

Heinz Ulbricht

Kolloquium Theorie - Modell - Experiment - Praxis : IV. Rostocker Universitätstage 1981

Rostock: Wilhelm-Pieck-Universität, 1982

<https://purl.uni-rostock.de/rosdok/ppn1870261380>

Druck Freier  Zugang  OCR-Volltext

Kolloquium

**THEORIE - MODELL -
EXPERIMENT - PRAXIS**



Wilhelm-Pieck-Universität
Rostock

IV. Rostocker Universitätstage 1981

Kolloquium

Theorie - Modell - Experiment - Praxis

Veranstalter:

Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Fakultät für Mathematik, Physik
und Technische Wissenschaften des
Wissenschaftlichen Rates

27. und 28. Januar 1981

Bearbeiter: Prof. Dr. H. Ulbricht
Dr. D. Ruser

Rostock
1982

Redaktion: Abteilung Wissenschaftspublizistik der
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
DDR 2500 Rostock, Vogelsang 13/14
Fernruf: 36 95 77

Herausgegeben von der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Drucktechnische Bearbeitung: Inge Harms
Ingrid Stallbaum
Druckgenehmigung C 213/83 ODR W II Cd 1
Druck: Ostsee-Druck Rostock, Betriebsteil Ribnitz

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
ULBRICHT, H.: Vorwort	5
HAGER, N.: Zu einigen philosophischen Aspekten des Verhältnisses Experiment-Modell- Theorie-Praxis	6
ULBRICHT, H.: Über den Zusammenhang von Theorie, Modell und Experiment in der Physik	15
PARTHEY, H.: Experiment und Erklärung in der Sicht von Kriterien der Wissen- schaftlichkeit	23
HAGER, T.: Modell-Bildung und Modellnutzung in der Systemforschung	33
STÖBER, P.: Der Erwartungswert von Konfronta- tionen theoretischer Vorhersagen mit experimentellen Ergebnissen	46
BERG, L.: Zur statistischen Modellierung von Wachstumsprozessen	49
KRANOLD, R.: Zur Stellung von Modellexperiment und Experiment im Rahmen der Modellmethode	52
HERMS, G.: Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung am Beispiel eines Modellversuches zur Kristallisa- tion und Glasbildung	55
SCHULZE, G.: Modellexperimente in der wirt- schaftswissenschaftlichen Forschung	58

	<u>Seite</u>	
HENNINGS, E.:	Die Rolle des Experiments in der	
PFÜLLER, H.:	technikwissenschaftlichen Forschung	61
THAMM, S.:		
SCHOMMARTZ, G.:	Hochschulforschung und Praxis: Probleme der Überführung	77
STENGEL, H.:	Die Rolle des Experimentes bei der Überleitung von Forschungsergebnissen in der Fischereitechnik	86
SEYFFARTH, P.:	Theorie und Experiment in der Schweißtechnik	98
VIETINGHOFF, U.:	Felduntersuchung, Laborexperiment und mathematische Modellierung am Beispiel der Ökosystemanalyse Boddenkette Wert	107

Vorwort

Am 27. und 28. Januar 1981 fand an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock im Rahmen der IV. Universitätstage ein wissenschaftliches Kolloquium zum Thema "Theorie - Modell - Experiment - Praxis" statt. Das Anliegen des Kolloquiums, an dem etwa 110 Wissenschaftler verschiedener Disziplinen teilnahmen, bestand darin, im gemeinsamen Gespräch verallgemeinerungswürdige Aussagen zum Nutzen von Natur- und Gesellschaftswissenschaftlern zu finden. Charakteristisch für dieses Kolloquium war einmal die Breite des Teilnehmerkreises aus verschiedenen Disziplinen wie Philosophie, Ökonomie, Mathematik, Natur- und Technikwissenschaften, zum anderen aber die Konzentration im Rahmen des Themas auf den interdisziplinären Aspekt.

Mit diesem Kolloquium, das in einigen Themen an die Rostocker Konferenz "Physik und Gesellschaftswissenschaften" anknüpfte, soll eine Kolloquiumsreihe begründet werden, die in zweijährigem Rhythmus Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen zur Beratung gemeinsamer übergreifender Fragenkomplexe zusammenführt.

In den folgenden 14 ausgewählten Beiträgen dieses Heftes spiegeln sich sowohl Breite als auch vorhandene thematische Schwerpunkte des Kolloquiums wider. Sie sollen Gültiges fixieren, vor allem aber auch Anregung für weitere Diskussionen und Untersuchungen geben, um die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit größtmöglichem Nutzeffekt im Interesse unserer Gesellschaft zu fördern.

Prof. Dr. H. Ulbricht

Zu einigen philosophischen Aspekten des Verhältnisses
Experiment - Modell - Theorie - Praxis

1. Wissenschaftliche Forschung ist auf Gesetzeserkenntnis gerichtet, auf die Zusammenfassung erkannter Gesetze und ihrer Existenzbedingungen in Systemen des Wissens, in Theorien und auf die praktische Nutzung und damit auch Bestätigung erlangten Wissens in der Praxis. Die philosophische Untersuchung der "Hauptwege" der Theorienbildung, zu denen das Verhältnis von Experiment - Modell - Theorie gehört, sowie die philosophische Analyse der praktischen Überprüfung theoretischer Erkenntnisse ist eine Konsequenz aus dem realen Erkenntnisprozeß der Wissenschaften.

Philosophisches Instrumentarium - Grundaussagen, präzierte Aussagen, Kategorien und Methoden marxistisch-leninistischer Philosophie, die durch Verallgemeinerung vor allem auch der Ergebnisse anderer Wissenschaften entstanden - wird angelegt, um wissenschaftliche Erkenntnisprozesse zu untersuchen. Die konsequente Ausarbeitung der eigenen Theorie, speziell der marxistisch-leninistischen Erkenntnistheorie berücksichtigt die Untersuchung und Einbeziehung der Erkenntniswege und -methoden der einzelnen Wissenschaften ebenso wie die Ergebnisse wissenschaftshistorischer Untersuchungen, aber gleichfalls die Forschungen anderer Wissenschaften wie z.B. der Psychologie/1/ zum Erkenntnisprozeß. Ein solches Vorgehen setzt unsere Philosophie in die Lage, nicht nur weltanschaulich-ideologische Grundlage für die Vertreter speziell auch der Natur- und Technikwissenschaften zu sein, sondern erfordert zugleich, für diese Wissenschaften selbst heuristisch-methodologisch wirksam zu werden. Letzteres bedeutet jedoch nicht etwa, feste Regeln und "Rezepte" für erfolg-

reiches wissenschaftliches Vorgehen aufzustellen, sondern erfaßt die Aufgabe, in der wissenschaftlichen Diskussion in vielfältiger Weise anregend zu sein, Denkanstöße zu geben, Diskussionen voranzutreiben. Beispielsweise kann dies über die Ausnutzung philosophisch verallgemeinerter natur- und gesellschaftswissenschaftlicher Ergebnisse, mittels vorliegender erkenntnistheoretisch-methodologischer Lösungen zu Fragen des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses in einem Wissenschaftszweig oder bei der konstruktiven "Übertragung" vorhandener Erkenntnisse in andere Gebiete, mit Hilfe der philosophischen Analyse und evtl. konstruktiven Kritik benutzter Begriffe und Methoden usw. geschehen, /2/.

2. Es gibt in den Wissenschaften wohl kaum einen Theorienbildungsprozeß oder einen Weg der Interpretation und Veranschaulichung der Theorie sowie ihrer praktischen Nutzung ohne die Anwendung von Modellen. Stets werden ideelle Modelle, die in mehr oder weniger großem Umfang Idealisierungen darstellen, verwendet, um andere ideelle Objekte oder Prozesse im Forschungsprozeß zu ersetzen, zu repräsentieren. In ihnen werden Analogien genutzt. In Modellexperimenten werden materielle Modelle untersucht, wenn Experimente an den zu untersuchenden Objekten bzw. Prozessen aus verschiedenen Gründen (wie räumliche und zeitliche Entfernungen, technische, ökonomische oder humane Aspekte) nicht ausführbar sind. Sie liefern Material für Theorienbildungen, -interpretationen bzw. für die direkte bessere Beherrschung natürlicher oder gesellschaftlicher Objekte bzw. Prozesse (einschließlich der Technik). Modelleexperimente sind zugleich eine Form der praktischen Überprüfung der ihnen vorausgehenden theoretischen Vorstellungen einschließlich ideeller Modelle.

Wenn damit die Rolle der Modellmethode im Prozeß der Theorienbildung und -interpretation besonders hervorgehoben

ist, so bedeutet dies keinesfalls, daß ihr eine Bedeutung zuzuschreiben wäre, die die anderen wissenschaftlichen Methoden negiert.

Die Modellmethode ist im Gegenteil gerade durch ihre Stellung im Ensemble der Methoden, durch ihre Beziehungen zu den anderen wissenschaftlichen Methoden ausgezeichnet, was in der konkreten Anwendung dieser Methoden in den einzelnen Wissenschaften spezifische Ausprägungen erfährt. Modelle selbst werden von uns in Strukturen und Funktionen erst durch ihre Beziehungen zu anderen Formen und Mitteln der Erkenntnis wie Experiment und Beobachtung, Hypothese, Gedankenexperiment, Theorie u.a. erfaßt /3/.

Die Modellmethode zeigt bei der historischen Untersuchung ihrer Anwendung in Wissenschaften wie der Physik qualitative wie quantitative Veränderungen. Gerade in den letzten Jahren und in den 20 - 30 Jahren zuvor haben sich Inhalt und Richtungen durch die umfassende Anwendung von EDVA in Forschungsvorbereitung, -durchführung, -auswertung und bei der Überleitung naturwissenschaftlicher Ergebnisse in ihre praktische Nutzung, durch ihre bewußte Anwendung in anderen bzw. neu entstehenden Wissenschaftsgebieten in Natur-, technischen sowie Gesellschaftswissenschaften gewandelt. Ein philosophisch relevanter Modellbegriff (entsprechendes trifft auch für andere Formen und Mittel der Erkenntnis zu) muß dieser Entwicklung entsprechen, dafür "offen" sein. Da Modelle in immer stärkeren Maße dafür genutzt werden, um über Simulation, Optimierung, Steuerung u.ä. zur besseren Beherrschung von Objekten und Prozessen der objektiven Realität unmittelbar beizutragen, erscheint es uns notwendig, neben dem Aspekt der Gewinnung neuer Erkenntnisse mittels der Anwendung materieller oder ideeller Modelle gerade diesen Aspekt der Wissenschaft, nämlich die aktive schöpferische Auseinandersetzung des Menschen mit der ihn umgehenden Welt im Modellbegriff hervorzuheben.

3. Ein Modell ist vom philosophischen Standpunkt aus stets durch seine Beziehungen zu dem, wovon es Modell ist und dem, wofür es Modell ist, d.h. daß Zweck im menschlichen Erkenntnisprozeß, bestimmt. In diesem Rahmen der Anwendung, Zuordnung, Arbeit mit dem Modell soll unter einem Modell die materielle oder ideelle (Re-) Produktion von möglichen und wirklichen Objekten, Prozessen, Beziehungen und Funktionen durch ein Erkenntnissubjekt mittels Analogien /4/ im weitesten Sinne oder das Nutzen solcher Analogien in anderen materiellen oder ideellen Systemen zur Erkenntnis bzw. besseren Beherrschbarkeit des modellierten Originals verstanden werden. Analogien im weitesten Sinne schließen in diesem Verständnis Homologien mit ein /5/. Im Vergleich zu einzelwissenschaftlichen Modellbegriffen handelt es sich bei diesem philosophisch relevanten Modellbegriff, wobei es in der Literatur durchaus keine Einheitlichkeit gibt, um einen Begriff, der durch philosophische Verallgemeinerung eines reichhaltigen Materials aus verschiedensten Wissenschaften entstand. Einzelwissenschaftliche Modellbegriffe verweisen auf die Spezifik ihrer, wenn auch manchmal Übergreifender Wissenschaften. Mißverständnisse können entstehen, wenn in Definitionen solcher Modellbegriffe Begriffe auftauchen wie z.B. der des (Modell-) Subjektes, der auch EDVA umfassen soll /6/, die einen relativ fest umrissenen Inhalt philosophischer Natur haben. Hier sollte der einzelwissenschaftliche Sinn solcher Begriffsbildungen in der philosophischen Diskussion der einzelnen Modellbegriffe betont werden.
4. Um von vorliegenden Erkenntnissen zu wirklich neuen zu gelangen, sind dem Gegenstand und der Aufgabenstellung entsprechende Methoden anzuwenden. Ein wichtiger Aspekt wissenschaftlicher Tätigkeit, in dem neben handwerklichen Fähigkeiten eine der schöpferischen Lösung der Probleme angemessene Intuition notwendig wird, ist das "Herausfiltern" und die zweckentsprechende Nutzung dieser Methoden

bei vorliegenden spezifischen Bedingungen und Zielstellungen. Die Methoden wissenschaftlicher Tätigkeit hängen aber dabei mehrfach eng mit dem Inhalt des Wissens zusammen. So stehen sie in Beziehung zu Geräte- bzw. Meßtheorien, zur Ähnlichkeitstheorie, zu den mathematischen Grundlagen der in den einzelnen Wissenschaften wie der Physik angewendeten mathematischen Beziehungen u.a.

Welche konkreten Methoden benutzt werden und welche Modifikationen sie im Einzelnen erfahren, hängt von einer Reihe von Faktoren ab und ist nicht auf einen oder zwei, wenn auch wesentliche, reduzierbar. Solche Faktoren betreffen nicht nur den Gegenstand der Forschung, den Entwicklungsstand der entsprechenden Wissenschaft oder den Bereich (z.B. in welchem Zweig der Physik geforscht wird, ob es sich um experimentelle, theoretische, Grundlagen oder angewandte Forschung handelt), sondern auch die Art und Weise der Problemlösungsansätze durch einen Wissenschaftler bzw. durch eine Gruppe, sie betreffen nicht zuletzt auch, wenngleich manchmal vermittelt, ökonomische oder humane Aspekte.

5. Betrachtet man das Ensemble der Methoden, manchmal auch Methodengefüge oder auch System von Methoden genannt, wobei es sich zumindest um ein historisch-genetisch "offenes" System handelt, so stellt man fest, daß die Modellmethode im gewissen Sinne eine verbindende Methode darstellt. Sie reicht "von der objektiven Analyse in Experimenten bis zur subjektiven Synthese analysierter Wesenselemente in der Theorie, von der theoretischen Analyse bis zur praktischen Synthese in materiellen Modellen, Pilotstationen usw." /7/

Die Modellmethode ist die Bildung und Anwendung materieller oder ideeller Modelle durch das Erkenntnisobjekt im wissenschaftlichen Erkenntnisprozeß zum Zwecke der tieferen Erkenntnis bzw. der besseren Beherrschbarkeit eines

materiellen oder ideellen Originals unter Ausnutzung von Analogien im weitesten Sinne.

6. Diese Methode ist nicht auf die Aufstellung des Modells beschränkt - wie auch andere Methoden nicht auf eine Etappe einzuschränken sind. Sie schließt die weitere Arbeit mit dem Modell, die Ausarbeitung aller Konsequenzen des Modells, hinsichtlich des angestrebten Zieles ebenso ein wie die Berücksichtigung theoretischer wie praktischer Voraussetzungen der Modellbildung, die praktischen Folgerungen aus dem Modell. Sie unterstützt damit die Überführung theoretischer Erkenntnisse in die Praxis und beinhaltet oft, aber nicht immer, eine Zuordnung der Modellvorstellungen zu allgemeineren Vorstellungen wie z.B. Theorien. Innerhalb der Modellmethode kann man also Stufen, Phasen oder Schritte der Modellbildung unterscheiden. Konkretere Untersuchungen z.B. zur Kosmologie /8/ und zur Festkörperphysik /9/ verweisen auf die Möglichkeit, folgende Stufen zu unterscheiden /10/:

- a) Die Stufe der Suche nach dem Modell, der Herausbildung, Schaffung des Modells (heuristische Stufe), wobei die Modelle gewisse, wenn auch nicht vollständige Erklärungen für objektive Erscheinungen liefern. Diese Stufe schließt die Formulierung des Problems, der Zielstellung ein.
- b) Die Arbeit mit dem Modell in Modell-, Computereperimenten (-simulationen), Gedankenexperimenten bzw. die Prüfung der mathematischen u.a. Konsequenzen des Modells (kognitive St.).
- c) Die damit eng im Zusammenhang stehende, oft nicht von b) zu trennende Stufe der Anwendung der am Modell gewonnenen Erkenntnisse auf das Original. Diese pragmatische Stufe dient der Überleitung der Erkenntnisse in die Praxis.

- d) Die erklärende Stufe, in der die entstandenen Modelle allgemeineren Vorstellungen zugeordnet werden.

Man wird dabei der komplizierten Dialektik des Erkenntnisprozesses nur gerecht, berücksichtigt man die im konkreten Forschungsprozeß sehr unterschiedlich ausgeprägten und oft neben- bzw. miteinander verlaufenden Stufen und ihre Wechselbeziehungen. Die entstehenden ideellen Modelle sind wie andere theoretische Vorstellungen auch ideelle Abbilder, die eine dialektische Einheit von Abbild und Entwurf darstellen.

7. Betrachtet man die Funktionen, die Modelle gegenüber wissenschaftlichen Theorien besitzen, so wird deutlich, wie eng die Stufe der Zuordnung der Modelle zu allgemeineren Vorstellungen mit anderen Stufen zusammenhängt.

- a) Das Modell kann als Als-ob-Objekt in der Theorienbildung dienen. Es "ersetzt" das Original der Untersuchung. Das betrifft nicht nur ideelle sondern auch materielle Modelle speziell in Modellexperimenten.
- b) Es kann als ein ideelles Modell theoretisch in seinen Konsequenzen derart ausgearbeitet sein, daß es im Theorienbildungsprozeß als Als-ob-Theorie auftritt und so faktisch eine noch nicht vorliegende "gesicherte" Theorie "ersetzt".
- c) Die durch innertheoretische Entwicklungen vor allem des mathematischen Apparates einer Theorie entstehenden abgeänderten bzw. neuen Theorien müssen durch Modelle interpretiert werden. Gegebenenfalls führen Hierarchien von Modellen und Folgerungen aus ihnen bis zu praktischen Konsequenzen. Vereinfachungen der Theorie können diese z. B. als konkretere Modelle "ersetzen", solche Modelle also gleichfalls als Als-ob-Theorien auftreten.
- d) Bei gesicherten Theorien, d.h. durch eine historisch u.U. längerwährende Überprüfung der Wahrheit theoretisch

scher Vorstellungen in der Praxis "bestätigte" Theorien, kann das ideelle Modell zum integralen Bestandteil der Theorie geworden sein. Ähnliches trifft bereits für Theorienentwürfe zu, für die die weitere Überprüfung und Bestätigung in der Praxis, im wissenschaftlichen Experiment, in der Nutzung in Produktion oder anderen gesellschaftlichen Bereichen, aussteht.

Anmerkungen:

- /1/ J. Erpenbeck: Psychologie und Erkenntnistheorie
Berlin, 1980
- /2/ Vgl. dazu und zur Problematik der philosophischen Verallgemeinerung J. Erpenbeck; H. Hörz: Philosophie contra Naturwissenschaft, Berlin, 1977
- /3/ Dies untersucht die Autorin näher im Buch
N. Hager: Modelle in der Physik (in Vorbereitung)
- /4/ Zur Analogie vgl. z.B. A.M. Uemov: Logiceskie osnovy metoda modelirovanija, Moskva, 1971
- /5/ Vgl. H. Hörz: Modelle in der wissenschaftlichen Erkenntnis (in Sitzungsberichte der AdW der DDR, 11 G 1978, Berlin, 1978
- /6/ Vgl. z. B. K.D. Wüstneck: Einige Gesetzmäßigkeiten und Kategorien der wissenschaftlichen Modellmethode (in DZfPh 12/1966
- /7/ H. Hörz: Modelle in der wissenschaftlichen Erkenntnis (in A. a. O., Seite 4
- /8/ Vgl. A. Tursunov, Filosofija i sovremennaja kosmologija, Moskva, 1977
- /9/ Vgl. N. Hager; H. Hörz: Modell und Modellbildung in der wissenschaftlichen Erkenntnis (in DZfPh 2/1977
- /10/ Vgl. ebenda

Verfasser:

Dr. phil. Nina Hager
Zentralinstitut für Philosophie
der AdW der DDR
Bereich philosophische Fragen
der Wissenschaftsentwicklung

1080 Berlin

Otto-Nuschke-Straße 10/11

Heinz Ulbricht

Über den Zusammenhang von Theorie, Modell und Experiment
in der Physik

1. Einleitung

Die Kompliziertheit des Naturgeschehens gestattet es in der Regel nicht, unmittelbar aus ihr entsprechende Gesetzmäßigkeiten herzuleiten. Zur mathematisch-physikalischen Bearbeitung sind aus dem durch Experiment oder Naturgeschehen gewonnene Primär-Erfahrungsmaterial mit Hilfe von Abstraktionen Modelle zu entwickeln, die eine entscheidende Grundlage der Theorie des betrachteten Problemkomplexes bilden. Oftmals sind diese Modelle selbst wesentliche Bestandteile der jeweiligen Theorie. Im allgemeinen sind verschiedene Modellstufen erforderlich, so daß von einer Modellhierarchie gesprochen werden kann. Aus den so erarbeiteten Theorien können Folgerungen hergeleitet werden, die anhand neuer Experimente bestätigt werden müssen und so das Basismodell verifizieren. Aus der Forschungspraxis läßt sich ein Strukturschema des physikalischen Erkenntnisprozesses ableiten, das etwa durch die Kette:

Zielfunktion - Modell - Hypothese, Postulate -
mathematisch-physikalische Theorie - Verifikation
- Nutzung

wiedergegeben werden kann. Grundsätzlich gilt ein solches Schema wohl in jeder Wissenschaftsdisziplin, wobei sicher fachspezifische Unterschiede vorhanden sein werden.

Im folgenden soll sowohl auf verschiedene spezielle physikalische Modelle und die entsprechenden Theorien als auch auf einige Aspekte übergreifender Modellbildungen, insbesondere zum Überführungsprozeß, eingegangen werden.

2. Zur Bedeutung des Modells in der Physik

Unter einem physikalischen Modell soll im folgenden eine durch Abstraktion gewonnene Idealisierung der physikalischen Wirklichkeit verstanden werden, die wesentliche Züge der betrachteten Realität widerspiegeln muß. Je nach dem verfolgten Zweck können dabei diese wesentlichen Züge stark unterschiedlich ausgeprägt sein, so daß danach eine Klassifizierung der verschiedenen Modelle erfolgen kann.

Wir unterscheiden zunächst nach der Art des Modells anschauliche, abstrakte, materielle und ideelle Modelle. Die verschiedenen Beziehungen zwischen Original und Modell ermöglichen eine Unterteilung in Funktions-, Struktur- und Verhaltensmodelle. Die allgemeine Zielfunktion besteht im Erkenntnisgewinn und der Erkenntnisvermittlung bis hin zur Theoriebildung sowie zunehmend auch in entsprechenden Anwendungs- und Nutzungsaspekten. Im folgenden sollen einige wichtige Modellgruppen der Physik erläutert werden.

Globale Modelle und Theorien

Globale Modelle im physikalischen Sinne beziehen sich in der Regel auf die gesamte uns bekannte Materie bzw. ihre Existenzformen Raum und Zeit. Hierzu gehören Raum-Zeit-Modelle, wie sie in der speziellen bzw. allgemeinen Relativitätstheorie zugrunde gelegt werden, wie z.B. die aus der Endlichkeit und Konstanz der Lichtgeschwindigkeit gefolgerte Inertialzeit für jedes Inertialsystem oder der gekrümmte Raum, wenn auch beschleunigte Bezugssysteme zugelassen werden. Ausgehend von der Einheitlichkeit der Welt haben in diesem Sinne aber auch kosmologische bzw. Weltmodelle globalen Charakter. Die zu diesen Modellen gehörenden Theorien sollen entsprechend globale Theorien genannt werden.

Kontinuierliche und diskontinuierliche Modelle und Theorien^{1/}

Grundsätzlich ist bei diesen Modellformen zu beachten, daß

Kontinuität und Diskontinuität eine dialektische Einheit bilden. Beide spiegeln reale Aspekte der Existenz- und Strukturformen der Materie sowie ablaufender materieller Prozesse wider.

Welcher der beiden Aspekte in einem Modell und damit auch in der darauf beruhenden Theorie dominiert, wird demnach vor allem vom Anwendungs- oder Erkenntnisgegenstand geprägt, ohne daß damit der andere Aspekt in seiner grundsätzlichen Bedeutung negiert wird. Oftmals ist die Berücksichtigung sowohl des kontinuierlichen als auch des diskontinuierlichen Aspekts erforderlich, so daß Quasikontinuumsmodelle bzw. entsprechende Theorien benutzt werden. Derartige Modelle lassen jedoch stets eine Zerlegung in entsprechende kontinuierliche bzw. diskontinuierliche Anteile zu.

Bekannte Beispiele für diskontinuierliche Modelle sind der Massenpunkt bzw. das Massenpunktsystem. Derartige Modelle sind insbesondere für die Widerspiegelung der mikrophysikalischen Realität anwendbar, wobei in der Regel verschiedene Wechselwirkungsformen zwischen den Massenpunkten zu berücksichtigen sind. Die große Zahl von Freiheitsgraden erschwert jedoch die rein mechanische Behandlung, so daß wahrscheinlichkeitstheoretische Ansätze ergänzend anzuwenden sind.

Setzen wir die Abstandskonstanz der Massenpunkte voraus, so geht das Modell des Massenpunktsystems in das Kontinuumsmodell des starren Körpers über bei Berücksichtigung von Deformationen in das des elastischen Festkörpers über. Das Kontinuumsmodell ist schließlich durch den Übergang von diskreten Parametern zu Feldgrößen und von der Summation zur Integration gekennzeichnet. Entsprechende verallgemeinerte Modellvorstellungen lassen sich auf die mikrophysikalischen Ladungsträger bzw. auf die makrophysikalischen Begriffe der Ladungs- und Stromdichte sowie der Feldgrößen anwenden.

Modellhierarchie

Häufig werden je nach der vorgegebenen Zielstellung für ein- und dasselbe Objekt verschiedene Modelltypen benutzt, die

hierarchisch ineinander geschachtelt sind. Dabei sind die verschiedenen Modellstufen der jeweiligen Erkenntnisebene zugeordnet. Betrachten wir z.B. eine elektrolytische Lösung /2/. Makroskopisch läßt sich im Rahmen des Kontinuummodells durch die Parameter Dichte, elektrische Leitfähigkeit, Dielektrizitätskonstante, osmotischer Druck, Viskosität usw. charakterisieren. Interessieren wir uns jedoch für die mikrophysikalische Struktur, so muß das diskontinuierliche Modell der Ionenverteilung und der Lösungsmittelmoleküle benutzt werden. In der praktischen Anwendung werden häufig spezielle Elemente beider Modellvorstellungen wiederum gemischt angewandt. Diese gemischte von der jeweiligen Gesamtzielstellung abhängige Anwendung unterstreicht nochmals den hierarchischen Charakter der benutzten Modelle.

