturienten und Studierende auf Arbeitsmarktkrisen weniger mit prinzipiellem Studienverzicht oder mit persönlicher Resignation als primär mit Strategien der Mehrfachqualifikation, der größeren Spezialisierung, mit Neubestimmung ihrer Studienziele, verändertem Fachwahlverhalten, Erschließung unkonventioneller beruflicher Tätigkeitsfelder etc.

Qualifizierungsvorsprung, den ein Studium auch unter verengten Arbeitsmarktbedingungen immer noch verleiht. Auch verschiedene sozialwissenschaftliche Theorien können zur Interpretation dieses Phänomens beitragen - etwa die Theorie des Wertewandels oder die der kognitiven Dissonanz. Dennoch gibt es beim gegenwärtigen Forschungsstand nur wenig theoretisch und empirisch gesichertes Wissen über den Wandel der Studienmotive, -interessen und -erwartungen bei verschlechterten Beschäftigungsaussichten und veränderten Funktionen des Studiums. Daher ist beabsichtigt, in Fortführung der bisherigen Arbeiten über die Entwicklung des Bildungsbewußtseins und -verhaltens in einem neuen Untersuchungsvorhaben diesen Fragestellungen gezielt nachzugehen.

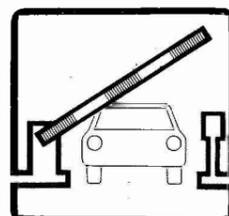
Die Untersuchung über die Studierenden des Zweiten und Dritten Bildungsweges könnte dafür insofern einen günstigen Anknüpfungspunkt liefern, als diese Studierenden gerade durch ihren freiwilligen Wechsel vom Beruf in das Studium möglicherweise Vorreiter einer Entwicklung sind, die sich in zunehmendem Maße jetzt auch bei Abiturienten bemerkbar macht, nämlich des Bedeutungszuwachses der Universität als einer Einrichtung postsekundärer Sozialisation. Für die weitere Entwicklung des Hochschulzugangs und Hochschulwesens unter wechselnden Konjunkturen des akademischen Arbeitsmarktes könnte das ein Schlüsselproblem sein.

Zur Erklärung dieses zwar inhaltlich veränderten, keineswegs aber geringeren Studieninteresses gibt es eine Reihe plausibler Vermutungen - wie z. B. die persönlichkeitsfördernde und weiterbildende Funktion eines Studiums, die relative Autonomie der studentischen Rolle, der Prestigevorteil des Akademikerstatus oder der



**Verkehrs-Signalanlagen
für Straßenkreuzungen
Werkseinfahrten
Garagen - Parkplätze**

Kurt Jähniq · 2900 Oldenburg 13 · Bremer Straße 59 · Telefon (04 41) 2 51 74



Leben und Lernen im Kibbutz

Übergangsbereich Kindergarten - Grundschule

Von Maria Fölling-Albers

Heute sind vielfach Enttäuschungen über die Ergebnisse der Bildungsreformbewegung der 60er Jahre zu registrieren. Obwohl das Bildungssystem quantitativ erheblich ausgeweitet worden ist, wird eine konsequente innere Schulreform vermisst, die den Heranwachsenden über einseitig kognitive Lernprozesse hinaus authentische Lern- und Ausdrucksmöglichkeiten verschafft und dabei vor allem den sozial-emotionalen Bereich nicht ausspart. Meldungen über Schulangst, Schulstreß und Schulflucht können als Ausdruck dieses Defizitgefühls interpretiert werden und haben in den letzten Jahren zu einem stark angewachsenen Interesse an alternativen Schulformen (u.a. Waldorfschulen, Freinet-schulen) und zu einem Wiederaufleben der Schulleben-Debatte geführt. Das Ziel dieser pädagogischen Diskussionen ist eine Aufhebung der Entfremdung zwischen Lebens- und Lernerfahrungen von Kindern und Jugendlichen. Dabei können die pädagogischen und bildungspolitischen Postulate allerdings nicht ohne weiteres den Einwänden entkräften, daß für die Reproduktion einer hochentwickelten Industriegesellschaft gerade die kognitiven und wissenschaftsorientierten Lernprozesse die wichtigsten seien und Alternativen dazu die Ausnahmen bleiben müßten.

Vor diesem Problemhintergrund wurden in einem DFG-geförderten Projekt Lernprozesse in israelischen Kibbutzim untersucht. Dort ist der Institutionalisierungsgrad von Erziehung und Lernen noch weitaus höher als in anderen vergleichbaren westlichen Industriegesellschaften, aber gleichzeitig ist die Integration von Leben und Lernen seit jeher das zentrale Anliegen in der Theorie und Praxis der Kibbutzim. Während der für *alle* Kinder obligatorischen zwölfjährigen Schulzeit wird ohne Notendruck und Selektion gelernt. Gleichzeitig - und dies ist bezogen auf den oben formulierten Einwand wichtig - müssen sich die Kibbutzim als inzwischen hochtechnisierte Kommunen mit ihren Produkten auf dem freien Markt in harter Konkurrenz behaupten können. Die Qualifikationen des Nachwuchses können damit nicht mehr den bildungsökonomischen Optimierungskalkülen völlig entzogen werden. In den Genossenschaftssiedlungen mit kollektiver Produktion, kollektivem Konsum, basisdemokratischem Selbstverwaltungssystem und freiwilliger Mitgliedschaft wurde ein kollektives Erziehungssystem eingerichtet, in dem die Kinder nicht bei ihren Eltern, sondern in eigenen Kinderhäusern wohnen und schlafen, spielen und lernen sollen. Das Kinderhaus ist für die Kinder im Schulalter gleichzeitig ihr Schulhaus. Die Erzieher - Kindergärtnerinnen und Lehrerinnen mit ihren jeweiligen Helferinnen - verfügen dabei in ihren Kinderhäusern über ein hohes Maß an Autonomie bei der Gestaltung des Schullebens. Neben den Eltern, mit denen die Kinder die Nachmittage, Wochenenden und Ferien verbringen, und Erziehern sollte vor allem die Altersgruppe ein wesentlicher Sozialisationsfaktor sein.

