

---

**Wissenschaft und Innovation –  
Wissenschaftsforschung  
Jahrbuch 1999**

Herausgegeben von Siegfried Greif und Manfred Wölfling



---

Gesellschaft für  
Wissenschaftsforschung



Siegfried Greif  
Manfred Wölfling  
(Hrsg.)

**Wissenschaft und  
Innovation**

Wissenschaftsforschung  
Jahrbuch 1999

Mit Beiträgen von:

*Siegfried Greif • Christoph  
Grenzmann • Hans-Eduard Hauser •  
Frank Havemann • Gunter Kayser •  
Andrea Scharnhorst • Roland  
Wagner-Döbler • Manfred Wölfling •  
Janos Wolf*

Wissenschaftsforschung  
Jahrbuch **1999**

---

Deutsche Nationalbibliothek  
**Wissenschaft und Innovation: Wissen-**  
**schaftsforschung Jahrbuch 1999** / Siegfried  
Greif ; Manfred Wölfling (Hrsg.). – Berlin:  
Gesellschaft für Wissenschaftsforschung  
2010.  
ISBN: 978-3-934682-52-8

2. Auflage 2010  
Gesellschaft für Wissenschaftsforschung  
c/o Institut für Bibliotheks- und  
Informationswissenschaftswissenschaft  
der Humboldt-Universität zu Berlin  
Unter den Linden 6, D-10099 Berlin  
<http://www.wissenschaftsforschung.de>  
Redaktionsschluss: 15. Juli 2010  
This is an Open Access e-book licensed un-  
der the Creative Commons Licence BY  
<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>

---

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	7
JANOS WOLF	
Aspekte der selbstorganisierenden Gestaltbildung eines Zyklus von Invention und Innovation.....	9
ANDREA SCHARNHORST	
Zum Verhältnis von sprunghafter und gradueller Entwicklung .....	81
ROLAND WAGNER-DÖBLER	
„Wissenschaftskonjunkturen“ und ihre szientometrische Analyse – mit Beispielen aus Physik und Mathematik des 19. und 20. Jahrhunderts.....	101
HANS-EDUARD HAUSER, GUNTER KAYSER	
Existenzgründerstatistik in den 80er und 90er Jahren in Deutschland.....	123
MANFRED WÖLFLING	
Innovationen und Vollbeschäftigung .....	141
SIEGFRIED GREIF	
Regionale Struktur der Erfindungstätigkeit in Deutschland .....	149
CHRISTOPH GRENZMANN	
Forschungskooperation der Unternehmen in Ost- und Westdeutschland.....	177
FRANK HAVEMANN	
Bibliometrische Analyse biotechnologischer Forschung in der Region Berlin- Brandenburg 1980 bis 1998.....	193
Bibliographie Karlheinz Lüdtke.....	211
Publikationen der Mitglieder im Jahr 1999.....	217
Autorenverzeichnis.....	227



## Vorwort

Wissenschaft und Innovation wirken in immer stärkerem Maße als Schlüsselfaktoren auf die gesellschaftliche und insbesondere auf die wirtschaftliche Entwicklung ein. Die Wissenschaftsforschung als multidisziplinäres Forschungsvorhaben stellt dafür theoretische Konzepte und handhabbare Instrumentarien bereit. Der Erfolg dieser Bemühungen hängt dabei weitgehend von der Dialogfähigkeit der unterschiedlichen Partner in Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft ab.

Die vorliegende Publikation setzt die Reihe der Jahrbücher der Gesellschaft für Wissenschaftsforschung fort. Das Jahrbuch 1999 enthält die Konferenzbeiträge zur Tagung „Wissenschaft und Innovation“, die am 26. und 27. März 1999 in Berlin stattfand. In den acht Beiträgen spiegelt sich das breit gefächerte Spektrum der Wissenschaftsforschung anschaulich wider. Neben wissenschaftstheoretischen und bibliometrischen Fragestellungen werden ökonomische und statistische Untersuchungen vorgestellt, die sich auf die gegenwärtige Situation in der deutschen Wirtschaft beziehen.

München und Berlin,  
im Oktober 2000

*Siegfried Greif    Manfred Wöfling*





---

JANOS WOLF

## Aspekte der selbstorganisierenden Gestaltbildung eines Zyklus von Invention und Innovation<sup>\*</sup>

### Zufall, Ordnung und Spielraumbildung in der Entstehung der Innovation: Penicillin und Antibiotika

#### *Abstract*

Gegenstand dieser Untersuchung ist ein oft zu beobachtendes Phänomen der Wissenschaftsentwicklung: die Diskontinuität zwischen einer Entdeckung und Innovation; einer Entdeckung, die anscheinend verkannt und vergessen wird, aber später, im Zusammenhang mit einer innovativen Entwicklung, sogar als deren Ausgangspunkt erscheint und zu hohem Ansehen kommt. Am Beispiel des Auftauchens des Penicillins, der Entdeckung von FLEMING (1928/29) und der einsetzenden revolutionären Entstehung des Antibiotika-Gebietes zu Beginn der vierziger Jahre, wird die Hypothese entwickelt, dass die Diskontinuität als generell auftretendes, strukturelles Muster der Wissenschaftsgenese verstanden werden kann. In einer Makrostruktur der Wissenschaftsentwicklung entstehen diskrete Forschungssequenzen, die Spielräume für innovative Neustrukturierungen bilden; und zwar in dem Maße, indem sie sich – unsichtbar für die beteiligten Akteure – potentiell ergänzen. Zeitlich versetzte, ähnliche, „vorzeitige“ Entdeckungen/Erfindungen eines zyklischen Spielraums haben in der mikrostrukturellen Perspektive keine sichtbare Kopplung, sondern erst in der makrostrukturellen Retrospektive, in der die zyklische Kopplung partiell sichtbar wird. Damit besteht eine generelle Schranke für konkrete Prognosen, Wachstums- und Simulationsmodelle sowie für die Evaluierung von wissenschaftlichen Ergebnissen. Sogenannte „vorzeitige“, oder auch „parallele“ ähnliche Mehrfachentdeckungen/ -erfindungen sind genuine Bestandteile der Ordnung eines zyklischen Handlungsspielraumes.

In solch einem makrostrukturellen Spielraum ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der mehr oder weniger zufälligen mikrostrukturellen Auslösung einer Innovation, die latente Diskontinuitäten darstellen und die in ihrer Gesamtheit das latente Potential einer

\* **Dieser Beitrag ist die stark gekürzte Fassung einer Studie mit dem Titel: Strukturen in der Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlich-technologischen Revolution – Wie bewirkte die zufällige Entdeckung des Penicillins den Umbruch einer gestreuten Ordnung sozialer Handlungen in die komplexe Ordnung der medizinisch-technologischen Revolution der Antibiotika? , Dissertation, Freie Universität Berlin 1996, 232 S**

heranreifenden Innovation bilden. Die Innovation wird in dem Maße von einem Ereignis (Entdeckung/Erfindung) ausgelöst, in dem es das latente Potential des Spielraumes von unterschiedlichen sozialen Handlungen für eine neue Strukturierung zu stimulieren bzw. aktivieren vermag. Ist die Neustrukturierung durch ein Ereignis des Spielraumes ausgelöst, erscheinen im Rückblick alle latenten Möglichkeiten, die Innovation auszulösen, als raumzeitliche Diskrepanzen der Koevolution von Makro- und Mikrostruktur der Entwicklung, als Diskontinuitäten. Diese Diskontinuitäten sind andererseits Kontinuitäten in der Makrostruktur, wo sie als organische Muster der Entwicklung zwischen diskreten Forschungssequenzen auftreten.

Die zyklischen Spielräume der Entwicklung tendieren zu Ereignissen mit Schwellwertfunktion, die Strukturumbrüche einleiten. Vom Maß eines sich schließenden zyklischen Spielraumes bzw. eines Ereignisses mit Schwellwertfunktion hängt seine wissenschaftliche/technische Auffälligkeit und soziale Wirkung ab, bzw. die Auffälligkeit, in der es die Neustrukturierung eines Handlungsspielraumes bewirkt, und in der es deshalb den Keim für die Morphologie der Innovation darstellt. Das Maß eines Ereignisses kann definiert werden als Potential der direkten Kopplungen zu zukünftigen Ereignissen im Handlungsnetzwerk bzw. der direkten Kopplungen in der Retrospektive (Maß in einer Gegenwart). Weil dieses Maß unter dem in die Zukunft gerichteten Aspekt offen ist, kann es niemals präzise bestimmt werden; deshalb ebenso wenig die Bedeutung eines Ereignisses. Gemessen am unendlichen Maßstab der Entwicklung kann z. B. ein Zyklus mit kleinem Maß, eine Minirevolution im wissenschaftlichen Labor, und ein Zyklus mit großem Maß, einen revolutionären gesellschaftlichen Umbruch bewirken.