Physikalische Analogiemodelle

Für gesellschaftliche und biologische Prozesse wurden in den letzten Jahren zunehmend physikalische Modellierungen als Analogiemodelle verwendet. Diese Entwicklungen bestätigen das Marx'sche Zitat: "Die Naturwissenschaft wird später ebensowohl die Wissenschaft von dem Menschen wie die Wissenschaft von dem Menschen die Naturwissenschaft unter sich subsumieren: Es wird eine Wissenschaft sein." /3/

Dabei ist charakteristisch, daß diese Modelle im Falle ihrer Anwendung auf gesamtgesellschaftliche Prozesse dem stochastischen Wirken der Einzelprozesse Rechnung tragen müssen.

Erwähnt seien in diesem Zusammenhang die Untersuchungen von W. Ebeling und R. Feistel /4/, /5/, die ein stochastisches Modell des Wertgesetzes ausarbeiteten und auf Konkurrenzprozesse im Kapitalismus anwandten. Dabei wird gezeigt, daß das seinem Wesen nach deterministische Marx'sche Wertgesetz durch Überlagerung vieler stochastischer Elementarprozesse im Sinne einer Mittelwertbildung realisiert wird und die Einheit von Zufall und Notwendigkeit bei gesellschaftlichen Prozessen unterstreicht.

Genannt seien als weitere Beispiele für diese Modellgruppe die Untersuchungen von G. Schulze über die Analogien bei der analytischen Modellierung betrieblicher und physikalischer Prozesse /6/ sowie die Arbeit von P. Trettin über die Darstellung des Bewegungsproblems in ökonomischen Systemen in Analogie zur Beschreibung mechanischer Systeme /7/.

Überführungsmodelle

Die Überführung und Nutzung wissenschaftlicher Forschungsergebnisse in die Praxis stellt in der Regel einen komplizierten und vielschichtigen Prozeß dar, dessen wesentliche Abschnitte modellmäßig erfaßt werden können. In einer Reihe von Konferenzen und entsprechenden Veröffentlichungen wurden insbesondere auch von Physikern zahlreiche interessante Gedanken zu dieser Problematik dargelegt /8/, /9/.

Überführungsmodelle lassen sich in der Regel in Form einer Kette, der sogenannten Überführungskette, aufbauen, etwa in der Art:

Gesetz, Effekt, Stoff \rightarrow Überführungskette \rightarrow Erzeugnis.

Entscheidend dabei ist die weitere Spezifizierung des Mittelterms, dem eigentlichen Überführungsmodell. Während im Anlagenbau dieser Teil grob in Laboranlage, kleintechnische Anlage, Pilotanlage und Produktionskomplex unterteilt werden kann, findet man zum Beispiel beim Gerätebau die Reihe: Labormuster, technisches Muster, Nullserie und Produktionsserie. Von besonderem Interesse sind solche Überführungsketten, bei denen einzelne Zwischenstufen in mathematischer Form realisiert werden können, ohne daß eine gegenständliche Ausführung erforderlich ist. Hierzu gehört insbesondere das Gebiet der Bauprojektierung im klassischen Sinne, d.h. am Reißbrett, aber auch zunehmend die EDV-Projektierung, wie sie u.a. durch die Digitalgraphik realisiert wird.

Da die Überführungsproblematik sowohl mathematisch-naturwissenschaftliche und technische Aspekte hat als auch unmittelbar mit komplizierten gesellschaftlichen Prozessen verbunden

ist, erscheint eine Kombination der hier skizzierten Modellbildung mit entsprechenden Modellen für den gesellschaftlichen Bereich zweckmäßig.

3. Bemerkungen zur Nutzung und Anwendung physikalischer Theorien

Die Analyse der Wissenschaftsentwicklung zeigt eindeutig die Gültigkeit der marxistisch-leninistischen Erkenntnistheorie auch für dieses Gebiet der gesellschaftlichen Realität. Insbesondere kann an zahlreichen konkreten Beispielen gezeigt werden, daß hierbei die Entwicklungsgesetze der Dialektik voll und ganz gültig sind (vgl. z. B. /10/). Insofern erscheint es auch verständlich, wenn Wissenschaftler in der Vergangenheit in ihrer Arbeit eine materialistisch-dialektische Position einnahmen, ohne explizit diesen Standpunkt zu kennen oder gar sich zu ihm zu bekennen.

Es resultiert aus dieser Situation die Frage, welche Möglichkeiten die bewußte Anwendung der Gesetze des marxistisch-leninistischen Erkenntnisprozesses bei der Durchsetzung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts bietet. Hierzu gehört ein schnelleres Erkennen herangereifter Widersprüche zwischen dem vorhandenen Grad der Wissenschaftsentwicklung und dem jeweiligen Stand der Produktion und ihre mit dem Mut zum Risiko verbundene gemeinsame Lösung durch Wissenschaft und Produktion. Für diese Lösungen sind in der Regel keine allgemeinen Verfahren angebar, aber durch die bewußte und komplexe Anwendung gesellschaftlicher und naturwissenschaftlich-technischer Theorien kann in interdisziplinärer Arbeit oft ein beträchtlicher Fortschritt erreicht werden.

Literatur

- /1/ Ulbricht, H.: Zum dialektischen Verhältnis von Kontinuität und Diskontinuität, Rostocker Philosophische Manuskripte, H. 21, 1981, S. 95

- /2/ Ulbricht, H.: Zum Strukturproblem in der Physik,
Rostocker Physikalische Manuskripte, H. 16, Teil 1, 1976
S. 86
- /3/ Marx-Engels-Werke, Ergänzungsband, Teil 1, S. 543
- /4/ Ebeling, W.: Beiträge der Physik zur mathematischen
Modellierung gesellschaftlicher Prozesse
Physik und Gesellschaftswissenschaften, Wilhelm-Pieck-
Universität Rostock, 1977, S. 25
- Feistel, R.: Ein dynamisches Modell für die differen-
zierende und stimulierende Funktion des Wertgesetzes im
Kapitalismus der freien Konkurrenz
Physik und Gesellschaftswissenschaften, Wilhelm-Pieck-
Universität Rostock, 1977, S. 48
- /5/ Ebeling, W.: Ein stochastisches Modell für das Wirken
des Marx'schen Wertgesetzes im Kapitalismus der freien
Konkurrenz
Rostocker Physikalische Manuskripte, Wilhelm-Pieck-
Universität Rostock, H. 3/II, 1978, S. 47
- /6/ Schulze, G.: Beispiele einer analogen analytischen
Modellierung betrieblicher und physikalischer Prozesse
Rostocker Physikalische Manuskripte, Wilhelm-Pieck-
Universität Rostock, H. 3/II, 1978, S. 21
- /7/ Trettin, P.: Ein Modell zur Ermittlung ausgewählter,
langfristig optimaler volkswirtschaftlicher Grundpro-
portionen oder die Darstellung des Bewegungsproblems in
ökonomischen Systemen in Analogie zur Beschreibung
mechanischer Systeme
Physik und Gesellschaftswissenschaften, Wilhelm-Pieck-
Universität Rostock, 1977, S. 66
- /8/ Überführung, Wissenschaft, Produktion, Materialien
eines Kolloquiums der Akademie der Wissenschaften der
DDR, Berlin, Akademie-Verlag 1977

- /9/ Ebeling, W.; Ulbricht, H.: Zum Problem der Überführung von Forschungsergebnissen in die Praxis, dargestellt am Beispiel der Physik
Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, 23. Jahrg., 1974, Gesellschaftswissenschaftliche Reihe, H. 1, S. 3 - 9
- /10/ Ulbricht, H.: Philosophische Aspekte der Wissenschaftsentwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Physik
Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin
Math.-Nat. Reihe XXVI, 1977, 1., S. 99

Verfasser

Prof. Dr. sc. nat. Heinz Ulbricht
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Sektion Physik

DDR - 2500 Rostock
Universitätsplatz 3

Heinrich Parthey

Experiment und Erklärung in der Sicht von Kriterien
der Wissenschaftlichkeit

In der Geschichte der Wissenschaft ist die Herausbildung, Durchsetzung und Weiterentwicklung des Experimentierens ein grundlegender Prozeß. Die vielfältige Analyse der Phase der Herausbildung des Experimentierens, die vor etwa zweitausend Jahren begann und Ende des 16. Jahrhunderts und zu Beginn des 17. Jahrhunderts dadurch abgeschlossen wurde, daß Galilei die physikalische Naturwissenschaft mit der experimentellen Methode begründete, weist auf tiefgehende Diskussionen über die philosophischen Voraussetzungen der experimentellen Forschung hin /1/. Grundlegende philosophische Voraussetzungen der experimentellen Forschung sind unter anderem, daß das Objekt der Forschung unabhängig davon existiert, ob und wie es erkannt wird, daß den Erkenntnissen die Eigenschaft der Wahrheit dann zukommt, wenn der behauptete Sachverhalt existiert, daß die Wahrheit mittels praktischer Verfahren zum Nachweis der Existenz der behaupteten Sachverhalte festgestellt wird, daß gesetzmäßige Sachverhalte existieren und daß ihre Erkenntnis auf der Grundlage einer praktischen Beziehung zum Forschungsgegenstand möglich ist. Die Durchsetzung des Experimentierens als einer Praxisform der Forschung hat zum Wandel in der Wissenschaftsauffassung geführt, der vor allem das Erkennen des Gesetzmäßigen in den Erscheinungen immer besser in seiner Spezifik erfaßt. Bekanntlich wäre alle Wissenschaft überflüssig, wenn Wesen und Erscheinung zusammenfielen. Unsere Bemerkungen zur Entwicklung der Wissenschaftsauffassungen gehen davon aus, daß die Entscheidungen von Forschern beim Erkenntnisgewinn notwendigerweise den Kriterien der Wissenschaftlichkeit genügen müssen, deren Funktion darin besteht, das erkennende Forschen zielstrebig darauf zu lenken, in den Erscheinungen ihr Wesen aufzudecken.

In der natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Forschung ist dazu eine praktische Veränderung von Natur- und Gesellschafterscheinungen erforderlich, damit zur Gesetzeserkenntnis unwesentliche Seiten zurückgedrängt und wesentliche Eigenschaften stärker hervorgehoben in den wissenschaftlichen Zugriff kommen. In jedem Fall kommt dem theoretischen Schließen von den Aussagen über Beobachtungen der wesentlichen Erscheinungen - auf der Grundlage der Praxis, insbesondere auch der experimentellen Praxis - auf das Wesen, auf das Gesetzmäßige der untersuchten Erscheinung eine entscheidende Bedeutung zu. Dieses Schließen hat insofern eine Erklärungsfunktion, wie mittels Aussagen über die verwendeten Geräte und über Ausgangs- und Randbedingungen des experimentell hervorgerufenen Ereignisses versucht werden kann, diejenige Aussage abzuleiten, die das experimentell hervorgerufene Ereignis beschreibt. Ein weiterführender Vergleich zwischen der Erklärungsfunktion des Experiments und den Erklärungskriterien von Theorien setzt eine Unterscheidung von verschiedenen Klassen der Kriterien der Wissenschaftlichkeit voraus.

Zum Zwecke dieser Betrachtung können die Kriterien der Wissenschaftlichkeit eingeteilt werden in (1) Kriterien zur Feststellung der Wahrheit von Beschreibungen, in (2) Kriterien zur Sicherung der Erkenntnisfunktion des Erklärens und schließlich in (3) Kriterien zur Sicherung der weiterführenden Problematisierung /2/.

Die Kriterien der Wissenschaftlichkeit verändern sich offensichtlich nicht in der Weise, daß gegenüber den genannten neuen Klassen entstehen, sondern daß innerhalb genannter Klassen weitere Kriterien hinzukommen, durch die das Schöpfertum von Forschern weiter und tiefer diszipliniert wird. Dies läßt sich insbesondere für die erstgenannte Klasse von Kriterien der Wissenschaftlichkeit zeigen. Als historisch erste innerhalb dieser Klasse (1a) gelten die Forderungen nach beobach-

tender Feststellung des behaupteten Sachverhaltes und die Forderung nach logisch gesicherter Systematisierung von Behauptungen unter Beachtung ihrer Wahrheitswerte.

Die bloße Beobachtung reichte als Kriterium für das wissenschaftliche Erkennen solange aus, bis objektiv vorhandene, aber der bloßen Beobachtung verborgene Sachverhalte nun der Forschung zugänglich gemacht werden mußten. Die Möglichkeit dazu besteht in der Veränderung der vorgefundenen Naturerscheinungen durch Bedingungen, die vom Forscher mit Hilfe seiner eigenen und der von ihm bereits beherrschten Naturkräfte bewußt gesetzt werden und unter denen er bewußt Prozesse auslöst, die er unter Kontrolle zu halten und zu beobachten hat.

Die Verwirklichung dieser Möglichkeit verändert die Art und Weise der beobachtenden Naturforschung und damit auch die Kriterien der Wissenschaftlichkeit, denn es wurde von der bloßen zur experimentell bedingten Beobachtung übergegangen. Damit haben sich in einem bestimmten Stadium weitere Kriterien der Wissenschaftlichkeit ausgeprägt, vor allem als (1b) Forderung nach objektiv kontrollierbarer und reproduzierbarer Feststellung von Sachverhalten, die der bloßen Beobachtung nicht mehr zugänglich sind. Diese Forderung schließt ein, daß der in Aussagen behauptete Sachverhalt unter experimentellen Bedingungen feststellbar sein muß. Dieser Umstand ist offensichtlich darin begründet, daß eine Vertiefung natur- und gesellschaftswissenschaftlicher Gesetzeserkenntnis ab einem bestimmten Niveau nur auf der Grundlage experimentierender Tätigkeit erreicht werden kann.

Aus ähnlichen Gründen läßt sich für die erstgenannte Klasse von Kriterien der Wissenschaftlichkeit auch ein drittes Entwicklungsstadium nachweisen. Objektive Widerspiegelungsinhalte, insbesondere Gesetzeserkenntnis, erfordern bei einem bestimmten Niveau der Vertiefung, (1c) einen kontrollierten Zusammenhang zwischen der Metrisierung in den Formulierungen

von Gesetzesaussagen einerseits und den Meßverfahren im methodischen Vorgehen bei ihrer Aufstellung und Überprüfung andererseits. Der Grund für das Aufkommen solcher Kriterien liegt darin, daß bestimmte Gesetzmäßigkeiten, und zwar diejenigen, die drei und mehr Variable enthalten, nur mit Hilfe metrischer Begriffe in Gesetzesaussagen wiedergegeben werden können, /3/.

In unserer Zeit diskutieren Wissenschaftler über eine weitere Ausprägung der Klasse von Kriterien zur Feststellung der Wahrheit von Beschreibungen, die insbesondere mit der Informationstechnologie in der Forschung verbunden ist, /4/. Diese Diskussion steht im Zusammenhang mit dem Einfluß der automatisierten Informationsverarbeitung auf die Forschungssituation aller Wissenschaftsdisziplinen. Seit den fünfziger Jahren unseres Jahrhunderts ist dieser Einfluß immer stärker geworden, und hat im Fall der Quantenchemie sogar die Herausbildung einer neuen Wissenschaftsdisziplin gefördert, /5/. Bevor die Ausprägung weiterer Kriterien der Wissenschaftlichkeit im Rahmen der erstgenannten Klasse formuliert werden können, ist insbesondere der Zusammenhang zwischen der Simulation auf Rechnern und der Verhaltensbeschreibung komplizierter Systeme zu hinterfragen, wozu eine Reihe von Beiträgen auf diesem Kolloquium geeignet sind, /6/. Insgesamt gesehen hat die Klasse von Kriterien zur Feststellung der Wahrheit von Beschreibungen selbst im Laufe der Wissenschaftsentwicklung eine Ausprägung erfahren, die neuartige Bedingungen für das wissenschaftliche Denken beim tieferen Erkennen von Gesetzmäßigkeiten der Natur und Gesellschaft setzt.

Die (2) Kriterien zur Sicherung der Erkenntnisfunktion des Erklärens als der zweiten Klasse von Kriterien der Wissenschaftlichkeit entsprechen der Forderung, daß es für das Erkennen in der Forschung darauf ankommt, solche Erkenntnisse über die Wirklichkeit zu gewinnen, die nicht nur gesichert wahr sind, sondern es auch gestatten, möglichst alle Er-

eignisse eines bestimmten Wirklichkeitsbereiches zu erklären. Beim wissenschaftlichen Erklären wird mittels Aussagen, unter denen sich mindestens eine Gesetzesaussage befindet, diejenige abgeleitet, die das zu erklärende Ereignis beschreibt. In der wissenschaftstheoretischen Tradition wurde versucht, Strukturmodelle und Schemata der Erklärung aufzustellen, diese logisch orientierten Untersuchungen zu unterwerfen und sie schließlich durch Fallbeispiele aus der Wissenschaftsentwicklung zu illustrieren und zu belegen. Unser Anliegen besteht im Unterschied davon vor allem in der wissenschaftstheoretischen Erfassung von Situationen, in denen Wissenschaftler ihre Entscheidungen zum weiteren Erkenntnisgewinn treffen. Wir unterscheiden diese Situationen grundlegend in Problemsituationen in der Forschung und Forschungssituationen, /7/: Problemsituationen entstehen in der Forschung dadurch, daß Erkenntnisziele (wie Beschreiben, Erklären, Beweisen) mit dem gegebenen Wissensfundus nicht erreicht werden können, sondern einen Wissenszuwachs erfordern. Situationen dieser Art zwischen Erkenntniszielen und Wissensfundus sind unabhängig davon, ob sich die Forscher dieser Beziehungen bewußt sind oder nicht. Werden Wissenschaftler sich dieser Problemsituationen bewußt und können sie diese Problematisierung des Wissens als neue Erkenntnisprobleme auch wissenschaftlich formulieren, dann steht für die Forschungstätigkeit noch aus, hinsichtlich dieser Forschungsprobleme auch Forschungssituationen herbeizuführen. Die wissenschaftstheoretische Erfassung von Forschungssituationen, die als Beziehung zwischen Problemstellungen und Mitteln zur Problembearbeitung, die tatsächlich verfügbar sind, charakterisiert werden kann, läßt sich auf folgende Sachverhalte beziehen: Erstens auf das wissenschaftliche Problemfeld und seine Entwicklung, insbesondere Kriterien der weiterführenden Problematisierung als der dritten Klasse von Kriterien der Wissenschaftlichkeit sowie die methodische Funktion der Frage in der Forschung und der Einfluß gesellschaftlicher Bedürfnisse auf die Formulierung von Forschungsproblemen.

Zweitens auf das methodische Vorgehen in der Forschung und seine Entwicklung, insbesondere das Zusammenwirken von methodisch orientierenden Prinzipien und methodischen Regeln in Form von Methodiken, aus dem im besonderen Fall in Einheit mit Geräten neue Untersuchungsverfahren und -programme entwickelt werden.

Drittens auf die Verfügbarkeit an wissens- und gerätemäßigen Voraussetzungen zur Bearbeitung des Problemfeldes. Die Verfügbarkeit als methodologische Kategorie drückt eine Beziehung zwischen der Problem- und Methodenentwicklung bezogen auf den Forscher als Subjekt der Forschung aus. Zur Verfügbarkeit gehören auch die Kader- und Gerätepotentiale, die aus dem gesamtgesellschaftlichen Reproduktionsprozeß für Forschungsprozesse zur Verfügung stehen. Viertens auf die Problemrelevanz, d.h. die Bewertung von Problemen nach ihrer Relevanz für den Erkenntnisfortschritt und für den Beitrag zur Lösung gesellschaftlicher Praxisprobleme. Insgesamt gesehen ergeben sich in jeder Entwicklungsphase der Forschungstätigkeit mehr oder weniger neue Problemsituationen, deren sich die Forscher im unterschiedlichen Maße als Probleme bewußt werden.

Die (3) Kriterien zur Sicherung der weiterführenden Problematisierung als dritte Klasse von Kriterien der Wissenschaftlichkeit bezieht sich unmittelbar darauf, daß die wissenschaftliche Formulierung neuer Erkenntnisprobleme der gedankliche Ausgangspunkt jeder Forschung ist, und daß jede neu gewonnene wissenschaftliche Erkenntnis auch danach beurteilt wird, welchen Beitrag sie zur Gewinnung weiterer gedanklicher Ausgangspunkte der Forschung leistet. Ob eine vorgeschlagene Lösungsvariante in Form einer Hypothese ein Problem löst und gleichzeitig zu neuen Problemen führt oder ob sie lediglich dieses eine Problem löst, stellt sich damit als ein Kriterium für ihre weitere Bearbeitung dar. In dem Maße, wie das Kriterium der weiterführenden Problematisierung nicht nur als Forderung verstanden wird, jede Forschung auf die Gewinnung von

Wissen zu richten, das gegenüber dem gesellschaftlich bereits verfügbaren Wissensfundus neu ist, sondern auch als Forderung aufgefaßt wird, mit diesem erstrebten Wissen zur Lösung gesellschaftlicher Praxisprobleme beizutragen, ergibt sich eine historische Ausprägung von Kriterien der weiterführenden Problematik je nach der Gesellschaft, in der und für die Forschung betrieben wird.

Aus der Sicht der vorgestellten Auffassung über die Funktion der Kriterien der Wissenschaftlichkeit kommen dem Verhältnis von Experiment und Erklärung außer den bereits eingangs genannten noch folgende Besonderheiten zu:

Erstens würde eine ausschließliche Bevorzugung der erstgenannten Klasse von Kriterien der Wissenschaftlichkeit bei der experimentellen Überprüfung erklärender Hypothesen und ihrer erforderlichen Modifikation dazu führen, daß alle die Bestandteile aus einer Hypothese bedenkenlos entfernt würden, die dafür verantwortlich sind, daß die bei der Hypothesenüberprüfung widerlegten Folgerungen gezogen werden konnten. Ein derartiges Vorgehen würde bei ungenügender Berücksichtigung der zweitgenannten Klasse von Kriterien der Wissenschaftlichkeit, die die Sicherung der Erkenntnisfunktion des Erklärens betrifft, unvermeidlich eine anhaltende Tendenz zur theoretischen Sterilität und Immunisierung bedingen. Zweitens kann das Anforderungsverhältnis zwischen den beiden zuerstgenannten Kriterienklassen der Wissenschaftlichkeit unter Umständen widersprüchlich sein im Sinne der materialistischen Dialektik, wenn zum Beispiel die Bestandteile einer erklärenden Hypothese, die für die Ableitung der experimentell widerlegten Folgerungen verantwortlich sind, gerade den neu gewonnenen Erklärungsgrad der Hypothese tragen. In all diesen Fällen wird das schöpferische Denken der Forscher herausgefordert, eine solche Modifikation der widerlegten Hypothese zu finden, die beiden Kriterienklassen angemessen genügt.

Drittens kann das Verhältnis von Beschreibung und Erklärung

unter Berücksichtigung der zwei genannten Klassen von Kriterien der Wissenschaftlichkeit auch zur Unterscheidung zwischen experimenteller und theoretischer Tätigkeit verwendet werden, wie sie für empirische Untersuchungen der wissenschaftlichen Tätigkeit benötigt werden, /8/.

Viertens können für beide Tätigkeiten, insbesondere auch für die theoretische, Entwicklungen festgestellt werden, die eine weiterführende Formulierung von Forschungsproblemen gestatten oder auf die Möglichkeit der weiteren Problematisierung einschränkend wirken.

Die Wissenschaft entwickelt sich demnach gleichsam in Form einer aufsteigenden Spirale der Entwicklung der Forschungssituationen von einem niederen zu einem höheren Niveau sowohl der Problemrelevanz als auch der tatsächlichen Verfügbarkeit des zu ihrer Bearbeitung Erforderlichen. In Ergänzung zur Auffassung von der Hypothese als Entwicklungsform der Wissenschaft, /9/, gestattet die vorgestellte Auffassung der Forschungssituation und der Wirkungsweise der Kriterienklassen der Wissenschaftlichkeit nicht nur die Prozesse kontinuierlicher Akkumulation wissenschaftlicher Erkenntnisse zu erfassen, sondern auch den Wechsel zwischen dieser Akkumulation des Wissens im Verlauf der Forschung selbst und der schubweisen Neuorientierung durch Probleme, die einer neuartigen Forschungssituation zu ihrer Bearbeitung bedürfen.

Literatur

- /1/ Vgl. H. Parthey; D. Wahl: Die experimentelle Methode in Natur- und Gesellschaftswissenschaften, Berlin 1966
- /2/ H. Parthey: Das Problem und Merkmale seiner Formulierung in der Forschung, in: Problem und Methode in der Forschung, Herausg. H. Parthey, Berlin 1978, S. 11 - 36
- /3/ H. Parthey: Struktur von Erklärungsproblemen bei metrischer Beschreibung des zu erklärenden Sachverhaltes, in: Zeitschrift für Psychologie, Berlin, 1974/4, S. 394 bis 399
- /4/ K. Fuchs-Kittowski; K. Lemgo; E. Mühlenberg: Zur Unterscheidung von wissenschaftlichen Begriffen und zur Differenzierung von Informationen als eine theoretische Grundlage für den Einsatz der automatisierten Informationsverarbeitung im Forschungsprozeß, in: Problem und Methode, a.a.O., S. 128 - 169.
J. Pilgrim; K. Fuchs-Kittowski: Die interdisziplinäre Funktion der Informationstechnologie in der biowissenschaftlichen Forschung
Herausg. H. Parthey; K. Schreiber, Berlin: Akademie-Verlag (in Vorbereitung)
- /5/ B. Gey: Der Zusammenhang von interdisziplinärer Forschungssituation und Kooperationsverhalten bei Bildung und Entwicklung neuer Spezialgebiete, dargestellt am Beispiel der Quantenchemie, in: Interdisziplinarität in der Forschung, a.a.O.
- /6/ Vgl. u.a. H.D. Gerhardt; G. Schwarz: Verhältnis von Experiment und Simulation, in diesem Heft; H. Stengel, H. Leitzke,
Die Rolle des Experiments bei der Überleitung von Forschungsergebnissen, in diesem Heft, S. Thamm, E.Hennigs, H. Pfüller: Die Rolle des Experiments in der technikkwissenschaftlichen Forschung, in diesem Heft; H. Ulbricht,

Über den Zusammenhang von Theorie, Modell und Experiment in der Physik, in diesem Heft; U. Vietinghoff, Felduntersuchung, Laborexperiment und mathematische Modellierung am Beispiel der Ökosystemanalyse Boddenkette West, in diesem Heft

- /7/ H. Parthey, Problemsituation und Forschungssituation in der Entwicklung der Wissenschaft, in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Berlin, 29 (1981) 2, S. 172 bis 181
- /8/ H. Parthey; J. Wolf: Zur Analyse und rationalen Gestaltung des methodischen Vorgehens in der experimentellen Forschung, in: Leitung der Forschung, Probleme und Ergebnisse Herausg. G.M. Dobrov und D. Wahl, Berlin, 1976, S. 381 - 402
- /9/ Die wissenschaftliche Hypothese
Herausg. H. Korch, Berlin, 1972

Verfasser:

Dr.phil. Heinrich Parthey
Institut für Theorie, Geschichte
und Organisation der Wissenschaft
der Akademie der Wissenschaften der DDR

1080 Berlin

Otto-Nuschke-Straße 22/23

1. Problemstellung

Wissenschaft und Technik werden in der Praxis nicht nur durch die Einführung neuer Technologien, Geräte und Substanzen wirksam. Einen indirekten Beitrag leisten auch Methoden, die sich zunächst in der wissenschaftlichen Erkenntnistätigkeit herausgebildet haben und nun auch in anderen Formen der gesellschaftlichen Tätigkeit zur Anwendung kommen und damit den Charakter dieser Tätigkeiten qualitativ verändern.