Kindgerechte Eingewöhnung

Der Aspekt der Integration von Leben und Lernen ist am Beispiel des Übergangs vom Kindergarten in die Grundschule untersucht worden, weil hier der Anspruch des Kibbutz auf eine besonders kindorientierte Erziehung, auf Verknüpfung von Leben und Ler-

nen in besonderem Maße ausgeprägt war: Die schulpflichtigen Kinder wechselten zum ersten Schuljahr nicht in die Schule über, sondern verblieben oft sogar noch im zweiten Schuljahr in ihren altersgemischten oder altersgleichen Kindergartengruppen. Sie wurden von ihren jeweiligen Kindergärtnerinnen in die Anfänge des Lesens, Schreibens und Rechnens eingeführt. Die Kinder wurden somit am Schulanfang nicht abrupt mit neuen Lern- und Arbeitsinhalten, neuen Erziehern, neuer peer-group und einer neuen räumlichen Umgebung konfrontiert. Zudem war es der Anspruch des Erziehungssystems, die Lerninhalte aus den unmittelbaren Erfahrungen der Kinder zu entwickeln und sie nicht fertigen Lehrbüchern zu entnehmen. Damit sollte eine harmonische und kindgerechte Überleitung in eine neue Lebens- und Lernphase erfolgen - möglichst frei von Ängsten und Erfahrungen, die von den Kindern nicht produktiv verarbeitet werden können.

Kibbutz im Wandel

Das bis hierher grob skizzierte Erziehungskonzept galt uneingeschränkt für die Vergangenheit zu einer Zeit, als die Kibbutzim noch relativ bescheiden technisierte Landkommunen waren. Die Kibbutzim haben sich allerdings im Laufe ihrer jetzt 75jährigen Geschichte erheblich verändert. Aus kleinen, primitiv ausgestatteten Landkommunen sind moderne, hochtechnisierte Siedlungen mit Industrie und industrialisierter Landwirtschaft geworden, die z.T. mehr als 1000 Einwohner haben. Die strukturelle Entwicklung und Veränderung des Kibbutz hat auch sein Erziehungssystem nicht unbeeinflusst gelassen; besonders bemerkenswert sind die Tendenzen hin zur familialen Übernachtung, zur Zentralisierung und Regionalisierung der Schulen und auch zur Überführung des ersten Schuljahres in die Schule.

Es stellt sich deshalb auch die Frage, welche Auswirkungen im Kibbutz die Tendenzen einer Funktionalisierung und Spezialisierung von Arbeits- und Lebensbereichen auf das Erziehungssystem, speziell auf das Lernen im Übergangsbereich Kindergarten - Grundschule, bisher gehabt haben.

Methode

Die Untersuchung hatte zwei Schwerpunkte. Eine sozialgeschichtliche Analyse sollte Zusammenhänge zwischen der Sozialstruktur des Kibbutz und den vermuteten korrespondierenden Veränderungen im Erziehungssystem, hier bezogen auf den Modus der Integration von Leben und Lernen im Übergangsbereich Kindergarten - Grundschule, erfassen. Durch eine explorative empirische Untersuchung, im Schuljahr 1981/82 und im Jahre 1983 durchgeführt, sollten die konzeptionelle Begründung und ihre Realisierung in der Praxis erforscht werden. Methodisch wurde dies durchgeführt durch

- eine Erhebung in 100 der 250 Kibbutzim über die Organisationsformen und über die Betreuung der Kinder am Schulanfang;
- eine standardisierte schriftliche Befragung von 200 Lehrerinnen,

- 150 Kindergärtnerinnen und 72 Eltern zum Thema Übergang Kindergarten - Grundschule;
- Interviews mit Wissenschaftlern, Dozenten und Erziehern über die Theorie und Praxis des Übergangs vom Kindergarten in die Grundschule;
- eine teilnehmende Beobachtung in verschiedenen Modellen des ersten Schuljahres, die ein halbes Jahr lang kontinuierlich erfolgte.

Ergebnisse

- Es besteht ein Zusammenhang zwischen den allgemeinen soziostrukturellen Veränderungsprozessen in der Kibbutz-Bewegung und Veränderungen im Konzept der Integration von Leben und Lernen. Die erste Phase der Kibbutz-Bewegung (von 1910 an bis zur Staatsgründung Israels 1948), in der das Konzept der Integration von Leben und Lernen in den Kindergärten entwickelt worden ist, war gekennzeichnet durch eine umfassende kollektive Identität der Mitglieder, die sich besonders durch die Integration von Arbeiten und Leben ausdrückte. Die zunehmende Technisierung, Spezialisierung und soziale Differenzierung der Arbeits- und Lebensbereiche hat bei den Mitgliedern zu einem Nachlassen der kollektiven und zu einem Ansteigen der familialisierenden und privaten Orientierung geführt, deren besondere Kennzeichen ein anhaltender Trend hin zur familialen Übernachtung (gegenwärtig in ca. 50 % der Kibbutzim), privaten Freizeitgestaltung und individuellen Selbstverwirklichung als Lebensziel sind.
- Das erste Schuljahr wurde zunehmend aus dem Verband des Kindergartens herausgenommen und in der Schule eingerichtet (in 50 % der befragten Kibbutzim war das erste Schuljahr in der Schule). Auch im Kibbutz gibt es in der Schule im Vergleich zum Kindergarten die Tendenz, den Unterricht stärker zu formalisieren und ihn kognitiv auszurichten.
- Mit dem Ansteigen der Lernanforderungen, vor allem seit der „kognitiven Wende“ vom Ende der 60er Jahre an, ist eine verstärkte Tendenz festzustellen, fertige Lehrbücher und Arbeitsmappen zu benutzen. Vor allem die Eltern wünschen, daß das kognitive Lernniveau ihrer Kinder nicht hinter dem in guten Stadtschulen zurückbleibt.
- Das Ansehen des Erziehungsberufs ist stark gesunken. Während es in den ersten Jahrzehnten eine Auszeichnung war, von der Vollversammlung gewählt und auf ein Erziehungseminar geschickt zu werden, sind heute nicht genügend Kibbutz-Mitglieder bereit, Erzieher(in) zu werden. Es müssen Lehrer von außerhalb („Lohnlehrer“) eingestellt werden.