Bezogen auf die Makrostruktur der Handlungsspielräume ist die Annahme einer „Intern-Extern-Problematik“ unangemessen, wohingegen die einer evolutionär ungebrochenen Einfaltungs- und Entfaltungs-Bewegung von innovativ-dissipativen und sozialkonservativen Strukturen plausibler ist.

Eine Möglichkeit der theoretischen Darstellung des Vorganges wird mit Hilfe eines stochastischen Netzwerkverfahrens vorgestellt. Das makrostrukturelle Geschehen wird als übersubjektive, spontane Selbstorganisation der Handlungs-Strukturierung interpretiert.

Gleich ob Individuen oder Programm-Gruppen erscheinen die Subjekte mit ihren Handlungen in der übersubjektiven Handlungsstrukturierung nicht einfach als die freien „Konstrukteure ihrer Wirklichkeit“, sondern als unsichtbar sozial-historisch „Getriebene“ im Handlungsraum eines zyklisch agierenden Über- bzw. Gesamtsubjekts (Gesamtheit raum-zeitlich getrennter Akteure), unter dessen Obhut ihnen Freiheitsgrade der eigenen Gestaltung in einem bestimmten individuellen Akteurspielraum eingeräumt sind.

Diese „Getriebenheit“ ist deshalb nicht im Sinne eines Automatismus zu verstehen, sondern als Dominanz einer emergierenden Handlungsordnung gegenüber den Spielräumen der in ihr enthaltenen Einzelhandlungen aus deren Vernetzung die Handlungsordnung hervorgeht.

## Einleitung

Immer wieder – so scheint es – werden großartige Entdeckungen vorübergehend vergessen, um dann – irgendwann später – desto überraschender ins Zentrum eines Vorganges zu rücken, den wir *wissenschaftliche Revolution* nennen.

Unter den zahlreichen Entdeckungen, denen ein vergleichbar ähnliches Schicksal beschieden war, ist die Entdeckung des *Penicillins* durch FLEMING in den Jahren 1928/29 eine der auffälligsten. Nicht nur wegen der unglaublichen Konstellation von Ereignissen, unter denen die Entdeckung eintrat; mehr noch wegen ihres sensationellen Auftauchens im Rampenlicht der wissenschaftlichen und öffentlichen Aufmerksamkeit über zehn Jahre später – und zwar infolge eines anderen Ereignisses, den Entdeckungen der Gruppe von FLOREY in den Jahren 1940/41.

Drei Jahre zuvor, 1937, hatte der damalige Präsident der USA, ROOSEVELT, ein Komitee der *National Academy of Sciences* beauftragt, eine Einschätzung der zukünftigen Entwicklungen der Wissenschaft und ihres Einflusses auf die Gesellschaft für die kommenden 75 Jahre zu erarbeiten. Dieses Komitee wurde aus den damals kompetenten und anerkannten Wissenschaftlern gebildet. Gute Vorhersagen gelangen bezeichnenderweise für Richtungen, in denen bereits gearbeitet wurde. Auffallend aber ist das Fehlen der beeindruckendsten *neuen* Entwicklungen der kommenden Jahrzehnte, z.B. der Kernenergie, für die die grundlegende Arbeit von HAHN und MEITNER ein Jahr später folgte. Nicht erwähnt sind Düsenflugzeuge, Raketen, Nutzung des Weltraums, Radar, die Entwicklung der elektronischen Rechner, der Transistor, die Quantenelektronik und viele andere wissenschaftliche und technische Entwicklungen. Das Komitee konnte auch noch nicht den revolutionären Wandel der medizinischen Therapie durch Penicillin und Antibiotika sowie die daraus bereits in den folgenden Jahren entstehende Großindustrie voraussehen, obwohl FLEMINGs Entdeckung bereits acht Jahre alt war und die experimentellen Arbeiten, die eine wissenschaftliche Revolution in Gang setzen sollten, ein Jahr später, 1938, begannen (TOWNES 1983).

Und FLEMING? Er gestand, dass genau in dem Augenblick, als gewisse Veränderungen auf seiner Bakterienkultur sichtbar wurden, ihm nicht der leiseste Verdacht gekommen sei, dies könne der Anfang von etwas Außerordentlichem sein.

Welche Ursachen gibt es für derartige Erscheinungen? Sind sie bedauernde Ausnahmen, die Folge unglücklicher Missverständnisse, oder sind sie doch eher die Regel in einem Wissenschaftsbetrieb, der von vielerlei Subjektivitäten geprägt ist(?) – dem Spezialistentum, der Konkurrenz, den Eitelkeiten, der Gebundenheit an spezielle Interessen, der Widerspenstigkeit gegenüber Gedanken und Ergebnissen, wenn sie nicht im Einklang mit den eigenen Anschauungen stehen.

Für Viele sind das Gründe für die Annahme, mit Analysen des Verhaltens von Wissenschaftlern und ihrer sozialen Verstrickungen auch den Grund für die diskontinuierliche Entwicklung der Wissenschaft belegen zu können.

Es gibt eine lange Tradition, die Geschichte zu schreiben. Dabei wird versucht, die Genesis des „Faktischen“ aus der Aufeinanderfolge ihres Erzeugens verständlich zu machen; eines Erzeugens, wie es im Rückblick erscheint, der mit Erfahrungen über die Vergangenheit angereichert ist. Viele Vertreter der Wissenschaftspsychologie und -soziologie hingegen empfinden dieses Vorgehen spätestens seit KUHNS Kritik der Geschichtsschreibung eher als verfälschte Darstellung der wirklichen Vorgänge, soweit das Geschehene anders miteinander verbunden dargestellt wird, als es die Akteure in ihrer Zeit erlebten (KUHNS 1962, 1967).

Wie immer man sich auch bemüht, mehr Licht in das Dunkel der Zusammenhänge zu bringen; die zentrale Frage, bei der sich die Anstrengungen zu vereinen scheinen, ist die Aufklärung der eigenartigen Diskontinuitäten in der Wissenschaftsentwicklung. Das Problem hat vielleicht seine markanteste Zuspitzung in der Frage erhalten: Gibt es vorzeitige Entdeckungen (STENT 1972)?

Bei den bisher gesichteten Bemühungen um eine Antwort auf diese Frage, schien mir insofern ein unbefriedigender Rest offen geblieben zu sein, als das Phänomen aus der Analyse von internen Vorgängen einer „scientific community“ versucht wird zu erklären: der paradigmatischen Problemgebundenheit bzw. der spezifischen wissenschaftlichen Sichtweisen und ihres Wandels innerhalb derselben.

Eigenartig ist jedoch, weshalb nicht gleichermaßen der evolutionäre Zusammenhang des Getrennten, der verschiedenen paradigmatischen Arbeitsfelder zum Gegenstand von Untersuchungen gemacht worden ist, weshalb nicht auch in der Konstellation der relativ autonomen und getrennten Vorgänge in der Wissenschaft sowie der Bewegung dieser Konstellation die gleiche Aufmerksamkeit zuteil wurde, obwohl viele bekannte Fälle von Diskontinuitäten in der Wissenschaftsentwicklung Indizien dafür liefern. Sollte es nicht möglich sein, dass die paradigmatisch gebundenen Vorgänge nur Substrukturen in einem strukturellen Gefüge sind, das in der evolutionären Bewegung der geteilten Arbeit entsteht?

Wenn diese Möglichkeit besteht, dann kann sie nicht ohne Folgen für unser Wissenschaftsverständnis sein.

Ausgehend von dieser Frage, ist die Absicht entstanden, anhand der Analyse eines konkreten Falles der Wissenschaftsentwicklung, eine Antwort zu finden.

Es sollte erkundet werden, ob eine Diskontinuität der Wissenschaftsentwicklung auch von einem strukturellen Hintergrund von diskreten Handlungs-Vorgängen verursacht wird und wie ihre Stellung in der Evolutionsdynamik der Wissenschaft, beim Entstehen einer Revolution ist.

Für die Analyse wurde ein spezieller Bereich der Wissenschaftsentwicklung ausgewählt: Die Entstehung des Antibiotika-Gebietes.

Das Ergebnis, zu dem ich gelangt bin, sei in lapidarer Form als vorläufige Hypothese vorangestellt. Es lautet:

Nicht die Entdeckung des Penicillins durch FLEMING im Jahre 1928 war – wie oft angenommen wird – der dominante Ausgangspunkt für die Entstehung des Wissenschaftsgebietes der Antibiotika; sondern der Modus eines über Jahrzehnte sich selbst strukturierenden, zu dieser Zeit unsichtbaren Raumes von Entdeckungen/Erfindungen, bestehend aus diskreten Sequenzen (Feldern) der Forschung, die sich tendenziell gegenseitig ergänzten und auf diese Weise konvergierten.