Das uns hier interessierende Beispiel ist die Modellmethode, die sich, eingebettet in einen Wirkungszusammenhang von theoretischen und empirischen Methoden der Erkenntnisgewinnung, innerhalb verschiedener Einzelwissenschaften entwickelte und bewährte. Aus dem ursprünglichen Zusammenhang infolge von innerwissenschaftlichen Verallgemeinerungsprozessen herausgelöst, dringt jetzt die Modellmethode in Forschungen zur Erkenntnis und Gestaltung von komplexen und superkomplexen Systemen ein, in denen die Durchführung von Experimenten ausgeschlossen oder nur in sehr eingeschränktem Umfang möglich ist und in denen jedoch jede Entscheidung weitreichende Konsequenzen nach sich ziehen kann. Die Modellmethode wird für die Ökologie, die Medizin, die Technologie, die Planung und Leitung gesellschaftlicher Prozesse immer attraktiver, weil sie es wenigstens gestattet, Experimente mit "Stellvertretern" oder "Vorläufern" des zu beeinflussenden oder geplanten Objektes durchzuführen. Sehr komplexe Prozesse werden mehr und mehr mit Instrumentarien der Systemforschung untersucht, deren Kern die Modellmethode ist /1/.

Der Aufwand für die Entwicklung eines problemadäquaten Methodengefüges für die Erforschung und Beeinflussung eines komplexen Systems ist relativ hoch. Eine große Vielfalt von Ansätzen beherrscht gegenwärtig die Literatur /2/, /3/.

Die Analyse der Möglichkeiten des Einsatzes von Modellen in

verschiedenen Tätigkeiten des Menschen (bis hin zur Ersetzung des Menschen), die Suche nach richtigen Strategien der Modellbildung und -nutzung ist eine aktuelle Problemstellung, die die Konzeption der Intensivierung allgemein und im besonderen die Konzeption des Einsatzes von Informationstechnologien betrifft /4/.

Im vorliegenden Beitrag werden Hinweise für die Anwendung der Modellmethode durch eine Analyse verschiedener Klassen von Tätigkeiten gewonnen. Als theoretische Basis dieser Analyse dient eine am sogenannten Tätigkeitskonzept orientierte Betrachtung der Modellmethode.

2. Modellmethode und Tätigkeit

Methodologische Untersuchungen zum Modellbegriff und zur Modellmethode wurden bisher hauptsächlich aus weltanschaulich-erkenntnistheoretischer sowie aus kybernetisch-systemtheoretischer Sicht durchgeführt. Ein dritter Aspekt, nämlich das Verhältnis von Modellmethode und Tätigkeit, wurde bei diesen Untersuchungen im allgemeinen zwar vorausgesetzt, aber nicht näher betrachtet. Die drei Standpunkte, die sich gegenseitig ergänzen und sich deshalb auch nur bedingt voneinander abgrenzen lassen, seien kurz charakterisiert:

1. Weltanschaulich-erkenntnistheoretisches Herangehen

Dem marxistisch-leninistischen Philosophen und Erkenntnistheoretiker geht es bei der Frage nach dem Wesen des Modells und der Modellmethode insbesondere um das Verhältnis zu anderen Formen und Methoden der Erkenntnis, um die sich in den Modellen widerspiegelnde Aktivität des Subjekts im Verhältnis zur objektiven Realität und andere weltanschaulich wie erkenntnistheoretisch relevante Fragen. In den Diskussionen bildete sich ein allgemeiner Modellbegriff heraus: "Modelle sind materielle oder geistige Reproduktionen von wirklichen und möglichen Prozessen, Beziehungen und Funktionen durch ein Erkenntnissubjekt mittels Analogien (Homologien) oder das Nutzen solcher Analogien

(Homologien) in anderen materiellen und ideellen Systemen" /5/, vgl. auch /6/.

Als wesentlich für die Modellmethode wird das Über ein Modell vermittelte Operieren mit einem Objekt hervorgehoben /7/.

Aus dem Ansatz des weltanschaulich-erkenntnistheoretischen Modellbegriffs können heuristische Hinweise zur Anwendung der Modellmethode in der Systemforschung abgeleitet werden /8/.

2. Kybernetisch-systemtheoretisches Herangehen

Ein kybernetisch-systemtheoretischer Modellbegriff hebt das dem Vorgang und dem Resultat der Modellierung in natürlichen, technischen, gesellschaftlichen und intellektuellen Systemen Gemeinsame hervor /9/.

Auf dieser Grundlage lassen sich Vorschläge für "modellierende" Automaten machen, die ein Modellsubjekt ersetzen können. Ein derartiges Herangehen führt zu einem abstrakt-allgemeinen Modellbegriff, der in dem genannten Sinne eine konstruktive Bedeutung hat: "Ein Bereich der Realität M ist für ein kybernetisches System S (das Modellsubjekt) ein Modell zu einem Modelloriginal O, wenn zwischen M und O Analogien bestehen und informationelle Beziehungen zwischen S und M dazu beitragen können, Verhaltensweisen von S gegenüber O zu beeinflussen." /10/

3. Tätigkeitsorientiertes Herangehen

Das tätigkeitsorientierte Herangehen führt nicht zu einem neuen Modellbegriff, sondern sieht Modelle primär als Resultat bestimmter Tätigkeiten als Voraussetzung anderer Tätigkeiten und untersucht Einheit und Unterschied bei der Anwendung der Modellmethode in verschiedenen Tätigkeitsklassen des Subjekts.

Grundlage dieser Analyse ist der marxistisch-leninistische Tätigkeitsbegriff, der sich in der Auseinandersetzung mit der Verabsolutierung des Subjekts wie mit seiner mechani-

stischen Unterordnung unter das Objekt herausbildete und bewährte /11/.

Unter "Tätigkeit" wird die bewusste Einwirkung eines (individuellen oder kollektiven) Subjekts auf einen Gegenstand verstanden. Tätigkeit ist gegenstands- und zielbestimmt und besteht aus Folgen von Akten des Erkennens (z.B. Handlungssituationen, von Zielen und Handlungsmöglichkeiten), des Bewertens (z.B. von Handlungsmöglichkeiten), des Entscheidens (Auswahl von Zielen und Handlungsmöglichkeiten), des Handelns (unmittelbare Einwirkung auf einen Gegenstand oder dessen Modell). Zu jeder Tätigkeit gehören: das Subjekt mit seiner Motivation für die Tätigkeit und den Zielen des Handelns, mit Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie bestimmten Mitteln und Voraussetzungen. Die Gesamtheit der Bedingungen und Voraussetzungen, die dem Subjekt in der Tätigkeit zur Verfügung stehen, und die es zur Erreichung seiner Ziele nutzen kann, soll hier als "Potential" bezeichnet werden. Modelle haben innerhalb des Potentials vieler Tätigkeiten eine wichtige, z.T. katalytische Funktion: Bereits gewonnenes Wissen über das Objekt, auf das das Subjekt einwirkt (bzw. das es erkennen, beeinflussen oder auch erst gestalten will), wird in nachfolgenden Tätigkeiten (in bezug auf dasselbe oder ein analoges Objekt) verfügbar, d.h. das Potential wird durch die Nutzung von Modellen erweitert. Auf der Grundlage der Potentialentwicklung wie auch infolge der Veränderung von Zielen können sich in nachfolgenden Tätigkeiten auch Veränderungen an den genutzten Modellen vollziehen.

Nach der Bewegung der Modelle kann man zwei Gruppen der Anwendung der Modellmethode unterscheiden:

1. Die Modelle werden nicht weiterentwickelt. Sie dienen in der Tätigkeit nach ihrer Bildung primär zur Aufgabenlösung (innerhalb komplexer Arbeits- oder Erkenntnisprozesse). Sie können damit im Prinzip vom Subjekt abgehoben werden und sich als "software" bei der Steuerung von

Prozessen, bei der Auswertung von Meßdaten, innerhalb von Planungsverfahren verselbständigen. Voraussetzung hierfür ist, daß der (hinreichend genau) abgebildete Objektbereich und/oder das Subjekt keine relevanten Veränderungen erfahren.

2. Die Modelle entwickeln sich mit der Tätigkeit. Das kann eine Folge der Entwicklung des Objekts und/oder des Subjekts sein.

In einer Studie des Verfassers wurde untersucht, wie sich ein bestimmtes Modell bzw. die Art und Weise der Nutzung dieses Modells in verschiedenen Tätigkeitsklassen verändern /12/.

Im Ergebnis derartiger Analysen lassen sich Tätigkeitsklassen benennen, in denen die Modellmethode jeweils in spezifischer Weise zur Unterstützung von Problemlösungsprozessen angewandt wird:

1. Erkenntnisorientierte Tätigkeiten. (Die Bildung und Nutzung von Modellen dient der Beschreibung und Erklärung von Objekten und der Veränderung dieser Objekte).
2. Projektorientierte Tätigkeiten. (Ein zu schaffendes Objekt wird durch einen Vorläufer modelliert. Das Subjekt nimmt an diesem Vorläufer Operationen vor, um die den objektiven Gesetzen, den vorhandenen oder zu schaffenden Bedingungen und den eigenen Interessen gemäße Lösung zu finden).
3. Programmbildende Tätigkeiten. (Ein Arbeitsplan oder Programm ist im Prinzip ein Modell eines Systems von Tätigkeiten. Auch bei der Programmbildung gibt es im allgemeinen im Rahmen der objektiven Bedingungen mehrere Varianten, so daß in einem Problemlösungsprozeß die den Interessen des Subjekts gemäße Lösung erarbeitet werden kann).
4. Entscheidungsorientierte Tätigkeiten. (In Entscheidungs-

situationen stehen dem Subjekt oft mehrere Handlungsmöglichkeiten zur Verfügung. Das Experimentieren mit Modellen kann dem Subjekt helfen, Handlungsmöglichkeiten zu erkennen und die Konsequenzen von Entscheidungen abzuschätzen. Diesen genannten Tätigkeitsklassen ist die Möglichkeit der Veränderung der Modelle im Prozeß ihrer Nutzung gemeinsam. Man kann ferner zeigen: In der ersten Klasse überwiegt bei der Anwendung der Modellmethode die Tendenz zur Anpassung an das Objekt (gemäß den Erkenntniszielen) und zur Verallgemeinerung ("Aufhebung" der Modelle in Theorien bzw. in allgemeineren Modellen durch Querschnittsdisziplinen). Deshalb ist die direkte oder mittelbare Übertragung von Modellen auf die Erkenntnistätigkeit des gleichen oder eines anderen Subjekts möglich, indem Hypothesen oder Analogien gebildet werden. Die drei anderen Tätigkeitsklassen sind durch die Anpassung an das Subjekt und die konkreten Bedingungen charakterisiert. Hier setzt eine Übertragung von Modellen aus der Tätigkeit des einen Subjekts in die Tätigkeit eines anderen Subjekts selbst bei gleichem Objekt die Übereinstimmung der Interessen voraus.

Aus der Einbettung der Modellmethode in die Tätigkeit erklärt sich einerseits die Universalität dieser Methode, andererseits die Variabilität der Formen und Inhalte der Modelle. Modelle sind immer an Tätigkeit gebunden und werden durch die Tätigkeit (und damit durch den Gegenstand der Tätigkeit) bestimmt.

Disziplinen und wissenschaftliche Arbeitsrichtungen, deren Anwendungsfeld z.T. die genannten Tätigkeitsklassen sind (hierzu gehören organisations- und leitungswissenschaftliche Disziplinen, Kybernetik, Systemanalyse, Operationsforschung u.a.) sollten ihre Anwendungskonzeptionen unter Berücksichtigung der Spezifik der genannten Anwendungsgebiete bilden. Im folgenden wird gezeigt, welche Strategien zur Auswahl stehen und z.T. auch gewählt werden, um die 4. Tätigkeitsklasse durch die Anwendung der Modellmethode zu unterstützen.

3. Modellierung und Entscheidungsvorbereitung

1. Es sei P ein spezieller Prozeß, auf den ein Subjekt S_E (Subjekt, das Entscheidungen vorbereitet und trifft) einwirkt. Es wird hier nicht näher unterschieden, ob P ein Subjekt S_P ist, ob P durch die Tätigkeiten verschiedener Subjekte konstituiert oder beeinflußt wird oder ob P unabhängig von einem intern mitwirkenden Subjekt verläuft.

2. Es sei ferner E der Prozeß der Entscheidungsvorbereitung durch das Subjekt S_E . Man kann annehmen, daß S_E Entscheidungen auf der Grundlage von Modellen oder Modellvorstellungen (Modellvorstellungen sind nicht explizit formulierte Modelle) von P und S_P trifft. Die Modelle dienen dazu, Konsequenzen der Entscheidungen abzuschätzen.

3. Es sei schließlich S_M das Subjekt derjenigen wissenschaftlichen Arbeitsrichtung, das Modelle von P und eventuell auch von E entwickelt und diese zur Unterstützung von E bereitstellt.

Die jeweiligen Modelle des Prozesses P seien mit $Mod_a P$, die Modelle des Subjekts auf der Ebene P mit $Mod_a S_P$, die Modelle des Prozesses E mit $Mod_a E$, die Modelle des Subjekts S_E mit $Mod_a S_E$ bezeichnet, wobei der Index a das jeweils modellbildende bzw. -nutzende Subjekt charakterisieren soll ($a = S_P, S_E, S_M$).

Folgende Strategien sind möglich:

1. E und P werden als getrennte Prozesse analysiert, d.h. die Wechselwirkung zwischen diesen beiden Prozessen wird vernachlässigt. S_M entwickelt ein Modell $Mod_M P$ unabhängig von S_E und setzt ein bestimmtes Entscheidungsverhalten von S_E voraus, d.h. bildet $Mod_M E$ unabhängig von P. In Anschluß an die getrennte Behandlung wird häufig versucht, eine Synthese zu erzeugen (das Zeichen & soll diese Operation symboli-

sieren):

- 1.1. $(\text{Mod}_M P) \& E$: Dem Entscheidungssubjekt S_E werden "fertige" Modelle von P zur Unterstützung der Entscheidungsvorbereitung zur Verfügung gestellt. Diese Strategie setzt voraus, daß S_E die Modelle akzeptiert und instrumental gebrauchen kann. Sie unterstellt, daß die Wechselwirkung von S_E und P nicht zu einer Veränderung von S_E (der Motive und Ziele, der Kenntnisse und Fähigkeiten) führt bzw. daß diese Veränderung für P keine Bedeutung hat. Ferner wird unterstellt, daß sich P nicht so verändert, daß dies nicht durch $\text{Mod}_M P$ berücksichtigt werden könnte.
- 1.2. $(\text{Mod}_M P) \& (\text{Mod}_M S_E)$: Ein Modell des Verhaltens oder der Zielstellung des Subjekts S_E wird mit einem Modell des Prozesses P kombiniert. Durch Variation von Einflußgrößen lassen sich Varianten von P entsprechend dem Modell der Strategien von S_E im Modellexperiment studieren, ohne daß jedoch die für die Tätigkeit des Subjekts charakteristische Rückwirkung der Veränderungen von P auf das Entscheidungsverhalten studiert werden kann. Einige Versuche der sogenannten "Globalmodellierung" in den 70er Jahren stießen bekanntlich auf heftige Kritik. Aus methodologischer Sicht richtete sich die Kritik u.a. gegen die gewählte Modellierungsstrategie /13/.
- 1.3. $(\text{Mod} P) \& Sp_E$: In diesem Fall ist der Stellvertreter oder Vorläufer des Entscheidungssubjekts S_E ein anderes Subjekt Sp_E , das die Rolle von S_E spielt. Sp_E operiert mit "fertigen" Modellen. Diese Strategie setzt wieder voraus, daß Sp_E die Modelle akzeptiert und instrumental gebrauchen kann. Das Subjekt kann sich zwar verändern, die Veränderung wirkt sich u.U. auch im Entscheidungsverhalten aus, schlägt aber nicht bis zu $\text{Mod} P$ durch. Es ist möglich, diese Strategie anzuwenden,
a) wenn das Entscheidungsverhalten trainiert werden

soll, b) wenn die Veränderung des Entscheidungsverhaltens analysiert werden soll. Vollzieht sich das Verhalten von S_E nach bestimmten Regeln und unter definierten Bedingungen, so entspricht diese Strategie der Methode der "Planspiel-Simulation" (1. Typ).

2. Eine zweite Gruppe möglicher Strategien von S_M geht von der Einheit von P und E aus. Das Subjekt S_E entwickelt im Prozeß E seine Fähigkeit zur Gewinnung sinnvoller Entscheidungen, indem es den Prozeß P und die Konsequenzen des eigenen Handelns immer besser versteht. Damit vollzieht sich u.U. eine Veränderung seines Entscheidungsverhaltens und/oder der Modelle von P. Diese Strategie muß insbesondere dann gewählt werden, wenn die Entwicklung von P nicht vernachlässigt werden kann.

Es treten die folgenden Varianten auf:

- 2.1. (Mod P) & E mit innerer Rückkopplung: Dem Subjekt der Entscheidung wird ein Modellkeim $Mod_M P$ zur Verfügung gestellt, der sich im Prozeß der Entscheidungsvorbereitung allmählich zu $Mod_E P$ entwickelt und damit für S_E instrumentale Bedeutung annimmt.
- 2.2. $Mod_M (P \& E)$: Es wird ein Modell des ganzheitlichen Prozesses P & E entworfen, das von vornherein die Einheit von P und E berücksichtigt. Das Modell dient als Vorläufer des zu beeinflussenden Prozesses E & P. Mit diesem Modell kann experimentiert werden, um die günstigsten Varianten zu ermitteln. Diese Modellexperimente können durchgeführt werden als
- 2.2.1. Computer-Simulation. E & P wird hierbei vollständig auf Simulationsmodelle abgebildet. Es kann analysiert werden, wie sich der Gesamtprozeß verändert, wenn bestimmte Bedingungen (für P oder E) variieren. Ansätze einer derartigen Strategie werden durch die Theorie der aktiven Systeme /14/ vorgelegt. Diese Strategie stellt jedoch den Erkenntnisprozeß von S_M stärker in den Vordergrund als die mögliche Anwendung zur Objektivierung

der Entscheidungsvorbereitung.

- 2.2.2. Planspiel ($\text{Mod}(P \& E) = \text{Sp}_P \& \text{Sp}_E$): Sowohl S_E als auch P (bzw. Sp_P) werden durch Spieler ersetzt /15/.
- 2.2.3. Planspiel-Simulation: Hierbei werden bestimmte Subjekte (z.B. S_E) durch Spieler ersetzt, die mit Modellen operieren. Mögliche Varianten sind:
- 2.2.3.1. $\text{Mod}_M(P \& E) = (\text{Mod}_M P) \& \text{Sp}_E$: Werden die Modelle den Spielern vorgegeben, folgt im wesentlichen wieder die Strategie 1.3.
- 2.2.3.2. $\text{Mod}(P \& E) = (\text{Mod} P) \& \text{Sp}_E$: Wenn im Sinne von 2.1. mit Modellkeimen operiert werden kann, die sich im Prozeß der simulierten Entscheidungsvorbereitung zu instrumental brauchbaren Modellen entwickeln, lassen sich folgende Aufgaben erfüllen: a) Training der Erkenntnisgewinnung in Entscheidungssituationen und Training der Entscheidungsfindung, b) Ableitung von Schlußfolgerungen für die Rationalisierung und Objektivierung von E und damit Schaffung von günstigen Voraussetzungen für die bessere Beherrschung von P . Im Unterschied zu Strategien, die weitgehend von der Tätigkeit des Subjekts S_E (und meist auch von S_P) abstrahieren, modelliert die Strategie 2.2.3. (und insbesondere 2.2.3.2.) diese Tätigkeit und ermöglicht deshalb in weit größerem Maße die Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse und Methoden in die Praxis der Entscheidungsvorbereitung. Ansätze zur Realisierung dieser Strategie bilden sich gegenwärtig heraus, teils als Reaktion auf die Kritik an der Strategie 1.2., teils auf der Basis des Tätigkeitskonzepts /16/.

Literatur

- /1/ A. Sydow (Her.): Anwendungsaspekte der Systemanalyse
Akademie-Verlag Berlin 1980

- /2/ A. Sydow (Her.): Systems Analysis and Simulation 1980, in: Mathematische Forschung Band 5, Akademie-Verlag, 1980
- /3/ I.V. Bestuzev-Lada, V.N. Varygin, V.A. Malachov Modelirovanie v sociologiceskich issledovanijach Izd. "Nauka" Moskva, 1978
- /4/ K. Fuchs-Kittowski: Wechselbeziehungen zwischen Automat und Gesellschaft zu Strategien des Einsatzes der automatisierten Informationsverarbeitung als Rationalisierungs- und Erkenntnis-mittel, in: Wiss. Zeitschr. der Humboldt-Universität, NWR, 28 (1979), S. 707
- /5/ H. Hörz: Philosophische Aspekte der Modellbildung, in: P. Klux u.a. (Her.) Mathematische Modellbildung in Naturwissenschaft und Technik, Akademie-Verlag Berlin, 1976, S. 11
- /6/ V.A. Stoff: Problemy metodologii naucnogo poznanija Moskva "Vyssaja skola" 1978, S. 112 ff
- /7/ K. Fuchs-Kittowski: Probleme des Determinismus und der Kybernetik in der molekularen Biologie, 2. Auflage VEB Gustav Fischer, Verlag Jena, 1976, S. 155
- /8/ H. Hörz: Remarks on methodological problems of social systems analysis, in: /1/, S. 458

- /9/ M. Peschel: Grundprinzipien der Modellbildung, in: P. Klix u.a. (Her.) Mathematische Modellbildung in Naturwissenschaft und Technik Akademie-Verlag Berlin, 1976, S. 1
- /10/ R. Kranold: Erkenntnistheoretische Aspekte von Modellen, in: Widerspiegelung-Erkenntnis-Modell-Messung. Rostocker Philosophische Manuskripte, Heft 15, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, 1976
- /11/ K. Marx: Thesen über Feuerbach, in: MEW, Band 3, S. 5, Dietz-Verlag Berlin, 1979
- /12/ T. Hager: Über Einheit und Unterschied der Theorien- und Modellbildung in natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Disziplinen, dargestellt am Beispiel populationskinetischer Modelle, Studie (unveröffentlicht), Berlin, 1980
- /13/ D.M. Gvisiani: Metodologičeskie problemy modelirovanija global'nogo razvitija, in: Voprosy filosofii, Moskva, 2 (1978), S. 14
- /14/ V.N. Burkov: Osnovy matematičeskoj teorii aktivnych sistem Izd. "Nauka" Moskva, 1977
- /15/ V.M. Efimov,
V.F. Komarov: Vvedenie v upravlenčeskie imitacionnye igry
Izd. "Nauka" Moskva, 1980

/16/ C. Dahme,
T. Hager:

Systemforschung für den Gesundheits-
schutz, in: D. Schulze, K. Däumichen
(Her.) Leitung interdisziplinärer For-
schungen - Probleme und Erfahrungen -
Berlin, 1981, S. 68

Verfasser:

Dr.rer.nat. Thomas Hager
Sektion Wissenschaftstheorie und
Wissenschaftsorganisation der
Humboldt-Universität zu Berlin

1086 Berlin
August-Bebel-Platz

Der Erwartungswert von Konfrontationen theoretischer Vorhersagen mit experimentellen Ergebnissen

Für die experimentelle Überprüfung von Theorien lassen sich die folgenden vier methodischen Regeln angeben:

1. Wähle ein solches Objekt, für das die Wahrscheinlichkeit einer aus der zu überprüfenden Theorie abgeleiteten theoretischen Vorhersage maximal ist.
2. Wähle ein solches Objekt, für das die Wahrscheinlichkeit des für die Ableitung der theoretischen Vorhersage benötigten Objektmodells maximal ist.

(Unter einem Objektmodell wird eine Menge von Aussagen verstanden, die mittels der Begriffe der zu überprüfenden Theorie gebildet wurden und das es gestattet, aus der zu überprüfenden Theorie eine mit einem experimentellen Ergebnis konfrontierbare theoretische Vorhersage abzuleiten.)

3. Wähle ein solches Objekt, dessen Modell den Modellen derjenigen Objekte, für die die theoretischen Vorhersagen bestätigt wurden, möglichst unähnlich ist.

(Eine theoretische Vorhersage wird dann bestätigt genannt, wenn der Betrag der Differenz zwischen theoretisch vorhergesagtem Wert \bar{s} und experimentell erhaltenem und gemitteltem Wert s' kleiner als der experimentelle Fehler ϵ , d.h. wenn

$$|\bar{s} - s'| < \epsilon$$

ist.)

4. Wähle ein solches Objekt, an dem ein Experiment mit möglichst geringem Fehler durchgeführt werden kann.

Im allgemeinen wird es nicht möglich sein, alle vier Regeln gleichzeitig, d.h. in einer Konfrontation, zu befolgen. Damit wird nahegelegt, ein bzgl. aller vier Regeln optimales Objekt zu wählen, bzw. eine Aufeinanderfolge von Konfrontationen durchzuführen. Die vier methodischen Regeln wurden durch qua-

litative Interpretation des für den Erwartungswert der Konfrontation theoretischer Vorhersagen mit experimentellen Ergebnissen bestimmten Ausdrucks erhalten.

Für den Erwartungswert ergab sich:

$$EW(Kon) = \frac{1}{2} p(B(h)/T \wedge K) - p(B(h)/\neg T \wedge K)$$

h - theoretische Vorhersage

B(h) - Bestätigung der theoretischen Vorhersage

T - zu Überprüfende Theorie, aus der die Vorhersage abgeleitet wurde

K - akzeptierte Kenntnisse

Das Ergebnis für den Erwartungswert von Konfrontationen theoretischer Vorhersagen mit experimentellen Ergebnissen mit dem Ziel der Überprüfung von Theorien wurde aus dem folgenden Ausdruck für den Erwartungswert beliebiger Konfrontation gewonnen:

$$EW(Kon) = \sum_{k=1}^s p(r_k/K) m_k \alpha \sum_{j=1}^n p(Z_j/K \wedge r_k) W(t_1, Z_j, P) - m_k \alpha \sum_{j=1}^n p(Z_j/K) W(t_1, Z_j, P)$$

Z_j - Zustand von Objekten eines Gegenstandsbereiches

r_k - Resultat der Konfrontation von Vorhersagen mit exp. Ergebnissen

t_1 - Tätigkeit zur Lösung eines Problems P

$W(t_1, Z_j, P)$ - Wert der Tätigkeit t für die Lösung des Problems P unter der Bedingung, daß sich die Objekte des Gegenstandsbereiches im Zustand Z befinden

Indem für $W(t_1, Z_j, P)$ die Werte 0 oder 1 eingesetzt werden und die Resultate der Konfrontation der Vorhersagen mit den experimentellen Ergebnissen als Bestätigung B(h) bzw. Nichtbestätigung der Vorhersage angenommen werden, erhält man den zuerst angeführten Ausdruck für den Erwartungswert von Konfrontationen mit dem Ziel der Überprüfung von Theorien.