Handelndes Lernen

Diese Veränderungen haben aber dennoch nicht einfach eine Anpassung der Erziehung in Kindergarten und Schule an das israelische Erziehungs- und Bildungssystem zur Folge gehabt. Vielmehr hat sich eine flexible Anpassung vollzogen, die gerade auch das Konzept der Integration von Leben und Lernen betroffen hat. Während in der ersten Phase der Kibbutz-Bewegung das Konzept der Verknüpfung von Leben und Lernen vor allem ideologisch legitimiert war durch das zentrale Ziel der Erziehung, einen „neuen Menschen“, einen „Menschen für den Kibbutz“ zu erziehen, wird im heutigen „urbanisierten Kibbutz“ die Verknüpfung von Leben und Lernen in der Erziehung vor allem *pädagogisch* begründet: diese sei für kindliches Lernen und für die Entwicklung einer vielseitigen Persönlichkeit unabdingbar. Die Versorgung von Kleintieren im Kinderhaus, Besuche in der Kinderfarm und Besichtigung der Arbeitsplätze der Eltern, regelmäßige Erkundungsgänge in die verschiedenen Bereiche und Einrichtungen im Kibbutz und in die nähere Umgebung, Hilfe bei der Reinigung des Hauses und des Hofes am Wochenende sind z. B. konkrete Maßnahme in

der von mir untersuchten Altersphase, mit denen die pädagogischen Ziele erreicht werden sollen. Lernen im Kindergarten und in der Grundschule bedeuten im Kibbutz auch heute noch im hohen Maße handelndes Lernen.

Während in der ersten Phase der Kibbutz-Bewegung bei den Lernprozessen das Gruppenleben, das kollektive Lernen im Vordergrund pädagogischen Interesses stand, ist heute die Individualisierung von Lernprozessen besonders kennzeichnend. So wird in vielen Lerngruppen das Lesen und Schreiben, manchmal auch das Rechnen als Einzelunterricht oder in sehr kleinen Gruppen erteilt. Auch in den in den letzten Jahren neu entwickelten theoretischen Modellen zur Kindergarten- und Grundschulbildung nimmt die individuelle Aktivität des Kindes einen zentralen Platz ein.

Perspektiven

Bezogen auf das eingangs beschriebene Problem der Entfremdung von Lern- und Lebensprozessen kann auf der Basis der Untersuchungen festgehalten werden, daß nicht das Ausmaß der Institutionalisierung eine Entfremdung bedeuten muß. Ein hoher Grad an Institutionalisierung des Lernens setzt allerdings bestimmte Bedingungen voraus, die eine Integration von Leben und Lernen ermöglichen und Entfremdungsprozesse vermeiden. Wichtigste Voraussetzungen sind eine weitgehende Identifikation der Beteiligten mit dem Konzept, mit den Inhalten und Werten der Erziehung, eine weitgehende Konvergenz von Lerninhalten und -methoden sowie eine weitgehende Autonomie bei der Gestaltung der Lern- und Lebensprozesse.

Die Entwicklung der Kibbutz-Bewegung hin zu ihrer jetzigen Form, einer großen Kommunebewegung mit hohem Lebensstandard, kann als Anpassungsprozeß an die Lebensformen und -standards der bürgerlichen Außenwelt interpretiert werden. Ohne diesen Anpassungsprozeß wäre sie vermutlich zu einer kleinen, relativ unbedeutenden, exklusiven Randgruppe verkümmert. Durch seine weitgehende Identifikation mit dem politisch-ökonomischen System der israelischen Gesellschaft hat der Kibbutz seine politisch-ideologische Avantgarde-Funktion, die er in der revolutionären Gründerphase zweifellos hatte, in starkem Maße verloren.

Bezogen auf die eingangs beschriebene Fragestellung, ob für die Reproduktion in hochentwickelten Industriegesellschaften Alternativen zu den in Regelschulen vorherrschenden kognitiven und wissenschaftsorientierten Lernprozessen Ausnahmen bleiben müssen, kann für den heutigen Kibbutz gesagt werden, daß er ein Beweis dafür ist, daß ein Zusammenleben von Menschen nach sozialistischen Prinzipien (Verzicht auf Privateigentum an Produktionsmitteln, Verzicht auf ein differenzierendes materielles Entlohnungssystem, Selbstverwaltung, gleiche Ausbildungschancen für alle Heranwachsenden) auf hohem technischen, ökonomischem und sozialen Niveau möglich ist. Von daher ist (und bleibt vorläufig) der Kibbutz eine soziale Lebensalternative mit entsprechend alternativen Erziehungsgruppen. Die derzeitige ideologische Krise, die sich vor allem manifestiert in der nicht mehr immer vorhandenen Übereinstimmung zwischen kollektiver und privater Identität gerade der jüngeren Mitglieder, wird in der Kibbutz-Bewegung Tendenzen zu erkennen, an diesem Problem zu arbeiten. In diesem Zusammenhang stehen auch verstärkte Kontakte zur internationalen Kommunebewegung; auf bisher zwei internationalen Konferenzen der Kommunebewegung, die von der Kibbutz-Bewegung initiiert wurden, sind die gemeinsamen und unterschiedlichen Probleme der verschiedenen Lebensgemeinschaftsprojekte diskutiert und Überlegungen zur Zusammenarbeit angestellt worden.

20 Jahre Oldenburger Forschungen zu Komik, Humor und Verfremdung

Von Hermann Helmers

Das folgende Resümee gilt einem germanistischen Forschungskomplex, zu dem im Verlaufe von zwei Jahrzehnten eine Reihe von Publikationen (insgesamt 21) vorgelegt worden sind, darunter die Buchpublikationen „Sprache und Humor des Kindes“ (1965/1971), „Lyrischer Humor“ (1971/1978) und „Verfremdung in der Literatur“ (1984). Obwohl die durch die Buchtitel markierten Teilaspekte unterschiedliche Bereiche des Gesamtkomplexes tangieren, soll der Versuch gemacht werden, einen zusammenfassenden Überblick zu geben. Dies ist, obschon neben den germanistischen Disziplinen Literaturwissenschaft, Sprachwissenschaft und Didaktik auch Psychologie, Soziologie und Pädagogik betroffen sind, deswegen möglich und sinnvoll, weil ein noch zu referierender einheitlicher Begriff von Komik allen Untersuchungen zugrunde liegt.