Das revolutionäre Auftauchen des Antibiotika-Gebietes ist aus der Koevolution einer makrostrukturellen und mikrostrukturellen Entwicklung der Wissenschaft hervorgegangen. Als Makrostruktur entstand ein raum-zeitlicher Spielraum für verschiedene Konstellationen der möglichen Auslösung des revolutionären Vorganges; als Mikrostruktur eine zufallsbedingte Konstellation ihrer wirklichen Auslösung. Die Diskontinuität zwischen FLEMINGs Entdeckung und der revolutionären Entwicklung des Gebietes über zehn Jahre später, erweist sich als wiederholt auftretendes Muster einer sequentiellen Makrostruktur, in der die Entdeckung von FLEMING eine der Sequenzen ist, die rückkoppelnd berücksichtigt, und in einem Selektionsprozess allmählich favorisiert wird. Die Makrostruktur ist für das Auftreten der Revolution insofern dominant, als sie einen Spielraum von verstreuten, diskreten Forschungssequenzen schafft, die das Ausgangspotential für die Gestalt der Revolution bereitstellen. Auf diese indirekte Weise konnte die erstaunliche Zufalls-Entdeckung von FLEMING eine mikrostrukturelle Konstellation bewirken, die den Spielraum der diskreten Forschungssequenzen für die Auslösung der Revolution spezifisch modifizierte und aktivierte.

Nachfolgend ist im Unterschied zum forschenden Vorgehen, in der Darstellung ein anderer Weg gewählt; dies in der Absicht, dem Leser den gedanklichen Nachvollzug der Mitteilung zu erleichtern. Für die einzelnen Kapitel sind Überschriften gewählt worden, die allemal jenen strukturellen Aspekt betonen, der den historischen Vorgängen inhärent ist.

Ausgegangen wird von Fragen an ein einfaches Bild, das die wissenschaftliche Revolution sichtbar macht.

Jede der Antworten auf diese Fragen wird zunächst für sich stehen und nur ein punktuelles Bild erbringen, so dass erst am Ende der Ausführungen, in ihrer Verbindung, jene Einsicht in den analysierten Vorgang erreicht wird werden können, die mit der Zielstellung formuliert worden ist.

## 1. Eine wissenschaftliche Revolution in der Abbildung von Publikationsraten

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Publikationsrate als Funktion der Zeit. Die beiden dargestellten Funktionen sind das Ergebnis des Zählens der einschlägigen Publikationen, die in der Deutschen Bibliographie der Zeitschriftenartikel Reihe A und B unter dem Stichwort *Penicillin* bzw. *Antibiotika* aufgeführt sind. Reihe A enthält die Artikel der deutschsprachigen Zeitschriften, Reihe B die Artikel der internationalen Zeitschriften.

Wir werden von der einfachen Anschauung der Abbildung ausgehen. Der Fortgang der Untersuchung wird – wie ich annehme – immer neue Aspekte seiner Wahrnehmung eröffnen, so dass am Ende meiner Ausführungen jenes Bild wird gesehen werden können, das als Ausdruck eines komplexen Vorganges erscheint.

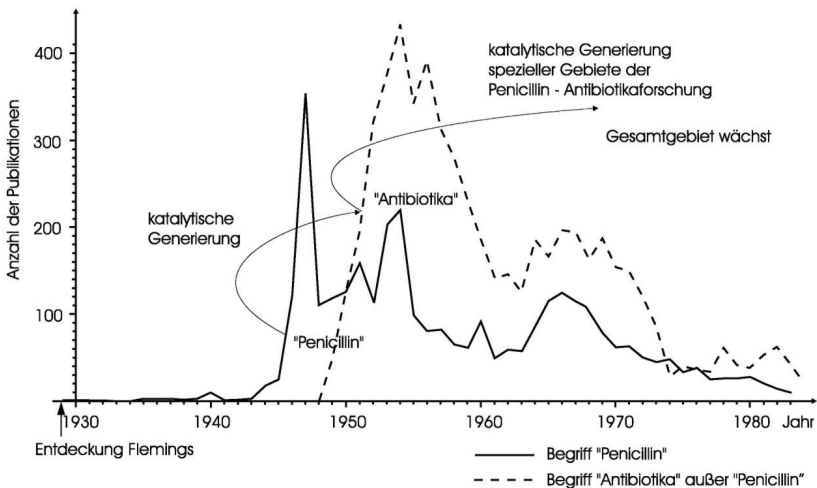


Abbildung 1: Zahl der Publikationen als Funktion der Zeit

Die Funktion wird eingeleitet mit der berühmten Entdeckung des Penicillins durch Alexander FLEMING im Jahre 1928, die er 1929 publizierte. Ihr Ruhm gründet sich jedoch nicht auf eine sofort sich formierende Anhängerschaft, sondern auf eine Entwicklung, die sich zu Beginn der vierziger Jahre anbahnte. Erst

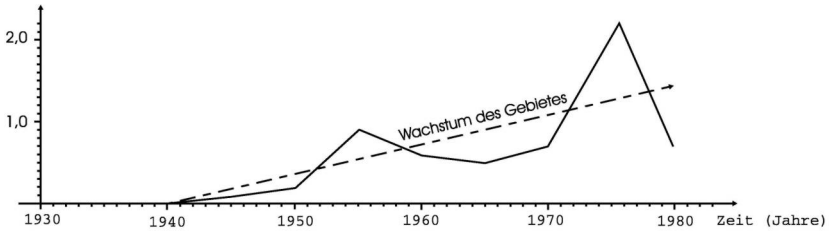


Abbildung 2: Koeffizient der Generierung neuer Richtungen: Verhältnis der Anzahl der Publikationen unter den Begriffen „Penicillin“ / „Antibiotika“ zur Anzahl der Publikationen unter den generierten Begriffen

das sprunghafte Entstehen einer neuen Wissenschaftlergruppierung mit ihren Arbeiten zum Penicillin und den anderen Antibiotika, machte den zuvor kaum bekannten FLEMING, mehr als zehn Jahre nach seiner Entdeckung, zu einem weltweit anerkannten Wissenschaftler und schließlich zum Nobelpreisträger.

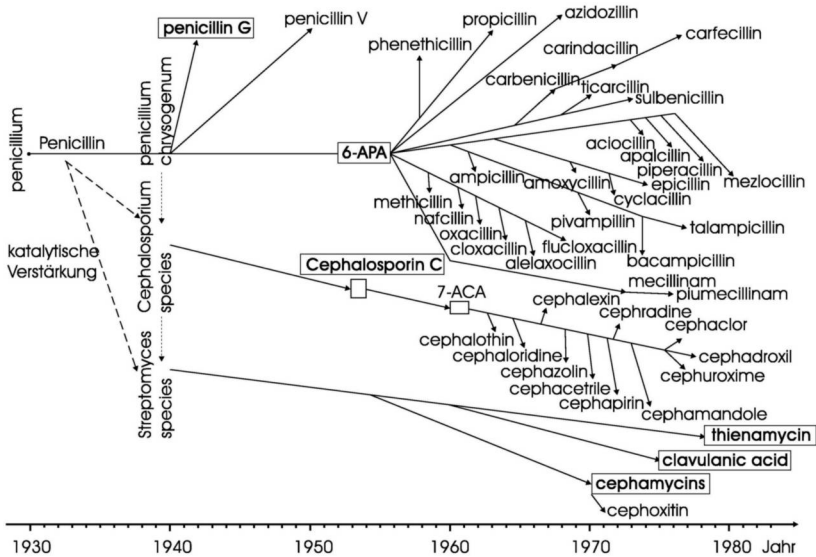


Abbildung 3: Generierung von Folge-Entdeckungen des Penicillins (nach ROLINSON, 1979)

FLEMINGs Publikation wurde in den Jahren nach seiner Entdeckung, zwischen 1929 und 1940 lediglich drei mal zitiert.

## 2. *Die Diskontinuität als mikrostrukturelles Phänomen der Wissenschaftsentwicklung*

### 2.1 *Ein Zufallsereignis*

*Wie wurde das Penicillin entdeckt?*

„Zum Entdecken gehört Glück,  
zum Erfinden Geist,  
und beide können beides  
nicht entbehren.“  
GOETHE 1817

FLEMINGs Entdeckung hat mehrere Dimensionen der Zufälligkeit:

*Dimension (1)* – Die Entdeckung ist zufällig in Bezug auf einen Spielraum der sequentiellen Wissenschaftsentwicklung der Makrostruktur.