Es wurde angenommen, daß eine theoretische Vorhersage durch Ausführen der folgenden Operationen gewonnen wird.

1. Konstruktion eines Modells des Bezugsobjekts

2. Ableiten einer Menge spezieller Sätze aus der zu Überprüfenden Theorie und dem Objektmodell,
3. Konstruktion einer Menge von Brückenhypothesen, die theoretische Funktionen der zu Überprüfenden Theorie auf nichttheoretische beziehen,
4. Übersetzung einer für die Ableitung der theoretischen Vorhersage benötigten Datenmenge in eine Datenmenge, deren Elemente in der Sprache der zu Überprüfenden Theorie formuliert sind,
5. Ableiten einer Menge theoretischer Vorhersagen aus der Menge der speziellen Sätze und der Datenmenge.

Ein experimentelles Ergebnis wird durch Ausführen der folgenden Schritte gewonnen:

1. Konstruktion eines Modells der experimentellen Ausrüstung
2. Ableiten einer Menge spezieller Sätze, aus dem Ausrüstungsmodell und einer Menge zu den akzeptierten Kenntnissen gehörender Theorien, die das Funktionieren der Ausrüstung betreffen.
3. Konstruktion einer Menge von Brückenhypothesen, die theoretische Funktionen aus der Menge der in 2. angeführten Theorien auf nichttheoretische beziehen.
4. Ausführen der experimentellen Operationen.

Verfasser:

Dipl.-Phys. Peter Stöber
 Institut für Theorie, Geschichte
 und Organisation der Wissenschaft
 der Akademie der Wissenschaften
 der DDR

1080 Berlin

Otto-Nuschke-Straße 22/23

Zur statistischen Modellierung von Wachstumsprozessen

Bei der quantitativen Beschreibung von Wachstumsprozessen sind verschiedenartige Funktionen gebräuchlich, deren Parameter durch lineare oder nichtlineare Regression bestimmt werden. Vom Standpunkt der Statistik sind diese Funktionen die Erwartungswertfunktionen $m(t)$ der genannten Prozesse. Zur genaueren Charakterisierung dieser stochastischen Prozesse benötigt man aber zusätzlich die zugehörige Streuungsfunktion $\sigma^2(t)$ sowie die Kovarianzfunktion $k(s, t)$, über die man noch recht wenig weiß.

Im folgenden wird daher ein Modell vorgestellt, das bei gegebenem $m(t)$ sinnvolle Ansätze für $\sigma^2(t)$ und $k(s, t)$ macht. Weitere Einzelheiten hierzu können aus /1/ entnommen werden. Grundsätzliche Ausführungen über biologische Wachstumsprozesse findet man in den Lehrbüchern /2/ und /3/. Es sind aber auch Anwendungen außerhalb der Biologie denkbar.

Es sei X_t ein reeller stochastischer Prozeß mit stetiger Zeit t , die in einem Intervall T variiert, und

$$EX_t = m(t), \quad DX_t = \sigma^2(t), \quad E\{X_t - m(t)(X_s - m(s))\} = k(s, t).$$

Unter der Voraussetzung, daß X_t im Innern von T ein nicht singulärer Gauß'scher Markov-Prozeß ist, existiert eine dort positive Funktion $\alpha(t)$, so daß für $s \leq t$

$$k(s, t) = \sigma^2(s) \frac{\alpha(t)}{\alpha(s)} \tag{1}$$

gilt und $\sigma(t)/\alpha(t)$ streng monoton wachsend ist (vgl. /4/). Zur Übergangswahrscheinlichkeit unter der Bedingung $X_s = y$ mit $s \leq t$ gehört dann zur Zeit t der Erwartungswert

$$m(s, t; y) = m(t) + \frac{\alpha(t)}{\alpha(s)} (y - m(s)) \tag{2}$$

und die von y unabhängige Streuung

$$\sigma^2(s, t) = \sigma^2(t) - \sigma^2(s) \frac{\alpha^2(t)}{\alpha^2(s)} \quad (3)$$

Dieses Modell vereinfacht sich weiterhin, wenn mit zwei positiven Konstanten β , γ der Ansatz

$$\alpha(t) = m(t), \sigma^2(t) = \beta m^2(t) - \gamma \quad (4)$$

gemacht wird, da dann

$$m(s, t; y) = \frac{m(t)}{m(s)} y, \sigma^2(s, t) = \gamma \left(\frac{m^2(t)}{m^2(s)} - 1 \right) \quad (5)$$

gilt. Wie aus (1) ersichtlich ist, liefert ein Proportionalitätsfaktor bei $\alpha(t)$ nichts Neues, so daß er beim Ansatz (4) gleich weggelassen wurde.

Interessiert man sich zunächst nur für die Übergangsverteilung, so hat das Modell (5) den Vorteil, daß zu den Parametern von $m(t)$ nur noch ein einziger Parameter neu hinzukommt, und zwar γ . Enthält $m(t)$ einen Proportionalitätsfaktor, so kürzt sich dieser in (5) weg, und die Zahl der zu schätzenden Parameter bleibt sogar unverändert. Nachträglich kann man aus der Übergangsverteilung bei gegebener Anfangsverteilung dann natürlich auch die Verteilung selbst ermitteln.

Zur praktischen Durchführung der Parameterschätzung bei gegebenen Meßdaten x_0, x_1, \dots, x_n für den Prozeß X_t zu streng monoton wachsenden Zeitpunkten t_0, t_1, \dots, t_n empfiehlt sich die Maximum-Likelihood-Methode. Wegen der Markov-Eigenschaft besitzt die zum Ausgangswert $X_{t_0} = x_0$ gehörende Likelihood-Funktion die Darstellung

$$P(x_1, \dots, x_n | x_0) = \prod_{i=1}^n P(x_i | x_{i-1})$$

mit

$$P(x_i | x_{i-1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_i} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_i^2} (x_i - m_i)^2 \right\}$$

und

$$\sigma_i = \sigma(t_{i-1}, t_i), \quad m_i = m(t_{i-1}, t_i; x_{i-1}),$$

so daß die numerische Bestimmung des Maximums mit einer modifizierten Form des Gauß-Newton-Verfahrens möglich ist.

Für den Fall der Gompertzfunktion

$$m(t) = a \exp \{ -b e^{-ct} \}$$

wurde ein Simulationsprogramm geschrieben, das zu Testzwecken herangezogen werden kann. Über den Anwendungsbereich des Modells lassen sich allerdings zur Zeit noch keine gesicherten Angaben machen.

Literatur

- /1/ Berg, L.: Über Gauß'sche Markov-Prozesse als Wachstums-Modelle, Biom. J. (im Druck)
- /2/ Hadeler, Mathematik für Biologen, Springer-Verlag, Berlin/K.P.: Heidelberg/New York, 1974
- /3/ Nöbauer, Mathematische Modelle in der Biologie, F. Vieweg W.; & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1979
Timischl,
W.:
- /4/ Thu, N.V.: Gaussian Markov processes on partially ordered sets. Comm. Math. (im Druck)

Verfasser:

Prof. Dr. Lothar Berg
Wilhelm-Pieck-Universität
Rostock
Sektion Mathematik
2500 Rostock

In den verschiedensten Wissenschaftsdisziplinen ist zu beobachten, daß die Verwendung von Modellen sehr stark zunimmt. Unter der Modellmethode wird im Bereich wissenschaftlicher Forschung die bewußte Verwendung von Modellen zum Zwecke der Erkenntnisgewinnung verstanden. Im wesentlichen sind dabei vier Etappen zu unterscheiden, die gegebenenfalls in mehreren Zyklen durchlaufen werden müssen:

1. Auswahl oder Konstruktion eines der jeweiligen Zielstellung entsprechenden Modells (Modellierung).
2. Untersuchung bzw. Bearbeitung des Modells (z. B. im Modellexperiment) und Ableitung von Informationen über das Modell.
3. Ableitung von Informationen über das Original, insbesondere durch Analogieschluß.
4. Prüfung des Modells auf Brauchbarkeit durch Verifizierung der in 3. abgeleiteten Informationen am Original (z. B. durch ein Experiment am Original).

Wesentlichen Anteil an einer Verallgemeinerung des Modellbegriffs und des Begriffs des Experimentes hat die Kybernetik. Definitionen in diesem Sinne gibt G. Klaus /2/:

- "Wenn zwischen einem Objekt M und einem Objekt O (dem "Modelloriginal") Analogien bestehen, ist M für ein kybernetisches System S (das "Modellsubjekt") ein Modell, sofern informationelle Beziehungen zwischen S und M dazu beitragen können, Verhaltensweisen von S gegenüber O zu beeinflussen."
- "Ein Experiment ist ein Typ des Verhaltens kybernetischer Systeme, bei dem durch systematische Einwirkung auf Prozesse der objektiven Realität oder auf Modelle solcher Prozesse und die Verarbeitung der aus Resultaten dieser Einwirkung

stammenden Informationen Verhaltensweisen der Systeme beeinflusst werden können."

In dieser Definition ist ein Modell nur innerhalb eines aus Modellsubjekt, Modelloriginal und Modell bestehenden "Modellsystems" erklärt. Zwischen Modell und Original besteht eine Analogierelation und nicht die Wahrheitsrelation. Modelle können daher weder "falsch" noch "richtig" sein; sie können als brauchbar bezeichnet werden, wenn sie die ihnen zuge dachte "Modellfunktion" erfüllen. Der Modellbegriff ist daher seinem Wesen nach ein Funktionalbegriff.

Modellexperimente und Experimente am Original unterliegen gleichen Gesetzmäßigkeiten. Auch bei letzteren findet häufig, ohne daß dieses immer explizit zum Ausdruck kommt, eine Modellierung statt. Im Rahmen der Modellmethode werden sie jedoch mit unterschiedlicher Zielstellung durchgeführt. Aufgabe des Modellexperimentes ist es nicht, den Analogiegehalt von Modellvorstellungen oder Modellen zu prüfen, sondern einzig, das bei der Modellierung vorhandene Wissen über das Modell zu erweitern. Dabei können natürlich die Resultate von Modellexperimenten zu neuen Fragestellungen gegenüber dem Original anregen. Ein Modellexperiment kann aber nicht den Wahrheitswert von Aussagen über das Original bestimmen, sondern nur den von Aussagen über das Modell. Es ist eben nicht mehr und nicht weniger als ein Experiment an einem Modell.

Literatur:

- /1/ Kranold, R.:
Erkenntnistheoretische Aspekte von Modellen
Rostocker Philosophische Manuskripte 15 (1976) 27
- /2/ Klaus, G.:
Wörterbuch der Kybernetik
Dietz Verlag, Berlin 1968

Verfasser:

Dr. Rainer Kranold
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Sektion Physik

2500 Rostock

Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung am Beispiel eines Modellversuches zur Kristallisation und Glasbildung

Modelle dienen nicht nur zur Gewinnung neuer Erkenntnisse über die Verhaltensweisen eines Objektes, sondern auch zur anschaulichen und übersichtlichen Darstellung bekannter Verhaltensweisen komplizierter oder sich der Beobachtung entziehender Objekte. Von der didaktischen Funktion des Modells kann z. B. in der Grundlagenausbildung der Physiker, Chemiker, Kristallographen, Mineralogen, Materialwissenschaftler usw. Gebrauch gemacht werden, wenn es darum geht, richtige Vorstellungen von der Umwandlung der flüssigen Phase in die kristalline oder amorphe feste Phase zu vermitteln.

Ein Modell für den Phasenübergang flüssig - fest müßte die Gestalt und die Größenverhältnisse der beteiligten Atome und die zwischen ihnen wirkenden Kräfte abbilden. Dabei würde es genügen, sich auf zwei Dimensionen zu beschränken, da der Modellversuch dann sowohl leichter durchführbar als auch übersichtlicher wird.

Von den 4 Bindungstypen sind 3 ungerichtet (nämlich die heteropolare, die metallische und die Van-der-Waals'sche Bindung), und eine (die homöopolare) besitzt ausgesprochene Richtungsabhängigkeit. Metallische und Van-der-Waals'sche Bindung lassen sich durch Oberflächenspannungskräfte zwischen schwimmenden Kreisscheiben nachbilden /1/. Auch die Modellierung der richtungsabhängigen Kräfte bei der homöopolaren Bindung ist möglich, wenn der Rand der schwimmenden Scheiben schießscharten-ähnlich gestaltet wird, so daß sich die Oberflächenspannungskräfte an drei Stellen des Umfange konzentrieren. Die heteropolare Bindung kann durch Oberflächenspannungskräfte allein nicht simuliert werden, da bei ihr außer den anziehenden Kräften zwischen den ungleichnamigen Ionen auch abstoßende Kräfte zwischen den gleichnamigen Ionen auftreten. (Um diese

Verhältnisse nachzubilden, benutzten daher andere Autoren /2/ Schwimmkörper mit eingebauten Magneten).

Der Modellversuch zeigt, daß ungerichtete (allseitig gleich stark wirkende) Kräfte zwangsläufig zu regelmäßig dichtesten Kugelpackungen führen, wenn die Kreisscheiben gleich groß sind /3/. Die Verhältnisse bei den Edelgasen, die alle in Form einer regelmäßigen dichtesten Kugelpackung kristallisieren, und bei den meisten metallischen Elementen werden richtig wiedergespiegelt. Sind die schwimmenden Kreisscheiben von unterschiedlicher Größe, bilden sich unregelmäßige Strukturen ohne Fernordnung /3/. Dies entspricht dem Vorgang bei der Herstellung der sogenannten metallischen Gläser, die in der Regel aus Edelmetall- oder Übergangselementatomen und kleineren Metalloidatomen bestehen.

Der Modellversuch mit den schießscharten-ähnlich gestalteten Schwimmkörpern zeigt, daß Bindungskräfte mit gerichtetem Anteil zu unregelmäßigen Netzwerkstrukturen führen, die derart stabil sind, daß sie sich nicht in eine regelmäßige (dem Kristall entsprechende) Anordnung überführen lassen /3/. Dieses Verhalten entspricht der Feststellung Smekals /4/, wonach Mischbindung mit homöopolarem Anteil charakteristisch ist für die üblichen Glasbildner.

Die Grenzen der Modellierung liegen zum ersten darin, daß die Struktur der flüssigen Phase nur schlecht wiedergegeben wird, und zum zweiten, daß das ganze Modellsystem spontan dem geordneten Zustand zustrebt, ohne daß eine Keimbildung vorausgeht.

Literatur:

- /1/ Prins, J.A. (Editor):
Physics of Non-Crystalline Solids, Amsterdam
- /2/ Dietzel, A.: Deeg, E.:
Glastechn. Ber. 30 (1957) 282

- /3/ Herms, G.:
"Modellversuche zur Kristallisation und Glasbildung",
Hochschullehrfilm 1981, THF 1077
- /4/ Smekal, A.:
Glastechn. Ber. 22 (1949) 279

Verfasser:

Dr. Gerhard Herms
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Sektion Physik

2500 Rostock

Bei der Irreversibilität betrieblicher und ökonomischer Prozesse läßt sich eine Hypothesenüberprüfung in der Grundlagenforschung und eine Entscheidungsvorbereitung durch Variantenvergleiche in der Leitungspraxis am realen Objekt meist nicht durchführen. Modelle müssen die Wirklichkeit vertreten und bilden eine Möglichkeit zum Experimentieren. In Abhängigkeit von der erreichten Übereinstimmung in den für eine Untersuchung wesentlichen Eigenschaften bei Objekt und Modell verringert sich das Risiko beim Praxiseinsatz gewonnener Untersuchungsergebnisse. Eine höhere Modellgenauigkeit führt jedoch auch zu steigenden Aufwendungen bei der Modellierung. Nach Bewertung des dabei fallenden Risikos ergibt sich hieraus ein Optimierungsproblem.

Die in der ökonomischen Forschung eingesetzten Modelle lassen sich nach verschiedenen Kriterien klassifizieren. Dabei werden gleichzeitig eine ganze Reihe von Anwendungsproblemen sichtbar. Klassifizierungsgesichtspunkte können beispielsweise sein: Verwendungszweck, Einsatzgebiet, Disziplinbezogenheit, Darstellungsart.

Gliedert man nach dem Verwendungszweck, so bilden Experimentalmodelle die Basis für das Durchspielen von Prozeßabläufen. Sie erfassen in der Regel die Komplexität ökonomischer Prozesse in ihrer Zeitbezogenheit. Sie gestatten es, den modellierten Bereich unter verschiedenen Bedingungen und unter Einwirkung variiertener Einflußfaktoren zu betrachten. Notwendig wird hierzu oft die Prozeßsimulation auf einem Rechner. Demonstrationsmodelle dagegen werden insbesondere zur Veranschaulichung von Ergebnissen eingesetzt. Sie besitzen eine nicht zu unterschätzende Bedeutung für die Überführung gewonnener Erkenntnisse in die Praxis. Manchmal kann das gleiche Modell sowohl für Experiment als auch für Demonstration genutzt werden. Ein Bei-

spiel hierfür bildet die Nomogrammsammlung des Konsultationsstützpunktes "Seehafendurchlaßfähigkeit" an der Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft zum Kenngrößenvergleich für Seehafenbetriebe. Einerseits werden die auf der Basis von analytischen und Simulationsmodellen gewonnenen Kenngrößenzusammenhänge demonstriert, andererseits können aber auch Varianten unter verschiedenen Voraussetzungen durchgespielt werden, die bis zur Optimierung gehen können.

Hinsichtlich des Einsatzgebietes können die beiden grundsätzlichen Richtungen

- Lösung von Planungs- und Projektierungsaufgaben und
- Steuerung von Prozessen

unterschieden werden. Im erstgenannten Einsatzgebiet geht es darum, durch Planung und durch Projektierung des Baus oder der Rekonstruktion von Anlagen und Einrichtungen und ihrer Technologie die Bedingungen für einen künftigen Prozeßablauf festzulegen. Bei der Steuerung dagegen soll unter gegebenen Bedingungen durch eine zweckentsprechende Einflußnahme auf den Prozeßablauf das Betriebsergebnis so günstig wie möglich gestaltet werden.

Betrachtet man Modelle ökonomischer Prozesse im Hinblick auf die Darstellungsart, so wäre als eine in jedem Falle mögliche Form das verbale Modell zu nennen, das oft einer Formalisierung vorausgeht. Physikalische Modelle entstehen dann, wenn ein Betrieb die Rolle des Modells für alle Betriebe eines Wirtschaftszweiges übernimmt oder wenn im Raum- und Zeitmaßstab reale Prozeßabläufe nachgebildet werden.

Ein höherer Abstraktionsgrad wird beim Einsatz von graphischen oder mathematischen Modellen erreicht, die heute auch in der ökonomischen Forschung eine anerkannte Möglichkeit zum Experimentieren bieten. Die vorhandene informationsverarbeitende Technik und die Nutzung der Analogie zu Prozessen nicht ökonomischer Bereiche (insbesondere zu physikalischen Vorgängen) unterstützen wesentlich die Anwendung formaler Modelle, die

nicht nur schlechthin zur Berechnung von Kenngrößen dienen,
sondern eine erkenntnismethodische Funktion in der wirtschafts-
wissenschaftlichen Forschung erfüllen.

Verfasser:

Prof. Dr. sc. techn. Gottfried Schulze
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft

DDR - 2500 Rostock

Klement-Gottwald-Straße 6

Erich Hennigs, Hartmut Pfüller, Siegfried Thamm

Die Rolle des Experiments in der technikwissenschaftlichen Forschung

1. Komponenten technikwissenschaftlicher Forschung

Einleitend sollen einige Gedanken zum Charakter technikwissenschaftlicher Probleme im Zusammenhang mit dem Gegenstandsbereich der wissenschaftlichen Zielsetzung und Methodik der Technikwissenschaften in Abgrenzung und Wechselwirkung zu den Naturwissenschaften zusammengefaßt werden.

Unter Technik sollen in diesem Zusammenhang alle künstlichen Gebilde verstanden werden,

- die der Verstärkung und qualitativen Vervollkommnung der begrenzten Fähigkeiten des Menschen zur Befriedigung seiner Bedürfnisse dienen und
- die ihm im Prozeß der praktischen und theoretischen Aneignung der natürlichen und sozialen Umwelt helfen, seine gesellschaftlichen Existenzgrundlagen zu erweitern.

Hieraus leiten sich die Aufgaben der Technikwissenschaften ab:

1. Ausarbeitung der theoretischen, methodologischen, empirischen und normativen Grundlagen,
2. Vermittlung von Fähigkeiten zum effektiven Betrieb und zur Erneuerung der vorhandenen Produktionsverfahren der Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstände,
3. Schaffung von Voraussetzungen zum Hervorbringen und zum Betreiben grundlegend neuer Produktionsverfahren und -mittel.

Demzufolge müssen die Technikwissenschaften

- existierende technische Systeme empirisch und theoretisch analysieren und entsprechende Ergebnisse verallgemeinern,

natur- und technikwissenschaftlich begründen und mathematisch fundieren,

- neue technische Objekte und Prozesse auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse und vorhandener Erfahrungen ideell vorwegnehmen und entsprechend den gesellschaftlichen Forderungen und Erkenntnissen gestalten, bewerten und optimieren.

Das bedeutet im engeren Sinne, daß die Technikwissenschaften das Wirken und Ausnutzen von Naturgesetzen in den von Menschen realisierten bzw. zu realisierenden künstlicher materiellen Gebilden zu ergründen und zu deren technischen Beherrschung Voraussetzungen zu schaffen haben. Hierbei schließt der Begriff "technisch beherrschen" das Beachten und Gestalten nach politischen, ökonomischen und sozialen Gesetzmäßigkeiten und Forderungen mit ein.

Demgemäß umfaßt das technikwissenschaftliche Wissen systematisierte Erkenntnisse über

- Strukturen technischer Systeme, deren Eigenschaften, Verhalten, Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien,
- die materiell-technische Seite von Produktionsprozessen in Abhängigkeit vom gesellschaftlichen Ziel,
- Verhalten und Einsatzbarkeit zu verwendender Werkstoffe,
- den Prozeß der konstruktiven und technologischen Entwicklungs-, Projektierungs- und Überführungstätigkeit.

Das technikwissenschaftliche Wissen besitzt demnach

- strategische Komponenten in Form von Handlungsanweisungen, Regeln, Prinzipvorschriften usw. und
- theoretische Komponenten als Hypothesen, Problemaussagen, Tatsachen, Bedingungs- und Gesetzaussagen, technikwissenschaftliche Theorien usw.

Die ingenieurwissenschaftliche Arbeitsweise ist gekennzeichnet durch die Verflechtung

- des Hervorbringens von neuem technisch realisierbarem Wissen (Erfinden) sowie
- der Sicherung und Steigerung der Stabilität der Produktion, deren Kontinuität und Regelmäßigkeit sowie deren Leistungsfähigkeit.

Den Hauptwiderspruch als innere Triebkraft für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt bildet die ständige Wechselwirkung zwischen vorhandener und neuer Technik. Es ist üblich, folgende Komponenten aus der Sicht technikkissenschaftlicher Problemklassen festzulegen:

Strategischer Prozeß, dadurch gekennzeichnet, daß die zu seiner Beherrschung erforderlichen Informationen unvollständig oder nicht vorhanden sind. Die Lösung im Sinne einer optimalen Verhaltensregulation (Entscheidungszwang) ist häufig erforderlich. An die Stelle der unvollständig vorhandenen Eingangsgrößen werden Strategien in Abhängigkeit von den möglichen Werten dieser Eingangsgrößen gesetzt.

Heuristischer Prozeß, dadurch gekennzeichnet, daß die Übergangswahrscheinlichkeit, von den Eingangsgrößen zu den gewünschten Ausgangsgrößen zu gelangen, im Bereich $0 < p_{ij} < 1$ liegt, d.h. das Ziel wird nicht mit Sicherheit erreicht. Dieser Prozeß entspricht den schöpferischen Phasen des gedanklichen Bearbeitungsprozesses.

Deterministischer Prozeß, bei dem die Ein- und Ausgangsgrößen so gekoppelt sind, daß die Übergangswahrscheinlichkeit $p_{ij} = 1$ beträgt. Es handelt sich demnach um Routinestrecken im gedanklichen Bearbeitungsprozeß.

Der mancherorts anzutreffenden Zuordnung

"strategischer Prozeß = Erkundungsforschung"

"heuristischer Prozeß = angewandte Forschung"

"deterministischer Prozeß = Überführung bis zur Serienreife"

kann aus einer Reihe von Gründen nicht zugestimmt werden, u.a. weil sie dem konstruktiven, technologischen Prüfungsprozeß, dem auf Funktionalität, volkswirtschaftliche und soziale Effektivität optimierenden Anpassungs- und Einstellungsprozeß Routinecharakter zuordnet - eine gefährliche Unterschätzung, die auf die in diesem Bereich ohnehin unter Erfolgszwang Arbeitenden zusätzlich demoralisierend wirkt und den sog. "Überführungsprozeß" erschwert.

Im Hinblick auf die Abgrenzung zwischen Natur- und Technikwissenschaften ist von einer dialektischen Wechselwirkung auszugehen: In den Technikwissenschaften werden durch die unmittelbare praxisorientierte Auseinandersetzung mit der Natur und zunehmend auch der sozialen Umwelt zur Schaffung künstlicher Gebilde spezifizierte Theorien, Aussagen der Naturwissenschaften sozusagen ausschnittsweise angewendet, menschlichen Zwecken gemäß technisch verdinglicht, unter sozial-ökonomischen u.a. Aspekten transformiert und kombiniert. Andererseits liefern die technischen Wissenschaften bei der theoretischen Erfassung empirisch oder anderweitig gewonnener Erkenntnisse neue zweckgerichtete Untersuchungsgebiete für die Naturwissenschaften.

In der weiteren Betrachtung soll als Ansatzpunkt für die Rationalisierung geistiger Bearbeitungsprozesse und zur Verbesserung des "Überführungsprozesses" das generelle Vorgehen in den technischen Wissenschaften kurz dargestellt werden. Schematisch kann folgende grobe Abgrenzung angegeben werden:

	Naturwissenschaft	technische Wissenschaft
Gegenstandsbereich	math. Systeme des Naturgeschehens	vom Menschen geschaffene technische Systeme
wiss. Zielsetzung	Gewinnung obj. Erkenntnisse über Objekt- und Ereignisklassen math. Systeme der Natur	Gewinnung v. Erkenntnissen Bewertung und Konstruktion von Klassen techn. Systeme mit gesellschaftl. Zielstellung
Methode	eigenständig, abbildungsorientiert, Ursache-Wirkungs-Relation	integrierend, anwendungsorientiert, Zweck-Mittel-Relation
Gesetze	Ziel Funktionsgesetze mit höchstem Abstraktionsgrd. Strukturparameter auf Naturkonst. zurückgeführt	Ziel Funktionsgesetze mit anwendungsoptim. Abstraktionsgrd., Strukturparameter als empirische Konst. mitgeführt

2. Das problemlösende Vorgehen in den technischen Wissenschaften

Die Analyse des problemlösenden Vorgehens in den technischen Wissenschaften läßt folgende Teilprozesse erkennen, die ähnlich wie in der natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Forschung als

- Problemdefinition,
- Problembearbeitung,
- Problemlösung

definierbar sind.