Sprache und Humor des Kindes

Am Anfang stand die Erfahrung: Kinder (insbesondere jüngere) lachen häufig aus anderen Anlässen als Erwachsene. Die vorhandene Theorie bot für dieses Phänomen keine Lösung, insofern der Humor des Kindes (so z.B. in der amerikanischen Buchpublikation „Children's Humor“ von Martha Wolfenstein) zumeist psychoanalytisch wie der Humor der Erwachsenen auf „Frustrationsaufhebung“ und den daraus resultierenden Lustgewinn zurückgeführt wurde. Aufklärung konnte in dieser Situation nur durch eine empirische Untersuchung erwartet werden. Sie wurde durchgeführt bei Kindern und Jugendlichen in den Regionen Bonn, Gießen, Hamburg und Weser-Ems, außerdem in Luxemburg. Das gewonnene Material umfaßte einschließlich der 108 Berichte aus einer Interviewserie bei Vorschulkindern insgesamt 2708 Fälle, die sich auf Kinder und Jugendliche im Alter von bis zu 18 Jahren bezogen. Bei der Erhebung der Belege konnte kaum erwartet werden, daß die Auswertung nicht nur zu einer Theorie von Humor und Komik beim Kinde und Jugendlichen, sondern darüber hinaus zu einer neuen allgemeinen Theorie von Humor und Komik führen würde. Dabei wurde vorab Humor als ein Verhalten verstanden, das in seiner Auswirkung Komik produziert. Die Auswertung ergab im wesentlichen vier Ergebnisfelder:

1. Komik resultiert stets aus der Aufhebung von traditionellen Normen. Ähnliches hatte wohl schon Aristoteles im Sinn, als er das Komische als das „Unschädlich Häßliche“ bezeichnete, wobei man „häßlich“ durch „abnorm“ ersetzen kann. Auch Tragik bezieht sich auf die Aufhebung von Normen, nur daß in diesem Fall die Normaufhebung für das Individuum nicht unwirksam („unschädlich“) genannt werden kann. Die in Umrissen also vorhandene Erkenntnis, daß sich Komik auf Normen bezieht, wurde durch die empirischen Untersuchungen dahingehend revidiert, daß es sich um gesellschaftlich historisch bedingte Normen handelt. Im Untersuchungsfall waren es die Normen von Sprache und Literatur.

2. Im Hinblick auf die eigentliche Fragestellung der Untersuchung (Worüber lachen Kinder?) gab es ein empirisch gesichertes Ergebnis bezüglich der psychoanalytischen These von der prinzipiell emanzipatorischen Funktion jeder Komik: Entgegen dieser These steht fest, daß Komik im Kindesalter (bis zur Pubertät) hauptsächlich der Integration in vorhandene Normen dient. Durch das vorübergehende Aufs-Spiel-Setzen erlernter Normen werden diese vermittels des Lach-Signals dem Kind versichert. Die durch Komik bewirkten Sprachnormabweichungen lassen sich linguistisch in allen Sprachschichten nachweisen: Die Struktur der Phoneme wird etwa aufs Spiel gesetzt, wenn ein Kind den Namen „Peter“ in „Leter“ oder „Reter“ verändert; die Struktur der Morpheme wird z.B. angetastet, wenn aus „Regenwurm“ „Wurmregen“ wird; in der Struktur der Syntax wird z.B. durch Akzentverschiebung aus dem Satz „Die Kuh lief um den Teich“ ein „Kuhliefumdeneteich“. Ob dabei semantische Veränderungen (wie im Humor des Erwachsenen) mit betroffen sind oder nicht: der Lachende versichert dem Mitlachenden, daß man „in“ ist - für das heranwachsende Kind eine wichtige Erkenntnis zur Weiterentwicklung. Das beim Lachen mitschwingende Gefühl der Freude resultiert aus diesem „In“-Sein.

3. Erst in der Pubertät verlieren Humor (als Haltung) und Komik (als Objektion) partiell die Funktion einer sozialen Integration und dienen dann zeitweise vor allem der Emanzipation. Im Grunde freilich ist Komik ein dialektisches Produkt von Integration - Emanzipation, bei dem in der Entwicklung vorübergehend die eine oder andere Seite überwiegt. Typisch für den Humor der Pubertätszeit sind daher antiautoritäre Witze, Sexualwitze sowie der sog. Fäkalienjargon. Bei der entwicklungspsychologischen Zusammenfassung der Ergebnisse schälten sich am Ende vier Phasen in der Entwicklung von Humor und Komik beim Kinde und beim Jugendlichen heraus: Die erste Phase gilt der Umstrukturierung von Sprachelementen; sie beginnt beim Kleinkind gleich mit dem ersten Erlernen der Sprache aus der Beobachtung erkannter Fehlbildungen (z.B. „Turmwasser“ statt „Wasserturm“). Die zweite Phase bezieht die semantische Verkehrung solcher Umstrukturierungen in die Komik mit ein (bei „Turmwasser“ schwingt der Inhaltsbezug zu „Wasser“ mit). In der dritten Phase (um ein Alter von 10 Jahren) ist das Kind bereits imstande, die unbewußt erfaßten Gesetze der Komik fiktiv anzuwenden; es ist die Phase der Episierung durch den Witz des Kindes. In der vierten Phase (Pubertät) verselbständigen sich die komischen Tendenzen; Integration schlägt in Emanzipation um.