*Dimension (2)* – Die Entdeckung ist zufällig in Bezug auf eine andere Sequenz der Wissenschaftsentwicklung in der Biologie, wo sich Mykologen bereits Jahrzehnte mit der Wirkung von Pilzen (auch von *Penicillium*) auf Mikroben beschäftigten, während FLEMING als Immunologe und Bakteriologe über Pilze keine Fachkenntnisse besaß,

*Dimension (3)* – Die Entdeckung ist zufällig in Bezug auf eine Konstellation von Natur-, Lebens- und Arbeitsumständen.

(Die ersten beiden Dimensionen werden erst im Laufe der Abhandlung ersichtlich werden können, auf die dritte Dimension wird in diesem Abschnitt eingegangen.)

Im Jahre 1928 experimentierte Alexander FLEMING mit pathogenen Staphylokokken. Er züchtete sie im üblichen Plattenverfahren und kontrollierte die Kulturen in gewissen Zeitabständen. Eines Tages wies eine seiner Platten, auf der Kolonien des *Staphylococcus aureus* wuchsen, eine Verunreinigung durch eine Schimmelpilzkolonie auf. Ein Vorfall, mit dem man wegen des kontrollierenden Lüftens des Deckels hin und wieder rechnen musste. Diesmal jedoch bemerkte FLEMING einen auffallend markanten Wirkungshof der Schimmelpilzkolonie. In ihrem Umkreis waren die *Staphylokokken* offensichtlich zur Auflösung gebracht worden. Das Phänomen der beobachteten Lysis der *Staphylokokken* beeindruckte FLEMING so sehr, dass er den Pilz näher untersuchte.



Seine folgenreiche Beobachtung fiel in einen ganz normalen wissenschaftlichen Alltag; dennoch war sie nur durch eine unglaubliche Konstellation von Umständen eingetreten.

Die Zufallsentdeckung war durch das Zusammentreffen einer ganzen Reihe von verschiedenen, nicht miteinander in Beziehung stehenden Ereignissen zustande gekommen:

- FLEMINGs gerade hinreichende Abwesenheit, weil er ein Kapitel für ein Buch zu schreiben hatte, verursachte die Zeitspanne für das erforderliche Wachstumsstadium von Staphylokokken-Kultur und Pilz.
- Die Vorlesungen eines holländischen Arztes, die zur Bestimmung eines Mykologen führten, dessen Arbeiten direkt unter dem Labor FLEMINGs stattfand.
- Das Glück des Mykologen, einen potenten penicillin-produzierenden Stamm des Pilzes zu isolieren.
- Ein ungeeignetes Labor, das die Atmosphäre mit Sporen belastete.
- Die hohe Wahrscheinlichkeit, dass FLEMING entweder vergaß seine Kulturplatte zu bebrüten oder es absichtlich unterließ.
- die Tatsache, dass FLEMINGs Labor besonders empfindlich gegen äußere Temperaturen war.
- Die Tatsache, dass die erforderliche Temperatur durch eine Kältewelle zu einer Zeit des Jahres vorhanden war, die gewöhnlich ungeeignet für die Entdeckung gewesen wäre.
- Der Besuch des Kollegen PRICE, der FLEMING dazu führte, eine Platte noch einmal zu betrachten, die er schon kontrolliert und weggelegt hatte.
- Der Umstand, dass die Platte der Zerstörung entgangen war, wegen der vollkommen ungeeigneten Methoden für die Verbringung benutzter Kulturplatten.

Alle diese Ereignisse trafen im Labor von FLEMING in einer Weise zusammen, in der sie bis heute nicht vollständig reproduziert werden können.

Würde *ein* Glied in der Kette gefehlt haben, hätte die Entdeckung nicht stattgefunden!

Dieser Komplex von Zusammenhängen erklärt die Seltenheit der Beobachtung angesichts der Tatsache, dass Pilzverunreinigungen von Bakterienkulturen zum Laboralltag gehörten.

## 2.2 Eine diskrete Forschungssequenz entsteht

Weshalb brach FLEMING sein Forschungsprogramm zum Penicillin ab?

*Drei wesentliche Gründe ließen FLEMING sein Forschungsprogramm zum Penicillin abbrechen:*

- (1) Weder ihm noch anderen Wissenschaftlern in seiner Umgebung gelang die Isolation und Extraktion der wirksamen Substanz.
- (2) FLEMING verfolgte in seinem Forschungsprogramm wegen seiner immunologischen Grundeinstellung und des entsprechenden Forschungsklimas unter Leitung von WRIGHT keine Strategie einer möglichen chemotherapeutischen Anwendung des Penicillins.
- (3) Der ausschlaggebende Grund aber war: es schien völlig aussichtslos zu sein, mit dem flüchtigen Präparat mehr machen zu können, als erreicht worden war; die Schwierigkeiten, Unsicherheiten und Risiken, die drohten, viele Jahre wertvoller Forschungszeit vielleicht ohne nennbares Ergebnis zu beanspruchen, ließ den Abbruch der Arbeiten sinnvoll erscheinen.

FLEMING züchtete seinen Originalstamm in Fleischbouillon und fand heraus, dass ein Pilzstamm in Oberflächenkultur wuchs und nach grau-grüner Verfärbung durch Sporulation die wirksame Substanz in das Nährmedium ausschied.

Die ersten methodischen Praktiken FLEMINGs zum Nachweis der antibiotischen Wirkung des unbekanntes Stoffes sind auf die entscheidenden Beobachtungen am Objekt zurückzuführen, die er unter den zufälligen Bedingungen machte.

Er imitierte nämlich die Diffusionsvorgänge. Das Ergebnis war aufregend: Außer *Coli*-Bakterien und PFEIFFERSche *Influenza-Bazillen* zeigten sich alle pathogenen Erreger in unterschiedlichem Maße empfindlich, u. a. *Staphylokokken*, *Pneumokokken* und *Diphtherie-Bazillen*. Damit war erwiesen, dass es sich um einen antibiotischen Stoff handelte. FLEMING nannte ihn *Penicillin*.

Sein ganzes medizinisches Leben hindurch interessierte sich FLEMING für die antibakterielle Wirkung des Blutes und die Antiseptika; deshalb betonte er, dass *Penicillin in vitro*, in einer Lösung von 1 in 600, das Wachstum der Staphylokokken vollständig hemmt, die Leukozytenfunktion indes in keinem größeren Ausmaße störe als eine gewöhnliche Nährlösung.

Indem er die Wirkung des *Penicillins* auf die *Phagozytose* bezog und seine Experimente fast ausschließlich auf antibakterielle Untersuchungen *in vitro* ausrichtete, sprach er dezidiert Wissenschaftler der eigenen paradigmatischen Orientierung an.

Im Rückblick mag man nach diesem und jenem Grund fragen, weshalb FLEMING und die Wissenschaftler seiner näheren Umgebung nicht hartnäckiger an der Ausarbeitung der Entdeckung gearbeitet haben, obwohl sie wussten, dass die Penicillin-Lösung als *Antiseptikum* sich so drastisch von anderen bekannten Antiseptika unterschied.

Aber es gab eine simple und völlig einleuchtende Erklärung, nach all den mislungenen Bemühungen, das *Penicillin* zu isolieren und zu extrahieren; die

Annahme nämlich (auch FLEMINGS), dass es die Schwierigkeiten, die unabsehbaren Hürden und Ungewissheiten, nicht lohne auf sich zu nehmen, zumal ganz infrage stand, ob je ein ökonomisch herstellbares Präparat würde erreicht werden können.

### *2.3 Rückkopplung zwischen diskreten Forschungssequenzen*

Wie kam es zum erneuten Rückgriff auf die Arbeit von FLEMING aus dem Jahre 1929?

Der mikrobielle Antagonismus wurde seit Jahrzehnten verstreut in verschiedenen Disziplinen erforscht, z.B. der Biologie, Bakteriologie, Immunologie. Die Problemsicht war Ende der dreißiger Jahre soweit gediehen, dass eine integrierende biochemische Fragestellung zu all den bisher gefundenen Substanzen in der Genesis und Logik dieser Entwicklung lag. CHAIN war dann der erste, der diese integrierende Frage stellte, sich ihrer annahm und zu einem Ergebnis kam, das die Grundlage dafür bildete, die bisher verstreuten Forschungs-Sequenzen des Spielraumes des mikrobiellen Antagonismus – unter einem neuen wissenschaftlichen Gesichtspunkt zu integrieren, und dessen gemeinsames Potential zu aktivieren.