Zur Problemdefinition

Auf Grund der im 1. Abschnitt begründeten charakteristischen Merkmale der technischen Wissenschaften läßt sich diese als die den Verlauf der wissenschaftlich-technischen Revolution bestimmende Produktivkraft darstellen.

Das Ziel der natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Forschung, von PARTHEY und WAHL /1/ sinngemäß definiert als die Gewinnung wahrer Aussagen bzw. die Aufstellung von Systemen wahrer Aussagen als gedankliche Abbilder der Wirklichkeit, die sich auf Sachverhalte beziehen, muß für die technischen Wissenschaften mindestens um folgenden Aspekt erweitert werden: Die zu gewinnenden Aussagen müssen solche sein, für die ein unmittelbares gesellschaftliches Interesse besteht, d.h. solche, deren Gewinnung eine gesellschaftliche Notwendigkeit darstellt und demzufolge durch eine gesellschaftliche Zielstellung charakterisiert ist: Die gewonnenen Aussagen müssen sowohl wahr als auch nützlich sein.

Die Richtung bei der Gewinnung neuer Erkenntnisse wird deshalb in den technischen Wissenschaften nicht nur durch das Vorhandensein wahrer Aussagen der Naturwissenschaften bestimmt (diese Ansicht wird nicht selten von Naturwissenschaftlern vertreten), sondern durch direkte und indirekte Anforderungen der Gesellschaft in bezug auf die Entwicklung der Produktivkräfte.

Daraus leitet sich eine Zielstellung ab, die als System von Fragen und Aussagen aufstellbar ist. Da das gesellschaftliche Ziel die Beantwortung der Fragestellung ist, muß gleichzeitig nach dem Weg gefragt werden, wie die Beantwortung erfolgen soll. Dabei spielen die vorhandenen und zu schaffenden Bedingungen eine entscheidende Rolle. Das System von Fragen nach dem Ziel und Aussagen über die Bedingungen bzw. den Weg zur Beantwortung der Fragen wird allgemein als Problem bezeichnet. Das Problem besteht demnach, wenn die Beantwortung der Fragen das gesellschaftliche Ziel ist. Da nur in der menschlichen Tätigkeit Ziele vorhanden sind, können Probleme nur im Bewußtsein der Menschen existieren.

Die Komponenten des Problems sind Komponenten menschlicher Tätigkeit: Gesuchtes (Ziel), Gegebenes (Bekanntes und Vorhandenes), Bedingungen (Wege, Möglichkeiten). Das Problem ist folglich eine durch gesellschaftliche Anforderung gesetzte Zielstellung, die zur Erfüllung größeren Wissens als das vorhandene erfordert.

Als erste wissenschaftliche Arbeit liefert die Formulierung des Systems von Fragen und Aussagen die Problemdefinition.

Zur Problembearbeitung

Die Problembearbeitung soll als Stufe zwischen Problemdefinition und Problemlösung aufgefaßt werden. Sie beinhaltet zwei Komponenten,

- die Analyse bekannter Aussagen,
- Synthese als wahr angenommener Aussagen.

Die Analyse bekannter Aussagen wird über Fragen nach dem Stand der Technik und der Wissenschaft (Weltstandsvergleich) vorgenommen. Sie stellt Theorien und Erfahrungen heraus, die mit dem zu erreichenden Ziel in Verbindung stehen, sowohl über unmittelbare fachspezifische Fragen als auch über Randbereiche und Entwicklungstendenzen. Sie schließt im wesentlichen eine ausführliche Auswertung der fachwissenschaftlichen Kongresse und Erfahrungsaustausche, der Fachliteratur, der zur Verfügung stehenden nationalen und internationalen Forschungsberichte sowie der Patendliteratur ein.

Die Analyse bekannter Aussagen liefert die Erkenntnis, daß erstens die Lösung des Problems mit bekannten Mitteln und Verfahren nicht möglich ist, zweitens neue, zur Lösung des Problems fehlende Aussagen zu konstruieren sind.

Die wissenschaftliche Begründung des ersten Aspekts liefert rückwärts die Begründung, daß die ursprüngliche Zielstellung als Problem existiert und definiert werden kann. Insofern

kann sie auch formal zu einem wesentlichen Abschnitt der Problemdefinition gezählt werden.

Der zweite Aspekt, die Begründung der Notwendigkeit der Konstruktion neuer Aussagen, kann ebenfalls als Bestandteil der Problemdefinition aufgefaßt werden, in weit größerem Maße jedoch als Entscheidungsvorbereitung über die Strategie der Problemlösung.

Die Synthese der als wahr angenommenen Aussagen hat so zu erfolgen, daß die konstruierten Aussagen geeignet sind, zusammen mit den als wahr festgestellten ein Aussagensystem zu bilden, das als Lösung des Problems angesehen werden kann. Die zu konstruierenden Aussagen, auch als hypothetische bezeichnet, sollen begründete Annahmen über Sachverhalte sein.

Sie geben in den technischen Wissenschaften beispielsweise Antwort auf Fragen der möglichen Entwicklungstendenzen der Technik, der Gesellschaft, der Natur, der Erkenntnisse der Menschen usw. und auf Fragen nach Bedingungen, Abhängigkeiten und Zuordnungen. Die Konstruktion von letztgenannten Bedingungs- und Gesetzesaussagen wird in zunehmendem Maße mittels Ersatz- oder Modellanordnungen durchgeführt. Sie werden nach PARTHEY/WAHL /1/ in dem Maße wissenschaftliche Aussagen, wie sie "bei der Aufstellung und bei der Prüfung eines Systems von Aussagen verwendet und gewonnen werden, das in seiner Gesamtheit Gesetzmäßigkeiten eines bestimmten Bereiches der Wirklichkeit abbildet.

Solche Aussagen, nicht logisch ableitbar aus bereits als wahr festgestellten, sondern hypothetisch deduktiv aufgestellt, beruhen auf Intuition als wesentliche Komponente schöpferischer Tätigkeit.

Zur Problemlösung

Das gewonnene System von Aussagen ist in dem Maße als Problemlösung anzusehen, wie es zur Erklärung des erfragten Sachverhaltes herangezogen werden kann.

Seine Formulierung als nützliche Verknüpfung der als wahr festgestellten und als wahr angenommenen Aussagen, auch als Hypothese bezeichnet, stellt zunächst lediglich eine wahrscheinliche Problemlösung dar. Zur anerkannten Problemlösung gehört deshalb die Feststellung des Wahrheitswertes der Hypothese. Es gibt in den technischen Wissenschaften Fälle, bei denen auf eine Bestätigung der Hypothese als Zwischenstufe vor der Überführung der Lösung in die Praxis verzichtet wird. Es schließt sich an Folgerungen aus der Hypothese in Form von Berechnungen auf der Grundlage der Hypothese (z.B. nach einem Ersatzmodell) sofort der Bau eines Produktionsmusters an, d.h. die Problemlösung wird in solchem Fall in der Praxis realisiert und bestätigt.

Ein solches Vorgehen birgt jedoch ein großes Risiko. Es ist nicht nur durch das Vorgehen in der wissenschaftlichen Arbeit, sondern auch durch

- das Zusammenarbeits- und Vertrauensverhältnis zwischen dem wissenschaftlichen Kollektiv und dem Anwender aus der Praxis (in der Regel der Auftraggeber) oder durch
- Zwang (z. B. Kriegsgefahr oder Katastrophen)

bestimmt.

Allgemein ist jedoch die Feststellung des Wahrheitswertes, d.h. die Bestätigung der Hypothese eine der wichtigsten Aufgaben der Forschung der technischen Wissenschaften.

Es ist unumstritten, daß die Wahrheit einer Aussage nicht durch gedankliche Arbeit, sondern durch die menschliche Tätigkeit ermittelt werden kann.

Die Feststellung des Sachverhalts, den die Aussage widerspiegelt, erfolgt nur außerhalb des eigenen Bewußtseins, weil der Sachverhalt objektiv existiert. Da jedoch die Aussage durch das Denken produziert wurde, muß die Wahrheitssuche vom Bewußtsein gesteuert, d. h. abhängig vom Bewußtsein durchgeführt

werden.

Es kann jedoch die Wahrheit erst gesucht werden, wenn eine Aussage existiert. Deshalb ist die Wahrheitssuche eine Frage an die Natur und Gesellschaft über die Existenz des in der Aussage abgebildeten Sachverhalts. Schließlich muß das Ergebnis dieser Befragung, die Antwort, durch das Bewußtsein des fragenden Menschen festgestellt werden, also abhängig vom Bewußtsein erfolgen.

Da der Wahrheitswert einer gedanklichen Konstruktion, der Hypothese, selbst meist nicht direkt festgestellt werden kann, können zu ihrer Bestätigung

- die zur Lösung des Problems herangezogene Folgerung,
 - die zur Aufstellung der Hypothese benutzten hypothetischen Aussagen,
 - weitere aus der Hypothese gezogene Folgerungen
- überprüft werden.

Die erste Möglichkeit, daß die zur Lösung des Problems herangezogenen Folgerungen in ihrem Wahrheitswert bestätigt werden, liefert formal die Bestätigung der Hypothese im angewendeten Bereich bei Voraussetzung logischer Widerspruchsfreiheit. Die Frage nach der logischen Widerspruchsfreiheit und damit der endgültigen Bestätigung der Hypothese hat auf die Problemlösung keinen unmittelbaren Einfluß, solange das praktische Ergebnis als Problemlösung akzeptiert wird. Lediglich bei der Benutzung der angeblich bestätigten Hypothese bei der wissenschaftlichen Bearbeitung anderer, neuer Probleme ergeben sich eventuell Schwierigkeiten und erfordern bei Aufdeckung der logischen Widersprüche eine nachträgliche Konstruktion einer Hypothese und deren Bestätigung für die bereits vorhandene Problemlösung.

Die dritte Möglichkeit, weitere aus der Hypothese gezogene Folgerungen zu überprüfen, entspricht dem typischen Weg zur

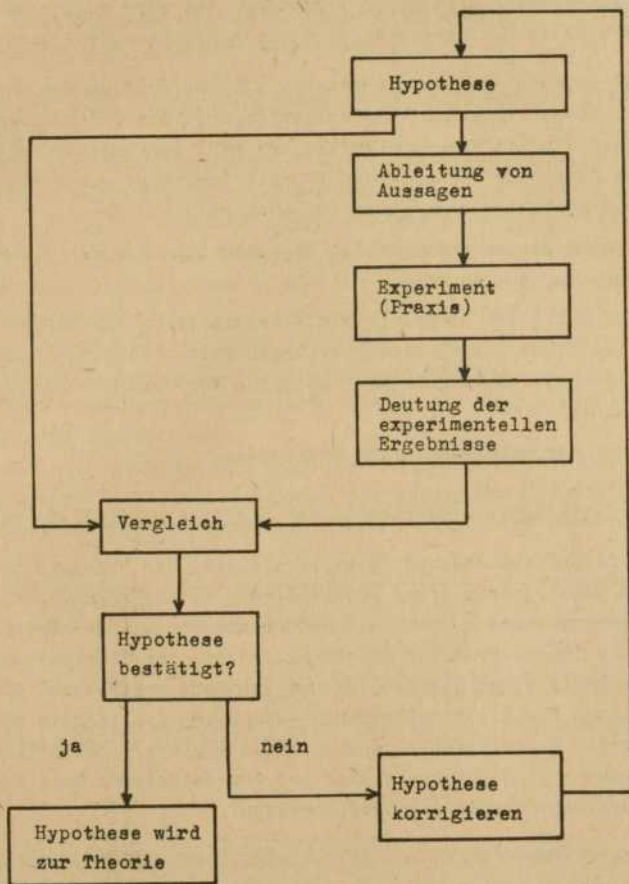


Bild 1: Vorgehen in den Technikwissenschaften

Feststellung des Wahrheitswertes einer Hypothese in der technisch-wissenschaftlichen Forschung. Sie wird angewendet, wenn die erste und zweite Möglichkeit nicht anwendbar sind.

Hier ergibt sich die Notwendigkeit, zur Überprüfung der aus der Hypothese gezogenen Folgerungen Experimente durchzuführen als einen Schritt der von PARTHEY und WAHL begründeten sogenannten "experimentellen Methode", die insgesamt durch drei Schritte charakterisiert wird (s. auch Bild 1):

- Gewinnung der experimentellen Fragestellung aus den zu bestätigenden Folgerungen,
- Durchführung der Experimente als Realisierung der Fragestellung in einem vorgegebenen Wirkungsbereich (Schaffung und Steuerung der Bedingungen, Beobachten von Veränderungen, Protokoll),
- Deutung der experimentellen Ergebnisse.

3. Das Experiment: Tendenzen in der Elektrotechnik/Elektronik

In der Technikwissenschaft gibt es ein gewisses "klassisches Ideal": Das Ergebnis einer Problemlösung sollte nach Möglichkeit als geschlossene, leicht handhabbare Theorie darstellbar sein. Die ingenieurmäßige Schaffung technischer Einrichtungen auf der Basis einer solchen Theorie ist dann weitgehend im Sinne eines für die Problemlösung entsprechend Abschnitt 2 angeführten deterministischen Prozesses möglich. (Beispielsweise konnte eine Theorie dieser Art für das Gebiet der linearen Regelungstechnik geschaffen werden).

Die neueren Forderungen an die Technikwissenschaft sprengen aber in vielen Fällen den Rahmen, den die eingeführten Theorien gezogen haben. So kann heute festgestellt werden, daß besonders effektive Lösungen nicht selten dort erreicht werden, wo Anlagen in nach klassischen Verständnis instabilen Arbeitspunkten betrieben und durch nichtlineare Rückkopplungen im

Gleichgewicht gehalten werden. Für diese Fälle ist die Einführung einer allgemeinen, geschlossenen Theorie nicht absehbar und auch vom Prinzip her schwer möglich.

Wie wirkt sich das auf die Vorgehensweise in der Technikwissenschaft aus?

Die wie im Bild 1 bearbeiteten und heute verfügbaren Theorien sind zwar wahre Aussagen, enthalten aber keinen Mechanismus, der in klassisch einfacher Weise die Lösung für eine komplexe technische Aufgabe in direkter Deduktion aus dem Aussagensystem der Theorie liefert. Der Weg des Experimentes führt oft effektiver zum Ziel als die Handhabung einer schwerfälligen Theorie. Damit arbeitet der Ingenieur im Entwurfsprozeß nach ähnlichem Schema wie der Technikwissenschaftler: An die Stelle der Hypothese tritt der Entwurf, und an die Stelle der Theorie die überführbare Anlage.

Die zentrale Stellung des Experimentes ist offensichtlich. Dabei prägen sich neue Tendenzen der experimentellen Methodik aus und müssen berücksichtigt werden (Bild 2):

		Experiment	
		am Modell (Modellexperiment)	
am Objekt (Original- experiment)	maßstäblich	analog	digital
	paritätische Simulation		

Bild 2:

Im allgemeinsten Sinne kommt dem Experiment im Originalbereich, dem Originalexperiment, die entscheidende Bedeutung zu. Das Originalexperiment allein kann über den Wahrheitsgehalt einer aufgeworfenen Frage endgültig entscheiden.

Im Vergleich zu anderen Experimentierverfahren hat es leider einen erheblichen Nachteil: Es erfordert den vergleichbar größten gesellschaftlichen Aufwand und kann deshalb bei der oben entwickelten iterativen Vorgehensweise zum Entwurf von technischen Anlagen selten oder nicht effektiv eingesetzt werden.

Gegenwärtig wird die höchste Produktivität in der Forschung der technischen Wissenschaften, ausgeschlossen seien hier die Prozesse der Verifizierung von Aussagensystemen, bei hauptsächlich drei Klassen von Modellexperimenten ^{+) erreicht, wobei sich etwa folgende Erfahrungen herauschälen:}

Das maßstäbliche Modell kommt dem spezifischen Arbeitsgegenstand des Ingenieurs am nächsten. Die Einführung des Maßstabs dient im wesentlichen der Kostenreduzierung für die Anlagenkomponenten bei Beschaffung und Verlust durch Havarie.

Problematisch bis unmöglich sind - analog zum Originalexperiment - die Meßgewinnung, -registrierung und die Ursachenrückverfolgung bei Havarien. Als wesentlicher Nachteil muß vermerkt werden, daß die im System enthaltenen Nichtlinearitäten z. T. vom Prinzip her nicht maßstabsgerecht transformierbar sind, so daß sich für das Modellsystem Verzerrungen bis zur Unbrauchbarkeit ergeben können.

Die Realisierung von Modellen und Modellexperimenten am Analogrechner ist nur bei entsprechend ausgebildetem Personal effektiv und kommt dann der ingenieurtechnischen Arbeitsweise noch relativ nahe.

^{+) Das sog. Gedankenexperiment, eine Fragestellung an ein gedanklich, d.h. im ideellen Bereich existierendes Modell, schließt sich per Definition (vergl. Abschn. 2) über das Experiment aus. Es ist nichts anderes als eine, möglichst in logischer Widerspruchsfreiheit aufgestellte Folgerung aus einem vorhandenen Aussagensystem, als dessen Teil das gedankliche Modell objektiv im ideellen Bereich existiert.}

Wesentlicher Nachteil gegenüber dem Original- und dem Maßstabs-
experiment ist, daß die Klemmenanalogie auf der Ebene der Kom-
ponentenstruktur verloren geht. Ansätze zur Behebung dieses
Effekts mit analogrechentechischen Mitteln haben sich bisher
nicht allgemein durchsetzen können. Zur effektiven Nutzung der
Möglichkeit, Modelleexperimente am Digitalrechner durchführen
zu können, muß vorher erheblicher Aufwand in die Herstellung
ausreichend nutzerfreundlicher Rechenprogramme investiert wer-
den. Dieser Weg ist erfolgversprechend und wird vielerorts ge-
gangen. Der wesentliche Vorteil gegenüber allen anderen Ver-
fahren ergibt sich aus der alle bisherigen technischen Anlagen
Übertreffenden Flexibilität der digitalen Rechenmaschine.
Nachteilig sind bei umfangreichen Aufgabenstellungen die er-
forderliche lange Rechenzeit und die daraus entstehenden hohen
EDV-Kosten. Für gewisse Gebiete - z. B. Chip-Entwicklungen der
Mikroelektronik - ist wegen des Problemumfangs der Digital-
rechner das einzig sinnvolle und gleichzeitig unverzichtbare
Untersuchungshilfsmittel im Experimentierstadium.

Fazit:

Wünschenswert für kleine und mittelgroße Systeme wäre eine
Synthese der positiven Eigenschaften der verschiedenen ange-
führten Untersuchungsverfahren:

- Flexibilität des Digitalrechners
- Rechengeschwindigkeit des Analogrechners
- zerstörungsfreies Überstehen von Fehlfunktionen
- Isomorphie zur Originalanlage in allen ihren Komponenten.

Erste erfolgversprechende Ergebnisse in dieser Richtung sind
als "paritätische Simulation" bekannt geworden. Hier werden
Verfahren aus der Analog- und der Digitaltechnik benutzt, um
ein in allen Nichtlinearitäten unverfälschtes und zur Ori-
ginalanlage isomorphes-Maßstabsmodell zu schaffen.

Zusammenfassung

Ausgehend von Komponenten technikwissenschaftlicher Forschung und einer daraus ableitbaren Abgrenzung gegenüber Natur- und Gesellschaftswissenschaften wird das typische problemlösende Vorgehen der technischen Wissenschaften dargestellt.

Die Verifizierung von Hypothesen als wahrscheinliche Problemlösungen bzw. der zur Hypothese benutzten als wahr angenommenen Aussagen oder aus der Hypothese ableitbare Folgerungen ist eine entscheidende Voraussetzung nicht nur zur Schaffung einer Theorie schlechthin, sondern zur Realisierung der Problemlösung als gesellschaftlich notwendige Zielstellung.

Da Experimente in Originalbereichen bei der steigenden Komplexität des Zusammenwirkens verschiedener Bedingungen in kleinen bis großen Systemen unwirtschaftlich und teilweise auch undurchführbar wird, gewinnen Modellexperimente zunehmend an Bedeutung, was am Beispiel Elektrotechnik/Elektronik näher erläutert wird.

Literatur

PARTHEY, H. Die experimentelle Methode in Natur- und Gesellschaftswissenschaften, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1966, Berlin

Verfasser:

Dr. Erich Henniga
Elektromotorenwerk Dessau
Abt. Prüffelder

4500 Dessau

Dr. Hartmut Pfüller
Prof.Dr.sc.techn. Siegfried Thamm
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Sektion Technische Elektronik

2500 Rostock

Günther Schommartz

Hochschulforschung und Praxis
Probleme der Überführung

Die Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse aus der Hochschulforschung in die Praxis, um sie für die allgemeine Verwendung in der menschlichen Gesellschaft nutzbar zu machen, stellt ein prinzipiell altes Problem dar, das unter den heutigen Bedingungen der Lebensansprüche der sozialistischen Gesellschaft aber noch keineswegs veraltet ist und in Einzelfällen leider noch zu oft dramatischen Konflikten führt.

Warum?

Grundsätzlich dürfte es keine Probleme geben, denn durch gesetzliche Anordnungen, Verfügungen und Bestimmungen ist die Arbeitsteilung zwischen Hochschule und Praxis geregelt, z. B. in der Nomenklatur der Bearbeitungsstufen Studie, Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung bis zu den konstruktiv-technologischen Aufgaben, und über die ökonomischen und rechtlichen Verbindungen zwischen beiden Partnern gibt es ebenfalls eindeutige Regelungen.

Aber über diese Dinge soll hier nicht gesprochen werden, da sie letztlich nicht das Wesen der Verbindung zwischen Hochschule und Praxis ausmachen.

Das ursächlich verbindende Element zwischen Hochschule und Praxis ist - immer wieder neu - der konkrete Arbeitsgegenstand in seinen verschiedensten Formen und Leistungsstufen: als Bericht, als gegenständliche Apparatur, als Rat, als Idee - wie auch immer. Dieser Arbeitsgegenstand unterliegt nun bei beiden Partnern objektiv unterschiedlichen Bewertungen, auch dann, wenn beide einträchtig mit gleicher Zielstellung zusammenarbeiten.

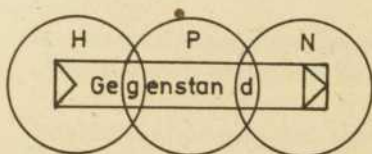
Der Grund dafür ist, daß das Umfeld der Bearbeitung des Gegenstandes bei beiden Partnern naturgemäß unterschiedlich ist. Das Umfeld der Bearbeitung an der Hochschule ist wesentlich durch den wissenschaftlichen Aspekt der Aufgabe in Verbindung mit der Ausbildungsfunktion der Hochschule charakterisiert.

Das Umfeld der Bearbeitung in der Praxis wird vornehmlich durch ökonomische Gesichtspunkte bestimmt.

Bevor nun diese Sachverhalte näher betrachtet werden, ist der Begriff Praxis hier etwas genauer zu erläutern.

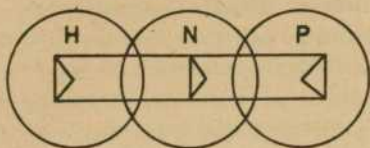
Als Praxis sollen hier alle die gesellschaftlichen Einrichtungen und Institutionen gelten, die ein Interesse an den wissenschaftlichen Ergebnissen der Hochschulen zwecks mittelbarer oder unmittelbarer praktischer Anwendung und Nutzung haben. Für die naturwissenschaftlichen und technischen Hochschuldisziplinen steht die Praxis als Produzent von Ergebnissen auf der Grundlage der Hochschulforschung und als Nutzer dieser Erzeugnisse.

Prinzipiell ist also die Zweiteilung Hochschule - Praxis in eine Dreiteilung Hochschule - Produzent - Nutzer zu bringen. Die Zuordnung dieser Drei kann nun unterschiedlich sein, wobei der Charakter des Bearbeitungsgegenstandes in einer bestimmten Relation zu der jeweiligen Zuordnung stehen muß, wenn eine effektive Zusammenarbeit gewährleistet werden soll.

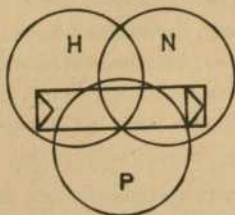


Die erste Zuordnung kann man als "Kette" Hochschule - Produzent - Nutzer darstellen, wobei sich bezüglich des Gegenstandes die Bearbeitungsumfelder jeweils zweier Partner überschneiden: die Hochschule arbeitet

mit einem Produzenten zusammen, der das Ergebnis eigenverantwortlich an einen großen Nutzerkreis veräußert. Der Nutzer tritt für die Hochschule nur mittelbar über den Produzenten anhand von Anforderungscharakteristiken an das Erzeugnis in Erscheinung.



Partner: die Hochschule löst für einen bestimmten Nutzer eine vereinbarte Aufgabe, der sich seinerseits eigenverantwortlich um die Erzeugnisproduktion bemüht. Der Produzent tritt für die Hochschule nicht in Erscheinung.



Die schwierigste sein, sie aber als höchste Form zu bezeichnen ist nicht gerechtfertigt; sie ist einfach nur eine von drei Möglichkeiten.

Wann ist nun welche dieser drei Möglichkeiten der Zusammenarbeit zweckmäßig?

Wenn Hochschule und Praxis zu einem bestimmten Gegenstand in eine Arbeitsvereinbarung treten, so geschieht dies entweder auf der Grundlage eines Angebotes der Hochschule oder auf der Grundlage einer Anforderung der Praxis.

Im ersten Falle muß die Hochschuleinrichtung einschätzen, ob das Angebot multivalent für einen großen Nutzerkreis anwendbar ist oder nur spezifisch für einen bestimmten Nutzer. Bei multi-

Die zweite Zuordnung kann man auch als Kette darstellen, aber in der Reihung Hochschule - Nutzer - Produzent (inverse Kette). Auch hier überschneiden sich jeweils nur die Umfelder zweier

Die dritte Zuordnung läßt sich als Dreieck darstellen. Es überschneiden sich die Umfelder aller drei Partner, es gibt eine vereinbarte unmittelbare Zusammenarbeit aller drei. Diese Zusammenarbeit wird sicher die

valenter Nutzung des Erzeugnisses ist die direkte Zusammenarbeit mit dem Produzenten zweckmäßig, also in der normalen Kette H - P - N. Bei spezifischer Nutzung ist die Zusammenarbeit mit dem betreffenden Nutzer zu suchen, also eine Zuordnung in der inversen Kette H - N - P oder in Dreiecksvereinbarung.

Im zweiten Fall der Anforderung einer Arbeitsvereinbarung steht entweder ein Produzent oder ein Nutzer als Praxispartner. Bei nur spezifischer Verwendung des Arbeitsergebnisses wird sich dann zwangsläufig eine Zuordnung der Aufgaben in inverser Kette oder als Dreiecksvereinbarung ergeben, bei multivalenter Verwendung die Zuordnung in normaler Kette.

Die kompliziertere Dreiecksvereinbarung wird dann vorteilhaft sein, wenn der auftraggebende Produzent an einer sehr schnellen Nutzung des Produkts interessiert ist oder wenn der auftraggebende Nutzer das mit einer gerätetechnischen Entwicklung verbundene "know how" unmittelbar - und damit eben auch schnell - dem Produzenten übermitteln will, weil er selbst als Mittler dafür nicht auftreten will oder kann.