4. Die so gewonnene Definition dessen, was Komik ist, erlaubte eine Präzisierung auch der ästhetischen Begriffe dieses Bereiches, die im allgemeinen ziemlich verschwommen gehandhabt werden. Literarische Komik im weiten Sinn als Spiel mit überkommenen Normen läßt sich bezüglich der jeweiligen Norm-Relation in drei Teilphänomene aufgliedern: 1. Komik im engen

Sinn (Normen werden aufs Spiel gesetzt, um sie am Ende zu bestätigen); 2. Verfremdung (Normen werden aufs Spiel gesetzt, um durch kritisches Hinterfragen zu neuen Normen zu gelangen); 3. Grotteske (Normen werden aufs Spiel gesetzt, ohne daß es am Ende zur Rückversicherung oder zum Finden neuer Normen kommt). Diese Definitionen bilden die verbindende Klammer zu den Untersuchungen bezüglich des Lyrischen Humors und der literarischen Verfremdung. Dabei konnte das Wissen über diese Kategorien im einzelnen erweitert und vertieft werden.

Über die eigentliche Forschungsintention hinaus, die auf den Humor des Kindes gerichtet war, hatten sich mithin allgemeine Erkenntnisse über Humor und Komik herausgebildet. Insgesamt hatte sich das Lachen als eine zweite „Sprache“ des Menschen erwiesen, als eine Kommunikationsmöglichkeit mit eigenen Gesetzen. So konnte es nicht ausbleiben, daß bei der Auswertung die Frage auftauchte, inwieweit die Gesetze des Lachens international sind, ob z.B. die linguistisch festgestellten Formen der Sprachkomik zu den Universalien gehören. Die abendländische Tradition ließ solches vermuten.

Dafür ein Beispiel: Homer läßt Odysseus und dessen Gefährten den Riesen Polyphem dadurch beschwindeln, daß sie sich ihm als „Niemand“ und „Keiner“ vorstellen, worauf der Riese nach dem Überfall (ergebnislos) ruft: „Niemand würgt mich... und Keiner gewaltsam.“ Ähnlich ein verbreiteter Kinderwitz unserer Tage: „Herr Doof“ wirft einem „Herrn Niemand“ einen Blumentopf an den Kopf, was ein „Herr Keiner“ beobachtet; als Doof dem Polizisten berichtet „Niemand hat mir einen Blumentopf an den Kopf geworfen und Keiner hat's gesehen“, fragt ihn der Polizist doppeldeutig: „Sind Sie doof“, was dieser nur bestätigen kann.

Von Sprachwissenschaftlern in anderen europäischen Ländern (insbesondere in den Niederlanden und in Großbritannien) wurde denn auch nach dem Erscheinen von „Sprache und Humor des Kindes“ die Frage gestellt, inwieweit tatsächlich die festgestellten Gesetzmäßigkeiten von Komik und Humor international seien. Die Besprechung der Forschungsergebnisse in einer amerikanischen Tageszeitung (1968) führte schließlich zu einer Parallelerhebung im amerikanischen Bundesstaat Oregon (durch D. und G. Matschke). Die in Oldenburg vorgenommene Auswertung der 918 gewonnenen Belege hatte das Ergebnis, daß sich nicht nur die psychologisch registrierte Phasenentwicklung bei amerikanischen Kindern und Jugendlichen ganz ähnlich wie bei deutschen vollzieht, sondern daß darüber hinaus die linguistisch festgestellten formalen Abweichungen von der Sprachnorm - sogar mit ähnlichen Häufigkeitsziffern - im amerikanischen Sprachraum wiederzufinden sind. Variation der Anfangskonsonanten, Variation der Akzentvokale, grammatische Fehlbildung, syntaktische Umstellung, semantische Verkehrung. Freilich besagen die festgestellten Ähnlichkeiten zwischen den Befunden im deutschen und amerikanischen Sprachbereich noch nicht, daß sie über den europäisch-amerikanischen Sprachraum hinaus gelten. Noch stehen Erhebungen zu dieser Frage in entfernteren Sprachen aus.

Lyrischer Humor

Während die Untersuchungen zu Sprache und Humor des Kindes sprachwissenschaftlich und psychologisch akzentuiert waren, verschob sich die Forschungsperspektive beim Lyrischen Humor und bei der Verfremdung in Richtung Literaturwissenschaft. Nachdem

die Untersuchungen zu Sprache und Humor des Kindes die literarische Komik mit ihren Teilphänomenen Komik im engeren Sinn, Verfremdung und Grotteske als eine ästhetisch grundlegende und präzise faßbare Kategorie erwiesen hatten, stellte sich die Frage nach deren Bedeutung innerhalb der einzelnen literarischen Gattungen (Epik, Lyrik, Dramatik). Die literaturwissenschaftliche Forschung hatte im Hinblick auf die Gattungen Dramatik und Epik den jeweiligen Schnittpunkt mit der Komik in den Genres Komödie bzw. Witz erkannt und (wenn auch hinsichtlich des Witzes in geringerem Ausmaß) untersucht. Eine Leerstelle der Forschung bildete jedoch der Schnittpunkt von Lyrik und Komik. Da die Untersuchungen zu Sprache und Humor des Kindes zahlreiche der Lyrik zuzuordnende komische Phänomene gezeigt hatten, ergab sich die Notwendigkeit einer eingehenden Untersuchung des Schnittpunktes von Lyrik und Komik, für den dann der Begriff „Lyrischer Humor“ geprägt wurde. Die Ergebnisse der Untersuchung lassen sich wie folgt beschreiben:

1. Die Grundrichtungen der literarischen Komik (Komik im engeren Sinn, Verfremdung, Grotteske) manifestieren sich auch bei den Texten des Lyrischen Humors. Komik im engeren Sinn als Spiel mit literarischen Normen zum Zweck von deren Bestätigung kann exemplarisch an einem Abzählreim wie dem folgenden belegt werden: „Ene mene minke tinke/ wade rade rolle tollke/ wiggel waggel weg“. Der Text erweist sich als ein sehr genau durchdachtes System der Variation von Anfangskonsonanten (z.B. minke tinke) und Akzentvokalen (z.B. wiggel waggel), das auf das einzige sinntragende Wort des Textes („weg“) zuläuft. Die Funktion des Abzählreims erhält durch diese Konstruktion einen komischen Grundton. Verfremdung als Spiel mit literarischen Normen zum Zweck von deren Kritik demonstriert dagegen ein Gedicht von Ernst Jandl („lichtung“), in der der verbale Mißbrauch politischer Begriffe, wie z.B. „links“, gegeißelt wird: „manche meinen/ lechts und rinks/ kann man nicht/ verwechsern. / werch ein illtum!“ Auch hier werden Konsonanten- und Vokalvariationen als Normabweichungen benutzt, diesmal aber mit gesellschaftskritischer Zielrichtung. Grottesk schließlich erweist sich der Versuch, im Rekurs auf die Technik der literarischen Komik eine letztlich ins Chaos führende Normzertrümmerung durchzuführen, wie etwa in Gedichten Morgensterns.