Im Jahre 1935 wurde Professor H. W. FLOREY zum Lehrstuhlinhaber für Pathologie in Oxford berufen. Sein Gegenstand war die experimentelle Pathologie. Er beabsichtigte eine entsprechende Abteilung aufzubauen. Dazu bedurfte es einer gewissen internen biochemischen Flankierung der Arbeit. FLOREY selbst jedoch besaß keine spezifische biochemische Ausbildung. Er wandte sich deshalb an Sir Frederick Gowland HOPKINS den Leiter der *Sir William Dunn School of Biochemistry* in Cambridge, eines der führenden Weltzentren für biochemische Forschung. Er sollte FLOREY bei der Berufung eines geeigneten Biochemikers beraten. Die Wahl fiel auf Ernst Boris CHAIN. Dieser war wegen seiner jüdischen Abstammung aus Deutschland emigriert. Eines der wissenschaftlichen Hauptinteressen von CHAIN war die Wirkungsweise neurotoxischer Schlangengifte. In Cambridge hatte CHAIN gefunden, dass einige der wirksamsten Schlangengifte die Eigenschaft hatten, unter bestimmten Bedingungen Glykolyse und alkoholische Fermentierung zu hemmen (CHAIN 1937). In Oxford setzte CHAIN diese Arbeit fort.

Im Rahmen dieser Arbeit, die 1936 begann, fertigte CHAIN einen Überblick an, in dem er die bakteriolytischen Mittel erfasste. Dabei wurde er mit verschiedenen Fällen der Lysis einer bakteriellen Art durch eine andere bekannt; besonders mit der Bakteriophage und ihrer kraftvollen bakteriolytischen Fähigkeit, über die schon damals eine umfangreiche Literatur existierte.

CHAIN berichtet:

„I thus stumbled, more-or-less accidentally, across the well-known phenomenon of microbial antagonism, first described very lucidly by Pasteur & Joubert (1877)“  
(CHAIN 1971: 296/297).

Dieser Umstand – und nicht etwa eine direkte Erkenntnis der Bedeutung von FLEMINGs Ergebnis – führten zu einer Rückkopplung in der Forschung, die einen ganzen Raum von sequentiellen Feldern der Wissenschaft betraf.

CHAIN sammelte etwa 200 Mitteilungen über Wachstumshemmungen, die infolge der Wirkung von *Bakterien*, *Streptomyceten*, *Pilzen* und *Hefen* aufeinander verursacht wurden. Er griff auf Ergebnisse eines Forschungsraumes zurück, die in Jahrzehnten in getrennten Feldern erarbeitet worden waren. Es gab keinen Zweifel, dass die Wachstumshemmung in vielen Fällen durch spezifische Metaboliten verursacht war, die von den verschiedenen Mikroorganismen produziert worden waren.

Der springende Punkt aber, der CHAINs Interesse erregte, war, dass die chemische oder biologische Natur der hemmenden Substanzen fast unbekannt war. Deshalb schien ihm die diesbezügliche Aufklärung als ein interessantes und lohnendes Erkundungsgebiet.

#### 2.4. Rückkopplung und Selektion

Wie kam es erneut zur Arbeit über das Penicillin?

Die Entdeckungen der Mitarbeiter von FLOREY, insbesondere die von CHAIN entstanden nicht – wie üblicherweise angenommen – im direkten Rückgriff auf die Entdeckung von FLEMING.

Sie entstanden vielmehr

- a) infolge der erstmaligen Inspektion der raum-zeitlich, zersplitterten, wichtigsten Entdeckungen von verschiedenen diskreten Sequenzen der Forschung;
- b) infolge einer diese Anordnung einigenden neuen Fragestellung der Biochemie durch CHAIN und
- c) infolge der allmählichen Selektion der für besonders interessant gehaltenen Beobachtungen in einem drei Jahre währenden Arbeitsprozess. Zu den selektierten Beobachtungen gehörte auch FLEMINGs Entdeckung!

Die Verbindung der Entdeckung von FLEMING und der Entdeckungen von CHAIN und FLOREYs Mitarbeiter kam als eine Rückkopplung zu diskreten Forschungssequenzen zustande, und lediglich e i n e davon war die Forschungssequenz von FLEMING!

Im Rahmen der mehrjährigen Beschäftigung mit diesem Thema stieß CHAIN im Jahre 1938 auf die Publikation von FLEMING aus dem Jahre 1929 im *Journal of Experimental Pathology* (FLEMING 1929).

FLEMINGs Mitteilungen beeindruckten CHAIN wegen des gut beschriebenen bakteriellen Antagonismus und der offenen biochemischen Fragestellungen. In einer Reihe von schwierigen Experimenten fand CHAIN endlich heraus, dass Penicillin kein *Protein*, sondern eine niedrigmolekulare Substanz. war. Den entscheidenden methodischen Fortschritt bei der Beherrschung der chemischen Instabilität des Penicillins brachte eine zur gleichen Zeit entwickelte Methode der Gefriertrocknung für die Trocknung von Blutserum.

Man erhielt schließlich ein braunes Pulver, das eine beeindruckende antibakterielle Aktivität aufwies. Mit Ausnahme der *Sulfonamide* war zu jener Zeit kein antibakterielles Präparat bekannt, das vergleichbare Eigenschaften aufwies.

In Tierexperimenten konnte erstmalig die chemotherapeutische Wirkung des Penicillins nachgewiesen werden.

### 2.5 Die Zelle einer neuen Forschungsstruktur entsteht

Wie entstand die „Oxford-Gruppe“?

Die Oxford-Gruppe ist ursprünglich nicht mit dem Ziel entstanden, als Team an der praktischen Nutzung des Penicillins zu arbeiten. Die Gruppe formierte sich als „Penicillin-Team“ erst im Zusammenhang mit der sukzessiven Selektion des Penicillin-Problems innerhalb eines wesentlich weiter gefassten Forschungsprogramms.

Erst infolge des Nachweises der chemotherapeutischen Wirkung des Präparates entstand die Zusammenarbeit mehrerer Wissenschaftler zur programmatischen Erforschung des *Penicillins*. CHAIN hat ausdrücklich auf Darstellungen hingewiesen, die den Vorgang verfälschten, indem unterstellt wurde, es habe ein „Oxford-Team“ gegeben, so, als habe es von vornherein – wegen der richtigen Bewertung der Beobachtung FLEMINGs – mit dem Ziel gearbeitet, das Präparat praktisch nutzbar zu machen.

„The group assembled after, not before, our first chemotherapeutic experiments on our mice, for the purpose of speeding up the work, and it was not so much an organized team as a group of colleagues with different backgrounds of expertise collaborating with each other to achieve obvious objectives in the minimum of time“

(CHAIN 1971: 301).

Die Instabilität der Substanz ließ eine mögliche praktische Nutzung ursprünglich sehr zweifelhaft erscheinen. Dass die Arbeit als Beitrag zur Kriegsanstrengung begonnen wurde, entbehrt jeder Grundlage. Dieses Motiv spielte allerdings später eine große Rolle, als nämlich der therapeutische Nachweis der Wirksamkeit des *Penicillins* für den Menschen gelungen war.

CHAIN berichtet über den Beginn der Arbeit:

„The only reason which motivated me to start the work on Penicillin was scientific

interest. I very much doubt, in fact, whether I would have been allowed to study this problem at that time in one of the so-called mission oriented minded industrial laboratories. The research on Penicillin which was started as a problem of purely scientific interest, but had consequences of very great practical importance is a good example of how difficult it is to demarcate sharp limits between pure and applied research“ (CHAIN 1971 301).

Das erste Zusammenfinden einiger Forscher zur Erkundung des *Penicillins* stand unter anderen Vorzeichen. Erst das Ergebnis der Demonstration der chemotherapeutischen Wirkung des *Penicillins* im Tierversuch führte dazu, dass in der Abteilung von FLOREY eine Tendenz zu einer gewissen Konzentration auf die Erforschung des *Penicillins* einsetzte. Um so schnell wie möglich Fortschritte zu machen, wurden mehrere Kollegen der Abteilung gebeten, bei den pharmakologischen, bakteriologischen und chemischen Aspekten des Programms zusammenzuarbeiten. Aber auch diese Gruppe konnte noch nicht eigentlich ein „Team“ genannt werden.

Die „Oxforder Gruppe“ konsolidierte sich erst im Zusammenhang mit dem zu bewältigenden Forschungsprogramm, dessen Entwicklung über verschiedene Stufen der Reinigung lief, mit dem Ziel, klinische Tests am Menschen zu wagen. Die noch sehr unreinen Präparate bargen die Gefahr von Infektionen beim Menschen (ABRAHAM et. al. 1940).

Erst infolge des Nachweises der chemotherapeutischen Wirkung des Präparates entstand die Zusammenarbeit mehrerer Wissenschaftler zur programmatischen Erforschung des *Penicillins*. CHAIN hat ausdrücklich auf Darstellungen hingewiesen, die den Vorgang verfälschten, indem unterstellt wurde, es habe ein „Oxford-Team“ gegeben, so, als habe es von vornherein wegen der richtigen Bewertung des Ergebnisses FLEMINGS, mit dem Ziel, der praktischen Nutzung des Präparates, gearbeitet.