Zwei Beispiele mögen diese Darlegungen etwas erläutern:

Der von uns vor etwa 15 Jahren entwickelte Drei-Kanal-Korrektor ist ein Zusatzgerät für Fischortungsanlagen und erlaubt eine verbesserte Darstellung der Fischechos auf den Anzeige- und Registriergeräten und liefert damit mehr Information über den zu befischenden Seeraum. Die Zusammenarbeit erfolgte mit dem Produzenten - damals VEB Funkwerk Köpenick -; Funktionserprobungen fanden beim Nutzer - damals VEB Fischkombinat Rostock - statt. Das Mustergerät war auf das Fischortungsgerätesystem der DDR zugeschnitten, also eine spezifische Erzeugnisentwicklung, es lag eine (relativ lockere) Dreieckszusammenarbeit vor. Danach wurde das Grundkonzept vom Produzenten - VEB Schiffselektronik Rostock - eigenverantwortlich bis zum marktfähigen Erzeugnis bearbeitet, so daß es heute in Form von Varianten für unterschiedliche Fischortungsgeräte anwendbar ist. Bezogen auf dies Ergebnis liegt eine Zusammenarbeit in der normalen Kette vor.

Gegenwärtig bearbeiten wir ein Hydroortungsverfahren auf der Grundlage der Signalakkumulation. Die Anwendung ist auf die geologische Meeresbodenerkundung orientiert, Praxispartner ist ein Nutzer, das Zentrale Geologische Institut, der ein spezifisches Gerät für rationelle Erkundungen benötigt. Die Vervielfältigung des dem Partner bis zum 10. Parteitag der SED zu übergebenden Mustergeräts ist Aufgabe des Partners: es liegt eine Zusammenarbeit in inverser Kette vor.

An der multivalenten Nutzung dieses Verfahrens für andere Ortungsaufgaben (und damit für andere Nutzer) arbeiten wir. Als Vertragspartner kommt für diese Zielstellung der Aufgabe zweckmäßig nur ein Produzent in Betracht (normale Kette der Zusammenarbeit), wobei Voruntersuchungen und Erprobungen auf der Grundlage von zeitweisen Dreiervereinbarungen mit entsprechenden Nutzern vorteilhaft wären. Eine solche Zusammenarbeitsform würde uns das für uns zeit- und personalaufwendige Herstellen von Mustergeräten für jeden einzelnen neuen Nutzer ersparen, der sich seinerseits dann wiederum um einen Produzenten sorgen müßte.

Bevor wir uns nach diesem strukturellen Aspekt mit einem anderen befassen, soll zwischendurch zusammenfassend festgestellt werden: Es gibt zwei Formen der Überführung von Hochschulforschungsergebnissen in die Praxis: entweder an einen Nutzer in Form eines Mustergerätes für dessen unmittelbare und sofortige Anwendung, oder an einen Produzenten zur Herstellung marktfähiger Erzeugnisse.

Für das weitere müssen nun zunächst die Umfelder der drei Partner Hochschule, Produzent und Nutzer etwas näher betrachtet werden.

Das Problem "Umfeld" tritt zutage, wenn man Vorhaben analysiert, die nicht oder nur äußerst zähflüssig zu einer Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Praxis führten.

Wir haben z. B. eine Verbindung abgebrochen, weil der Partner der Ansicht war, als Geldgeber könne er allein die Bedingungen und Forderungen stellen.

Kollegen an der TH Ilmenau hatten allergrößte und jahrelange Mühen, eine vom wissenschaftlichen und technologischen Standpunkt hervorragende Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der Wägetechnik in unserer Industrie zur praktischen Nutzung unterzubringen.

Was sind die Ursachen dieser Schwierigkeiten?

Es wurde schon gesagt, daß das Umfeld der Bearbeitung einer Aufgabe an der Hochschule durch den wissenschaftlichen Aspekt unter Berücksichtigung der Ausbildungsaufgaben der Hochschule geprägt wird. D.h., die Aufgabe soll

- wissenschaftliches Neuland darstellen oder erweitern,
- sie muß ein bestimmtes Wissenschaftsgebiet fördern, und
- sie soll Basis für die Qualifizierung von Kadern (Studenten, wissenschaftliche Mitarbeiter) sein.

Deswegen und weil die wissenschaftlichen und technischen Hochschulmitarbeiter neben der Forschungsarbeit als Hauptaufgabe Ausbildungs- und Erziehungsaufgaben zu lösen haben, sind produktionsreife Lösungen von Forschungsarbeiten nicht zu bringen. Mit Recht ist die Praxis mit Prinziplösungen nicht zufrieden, und in den meisten Fällen gehen die Hochschulen auch auf die technologische Realisierbarkeit der Lösungen ein - aber die endgültige nutzungsgerechte Lösung der Aufgabe muß der Praxis verbleiben. Das schreibt schließlich auch der Gesetzgeber vor. Was er aber nicht vorschreibt, ist der wissenschaftliche Gehalt der Arbeit, und wenn der in der Anforderung der Praxis an die betreffende Hochschuleinrichtung fehlt, wird es nicht zu einer ersprießlichen Zusammenarbeit kommen können.

Kehren wir diese Blickrichtung Praxis - Hochschule um, so ist festzustellen, daß mit dieser wissenschaftlich neuwertigen praktischen Leistung der Hochschuleinrichtung auch neuwertige theoretische Ergebnisse entstehen. Diese theoretischen Ergebnisse muß die Praxis mit der gegenständlichen Leistung übernehmen, anderenfalls gibt es keinen echten Fortschritt in

ihrem technischen und technologischen Niveau.

Mit anderen Worten: Unter Überführung von Forschungsleistungen der Hochschule in die Praxis sind nicht nur die gegenständlichen, wissenschaftlich-technisch höherwertigen Leistungen, sondern auch die damit verbundenen wissenschaftlich-theoretischen Leistungen zu verstehen.

Dies ist der inhaltliche Aspekt der Überführungsproblematik. Wird er verletzt, gibt es automatisch Schwierigkeiten, wie die genannten Beispiele zeigen.

Fragt man sich, auf welche Weise man diesem Aspekt jetzt Rechnung tragen kann, so findet man darauf zwei Antworten.

Neues Wissen in die Praxis zu tragen gelingt einerseits durch die an den Hochschulen für die Praxis ausgebildeten Kader, andererseits durch die Weiterbildung der Praxiskader, autodidaktisch oder mit Hilfe der Hochschulen.

Die Aus- und Weiterbildungsarbeit der Hochschulen erscheint somit als eine gewissermaßen verselbständigte Überführung wissenschaftlich-theoretischer Erkenntnisse und Leistungen, speziell zugeschnitten auf das Neuformieren des Umfeldes der Praxis. So gesehen ist es z.B. äußerst bedenklich, wenn verantwortungspflichtige Leitungskader der Praxis an eigens für sie organisierten Vorträgen und Diskussionsrunden über Mikroprozessoranwendungen sich durch ihre Techniker vertreten lassen, die ohnehin an den spezifizierteren Lehrgängen teilnehmen.

Kommen wir aber auf die Umfeldproblematik nochmals zurück. Wir haben festgestellt, daß mit der gegenständlichen Leistung auch das sog. Know how überführt werden muß. Das bedeutet für die Hochschule: will sie ihre gegenständlichen Leistungen an die Praxis verkaufen, so muß sie das Umfeld der Praxis entsprechend berücksichtigen oder neu formieren. Das heißt nicht allein, daß die Praxis die Leistung von ihrer wissenschaftlichen Seite her verstehen muß - wie bisher betont -, sondern auch daß die schon erwähnten technologischen Realisierungs-

randbedingungen berücksichtigt werden müssen. Es ist z.B. schwierig, für die traditionell in mechanischer Technologie operierende Wägegeräte herstellende Industrie, sich plötzlich mit diffiziler optomechanischer und optoelektronischer Technik zu befassen.

Sowohl Hochschule als auch Industrie selbst müssen sich um die Neuformierung des traditionellen Umfeldes der Industrie bemühen.

Wir haben immer dann eine gute Zusammenarbeit mit der Praxis festzustellen, wenn beide Partner auf die Belange des andern eingehen:

- wenn der Praxispartner die mit dem Arbeitsgegenstand entsprechenden oder ihm vorausgehenden wissenschaftlich-theoretischen Leistungen anerkennt und selbst mitverarbeitet,
- wenn er Mit- oder Zuarbeit zum Erstellen des Mustergerätes und/oder zu seiner Erprobung leistet,
- wenn die Hochschuleinrichtung bei aller möglichen Vielfalt ihres Leistungsangebots sich auf spezielle Anforderungen der Praxis konzentrieren kann und
- wenn sie willens und fähig ist, sich mit den technologischen Problemen der Erstellung eines praxisnahen Modells zu befassen.

Beide Partner müssen dabei Abstriche von ihrer "eigentlichen" Arbeit machen.

Für die Hochschule bedeutet das Herstellen von Mustergeräten einen Arbeitsaufwand, der, wenn keine oder nur unzureichende ingenieurtechnischen Kader, Werkstattkapazität usw. zur Verfügung stehen, auf Kosten des wissenschaftlichen Potentials geht.

Bei den Praxispartnern fallen die Kader, die sich mit Überführungsaufgaben befassen, aus dem normalen produktiven Prozeß heraus, was geringere Arbeitsproduktivität bedeutet. Beides sind nicht zu unterschätzende Probleme, die bei weitem noch nicht gelöst sind. Zu einer generellen Lösung bedarf es grund-

sätzlicher Entscheidungen. Dazu gehörte z. B. für die Hochschulen das Einrichten von Musterbauabteilungen und für die Industrie das Einführen von ökonomischen Kennziffern oder Plananteilen bei Überführungsaufgaben.

Diese letzten Gedanken lassen sich unter einem 3., dem organisatorisch-technologischen Aspekt der Zusammenarbeit bei Überführungsaufgaben, zusammenfassen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen:

Der Arbeitsprozeß des Überführens wissenschaftlich-technischer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse der Hochschulen in die Praxis ist objektiv qualifizierbar

1. nach dem strukturellen Aspekt der Zuordnung der Zusammenarbeit von Hochschule - Produzent - Nutzer entsprechend dem Charakter des Arbeitsgegenstandes (spezifisch oder multivalent nutzbar),
2. nach dem inhaltlichen Aspekt des Überführungsprozesses, der eine teilweise Übereinstimmung der Umfelder verlangt, innerhalb derer der Arbeitsgegenstand von den Partnern jeweils beurteilt wird, und der neben der Überführung vergegenständlichter wissenschaftlich-technischer Ergebnisse die entsprechende Überführung des wissenschaftlich-theoretischen Fundaments erfordert,
3. nach den arbeitsorganisatorischen, personellen und technischen Voraussetzungen bei beiden Partnern, unter denen der Überführungsprozeß stattfindet.

Eine klare Einschätzung dieser drei Faktoren des Überführungsprozesses läßt den Erfolg oder Nichterfolg einer Überführungsaufgabe absehen.

Verfasser:

Prof. Dr. sc. techn. Günther Schommartz

Wilhelm-Pieck-Universität Rostock

Sektion Technische Elektronik

2500 Rostock

Die Rolle des Experimentes bei der Überleitung von Forschungsergebnissen in der Fischereitechnik

Fischfanggeräte unterscheiden sich grundsätzlich von der Mehrzahl ingenieurtechnischer Einrichtungen. Dies wird durch ihren besonderen Verwendungszweck und die speziellen Arbeitsbedingungen hervorgerufen. Als wesentliche Unterschiede können genannt werden:

1. Das sich im Wasser befindende Fanggerät stellt ein räumliches System von Netzen, Seilen und verschiedenen Bestückungselementen dar, das sich unter der Einwirkung verschiedener äußerer Kräfte befindet. Unter dem Einfluß dieser äußeren Kräfte verändert es leicht seine Form und Lage im Raum. Die Bestimmung der äußeren Kräfte ist aber schwierig, da sie ihrerseits von Lage und Form des Fanggerätes abhängen, die unbekannt und veränderlich sind.
2. Während des Fangprozesses bestehen Wechselwirkungen zwischen dem Fanggerät und dem lebenden Objekt - dem Fisch. Die Fanggerätekonstruktion und ihre Parameter, wie Abmessungen, Schleppgeschwindigkeit usw., müssen in jedem konkreten Fall unter Berücksichtigung des Fischverhaltens gewählt werden, doch ist das Studium des Fischverhaltens in der Wirkungszone der Fanggeräte mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden.

Beim Entwerfen, sowie der Konstruktion und Berechnung von Fischfanggeräten werden die Erkenntnisse verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen wie Mathematik, Mechanik, Strömungslehre, Fischereibiologie u.a. herangezogen. Der gegenwärtige Wissensstand reicht jedoch nicht aus, um auf rein analytischem Wege die beim Entwerfen, der Konstruktion und der Berechnung von Fischfanggeräten anstehenden Aufgaben zu lösen. Zur Lösung vieler Aufgaben der Fanggerätetechnik, insbesondere auch im Hinblick auf die effektive Anwendung von Entwurfs- und Be-

rechnungsverfahren in der Praxis, sind systematische experimentelle Untersuchungen unerlässlich. Im weiteren soll diese These anhand der mathematischen Modelle zur Untersuchung des Bewegungsverhaltens des System-Schleppnetzes, die am WB Fischereitechnik erarbeitet wurden, belegt werden. Der prinzipielle Aufbau eines Schleppnetzsystems ist in Bild 1 gezeigt. Die wesentlichen Elemente sind das Schiff, die Kurrleinen, die Scherkörper, die Jäger und das eigentliche Schleppnetz.

Um eine Vorstellung über die Größenordnung solcher Systeme zu vermitteln, sei erwähnt, daß die Netze eine Netzöffnungshöhe von 40 m und größer aufweisen können bei einer Öffnungsbreite bis zu 60 m. Einsatz Tiefen von 1000 m sind dabei keine Seltenheit mehr. Die Schleppnetzgeschwindigkeiten erreichen Werte bis zu 6 kn ($6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$).

Um solche Netze zu schleppen, sind hohe Trossenzüge zu realisieren. Der Supertrawler entwickelt beispielsweise bei der genannten Schleppgeschwindigkeit von 6 kn einen Trossenzug von 25 Mp. Ein entscheidender Weg zur Steigerung der Effektivität der pelagischen Schleppnetz Fischerei ist die Weiterentwicklung der gezielten Fischerei, d.h. die Erhöhung der Treffsicherheit beim gezielten Ansteuern georteter Fischschwärme. Die Bewegungsbahnen des Schwarmes und Schleppnetzes können dabei in Übereinstimmung gebracht werden durch:

- Veränderung der Schiffsgeschwindigkeit
- Veränderung der Kurrleinenlänge
- Anbringen von Steuerkräften am Fanggeschirr
- Veränderung des Kurswinkels.

Die Aufgabe der Forschung auf dem Gebiet der Mechanik der Fanggeräte besteht nun darin, Verfahren zu erarbeiten, die es gestatten, den Zusammenhang zwischen den Bewegungsbahnen des Schiffes und Schleppnetzes herzustellen.

Solche Berechnungsverfahren sind einerseits für die Auswahl und Begründung der günstigsten Ansteuerungsvarianten bei gegebenem Schleppnetzsystem und andererseits für die Projektierung neuer

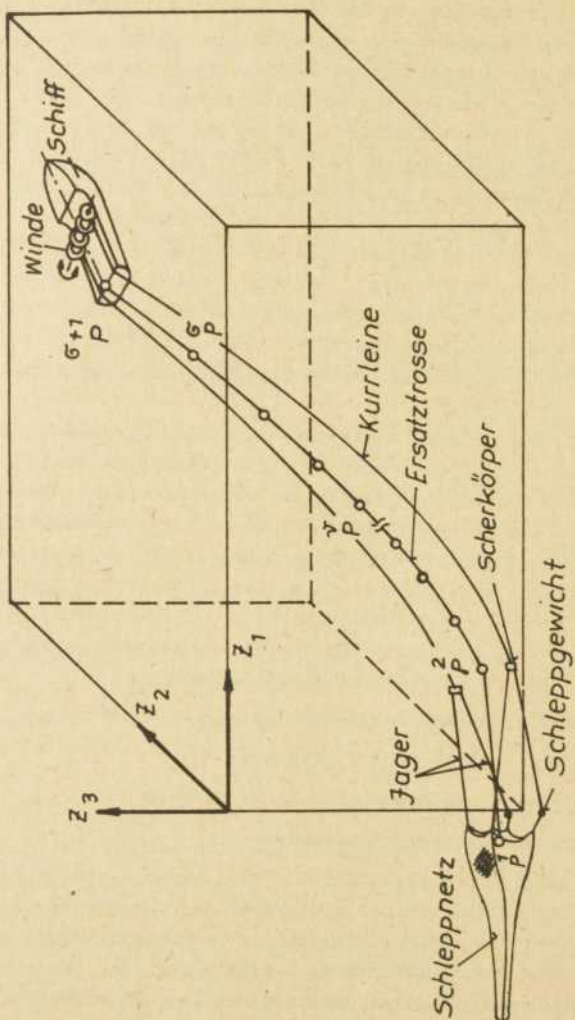


Bild 1: Modell eines Schleppnetzsystems

Schleppnetzsysteme und die Auslegung ihrer Elemente unter Berücksichtigung der Dynamik des Ansteuerungsprozesses erforderlich. Das Aufstellen der Bewegungsgleichungen für jedes Element des Fangsystems und ihre Verknüpfung untereinander liefern die erforderlichen Gleichungen zur Bestimmung der unbekanntenen Bewegungsgrößen und Verbindungskräfte.

Die Kompliziertheit der physikalischen Beziehungen, insbesondere die Vielzahl der Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen, das Fehlen entscheidender Anteile wie die Beschreibung des Zusammenhanges zwischen Form und wirkenden Kräften am Netz bei ungleichförmiger Bewegung sowie unter Berücksichtigung der ökonomischen Möglichkeiten und den Möglichkeiten der verfügbaren Rechentechnik erfordern es, ein Modell des realen Fangsystems zur mathematischen Formulierung der physikalischen Zusammenhänge zu schaffen.

Ein Beispiel eines solchen Modells ist in Bild 1 schematisch dargestellt. Bei der Ableitung der Bewegungsgleichungen werden eine Reihe von Voraussetzungen und Annahmen getroffen, auf die hier nicht im einzelnen eingegangen werden soll.

Die getroffenen Annahmen und Voraussetzungen reichen noch nicht aus, um die Bewegungsbahn des Schiffes und die wirkenden Kräfte anhand der Bewegungsgleichungen (s. Bild 2 und 3) zu berechnen. Insbesondere zur Gewinnung der Beiwerte, die die hydrodynamischen Belastungen repräsentieren, können beim gegenwärtigen Kenntnisstand der Hydromechanik nur auf experimentellem Wege für die verschiedenen Schiffstypen bestimmt werden.

Im Ergebnis von Experimenten sind empirisch gewonnene Funktionen (Polynome) bereitzustellen.

Die vorhandenen zwei Kurrleinen werden durch eine räumliche Ersatztrosse ersetzt. Die Bewegung der räumlichen Ersatztrosse wird durch eine bewegte, räumlich gekrümmte, stabförmig strömungsbelastete Punktmassenkette simuliert, so daß man den gesamten fischereilichen Anhang als ein räumliches schwingendes Vielfachpendel auffassen kann, das in den Punkten \bar{P}^1 bis \bar{P}^6 (s. Bild 1) durch Seilzugkräfte, hydrodynamische Kräfte, Träg-

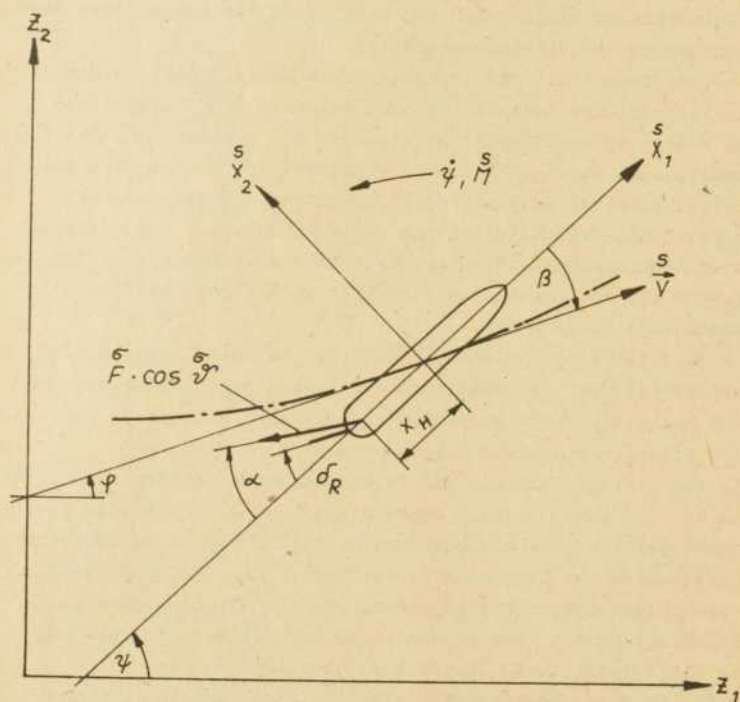


Bild 2: Darstellung des Schiffes mit den körper- und raumfesten Achsen

$$\begin{aligned}
 & (\overset{s}{m} + \overset{s}{m}_{h1}) (\overset{s}{v} \cos \beta - \overset{s}{v} \beta \sin \beta) + (\overset{s}{m} + \overset{s}{m}_{h2}) \overset{s}{v} \sin \beta = \overset{s}{x}_1 - F \cos \alpha \cos \overset{s}{v} \\
 & - (\overset{s}{m} + \overset{s}{m}_{h2}) (\overset{s}{v} \sin \beta + \overset{s}{v} \beta \cos \beta) + (\overset{s}{m} + \overset{s}{m}_{h1}) \overset{s}{v} \cos \beta = \overset{s}{x}_2 - F \sin \alpha \cos \overset{s}{v} \\
 & \underbrace{(\overset{s}{J}_3 + \overset{s}{J}_{h3}) \overset{s}{\ddot{\psi}} = \overset{s}{M}_3 - F \sin \alpha \cos \overset{s}{v} x_M}_{\text{Infolge der Umströmung des Schiffes}}
 \end{aligned}$$

Infolge der Umströmung des Schiffes
 u der Bewegung des SN angreifende Kräfte

Trägheitsglieder der Masse des Schiffes und
 der Flüssigkeit

- m - Masse
- m_h - hydrodynamische Masse
- v - Geschwindigkeit
- J_3 - Massenträgheitsmoment - Schiff
- J_{h3} - hydrodynamisches Trägheitsmoment - Schiff
- M_3 - hydrodynamisches Moment - Schiff
- F - Fadenzugkraft (Trossenzugkraft)
- x - auf das Schiff wirkende hydrodynamische Kräfte
- α - horizontaler Trossenablaufwinkel
- β - Gierwinkel
- ψ - generalisierter Winkel
- ψ - Kurswinkel
- x_M - Abstand (Massenmittelpunkt Schiff - Hangerolle)

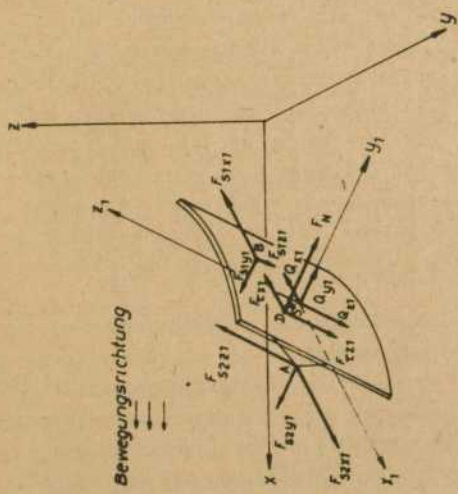
Bild 3: Bewegungsgleichungen des Schiffes

heits- und Gewichtskräfte belastet wird und im Punkt P ⁶⁺¹ gefesselt ist. Bei der Bestimmung der auf die Massenpunkte wirkenden hydrodynamischen Belastung wird die Gültigkeit des quadratischen Widerstandsgesetzes vorausgesetzt. Die hydrodynamische Belastung für den v -ten Massenpunkt wird aus der Geschwindigkeit des betrachteten Punktes gebildet. Die die Ersatztrosse repräsentierenden Massenpunkte sind identisch mit den Massenmittelpunkten der einzelnen Trossenabschnitte und liegen stets in der Mitte derselben.

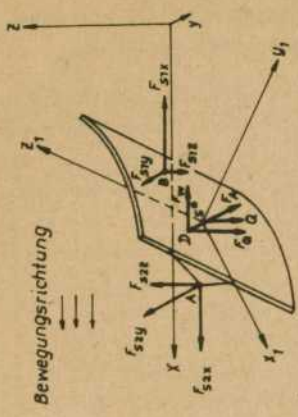
Zur Ermittlung der auf ein gradliniges Seilelement wirkenden hydrodynamischen Kräfte sind Beiwerte erforderlich. Diese Beiwerte lassen sich für die verschiedenen Trosstypen derzeit ebenfalls nur auf experimentellem Wege bestimmen. Dies liegt vor allem auch in der komplizierten Struktur der Umströmung gedrehter Seile begründet. Infolge der Drehung der Seile tritt neben den Komponenten der hydrodynamischen Kraft in der Ebene, die durch den Geschwindigkeitsvektor und den Tangentenvektor des Seilelementes aufgespannt wird (Komponenten c_N und c_T), noch eine Komponente senkrecht zu dieser Ebene auf (Komponente c_P) (s. Bild 4).

Im Ergebnis von experimentellen Untersuchungen sind also entsprechende empirisch gewonnene Funktionen (Polynome) für die verschiedenen Seilkonstruktionen bereitzustellen. Die Seilkonstruktion wird dabei durch die Materialart und den Aufbau des Seiles charakterisiert.

Eine ähnliche Situation liegt bei den Scherkörpern vor. Infolge der komplizierten Umströmung der in der Fischerei eingesetzten Scherkörper, können die zur Berechnung der auf die Scherkörper wirkenden hydrodynamischen Kräfte erforderlichen Beiwerte derzeit nur auf experimentellem Wege bestimmt werden. Die Aufgabe der experimentellen Untersuchungen besteht darin, die Widerstandsbeiwerte c_W , Auftriebskraftbeiwerte c_A , die Querkraftbeiwerte c_Q sowie die Momentenbeiwerte c_{Mx} , c_{My} und c_{Mz} für die verschiedenen Scherkörperformen in Abhängigkeit von ihrer Lage zur Strömung zu ermitteln (s. Bild 5).



- Seilzugkraft
- hydrodyn. Widerstand
- Scherkraft
- hydrodyn. Querkraft
- Gewicht im Wasser



- hydrodyn. Tangentialkraft
- hydrodyn. Normalkraft
- Druckpunkt
- gemeinsamer Schwerpunkt von Form- und Masseschwerpunkt

Bild 5: Komponenten der am Scherkörper angreifenden Kräfte im bahnfesten und körperfesten Achsensystem

Im Ergebnis solcher Untersuchungen sind die erforderlichen empirisch gewonnenen Funktionen bereitzustellen.