2. Die im Schnittpunkt von Lyrik und Komik angesiedelten Texte bilden insgesamt ein in sich geschlossenes Genre, das als solches bisher nicht beschrieben worden ist. Dieses Genre ist mit zahlreichen Texten besetzt, die sich in unterschiedliche Erscheinungsformen gliedern lassen: Klanglyrik (z.B. Lautgedicht), Reimspiele (z.B. Schüttelreim, Limerick), Verkehrte Welt (z.B. Umstellung, Parodie), Lügengedichte (z.B. Umkehrung, Verstellung), Lachende Moral (z.B. Versfabel, Epigramm), komische Erzählgedichte (z.B. Romanze, Moritat).

3. Aus literaturdidaktischer Sicht ergab sich für das Genre Lyrischer Humor ein ausgesprochen hoher Bildungswert. Die Texte des Lyrischen Humors reichen vom einfachen Kinderreim (z.B. Zungenbrecher, Abzählreim) bis hin zur komplizierten Parodie (z.B. Brechts „Liturgie vom Hauch“), sie sind mithin für den Literaturunterricht von der Primarstufe bis zur Sekundarstufe II geeignet, desgleichen heranziehbar für den muttersprachlichen wie den fremdsprachlichen Bereich. Außerdem haben die Texte des Lyrischen Humors einen starken Aufforderungscharakter zum Nachgestalten.

Auf der Grundlage erkannter Gesetzmäßigkeiten war mit dem Lyrischen Humor am „literarischen Himmel“ ein bisher nicht registrierter „Stern“ als neues Genre beobachtet und beschrieben worden. Freilich steht hier noch die literaturhistorische Frage nach der

Geschichte dieses Genres aus, die mit dem Problem eng verbunden ist, warum das doch mit so zahlreichen Texten besetzte Genre als solches bisher weder benannt noch untersucht worden ist, wenn man absieht von jenen Arbeiten, die Texte des Lyrischen Humors unter anderer Zielrichtung mit herangezogen haben (so z.B. als Sprachspiel).

Verfremdung in der Literatur

Unter den Grundrichtungen der Komik, die aus dem Aspekt ihrer Beziehung zu der für Komik prinzipiell gegebenen Normabweichung voneinander abgegrenzt werden konnten, ist für die Literaturwissenschaft die Verfremdung gegenwärtig besonders interessant. Dies ergibt sich aus der Aktualität der mit Verfremdung möglichen Gesellschaftskritik, die für die meisten in unserem Land derzeit erscheinenden Texte bestimmend ist. Untersuchungen zur Verfremdung sind jedoch nicht nur aktuell, sondern aus dem Forschungsstand heraus dringend notwendig. In der literaturwissenschaftlichen Diskussion werden mit dem Terminus 'Verfremdung' ganz unterschiedliche Sachverhalte bezeichnet, wobei die Bedeutungsgehalte zum Teil auf diffuse Art ineinander übergehen. Ein Desiderat ist auch die genaue Abgrenzung zu verwandten Begriffen wie z.B. Ironie. Aus der Erkenntnis dieser Forschungsdesiderate entstanden Arbeiten mit dem Ziel einer objektiven Darstellung der Kategorie Verfremdung, die in dem Band „Verfremdung in der Literatur“ (1984) zusammengefaßt worden sind. Überblickt man die verschiedenen Untersuchungen, so ergibt sich folgendes Bild:

1. Der Begriff Verfremdung meint im umfassenden Sinn jene spezifisch künstlerische Aufarbeitung der Realität. Aristoteles sprach in diesem Zusammenhang vom „*onoma xenikon*“ (fremdem Ausdruck), was Lausberg mit „Verfremdung“ übersetzt hat. Die Funktion dieser künstlerischen Verfremdung hat Aristoteles mit der Aufgabe des Künstlers begründet, den Rezipienten aus seiner Trägheit zu reißen, ihn für die künstlerische Aussage zu interessieren. Dieser Begriff von Verfremdung ist mit der Rhetorik durch die Jahrhunderte tradiert worden. Die russischen Formalisten der Jahrhundertwende griffen Aristoteles' Verfremdungsbegriff auf und stellten ihn in das Zentrum ihrer Überlegungen, allen voran Sklovskij, der dafür den russischen Begriff „ostranenie“ prägte. Slawisten, wie z.B. Renate Lachmann, haben die Verfremdungstheorie der russischen Formalisten in der Gegenwart aufgearbeitet und weitergeführt.
2. Brechts „Politische Theorie der Verfremdung“ ist nicht mit Aristoteles' umfassendem Verfremdungsbegriff identisch, wiewohl Brecht diesen als Rahmen benutzt. Brecht beruft sich auf Hegel, der sich seinerseits die Ironie des Sokrates zum Vorbild genommen hat. Verfremdung im Sinne Brechts meint die Technik, allzu Bekanntes als Unerkannt darzustellen und damit der Reflexion zu überantworten, um Kritik zu produzieren. Der Leser, das ist nach Brecht das Ziel der gesellschaftskritischen Verfremdung, soll denken: „Das hätte ich nicht gedacht. So darf man es nicht machen. Das ist höchst auffällig, fast nicht zu glauben. Das muß aufhören.“ Die durch Verfremdung bewirkte Kritik an überkommenen Normen macht diese demnach zunächst erkennbar, um sie dann der kritischen Reflexion zu überantworten. Die mit der Normabweichung erzielte Komik, die als solche auch von Hegel und Brecht beschrieben worden ist, ist zielgerichtet: Lachen wird zum Auslachen, Komik gewinnt durch Verfremdung eine emanzipatorische Tendenz.
3. Neben der Unterscheidung zwischen Verfremdung im allgemeinen Sinn (theoretisch begründet durch Aristoteles) und Ver-