Wegen der Instabilität der Substanz war eine mögliche praktische Nutzung ursprünglich sehr zweifelhaft. Dass die Arbeit als Beitrag zur Kriegsanstrengung begonnen wurde, entbehrt jeder Grundlage. Dieses Motiv spielte allerdings später eine große Rolle, als der therapeutische Nachweis der Wirksamkeit des *Penicillins* für den Menschen gelungen war.

CHAIN berichtet über den Beginn der Arbeit:

„The only reason which motivated me to start the work on Penicillin was scientific interest. I very much doubt, in fact, whether I would have been allowed to study this problem at that time in one of the so-called mission oriented minded industrial laboratories. The research on Penicillin which was started as a problem of purely scientific interest, but had consequences of very great practical importance is a good example of how difficult it is to demarcate sharp limits between pure and applied research“ (CHAIN 1971 301).

Wie Abb. 1 zeigt, wird die Penicillin-Revolution sichtbar mit dem sprunghaften Anwachsen einer Wissenschaftlergemeinschaft und ihrer Publikationstätigkeit ausgelöst.

In Oxford waren dafür die Grundlagen geschaffen worden.

Im Jahre 1940 erscheint in *Lancet* eine Arbeit über die chemotherapeutische Kraft von *Penicillin* bei bakteriellen Infektionen von Mäusen. Die dargestellten Ergebnisse hatten etwas Dramatisches, wiesen sie doch auf eine Substanz hin, für deren Wirkung bisher keine vergleichbare Größenordnung bekannt war (CHAIN et. al. 1940). Ein Jahr später folgte aus dieser Gruppe eine Arbeit, wiederum in *Lancet* veröffentlicht, die erheblich mehr Aufsehen erregte. Diesmal wurde berichtet, dass der Pilzmetabolit *Penicillin* bemerkenswerte chemotherapeutische Wirkungen bei klinischen bakteriellen Infektionen zeigte. Und was besonders beeindruckend war, die Wirkung erstreckte sich auch auf Infektionen, die von *Staphylococcus aureus* hervorgerufen werden. Bislang gab es keine antibakterielle Substanz, die *in vivo* eine zufriedenstellende chemotherapeutische Aktivität gegen sie aufwies – auch kein Mitglied der *Sulfonamide*, der bisher einzigen bekannten Gruppe von hochwirksamen antibakteriellen Substanzen.

Dieser Arbeit kommt eine Schlüsselrolle für die einsetzende revolutionäre Entwicklung zu; sie steht am Fuße des sprunghaften Anwachsens der Penicillin-Publikationen.

### 3. *Die Diskontinuität als makrostrukturelles Phänomen der Wissenschaftsentwicklung*

Das historiographische Material legte nahe, die Entdeckungen von FLEMING und FLOREYS Gruppe aus der Struktur der Wurzeln ihrer weiteren Vergangenheit zu erschließen. Meine Annahme war folgende: Wenn sich in dieser Struktur divergente und konvergente Tendenzen auffinden ließen, müsste die sprunghafte Ansammlung von Wissenschaftlern, die infolge der Entdeckungen der Gruppe von FLOREY zusammenfand und die das exponentielle Wachstum der Publikationsrate (Abb. 1) auslöste, einer sich selbst formierenden Konvergenz von divergenten Forschungssequenzen entstammen.

Es erwies sich als sinnvoll, die historiographisch erschließbaren Wurzeln bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurückzuverfolgen. Die Suche nach den weiteren Wurzeln der Penicillin – und Antibiotika – Revolution führte in Verzweigungen der Wissenschaftsentwicklung, deren formale Struktur nur noch mit Hilfe von Entdeckungen markiert werden kann, die im Zusammenhang mit der Revolution besonders auffällig sind. Diese Entdeckungen können annähernd vier Langzeit-Formationen von Forschungssequenzen zugeordnet werden, die von ihrem

Ursprung aus, als divergente Formationen gedeutet werden können und von denen jede für sich, eine zeitlich gequantelte sprunghafte Struktur aufweist. Sie folgen aus dieser Sicht relativ voneinander getrennten Paradigmen und Diskursen. Aus der Sicht der Revolution indes konvergieren sie inhaltlich und sind Träger sowohl von Elementen der Entdeckungen FLEMINGS und der Gruppe von FLOREY sowie von Merkmalen der Revolution überhaupt. In ihrer Gesamtheit bilden sie eine lückenhafte, konvergierende, raum-zeitliche Anordnung, mit der Tendenz gegenseitiger Ergänzung. Dieser Unterschied soll in Abb. 4 und 5 schematisch angedeutet werden. Die in diesen Abbildungen enthaltenen Entdeckungen markieren vier unterscheidbare Formationen von Forschungssequenzen zum Problem des Antagonismus. Eine der Formationen entstand mit den Forschungen über den bakteriellen Antagonismus in der Bakteriologie im Anschluss an eine Entdeckung von PASTEUR im Jahre 1877. Eine zweite Formation ergab sich aus Untersuchungen des Antagonismus zwischen pflanzlichen Stoffen und Mikroben, so auch zwischen Pilzen und Mikroben, in der Biologie. Eine dritte Formation lässt sich nachweisen in Untersuchungen des Antagonismus von chemisch gewonnenen Stoffen (z.B. synthetischen Farben) und Mikroben. Auf ihrer Grundlage entstand um die Jahrhundertwende die Chemotherapie. Und eine vierte Formation schließlich entstand durch Forschungen über den Antagonismus zwischen körpereigenen Substanzen des Menschen bzw. der Tiere und Mikroben, insbesondere der pathogenen Mikroben in der Immunologie.

In der Formation von Forschungssequenzen, die die einschlägigen Entdeckungen zur Antibiose enthalten, steht auch die Penicillinentwicklung als Forschungssequenz, sie führte zur Antibiotikaforschung, aber nicht als Formation für sich, sondern in der vernetzten Koppelung mit den anderen Formationen und in dieser Vernetzung, entpuppte sie sich als Formation der Chemotherapie und wurde eine Teildisziplin von ihr. Mit der integrierenden biochemischen Fragestellung von CHAIN kam es zur sichtbaren Konvergenz der Forschungen auf den Gebieten von Biologie, Bakteriologie, Chemotherapie, Penicillin, anderen Antibiotika und Biochemie auf der Grundlage der Strukturchemie(!)

### *3.1 Strukturbildung und Entstehung des Spielraumes für die Revolution*

#### *3.1.1 Wie entstand die Chemotherapie aus der Strukturchemie, Farbochemie, Bakteriologie und Pathologie?*

Von den Entdeckungen der Gruppe FLOREYS aus gesehen, hatte der vergangene konvergente Zyklus zwei divergente Ursprünge. Der erste Ursprung liegt in der Strukturchemie, die auf KEKULÉ zurückgeht. Von dort aus gesehen, führt eine



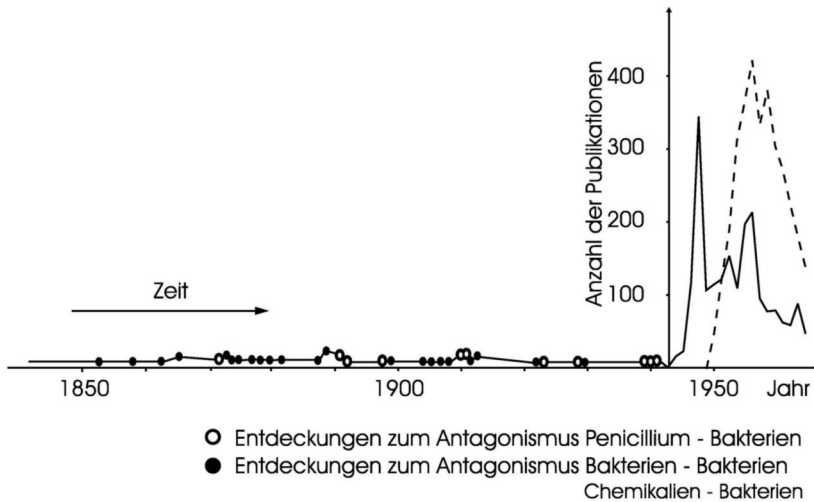


Abbildung 4: Generierung von Folgeentdeckungen des Penicillins (nach ROLINSON, 1979)

divergente Sequenz des Netzwerkes zur Herstellung von synthetischen Farben und zur Entstehung einer darauf fußenden Farbindustrie. Noch im 19. Jahrhundert konvergiert diese Sequenz des Netzwerkes mit anderen divergenten Sequenzen, einerseits der Bakteriologie und andererseits der Pathologie.