Besonders schwierig ist die rechnerische Behandlung des eigentlichen Netzsackes. Es kann nicht davon ausgegangen werden, daß der Netzsack bei der verschiedenen Geschwindigkeit die gleiche Form aufweist. Bei ein und derselben Netzkonstruktion ist bei verschiedenem Betrieb mit unterschiedlichen Widerstandsbeiwerten für den gesamten Netzsack zu rechnen. Andererseits konnte durch Experimente nachgewiesen werden, daß im praktisch interessierenden Bereich der Beschleunigungen bei der Schwarmansteuerung die Trägheitskräfte einen vernachlässigbar geringen Einfluß auf die sich herausbildende Form und den Widerstand des Netzsackes haben. Weiterhin konnte ebenfalls durch Experimente nachgewiesen werden, daß nahezu alle Teile des Netzsackes mit der ungestörten Anströmgeschwindigkeit angeströmt werden. Hieraus kann abgeleitet werden, daß eine quasistationäre Betrachtungsweise anwendbar ist. Ferner kann die Hypothese formuliert werden, daß die auf das Fanggerät einwirkenden Strömungskräfte als Summe der auf seine Teilflächen bei v_{∞} einwirkenden Kräfte ermittelt werden können. Die Berechnung von Form und Widerstand eines Netzsackes unter diesen Bedingungen kann dann z.B. mit Hilfe der Methoden zur Berechnung von Schalen oder den Methoden zur Berechnung von Zugsystemen oder ähnlicher Methoden erfolgen, wenn hydrodynamische Beiwerte für ebene Netztücher vorliegen.

Da aber auch die Um- bzw. Durchströmung von Netztüchern zu den komplizierten Strömungsvorgängen gehört, ist die Ermittlung solcher Beiwerte derzeit ebenfalls nur auf experimentellem Wege möglich. In einem bestimmten Bereich lassen sich diese Beiwerte, wie Untersuchungen am WB Fischereitechnik zeigen, unter Beachtung der Geometrie der Netztücher, aus den hydrodynamischen Beiwerten der Päden, aus denen das Netztuch hergestellt ist, berechnen. D.h., für diesen Bereich müssen empirisch gewonnene Funktionen der hydrodynamischen Padenbeiwerte,

die in ihrem Aufbau den oben erwähnten Funktionen der Seilbeiwerte analog sind, vorliegen. Für den Bereich der Netztuchparameter, in dem eine solche Vorgehensweise infolge der erheblichen gegenseitigen Beeinflussung der Maschenschenkel nicht zulässig ist, müssen die Netztuchbeiwerte durch experimentelle Untersuchungen an ebenen Netztüchern ermittelt werden. Die Untersuchungen werden für verschiedene Reynoldszahlen bei konstanter Fadenart, Materialart und Netzart durchgeführt. Das Verhältnis der Länge des Netztuches zur Breite des Netztuches muß hierbei so gewählt werden, daß die gleichen Beiwerte wie bei unendlich langen Netztüchern erreicht werden. Variiert werden das Verhältnis des Fadendurchmessers d zur Maschenweite a , die Form der Maschen (Einstellungskoeffizient u_1) und der Anstellwinkel

Hinsichtlich der Behandlung der Bewegungsgleichung der Kurrleinenwinde sei lediglich erwähnt, daß die Motorkennlinie in Form eines Polynoms vorliegen muß. Die Motorkennlinie wird aber auch experimentell ermittelt.

Neben den auf die Systemelemente bezogenen experimentellen Untersuchungen sind auch experimentelle Untersuchungen bezogen auf das gesamte System erforderlich.

Die Genauigkeit mit der das Bewegungsverhalten, des dem mathematischen Modell zugrunde gelegten physikalischen Modells des Schleppnetzsystems, berechnet wird, erhält man durch Messungen an einem solchen Modell und Vergleich mit entsprechenden Rechenergebnissen.

Die Übereinstimmung der Ergebnisse, die anhand des mathematischen Modells ermittelt werden, mit dem Bewegungsverhalten des realen Systems Schiff-Schleppnetz, läßt sich derzeit jedoch nur durch Messungen an der Großausführung selbst feststellen. D.h., Messungen an der Großausführung sind für die Gesamtschätzung der Ergebnisse der theoretischen und experimentellen Untersuchungen ebenfalls notwendig.

Die bisherigen Ausführungen (sie könnten durch weitere Beispiele ergänzt werden) zeigen, daß eine wesentliche Voraus-

setzung für die umfassende Anwendung von Verfahren für den Entwurf und die Berechnung im Wasser geschleppter Systeme und anderer Fangsysteme umfangreiche systematische experimentelle Forschungsarbeiten zur Ermittlung der notwendigen empirischen Funktionen und zur Gesamteinschätzung der erarbeiteten Berechnungsverfahren für das Gesamtsystem erforderlich sind.

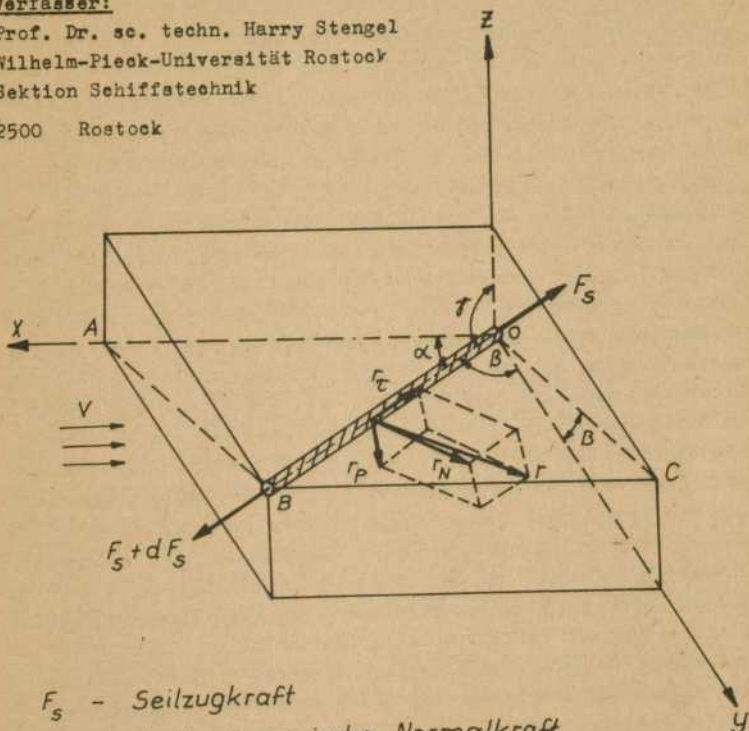
Diese umfangreichen experimentellen Arbeiten erfordern, daß auch eine entsprechende Forschungskapazität für diese Arbeiten zur Verfügung steht. Hierbei kommt m.E. dem WB Fischereitechnik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, entsprechend seinem Forschungsprofil die Aufgabe zu, die Verfahren für das Entwerfen und die Berechnung von Fischfangsystemen weiter zu entwickeln. Er betrachtet es aber ebenfalls als seine Aufgabe, im hierzu notwendigen Umfange experimentelle Untersuchungen durchzuführen. Es geht hierbei vor allem um die Erarbeitung entsprechender Verfahren zur Durchführung der notwendigen experimentellen Arbeiten und die Ermittlung von empirischen Funktionen, die zum Nachweis der Anwendbarkeit der weiterentwickelten Entwurfs- und Berechnungsverfahren erforderlich sind. Der WB Fischereitechnik ist mit seinen fünf wissenschaftlichen Mitarbeitern jedoch nicht in der Lage, den gesamten Umfang der zur allseitigen Anwendung der erarbeiteten Entwurfs- und Berechnungsverfahren in der Praxis erforderlichen experimentellen Untersuchungen durchzuführen. Dies würde auch eindeutig den Forderungen nach der Weiterentwicklung der wiss. Grundlagen der Mechanik der Fischfanggeräte und der Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses durch den WB Fischereitechnik widersprechen.

Es ist deshalb notwendig, daß auch die Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen der Praxis in erforderlichem Umfange systematische experimentelle Untersuchungen zur Gewinnung der erwähnten empirischen Funktionen durchführen und sich der Gewinnung von Daten der Großausführung zuwenden. Hierbei sollte eine enge Zusammenarbeit zwischen den Vertretern der Praxis und der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock realisiert werden.

Verfasser:

Prof. Dr. sc. techn. Harry Stengel
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Sektion Schiffstechnik

2500 Rostock



F_S - Seilzugkraft

r_N - hydrodynamische Normalkraft

r_T - hydrodynamische Tangentialkraft

r_P - Komponente der hydrodynamischen Kraft r
in Richtung der Binormalen

v - Geschwindigkeit

Bild 4: Komponenten der am Seilelement wirkenden hydrodynamischen Kräfte

Theorie und Experiment in der Schweißtechnik

In den Technikwissenschaften, so auch in der Schweißtechnik, entziehen sich bisher noch viele Prozesse einer analytischen Beschreibung, selbst wenn die wesentlichen Einflußfaktoren quantitativ bekannt sind.

Beispielsweise sind die Gebrauchseigenschaften von Werkstoffen und Schweißverbindungen von einer Vielzahl von Einflußfaktoren abhängig, wie z. B. chemische Zusammensetzung der Werkstoffe, Wechselwirkung der Legierungselemente, Erschmelzungs- und Ver gießungsart, Wärmeverbehandlung, Form, Größe und Verteilung von Ausscheidungen, Art und Verteilung von Versetzungen, Korngröße, Gitterkonfiguration, Realstruktur, Art, Anzahl und Verteilung von Gitterbaufehlern, Abkühlungsgeschwindigkeit als Funktion konstruktiver und schweißtechnologischer Parameter usw. Diese Einflußfaktoren wirken im mikrostrukturellen Bereich, der damit auch die technischen Gebrauchseigenschaften von Werkstoffen, in unserem Fall von Stählen, wie z. B. Festigkeit, Verformbarkeit, Zähigkeit, Verhalten bei Korrosionsbeanspruchung, bei Verschleiß- oder/und Temperaturbeanspruchung, Verhalten gegenüber Rißeinleitung und Rißfortschritt, bestimmt.

Gezielte Veränderungen dieser Eigenschaften in Richtung auf eine Eigenschaftverbesserung, Erhöhung der Gebrauchseigenschaften, Steigerung der Festigkeit bei gewährleisteter Zähigkeit und damit erhöhte Werkstoffökonomie und Masse-Einsparung durch Stoffleichtbau und ggf. Werkstoff austausch, damit wiederum niedrige Betriebs- und Energiekosten beim Betreiber stählerner Erzeugnisse sind über die Beeinflussung von Struktur und Gefüge möglich und begründen Forschungen über Phasen- und Gefügewandlungen bei verschiedenen thermomechanischen Behandlungen und beim Schweißen.

Unsere Kenntnis über Gefügestände und Werkstoffkenngrößen und deren Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung und weiteren unabhängigen Variablen stammt zumeist aus der experimen-

tellen Forschung. Die gesicherten Ergebnisse dieser experimentellen Forschung liegen z. B. als Zustandsdiagramm vor. Für reale, mehrfach legierte Stähle wurde das Schaeffler-Diagramm experimentell ermittelt.

Auch dieses Diagramm ist Anwendungsbeschränkungen unterworfen und gibt damit nur eine Orientierungshilfe.

Die reale chemische Zusammensetzung und die Kinetik des eigenschaftsbestimmenden Umwandlungsprozesses wird erst durch die ebenfalls experimentell ermittelten Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubilder erfaßt.

Ihre Anwendungsbeschränkungen bestehen in folgendem:

1. Sie gelten nur für eine diskrete Legierungskomposition.
2. Sie gelten nur für einen diskreten Austenitisierungszustand, d.h. eine konkrete Wärmebehandlungsart.

Das bedeutet, daß für jeden Stahl, ja, für jede Charge ein anderes Umwandlungsschaubild gilt und daß auch für das Härten ein anderes als für das Schweißen gilt.

Der experimentelle Aufwand hierfür ist enorm.

Jedoch ist auch mit dem letztgenannten ZTU-Schaubild die Lösung vieler heute anstehender schweißtechnischer Aufgabenstellungen nicht lösbar.

Sollen Mikrogefüge und Eigenschaften des Schweißgutes über die chemische Zusammensetzung optimiert werden, müßte eine nicht zu bewältigende Anzahl von Schweiß-ZTU-Schaubildern erstellt werden.

Hier liegen die Grenzen des Experimentes!

Als Ausweg müssen Modelle gefunden werden, die es gestatten, das Umwandlungsverhalten quantitativ und qualitativ als Funktion der chemischen Zusammensetzung und der Abkühlungsgeschwindigkeit zu beschreiben. Natürlich muß auch der Prozeß der Legierungsbildung modelliert und als Zahlenexperiment simuliert werden. Die Modellbildung verfolgt hierbei den Zweck, den im Experiment untersuchten Einzelfall zu verallgemeinern und durch Simulation (Modellexperiment) unter Zeit- und Kostenersparnis zu einer für die Praxis anwendbaren Lösung des Problems zu

kommen.

Für die mathematische Beschreibung des Umwandlungsverhaltens kommen wegen der Zeitabhängigkeit nur dynamische Modelle in Betracht.

Es bieten sich zwei Berechnungsprinzipien an:

1. Phänomenologisches Modell
2. Statistisches Modell

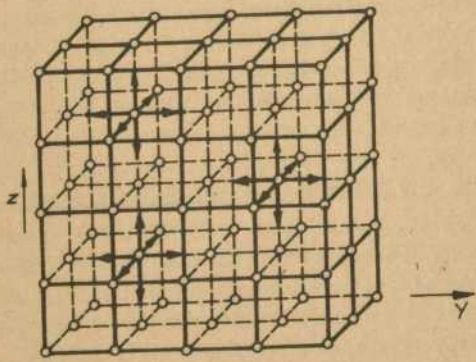
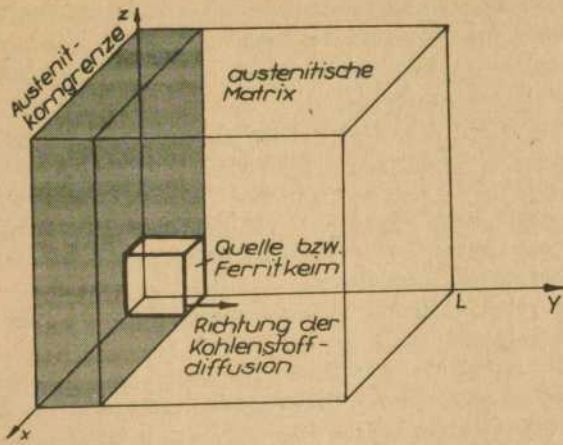
1. Phänomenologisches Modell

Phänomenologische Modelle basieren auf den sich während der Phasenumwandlung im Werkstoff real im Mikrostrukturbereich abspielenden Vorgängen. Bei der numerischen Beschreibung des mathematischen Modells ergeben sich jedoch große Schwierigkeiten dadurch, daß die Mehrzahl der hier wirkenden Einflußfaktoren weder betragsgemäß noch in ihren Relationen zueinander bekannt sind. Als Ausweg kann eine kombinierte statistisch-phänomenologische Berechnung der Umwandelungskinetik durchgeführt werden. Hierbei wird die erste Stufe der Phasenumwandlung, die Keimbildung, statistisch betrachtet und mit der Monte-Carlo-Methode die Unterkühlungstemperatur berechnet, bei der das Keimwachstum einsetzt. Da mit der Monte-Carlo-Methode die stochastische Wärmebewegung der Atome simuliert wird, kann in gewisser Weise auch hier von einem phänomenologischen Modell gesprochen werden.

Die atomare Simulation (Bild 1) hat dabei folgenden Ablauf:

- Auslösung der Anfangsbelegung
- Bestimmen des sich bewegenden Teilchens durch Los
- Auslösen des neuen Ortes nach dem Sprung
- Chemische bzw. quasichemische Reaktion, soweit dies bei der Keimbildung berücksichtigt werden muß
- Testen der Abbruchbedingung.

Die fortschreitende f/α - Umwandlung (Keimwachstum) wird mit einem phänomenologischen Diffusionsmodell auf der Basis der



b)

- Auslösen der Anfangsbelegung
- Bestimmen des sich bewegenden Teils durch Los
- Auslösen des neuen Ortes
- Chemische bzw. quasichemische Reaktion
- Testen der Abbruchbedingungen

Bild 1: Monte-Carlo-Simulation der Teilchenbewegung

der Fick'schen Diffusionstheorie berechnet. Die Kinetik des Wachstums eines Ferritkeims hängt wesentlich von der Geschwindigkeit der diffusionsgesteuerten Umverteilung des Kohlenstoffs im Ferrit und Austenit ab.

Für eine Reihe von binären FeC-Legierungen mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten wurde diese Rechnung für verschiedene Abkühlungsgeschwindigkeiten durchgeführt und mit experimentellen Ergebnissen verglichen. Die tabellarische Gegenüberstellung zeigt eine gute Übereinstimmung, Tafel 1, der rechnerischen und experimentellen Ergebnisse.

Hier dient das Experiment der Verifizierung der durch ein Modell abgebildeten Theorie.

Der hier angedeutete Rechenweg ist wegen seiner Kompliziertheit und auf Grund fehlender Daten bisher nur für binäre Legierungen und nur für diffusionsgesteuerte Ferritumwandlungen möglich. Es ist bisher nicht gelungen, die Veränderung des Umwandlungsmechanismus (Umschlag der diffusionsgesteuerten in eine diffusionslose Umwandlung) in das phänomenologische Modell einzubauen, da der geschwindigkeits- und legierungsabhängige Umschlag in einen anderen Umwandlungsmechanismus bisher nicht thermodynamisch und analytisch erfaßt ist.

2. Statistische Ermittlung von Schweiß-ZTU-Schaubildern

Prinzipiell werden auch bei einer statistischen Verfahrensweise die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Umwandlungsvorgänge als existent akzeptiert und vorausgesetzt. Leider ist jedoch die Struktur dieser Gesetzmäßigkeiten nicht bekannt und kann daher nicht analytisch beschrieben werden. Bekannt sein müssen aber auch bei der statistischen Vorgehensweise die grundlegenden Faktoren, die die Umwandlungen beeinflussen. Mit diesen Haupteinflussfaktoren kann eine Approximation über eine Reihenentwicklung vorgenommen werden. Dabei wird aber eine doppelte Vereinfachung in Kauf genommen:

- Es werden nicht alle Einflussfaktoren berücksichtigt, weil nicht alle bekannt sind oder nicht betragsmäßig erfaßt sind.

- Die Form der Näherung durch eine Reihe ist eine weitere Vereinfachung, sie kann nur einen Teil der bestehenden Abhängigkeit beschreiben.

Wenn eine ausreichend große Zahl experimentell gewonnener Daten über das Umwandlungsverhalten beim Schweißen vorliegt, können durch statistische Auswertungen Regressionsgleichungen ermittelt werden, die charakteristische Größen im Umwandlungsschaubild als Funktion der chemischen Zusammensetzung darstellen.

Beispiel für die durch eine multiple nichtlineare Regressionsanalyse erhaltenen Gleichungen zeigt Tafel 2.

Eine Gegenüberstellung der mit diesen Gleichungen erhaltenen rechnerischen Umwandlungsschaubilder mit experimentellen Ergebnissen zeigt ein Beispiel im Bild 2.

Auch die Ermittlung der prozentualen Gefügezusammensetzung erfolgt unter Anwendung statistischer Modelle. Die Analyse der Umwandlungskinetik zeigt, daß die Menge des sich während der Umwandlung mit wachsender Zeit bildenden Umwandlungsproduktes sich ähnlich wie die Verteilungsfunktion einer statistischen Zufallsgröße verhält. Die sich bildenden Ferritmengen liegen zwischen einer unteren und oberen Grenze, beim Übergang auf einen logarithmischen Maßstab wird die Kurve symmetrisch. Für die Approximation kann daher die Verteilungsfunktion der Normalverteilung ausgewählt werden, die qualitativ den gleichen Gesetzmäßigkeiten gehorcht. Diese Funktion ist genau bekannt, sie ist tabellarisch verfügbar und daher leicht anzuwenden. Die Abhängigkeit der Koeffizienten von der chemischen Zusammensetzung wird in mehreren Berechnungsschritten über eine Regressionsanalyse ermittelt.

Für die Martensitbildung gilt ein anderes exponentielles Zeitgesetz.

Die Gegenüberstellung berechneter und experimenteller Gefügeanteile, Bild 3, zeigt zufriedenstellende Übereinstimmung. Diese statistischen Modelle arbeiten in gewisser Beziehung wie ein Black-box-System und sind damit Ausdruck unserer Unkenntnis über die wahren Zusammenhänge im eigenschaftsbestimmenden

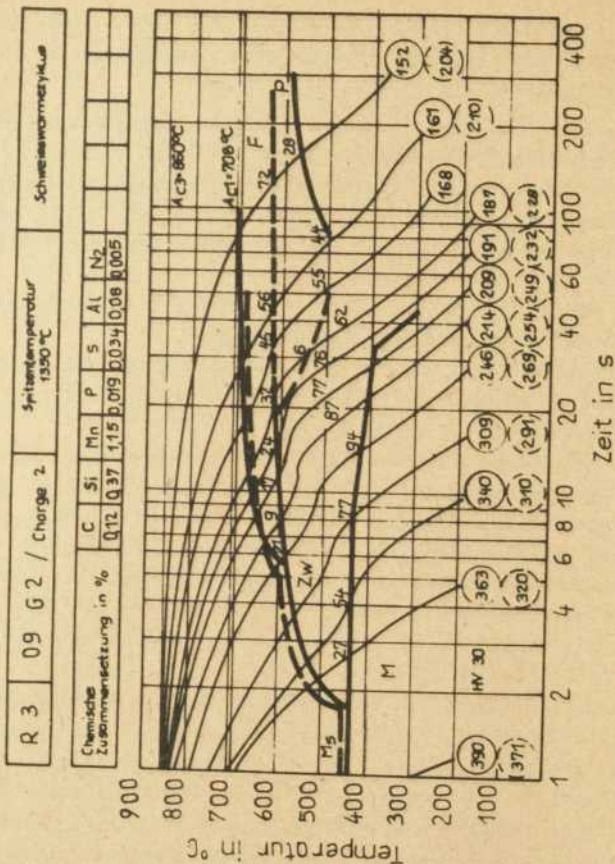


Bild 2: Gegenüberstellung experimentell und rechnerisch bestimmter Umwandlungslinien zum Nachweis des Chargeneinflusses

- rechnerisch bestimmte Umwandlungskurve
- experimentell bestimmte Umwandlungskurve

mikrostrukturellen Bereich und deren Verknüpfung mit den technologischen Parametern. Sie bieten aber einen Ausweg bei der Überleitung experimenteller Ergebnisse in die Praxis.

Tabelle 1:

Gegenüberstellung rechnerisch (F_{math}) und experimentell ermittelter (F_{exp}) Ferritanteile für FeC-Legierungen mit unterschiedlichen C-Gehalten

Lfd. Nr.	C-Gehalt %	Abkühlgeschwin. K/s	F_{math} %	F_{exp} %
1	0,07	10	80	95
2	0,07	2	86	98
3	0,16	10	66	75
4	0,16	2	73	76
5	0,21	10	55	30
6	0,21	2	64	56

Tafel 2:

Beispiel einer Regressionsgleichung für die Bestimmung charakteristischer Punkte von Schweiß-ZTU-Schaubildern

$$\ln A_{c1} = 6,5792 - 0,038058 C + 0,052317 Si + 0,011872 Ni - 0,045575 V + 0,18057 Al + 0,011442 W - 0,013403 Cu + 5,5207 B + 0,91209 S - 1,1002 P + 0,060014 Mn - 0,096628 Cr + 0,050625 Cr Si + 0,39802 Mo - 0,34782 Mo Mn + 0,40986 Mo Si - 0,12959 Mo Cr - 0,048128 Ni - 0,011090 Mn^2 - 0,03550 Si^2 + 0,010207 Cr^2 + 0,36074 Mo^2 - 0,0030705 Ni^2$$

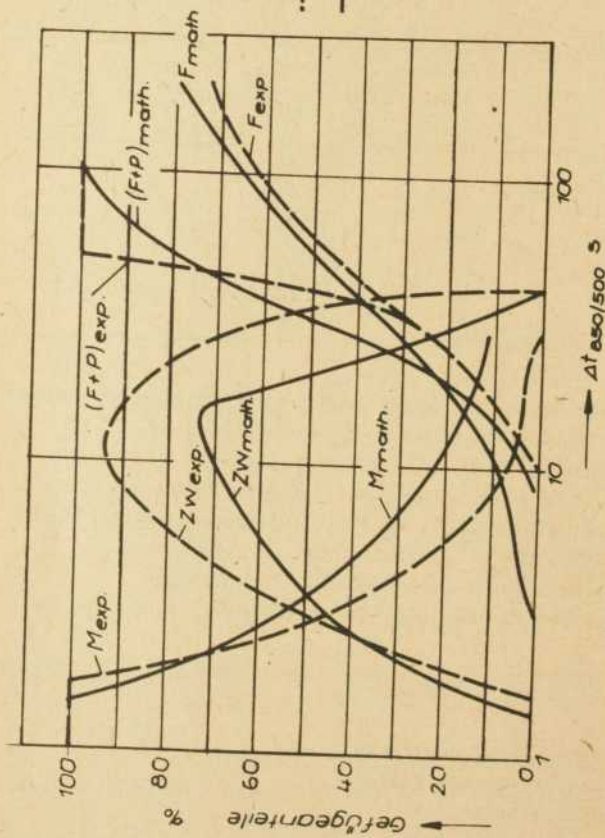
$$R = 0,9573$$

$$S_0 = 0,011653$$

$$\text{Gl. (73)}$$

Verfasser:

Doz. Dr. sc. techn. Peter Seyffarth
 Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
 Sektion Schiffstechnik
 2500 Rostock



— Experiment

- - - Mathem. Kalkulation

Bild 3:

Gegenüberstellung berechneter und experimentell ermittelter Gefügeanteile für Stahl 09G2

Felduntersuchung, Laborexperiment und mathematische
Modellierung am Beispiel der Ökosystemanalyse
Boddenkette West

1. Einleitung

Unsere natürlichen Wasserressourcen haben in den beiden letzten Jahrzehnten rapide an Bedeutung gewonnen, und Experten rechnen damit, daß im Jahre 2000 gebrauchsfähiges Wasser ein kostbarer Rohstoff sein wird. Nachdem das Wasserdargebot des Binnenlandes bereits mehrfach genutzt wird, hat sich das wasserwirtschaftliche Interesse auch unseren Küstengewässern zugewandt, insbesondere der Boddenkette West, in der Industrie, Landwirtschaft, Fischintensivzucht und Erholungswesen unterschiedliche, teils gegensätzliche, hohe Ansprüche an die Wasserwirtschaft stellen. Aus diesem Grunde wurde 1969 ein breites Untersuchungsprogramm - Felduntersuchungen, Laborexperimente und mathematische Modellierung - zur Ökosystemanalyse der Boddenkette West mit dem Ziel einer Nutzungsoptimierung begonnen, das wenigstens noch bis 1985 fortgesetzt werden soll.