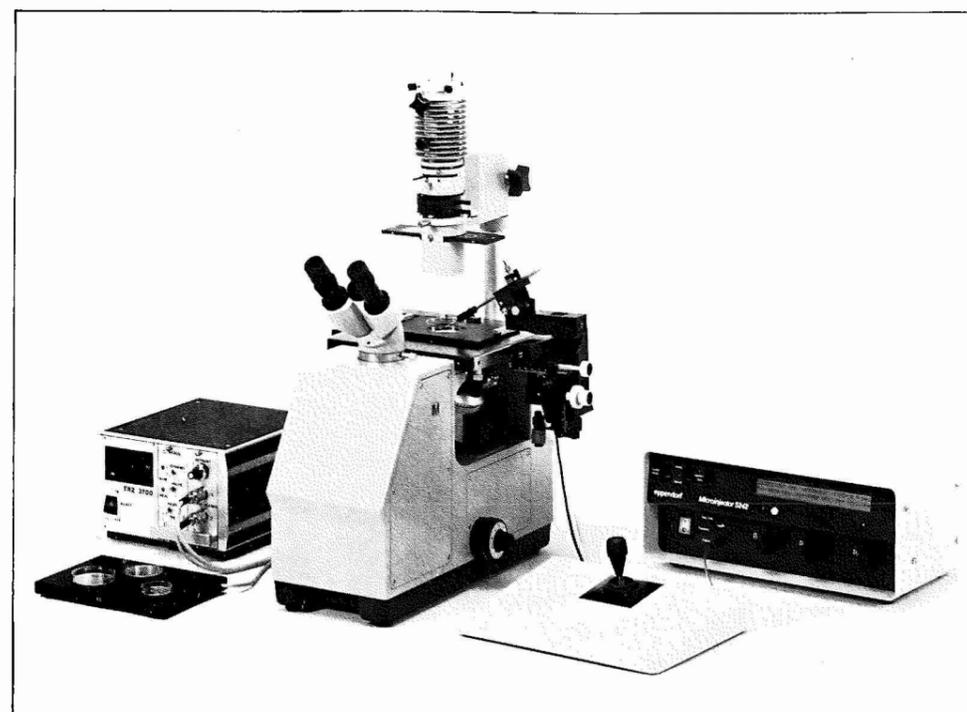
fremdung im engen Sinn (theoretisch begründet durch Brecht) galt es, letztere als ein über die Werke Brechts hinausreichendes generell der Gesellschaftskritik dienendes „Instrumentarium“ zu erfassen. Hierfür fehlte es in der Literaturwissenschaft bisher noch an Forschungsergebnissen.

Als Untersuchungsfeld bot sich das Werk Wilhelm Raabes an, da die traditionelle Raabe-Forschung dessen Komik als „gütigen Humor“ verharmlost hat, während die heutige Forschung die Gesellschaftskritik als Grundzug bei Raabe festgestellt hat. Wie Raabe das Instrument der gesellschaftskritischen Verfremdung benutzt, sei an einem Beispiel gezeigt, und zwar aus der Novelle „Pfisters Mühle“, die Umweltprobleme behandelt. Die aus der literarischen Tradition überkommene Norm der Darstellung wird durch den Autor zunächst wie folgt ausgebreitet: „Lieblich düftevoll lag die Sommernacht vor den Fenstern, über dem alten Garten, dem rauschenden Fließchen und den Wiesen und Feldern“. Jäh schließt sich daran der Satz: „Ein leiser Hauch von Steinkohlengeruch war natürlich nicht zu rechnen.“ Der Begriff „Steinkohlengeruch“, der auf die umweltzerstörenden Eingriffe in die Natur bezogen ist, steht konträr zu „lieblich düftevoll“, und mit dem Verb „rechnen“ wird die vorher gewählte, zum traditionellen Bild passende Sprachebene vollends verlassen. An dieser Stelle zeigt sich auch die gesellschaftlich-historische Relativität der Verfremdung. Nur ein Leser, der aufgrund einer bestimmten Bildung den Normabbruch als solchen registriert, kann die verfremdende Wirkung verspüren. Nur ein Leser, der mit dem Autor dessen kritische Einstellung prinzipiell teilt, wird bereit sein, ins Gelächter einzustimmen - für andere Leser ist die Verfremdung ein Ärgernis.

4. Der Frage, welcher formalen Mittel sich die derart als gesellschaftlich-historisch bedingt erkannte Verfremdung bedient, wurde in weiteren Untersuchungen nachgegangen. Als Textgrundlage wurde dafür eine Novelle von Heinrich Böll („Entfernung von der Truppe“) herangezogen. Es ergaben sich vier Erscheinungsformen der gesellschaftskritischen Verfremdung. Die erste wird mit dem Terminus heterogene Fügung umschrieben: eng gekoppelte Sprachelemente stehen in Widerspruch zueinander, wie in der genannten Novelle die Begriffe „Nazi-Angelegenheit“ und „Schnupfen“. Die zweite Erscheinungsform der Verfremdung wird als Herausfall aus der Norm bezeichnet: Einzelemente geraten in Kontrast zu allgemein üblichen „Sageweisen“, so bei Böll der Begriff „Nach-Feierabend-Menschlichkeit“ als Wortneubildung. Die dritte Erscheinungsform wird Absprung ins Zitat genannt; damit ist nicht jede Zitierung gemeint, sondern nur eine solche, die (nach Raabe) „wie die Faust aufs Auge paßt“, etwa die Zitierung des „Wahlspruches“ des Reichsarbeitsdienstes „Arbeit macht frei“, aus dem der Ich-Erzähler desertiert. Die vierte Erscheinungsform ist mit dem Perspektivenwechsel gegeben, wie er in der Novelle Bölls dadurch stattfindet, daß Kriegszeit und Nachkriegszeit (oft im selben Satz) ständig durcheinander gewirbelt werden. Alle vier Erscheinungsformen der Verfremdung bewirken Normabbruch, reißen den Leser dadurch aus dem literarischen Trott und bringen ihn mit einem befreienden Lachen zur kritischen Reflexion.