Bei den neuen Möglichkeiten des Färbens medizinischer Präparate und Bakterien wurde eine gewisse Affinität von Farben und einigen Mikroben entdeckt. Dies wiederum war der Ursprung für die Entwicklung einer neuen divergenten Sequenz des Netzwerkes um die Jahrhundertwende – mit dem Programm und mit der Theorie der Chemotherapie von Paul EHRlich. In den zwanziger Jahren wurden wichtige Fortschritte und in den dreißiger Jahren mit der Erzeugung der Sulfonamide ein Durchbruch erzielt. Die Chemotherapie war infolge der Konvergenz von Entdeckungen und Erfindungen (zunehmende gegenseitige Ergänzung und entsprechende neue Sicht) der divergenten Entwicklungssequenzen von Strukturchemie, Bakteriologie, Farbchemie und Pathologie entstanden.

Der zweite Ursprung des Zyklus reicht zurück bis zum Auftauchen der Bakteriologie. Die sequentielle Entwicklung driftet über die Biologie, Biochemie und Pathologie zur Antibiotikaforschung (Vgl. Abb. 4–6).

### 3.1.2 *Wie entstand die Antibiotikaforschung aus der Biologie, Mykologie, Bakteriologie und wie wurde sie Teil der Chemotherapie*

Zwischen 1871 und 1928 sind wissenschaftshistoriographisch wenigstens acht Forschungssequenzen nachweisbar, in denen Beobachtungen vorgekommen sind, die der FLEMINGSchen ähnlich sind. Zwischen ihnen liegt allemal eine raum-zeitliche „Kluft“, derjenigen zwischen FLEMING und FLOREY gleichend.

Nachdem das Mikroskop erfunden war, gab es neue Impulse und Möglichkeiten für die Beobachtung von Mikroorganismen. PASTEUR entdeckte auf dieser Grundlage das Prinzip des Antagonismus, zunächst zwischen Anthraxbazillen und einer bestimmten anderen Mikrobenart. In der Folgezeit kam es sporadisch immer häufiger zur Beobachtung dieses Phänomens, schließlich als *Antibiose* bezeichnet. Unter den Beobachtungen finden sich, raum-zeitlich getrennt, eine ganze Anzahl zum Phänomen der Antibiose von Schimmelpilzen und Bakterien (wovon übrigens FLEMING zur Zeit seiner Entdeckung nichts wusste).

Dazu kommen die raum-zeitlichen Abstände aller anderen einschlägigen Entdeckungen zum Antagonismusproblem, die in der Konstellation der paradigmatischen Felder zueinander, raum-zeitliche Muster von Diskontinuitäten darstellen. (Abb. 6 kann das lediglich andeuten)

## 4. *Die Diskontinuität als Muster der Koevolution von Mikro- und Makrostruktur bei der Entstehung der wissenschaftlich-technischen Revolution*

FLEMINGS Entdeckung ist nicht der Beginn der Revolution, sondern der Endabschnitt einer für die Beteiligten weitgehend unsichtbaren raum-zeitlichen Anordnung von konvergierenden Forschungssequenzen, die schließlich in denen der Gruppe um FLOREY eine kulminierende Aufhebung erfahren.

Welche Stellung hatte FLEMINGS Entdeckung in der Makrostruktur?

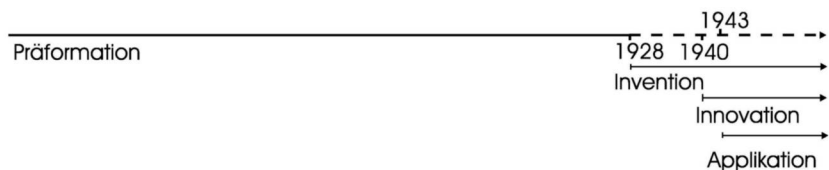


Abbildung 5: Phasen unter dem Aspekt der Gerichtetheit der Entwicklung : Bezug auf die Zunahme der Komplexität des Forschungsprogramm

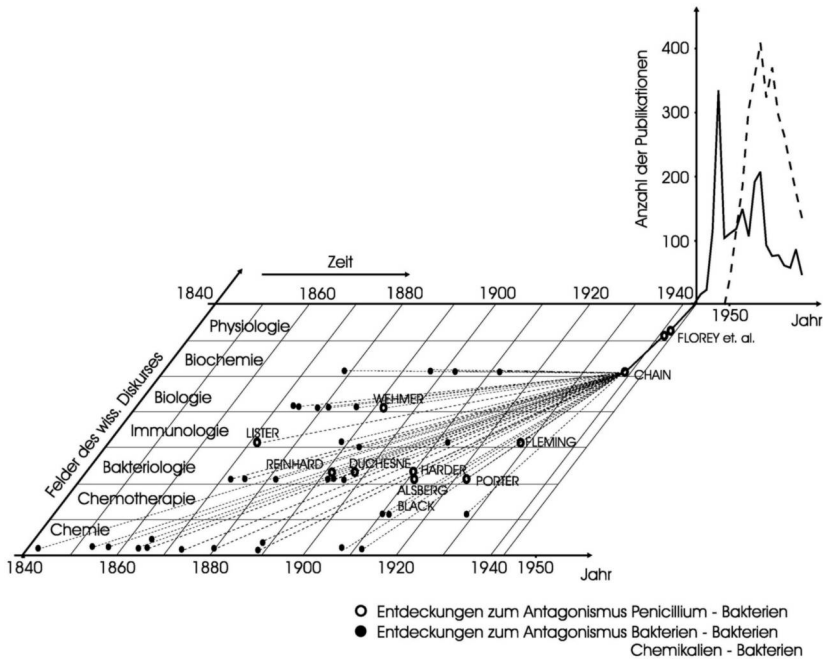


Abbildung 6: Andeutung der sequentiellen Konvergenz der Entdeckungen zum Antagonismusphänomen

Ihr war als letzter in einer langen Reihe vergleichbarer Beobachtungen das Schicksal des vorübergehenden Vergessenwerdens beschieden. Dabei war das Glück noch auf seiner Seite, denn er musste nur zehn Jahre warten, um wieder in Erinnerung gebracht zu werden und konnte sogar noch den Nobelpreis entgegennehmen. Die anderen mussten Jahrzehnte warten und haben natürlich nicht mehr erlebt, wie ihr Beitrag, in einer für sie unsichtbaren raum-zeitlichen Anordnung von Entdeckungen, mit anderen konvergierte, um schließlich an einer grandiosen Entwicklung Anteil zu haben.

Die „Kluft“ zwischen der Entdeckung FLEMINGS und denen der Gruppe um FLOREY ist deshalb primär, makroskopisch, kein subjektives Problem des Nichtbeachtens und Vergessens, sondern ein Phänomen der Selbststrukturierung von raum-zeitlich diskreten Sequenzen von Tätigkeiten und ihren Ergebnissen. Ja, sie gehört als eine „Lücke“ bzw. Diskontinuität unter anderen zum Muster der raum-zeitlichen Anordnung von konvergierenden Entdeckungen und diskreten



Abbildung 7: Zahl der Publikationen als Funktion der Zeit

Forschungssequenzen. Erst ein gewisses Maß der makrostrukturellen Ordnung der Wissenschaft, ließ eine integrative Frage mit hohem Rückkopplungsniveau entstehen. Diese Frage wurde in gewissem Sinne durch ein jahrzehntelanges konvergentes Driften verschiedener Forschungssequenzen vorbereitet. Aber dies geschah hinter dem Rücken derjenigen, die diese Ordnung bewirkten, denn sie verfolgten alle gesonderte Ziele. Die makrostrukturelle Ordnung indes „suchte“ ihr eigenes Ziel, und „drängte“ eines Tages einen der Beteiligten, sich dieses Ziel anzunehmen.

Für den Auftritt der Revolution gab es einen Wahrscheinlichkeitsraum, der aufgrund von Plausibilitätserwägungen gedeutet werden kann. (Vgl. Abb. 7,8)

##### 5. Die Entstehung einer Handlungssequenz mit Schwellwertfunktion in der Koevolution von Mikro- und Makrostruktur

Wie wurden die Entscheidungsexperimente zum Penicillin zur Schwelle einer neuen Entwicklung von Wissenschaft, Technologie und Sozialem ?