Die wesentlichsten Komponenten und Wechselwirkungen im Ökosystem und mathematischen Modell des Barther Boddens, der unseren Forschungsschwerpunkt bildet, zeigt Abb. 1. Die anorganischen Nährstoffe (Stickstoff-, Phosphor- und Kohlenstoffverbindungen) werden unter Ausnutzung der Lichtenergie von den sog. Primärproduzenten in organische Substanz umgewandelt. Hauptträger der Primärproduktion sind das Phytoplankton mit den 3 Algen-Hauptgruppen Kieselalgen, Grünalgen und Blaualgen sowie das Makrophytobenthos. Der Hauptteil der Primärproduzenten stirbt im Verlaufe des Jahres ab, bildet den sog. Detritus, der wiederum von den Destruenten oder Mikroorganismen (Bakterien, Pilze) abgebaut und remineralisiert wird. Nur ein kleiner Teil der Primärproduzenten oder des Detritus dient den sog. primären, sekundären und tertiären Konsumenten als Nahrung. Unter den Konsumenten sind besonders erwähnenswert die Ruderfußkrebse

Mathematisches Modell Barther Bodden

Energiefluß- und N-Stoffkreislauf

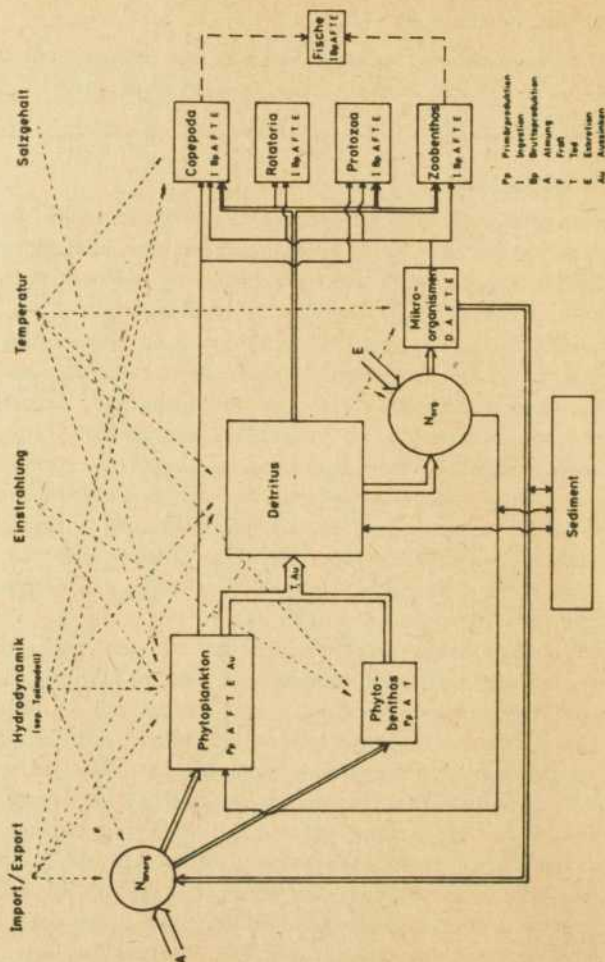


Bild 1: Komponenten und Wechselwirkungen im Ökosystem und Modell

(Copepoda), Rädertierchen (Rotatoria), Urtierchen (Protozoa) und am bzw. im Boden lebende wirbellose Tiere (Zoobenthos); von ihnen ernähren sich wiederum die Fische.

Diese Prozesse werden überlagert von hydrodynamischen Vorgängen (nährstoffreiche Festlandsabflüsse, Austauschvorgänge mit der Ostsee), die zugleich zu einem variierenden Salzgradienten führen, der ebenfalls einen starken Einfluß auf die Ökosystemkomponenten ausübt. Die Hydrodynamik hat auch wesentlichen Einfluß auf die Stoffaustauschprozesse zwischen dem Freiwasser und dem Sediment; diese Stoffaustauschprozesse spielen bei der Flachheit der Gewässer eine wichtige, schwer quantifizierbare Rolle.

Analyse, Steuerung und optimale Nutzung unserer natürlichen Wasserressourcen basieren auf den Ergebnissen von Felduntersuchungen, Laborexperimenten sowie der mathematischen Modellierung und Optimierung.

2. Feldbeobachtungen und damit verbundene methodische Probleme

Bei den Routine-Felduntersuchungen standen im vergangenen Untersuchungszeitraum insbesondere statische Parameter, nämlich die Konzentrationen der Ökosystemkomponenten im Vordergrund, wobei auf Grund des Fehlens modernerer Methoden vor allem manuelle, zeitaufwendige, oftmals mehrstufige Methoden angewandt werden mußten. Erschwerend kommt hinzu, daß sich die Konzentrationen einiger Ökosystemkomponenten innerhalb von wenigen Tagen um 100 % (Generationszeiten im Bereich von einigen Stunden bis wenigen Tagen) verändern und auch die Komponenten räumlich nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern sog. Wolken oder patches bilden (vergl. u.a. STEELE 1978, SCHMIDT und ULBRICHT 1979, ARNDT jun. 1980 und 1981). Ähnliche Schwierigkeiten durch ungleichmäßige räumliche Verteilung treten auf, wenn Arten vornehmlich an der Oberfläche, oder bevorzugt am Grund, oder nachts an der Oberfläche und tags am Grund auftreten, das küstennahe/küstenferne Wasser

bevorzugen usw.

Es ist auf Grund dieser Situation völlig klar, daß einzelne, punktförmige Probenentnahmen in 2- oder gar 4-wöchigem Abstand, wie sie vielerorts generell üblich sind, zu sehr unsicheren Ergebnissen führen müssen. Zur Überwindung der Schwierigkeiten beschreiten wir 2 unterschiedliche Wege:

1. Wo immer möglich, empfehlen wir eine automatische bzw. halb-automatische Meßwerterfassung (VIETINGHOFF 1980). Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die derzeitigen Möglichkeiten.

Messungen an ausgewählten Stationen, Zu- und Abflüssen

Parameter	Meßvorrichtung bzw. Sensor vorhanden	Bemerkungen
1. Physikalische Parameter		
Strömungsfeld	+	M → Stundenmittel
Pegelstände	+	M → "
Windfeld	+	M → "
Einstrahlung	+	M → "
Oberfläche u. Tiefenstufen		→ Tagessumme
Wassertemperaturfeld	+	M → Stundenmittel
Oberfläche u. Tiefenstufen		
2. Chemische Parameter		
Salzgehalt über Leitfähigkeit	+	M* Stundenmittel
pH-Wert	+	M*
O ₂	+	M*

Parameter	Meßvorrichtung bzw. Sensor vorhanden	Bemerkungen
PO_4^{---} , gel.org. P part. geb. P NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- gel. org. N part. geb. N anorg. gel. C org. gel. C (DOC) part. geb. C	} } } } } } } } }	 } } } } } } } } }
}		

M*

3. Biologische Parameter
(zusätzlich ausgewählte
Tiefenstufen)

Biomasse	(+)	Chlorophyll in vivo fluorimetrisch beim Phytoplankton
[mg TM . m ⁻³]	(+)	Elektronische Teilchenzählung, Berücksichtigung der Teilchengröße bei Phyto- und Zooplankton
	(+)	Luftbildaufnahmen Makrophyto- benthos

Routine heute noch manuell über mikroskop. Auszählung, alle
2 - 4 Wochen, Generationszeiten teilweise im Tagesbe-
reich.

M = Momentanwert M* = Messung im Abstand von Tagen

Parameter	Meßvorrichtung bzw. Sensor vorhanden	Bemerkungen
Produktivität	(+)	Über elektronische O_2 -Messung
$[mg\ TM^{-1} \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}]$	((+))	Über elektron. Teilchenzählung vor und nach Zeitintervall t (erst in den Anfängen)

Routine heute manuell über ^{14}C -Einbauversuche.

Wo eine automatische Meßwerterfassung zur Zeit noch nicht möglich ist, fordern wir

2. die integrierende Probennahmetechnik in angemessenen Zeitabständen.

Bei den verschiedenen Formen der integrierenden Probennahmetechnik werden Proben von verschiedenen Orten und aus unterschiedlichen Wassertiefen gemischt und mit diesen Mischproben (Sammelproben, integrierte Proben) die Untersuchungen durchgeführt. Die integrierten Proben haben mehrere günstige Eigenschaften, die es unbedingt auszunutzen gilt: Der Mittelwert der Mischprobe entspricht dem Mittelwert aus allen Einzelproben, er ist also unverändert; die Varianz wird demgegenüber wesentlich herabgesetzt; schließlich konnten wir an ausgewählten Beispielen zeigen (VIETINGHOFF, KELL, ERDMANN u. ARNDT jun., in Vorbereitung), daß die Meßwerte von integrierten Proben normalverteilt sind. Diese Eigenschaften integrierter Proben garantieren, daß mit realisierbarem Aufwand Mittelwerte und vertretbar kleine Konfidenzintervalle in den notwendigen zeitlichen Abständen bestimmt werden können.

3. Laborexperimente und ihre Übertragbarkeit auf natürliche Verhältnisse

Laborexperimente spielen bei der Ökosystemanalyse eine bedeutende Rolle. Sie verfolgen das Ziel, die gesuchte Größe unter Ausschaltung bzw. Konstanthaltung anderer zu bestimmen. Zu den sehr häufig im Labor untersuchten Fragestellungen gehören

- Probleme der Einwirkung physikalischer und chemischer Faktoren (z. B. Temperatur, Salzgehalt) auf die Biokomponenten SCHIEWER, ERDMANN und KUHNKE 1978), oder
- Bestimmungen dynamischer Parameter oder Raten (also Aufnahme-raten, Freßraten, Atmungsraten, Abbauraten etc.). Insbesondere haben Isotopentechnik, Mikroanalyseverfahren, spektrale Absorptionsmessungen, elektronische Teilchenzähler oder automatische Kulturverfahren wesentliche Fortschritte bei der Bestimmung dynamischer Parameter erbracht.

In der generellen Vorgehensweise bei Laborexperimenten (s.o.) liegt jedoch auch das schwerwiegende Problem der Übertragbarkeit auf natürliche Verhältnisse im Gewässer begründet, und wenn die Laboruntersuchungen tatsächlich einen Beitrag zur Ökosystemanalyse leisten wollen, sollten die Laborexperimente so angelegt sein, daß zu diesem angesprochenen Problem eindeutig Stellung genommen werden kann. Diese Forderung ist oft nicht einfach zu erfüllen. So sind beispielsweise die das Ökosystem bestimmenden (sog. produktionsbestimmenden) Arten häufig schwer kultivierbar, während leichtkultivierbare Vertreter im Ökosystem oft keine Rolle spielen und der Grad ihrer Abweichung in bestimmten Parametern (Lichtausnutzung, Nährstoffverwertung, Konkurrenzfähigkeit usw.) von den produktionsbestimmenden Arten oft nicht angebar bleibt. Dann ist das Muster der Umweltfaktoren in der Natur viel komplexer. So gelingt es in Laborversuchen mit Zooplankton kaum, die Vielfalt des Nahrungsangebotes in der Natur (bezüglich qualitativer und quantitativer Zusammensetzung, Größe und Verwertbarkeit) durch Modellsubstanzen

nachzubilden, und das Verhalten der Zooplankter in solchen speziellen Situationen kann durchaus atypisch sein. Und als Drittes sei auf das ausgeprägte Adaptationsvermögen vieler Bio-komponenten hingewiesen, das die Extrapolation auf natürliche Umweltverhältnisse nicht erleichtert.

Den zur Zeit wohl besten Ausweg aus dieser Situation bilden die vielfach publizierten Untersuchungen mit "natürlichen Populationen", "natürlichen Substraten" (die in die laufenden Laboruntersuchungen einbezogen werden könnten), oder die auch in der Forschungsgruppe vielfach praktizierten In-situ-Untersuchungen, bei denen ein gewisses Volumen des Gewässers durch Glas- oder Plastewände teilweise isoliert und analysiert, eventuell durch Zugabe/Entnahme bestimmter Komponenten beeinflusst wird (z. B. BAADER et al. 1980). In einer auf die kausale Ökosystemforschung ausgerichteten Forschungsgruppe sollten Versuche dieser Art einen ganz wesentlichen Anteil der Forschungskapazität ausmachen! Es erscheint natürlich, daß auch bei der Messung der verschiedensten Parameter im Labor oder in den In-situ-Boxen ein möglichst hoher Automatisierungsgrad angestrebt werden sollte.

4. Aufgaben und Ergebnisse der mathematischen Modellierung in der gegenwärtigen Etappe

Auf dem Gebiete der mathematischen Modellierung aquatischer Ökosysteme sind im letzten Jahrzehnt international (UdSSR, USA, Kanada, Belgien, Dänemark, CSSR, Schweden) große Anstrengungen unternommen worden; von den Fortschritten zeugt u.a. eine umfangreiche Literatur, insbesondere auch mehr als ein Dutzend guter Monographien.

Die Bemühungen um die mathematische Modellierung aquatischer Ökosysteme haben mehrere Ziele. Die Notwendigkeit, Formeln niederschreiben zu müssen, mit denen die zu modellierenden Prozesse quantitativ beschrieben werden können, und für die verschiedenen Koeffizienten (Raten) Zahlen angeben zu müssen,

damit der Rechner mit den Rechnungen überhaupt beginnt, führt den mathematischen Ökologen sehr schnell zu den Schwach- bzw. Leerstellen in unserem ökologischen Wissen. So ist man auf Grund der Erfahrungen aus der Modellierung in der Lage, Prioritäten für die weitere Forschung zu setzen. Ferner ist das Experimentieren mit dem mathematischen Modell des Ökosystems vergleichsweise zeitgünstig, kostenarm und risikolos. Es liefert vielfältige Einsichten in das komplexe Ökosystemverhalten und eröffnet dem Experimentalprogramm neue Richtungen. Eine Reihe dynamischer ökologischer Parameter sind experimentell schwer zugänglich; ihre Größe mit dem Modell abgeschätzt werden. Weiterhin ist das Modell ein Mittel zur Ordnung und Reduktion der vielfältigen Daten. Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse können ferner Genauigkeitsanforderungen für das Experimentalprogramm abgeleitet werden. Gegenwärtig besteht das vordringliche Anliegen der Modellierung der Rostocker Gruppe darin, die Energie- und Stoffströme zu und von den wichtigsten Biokomponenten darzustellen. Das Hauptziel der Modellierung ist es jedoch, das Ergebnis verschiedener möglicher wasserwirtschaftlicher Maßnahmen und die Belastung der Gewässer durch die verschiedenen Nutzer (Industrie, Landwirtschaft, Intensivfischzucht, Erholungswesen) vorauszuberechnen, um den erfahrenen Wasserwirtschaftler bei der Optimierung der Gewässerbewirtschaftung und -ausnutzung zu unterstützen.

Der sachliche Inhalt unseres Modells des Barther Boddens ist eingangs beschrieben worden (Abb. 1). Für die Komponenten werden Bilanzgleichungen (gewöhnliche Differentialgleichungen 1. Ordnung) mit einem oder mehreren positiven (Zuwachs-) Termen und immer mehreren negativen (Verlust-) Termen formuliert und eine Dimensionsbetrachtung durchgeführt. Die Modellfindung erfolgt auf einer großen Analogrechner-Anlage (bis zu 15 gekoppelten Rechnern Meda 41 T, Aritma Prag); danach wird das Modell für den digitalen Rechner ES 1040 umprogrammiert (FORTRAN, Euler-Cauchy-Verfahren. Eingabe von Meßwerten an Stützstellen, Spline-Interpolation). Die Analogrechner-Anlage wurde in mehr-

facher Hinsicht (externer Repetiergenerator, elektronische Chopper in den Driftkorrekturverstärkern, elektronische Komparatoren, verschiedene Varianten von Funktionsgeneratoren) nachgerüstet (VIETINGHOFF et al. 1976).

Nur das hydrodynamische Teilmodell (System gekoppelter partieller Differentialgleichungen) wurde von Anfang an auf dem Digitalrechner ES 1040 berechnet.

Mit dem mathematischen Modell werden der Energiefluß und der N-Stoffkreislauf (N-Verbindungen als wichtigste Nährstoffe) im Ökosystem berechnet. Den rechnerischen Aufwand (analog und digital) für den Energie- und Stoff-Fluß zwischen nur 2 Komponenten (Kompartimente leicht abbaubarer Detritus D^1 und adulte Copepoda CA sowie deren N-Pools N^S , 1 kcal D und N^S , 1 kcal CA) zeigt Abb. 3.

Einige ausgewählte Ergebnisse zeigt Abb. 2. Weitere Ergebnisse werden an anderer Stelle mitgeteilt (VIETINGHOFF, et al. 1981; VIETINGHOFF, HUBERT und SCHNESE 1980; VIETINGHOFF, HERRKLOSS et al. im Druck; VIETINGHOFF, BALLIN et al. im Druck; VIETINGHOFF, im Druck, BRINCKMANN, VIETINGHOFF und SCHNESE, im Druck).

Die Modellierungsarbeiten richten sich zur Zeit vornehmlich auf die Darstellung des Ist-Zustandes des Nahrungsgefüges im untersuchten Gebiet. Eine Hauptschwierigkeit besteht dabei in dem Mangel an verschiedensten Daten bzw. in der statistischen Unsicherheit von Teilen der vorhandenen Daten (s.o.). Für die Modellierung, d.h. die exakte mathematische Berechnung der Komponenten und ihrer Wechselwirkungen im aquatischen Ökosystem, hat sich die genaueste Kenntnis der Natur der Komponenten (z. B. Nahrungsangebot, Nahrungsauswahl), Art der Nahrungsaufnahme, Nahrungsverwertung und deren Abhängigkeiten bei den Biokomponenten) als absolut notwendige Voraussetzung ergeben, und die Klärung dieser Dinge erfordert 80 % des Zeitfonds der Modellierungsgruppe. Dabei müssen wir immer im Hinblick auf die angestrebten Optimierungsrechnungen auf eine Beschränkung auf wesentliche Prozesse und Komponenten achten. Auf die Berech-

nung der räumlichen Verteilung der Komponenten muß gänzlich verzichtet werden, Adaptationsphänomene und die Wirkung von Umwelt-Streß werden abgekürzt dargestellt. Ein schwieriges Problem stellt die Kopplung des Teilmodells der biologischen und chemischen Komponenten mit dem hydrodynamischen Teilmodell dar. Schließlich erfordert die Anwendung des Modells auf Fragen der Wasserwirtschaft, wie sie bis 1985 vorgesehen ist, die Formulierung von Gütefunktionalen, die ohne die Mitwirkung seitens der Wasserwirtschaft nicht die volle Praxiswirksamkeit erreichen können.

5. Literatur

ARNDT, H. 1980: Diplomarbeit, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Biologie

ARNDT, H., SCHNESE, W. und HEERKLOSS, R. 1981: Untersuchungen zur räumlichen Verteilung der Zooplankter in einem flachen, inneren Küstengewässer der südlichen Ostsee, Wiss. Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, im Druck

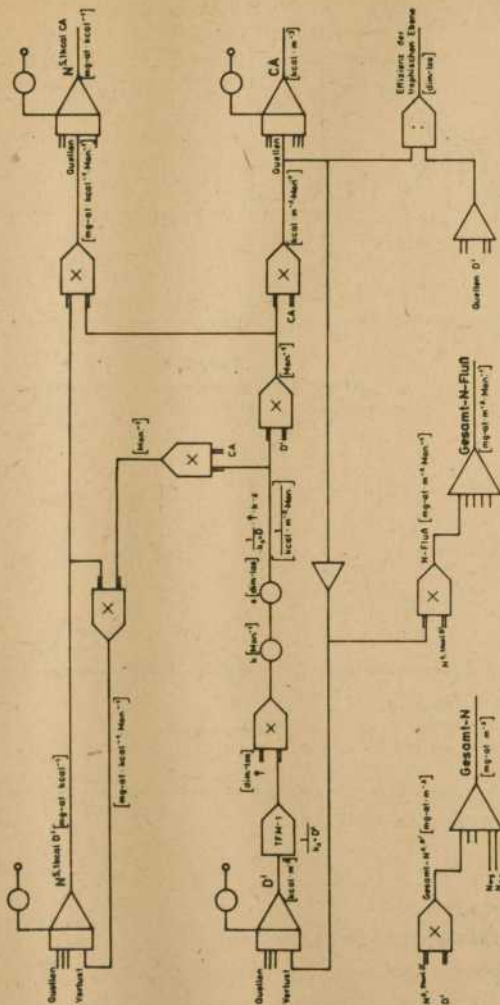
BRINCKMANN, M., VIETINGHOFF, U. und SCHNESE, W. 1981: Ergebnisse der Modellierung der Hydrodynamik des Barther Bodens, Wiss. Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, im Druck

BAADER, G., SCHLUNGBAUM, G. 1980: Stoffaustauschuntersuchungen an der Sediment/Wasser-Kontaktzone in der "Kirr-Bucht", Wiss. Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, 29, Math.-nat. Reihe, H. 4/5, S. 111 - 112

SCHIEWER, U., ERDMANN, N. und KUHNKE, K.H. 1978: NaCl-Wirkungen auf die Photosyntheseintensität von Blaualgen. Die Wirkung unterschiedlicher NaCl-Konzentrationen auf die Photosyntheseintensität der Blaualgen *Microcystis firma* und *Synechocystis aquatilis*. Biochem. Physiol. Pflanzen 172:S. 351 - 368

- SCHMIDT, D. und ULBRICHT, K.A. 1978: Mass occurrence of blue-green algae in the western Baltic: evaluation of satellite imagery and implications of marine chemistry and pollution
11. Conference of Baltic Oceanographers, Rostock
- STEELE, J.H. 1978: Spatial pattern in plankton communities
New York, Plenum-Press.
- VIETINGHOFF, U. et al. 1976: Neuerervorschläge 177/178 - 11 - 76, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
- VIETINGHOFF, U. 1980: Ökosystemforschung Darß-Zingster Boddenkette - Anforderungen an das Meßprogramm und Verarbeitung der Meßwerte in einem mathematischen Modell
3. Symposium Maritime Elektronik, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Technische Elektronik, S. 149 - 155
- VIETINGHOFF, U., HUBERT, M.L. und SCHNESE, W. 1980: Die mathematische Modellierung der Sukzession von Kiesel-, Grün- und Blaualgen in einem flachen, eutrophen Brackwasser-Bodden
Wiss. Zeitschrift, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Math.-nat. Reihe, 6, S. 477 - 485
- VIETINGHOFF, U. 1981: Berücksichtigung von Umwelt-Streß in einem mathematischen Modell für ein aquatisches Ökosystem.
Kongreß- und Tagungsberichte der MLU Halle (im Druck).
- VIETINGHOFF, U., BALLIN, G., JOST, M.L., HUBERT und SCHNESE, W. 1981: Ein mathematisches Teilmodell der Rolle der Mikroorganismen im Wasserkörper des Ökosystems Barther Bodden.
Wiss. Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Math. nat. Reihe (im Druck)
- VIETINGHOFF, U., HEERKLOSS, R., HUBERT, M.L. und SCHNESE, W. 1981: Ein mathematisches Teilmodell für das Kompartiment Zooplankton - Copepoda des Ökosystems Barther Bodden
Wiss. Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Math. nat. Reihe (im Druck)

Schema des Energie- u. N-Stoffflusses zwischen 2 Kompartimenten



Quelle $M^2 \cdot \text{Stoff} \cdot D^2$ [eqval $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$]

Verlust $M^2 \cdot \text{Stoff} \cdot D^2$ [eqval $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$]

Energiequelle CA + Energieverlust D' $D' \cdot \frac{1}{N_0 \cdot D^2} \cdot \frac{1}{N_0} \cdot \frac{1}{CA}$

N-Fluß D' $\frac{1}{N_0 \cdot D^2} \cdot \frac{1}{N_0} \cdot \frac{1}{CA} \cdot \frac{1}{D}$

Bild 2: Ausgewählte Ergebnisse der Modellrechnungen

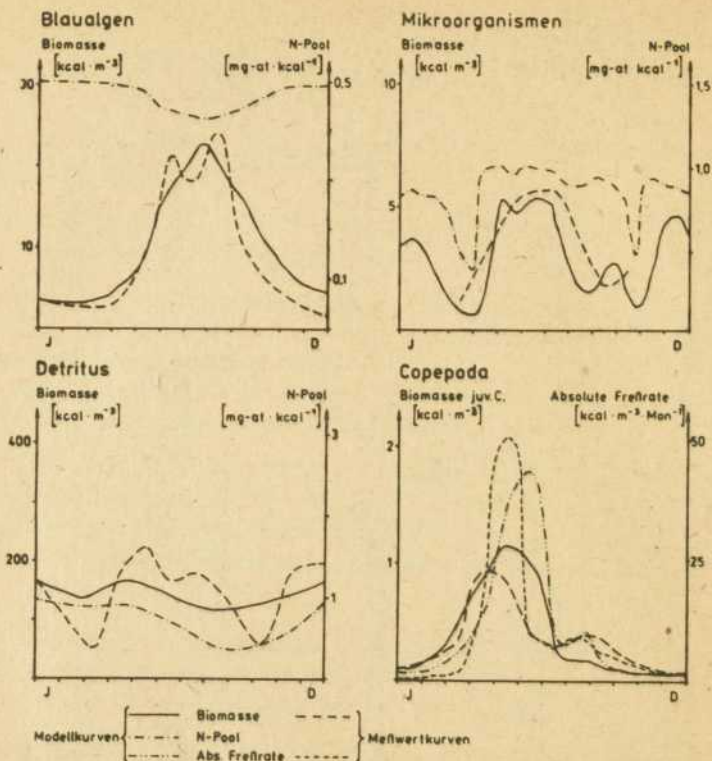


Bild 3: Stoff- und Energiefluß zwischen 2 Kompartimenten des Ökosystem-Modells

Verfasser:

Dr. U. VIETINGHOFF
 Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
 Sektion Biologie

2500 Rostock
 Universitätsplatz 2



the scale towards document

die Veränderung des Entscheidungsverhaltens den soll. Vollzieht sich das Verhalten von mnten Regeln und unter definierten Bedin- spricht diese Strategie der Methode der ulation" (1. Typ).

uppe möglicher Strategien von S_M geht von n P und E aus. Das Subjekt S_E entwickelt im Fähigkeit zur Gewinnung sinnvoller Ent- ndem es den Prozeß P und die Konsequenzen ndeln immer besser versteht. Damit voll- . eine Veränderung seines Entscheidungsver- er der Modelle von P. Diese Strategie muß ann gewählt werden, wenn die Entwicklung rnachlässigt werden kann. folgenden Varianten auf:

t innerer Rückkopplung: Dem Subjekt der ird ein Modellkeim $Mod_M P$ zur Verfügung ge- ch im Prozeß der Entscheidungsvorbereitung $Mod_E P$ entwickelt und damit für S_E instru- ung annimmt.

s wird ein Modell des ganzheitlichen Pro- ntworfen, das von vornherein die Einheit rücksichtigt. Das Modell dient als Vorläu- nflussenden Prozesses E & P. Mit diesem perimentiert werden, um die günstigsten rmitteln. Diese Modelleexperimente können werden als

ulation. E & P wird hierbei vollständig auf odelle abgebildet. Es kann analysiert wer- h der Gesamtprozeß verändert, wenn bestimm- en (für P oder E) variieren. Ansätze einer trategie werden durch die Theorie der eme /14/ vorgelegt. Diese Strategie stellt rkenntnisprozeß von S_M stärker in den Vor- die mögliche Anwendung zur Objektivierung

Image Engineering Scan Reference Chart TE281 Serial No.