Was für die Forschungsfelder Sprache und Humor des Kindes und Lyrischer Humor gilt, gilt in besonderem Maße auch für das Forschungsfeld Verfremdung in der Literatur: Die Darstellung der Forschungsergebnisse erhebt nicht den Anspruch, „Endgültiges“ geliefert zu haben. Wohl aber wurden in den untersuchten Feldern des großen Komplexes von Humor, Komik und Verfremdung neue Erkenntnisse gewonnen, die als solche wieder neue Fragen aufwerfen.

Für Ihren Erfolg in Biologie, Molekularbiologie und Medizin: die Inversen Mikroskope von Zeiss



Inverse Mikroskope IM, IM 35 und ICM 405 von Zeiss bieten wichtige Vorteile:

- großer freier Arbeitsraum
- außergewöhnliche Stabilität
- unübertroffene Zeiss Optik für alle optischen Kontrastierungsmethoden
- Mikrophotographie auf Kleinbild und Großformat; dazu TV.

Zeiss setzt Maßstäbe in Optik, Feinmechanik, Elektronik

ZEISS
West Germany

Carl Zeiss
Geschäftsbereich
Mikroskopie
Postfach 1369/1380
D-7082 Oberkochen

Zu diesen praktischen Mikroskopen liefert Zeiss: Heizbarer Mikroskoptisch und heizbare Abstellplatte zur Temperierung von Zellkulturen Mikromanipulator MR zur feinfühligsten Positionierung des Mikroinjektors Mikroinjektor eppendorf 5242 zur Injektion sehr kleiner Flüssigkeitsmengen bis in den Picoliterbereich in lebende Zellen.

Verlangen Sie ausführliche Informationen.

info-coupon

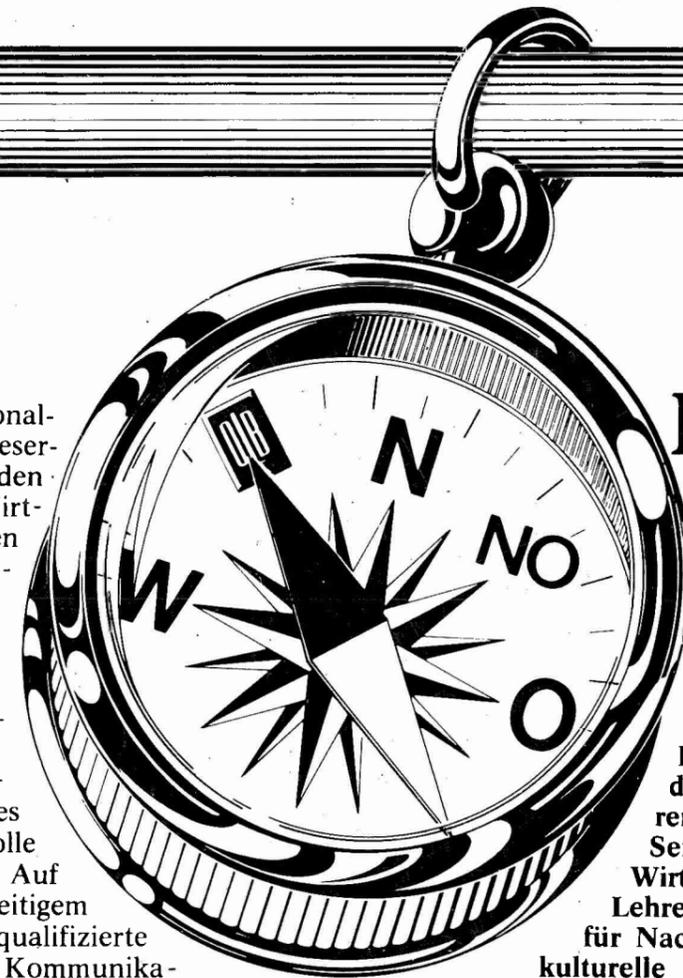
- Ich bitte um Unterlagen über
- Inverse Mikroskope
 - Heizbaren Mikroskoptisch
 - Mikromanipulator
 - Mikroinjektor

Absender:

OLB: Erfolgreich im Nordwesten



Als größte Regionalbank im Raum Weser-Ems ist die OLB mit den Bewohnern und der Wirtschaft seit 116 Jahren eng verbunden. Ihr Geschäftsgebiet ist überschaubar. 233 Niederlassungen garantieren überall Kundennähe und schnelle Entscheidungen. Wir beraten individuell und verantwortungsbewußt, wie es unsere anspruchsvolle Kundschaft erwartet. Auf der Basis von gegenseitigem Vertrauen. Erfahrung, qualifizierte Mitarbeiter, moderne Kommunikationstechniken und internationale Verbindungen bilden die weiteren Grundlagen für unseren Erfolg. Wir kennen Land und Leute und fühlen uns kompetent für die wirtschaftlichen Fragen der Region.



Kompetent zu sein, heißt Antworten zu wissen, Problemlösungen zu finden. Für Baufinanzierungen, Existenzgründungen, für gewerbliche und private Investitionen, für Auslandsgeschäfte und Vermögensanlagen.

Kompetent fühlt sich die OLB auch in anderen Bereichen: **Computer-Seminare für Jugendliche, Wirtschaftsfernkurse für Lehrer, Auslandsstipendien für Nachwuchsmanager sowie kulturelle Veranstaltungen** sind

Beispiele des Engagements einer Regionalbank in ihrem sozialen Umfeld.
Wenn Sie mehr über die OLB wissen wollen, schreiben Sie uns:
OLB, Stau 15/17, 2900 Oldenburg.



OLDENBURGISCHE LANDESBANK AG
Die Bank, die hier zu Hause ist.