In FLOREYS Labor waren zur Zeit der entscheidenden Experimente die informationellen (verschiedenes fachwissenschaftliches Wissen) und materiellen (technische Ausrüstung, Agenzien etc.) Gegebenheiten des vorangegangenen

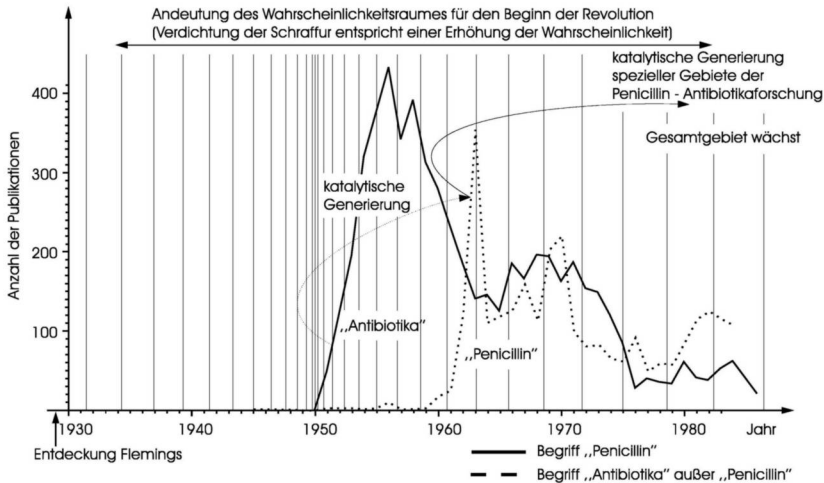


Abbildung 8: Fiktive Darstellung einer anderen möglichen Konstellation der Entwicklung im Wahrscheinlichkeitsraum

makrostrukturellen Spielraumes rückkoppelnd als Voraussetzung eingebunden. Sie sind in gewisser Weise in den informellen und materiellen Ergebnissen dieser Experimente verschwunden oder im HEGELSchen Sinne *aufgehoben*.

*Viele* vorangegangene getrennte Handlungen mit ihren in mehreren Jahrzehnten verstreuten Ergebnissen, die sich in unterschiedlichen Richtungen entfaltet bzw. entwickelt hatten, erfuhren jetzt ihre Einfaltung bzw. Einwicklung in *eine* Handlungs- und Ereignissequenz. Die latente Konvergenz (unsichtbare Potenz gegenseitiger Ergänzung) in vergangenen, divergenten, programmatischen Forschungssequenzen, kommt jetzt zum Vorschein, tritt heraus aus ihrer Unsichtbarkeit und bildet die Schwelle für neue Handlungsprogramme.

Das Antibiotika-Gebiet hätte nicht nur auf verschiedenen Wegen der Penicillium-Forschung entstehen können, sondern auch durch die Erst-Entdeckung einer anderen hochwirksamen, antibakteriellen Substanz, z.B. durch die Erst-Entdeckung des *Streptomycin*.

Demnach war die Entstehung der Antibiotikaforschung als revolutionäres Ereignis nicht notwendig von FLEMINGs Entdeckung des Penicillins abhängig. Ein zwingender Grund für diese Annahme ist, dass die Antibiotika aus mehreren, verschiedenen Forschungssequenzen hervorgegangen sind. Jede von ihnen hätte mit einem Ergebnis, das der integrativen Wirkung der Ergebnisse aus der Gruppe

um FLOREY vergleichbar gewesen wäre, die sichtbare Entstehung einer neuen Forschungsstruktur auslösen können. Der Zufall ließ die Entwicklung über FLEMINGs Entdeckung laufen, und er verlieh der makrostrukturellen Ordnung einen entsprechenden Modus.

Bezeichnend für diese makrostrukturelle Ordnung ist eine Aussage von CHAIN, dessen fundamentale Arbeiten zur Biochemie des Penicillins die erste Grundlage für eine konzentrierte Penicillin-Forschung schufen:

„I believe that the field of microbial antagonism had become ripe for study when we started our own investigations in 1938. The existence of antibacterial substances produced by micro-organism had been well documented with many examples, and it was obvious interest to study their biological and biochemical properties. We would have started our research programme on these substances even if FLEMINGs paper had not been published, and if we had not done so, someone else in some other laboratory in the world would have taken the initiative.“ (CHAIN 1971: 302)

Die tendenziell zunehmende Beschäftigung mit antibakteriellen Substanzen, folgte der makrostrukturellen Genesis von Forschungen zum Problem des mikrobiellen Antagonismus – zunächst unabhängig vom Auftauchen FLEMINGs. In diesem Spielraum gab es mannigfache mikrostrukturelle Konstellationen, die gemeinsam zur revolutionären Entwicklung drifteten. Ohne FLEMINGs Entdeckung wäre auf einem anderen Pfad der Schwellwert für den Ausbruch der Revolution erreicht worden und eine neue integrative Sicht entstanden. In Bezug auf die makrostrukturelle Konstellation war der Fund eines anderen bakteriellen Antibiotikums eigentlich wahrscheinlicher als die Entdeckung FLEMINGs.

Bei genauer Betrachtung der Situation waren die Arbeiten von WAKSMAN langfristig und systematisch angelegt. Es war nur eine Frage der Zeit, wann das *Streptomycin* aus seiner Forschungssequenz hervorgehen würde. Eine Kombination der Fragestellung von CHAIN und den zu erwartenden Befunden zum *Streptomycin* lag näher als die Kombination mit der unbeschreiblich zufälligen Entdeckung von FLEMING. Mehr noch, eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung der Forschungskonstellation lässt eine Möglichkeit der umgekehrten Entwicklung viel plausibler erscheinen. Ohne FLEMINGs Entdeckung wären die bakteriellen Antibiotika, wegen der systematischen Arbeiten auf dem Gebiet, zuerst aufgetreten; es hätte eine Aktivierung des Spielraumes des mikrobiellen Antagonismus von dieser Seite her stattgefunden.

Dabei wäre man wegen der längst existierenden Beschäftigung mit bakteriziden Stoffen in der Biologie auch auf die Schimmelpilze gestoßen, hätte sie systematisch durchforstet, und wäre auf diese Weise zunächst auf die Vorgeschichte des Penicillins und dann durch programmatische Forschungen auf das Penicillin

selbst gestoßen. Es hätte eine katalytische Wirkung von den bakteriellen Antibiotika auf die Penicillin-Forschung gegeben – und damit nur eine gewisse Umkehrung der Vorgänge innerhalb des in sich ziemlich stabilen Spielraumes.

Mit der Zufalls-Entdeckung von FLEMING vollzog sich indes eine eher weniger wahrscheinliche Entwicklung, zumindest wenn man die Gesamtkonstellation des konvergenten Driftens der verschiedenen Forschungsformationen betrachtet. Es bedurfte schon dieses ungewöhnlichen Zufalls, um dem Wahrscheinlichkeitsraum der Entwicklung einen entsprechend anderen Modus zu geben.

Die in Abb. 7 dargestellten Funktionen hätten dann wegen der umgekehrten Genesis des Vorganges eine umgekehrte Anordnung in der Reihenfolge. Die Antibiotika – Funktion wäre wegen des fehlenden zusätzlichen Anreizes seitens des Penicillins auf einen späteren Zeitpunkt verlagert, und die Penicillin – Funktion würde ihr in irgendeinem Abstand folgen (Vgl. Abb. 8). Dass die Geschichte nicht so, sondern umgekehrt verlaufen ist, hat ein Zufall bewirkt, von dem aber die Revolution in makroskopischer Sicht nicht abhängig war. Für ihren Auftritt gab es einen Wahrscheinlichkeitsraum, dessen zeitliche und räumliche Dimension zwar nicht scharf abgebildet werden kann, der aber – dessen ungeachtet – auf der Grundlage von logischen Plausibilitätserwägungen im Gedankenexperiment konstatierbar ist (Vgl. Schraffur in Abbildung 7 und 8). Der Scheitel dieses Wahrscheinlichkeitsraumes ist zeitlich genau so wenig festlegbar, wie die Gesamtheit der Entwicklungsmöglichkeiten der sequentiellen wissenschaftlichen Handlungen, die aus dem koevolutiven Zusammenspiel ihrer mikro- und makrostrukturellen Gestalt hervorgehen. Die Diskontinuitäten sind gewissermaßen die strukturellen Zwischenräume (Netzwerk-Verdünnungen) zwischen den Handlungssequenzen. Sie werden durch mannigfache Rückkopplungsschleifen überbrückt, so das sich das Handlungs-Ereignis-Gefüge auf diese Weise wandelnd stabilisiert.

## *6. Revolutionärer Strukturumbruch – Umschlag einer gestreuten in eine komplexe Struktur*

Wie entwickelte sich ein revolutionärer gesellschaftlicher Handlungszyklus von Wissenschaft, Technik, Wirtschaft, Sozialem und Politik in den USA?

Der gesamte Reichtum gestreuter wissenschaftlicher Erkenntnisse und technischer Erfahrungen, die in die Entscheidungsexperimente der sozialen Anwendung einmündeten und auf diese Weise in die Ergebnisse eingefaltet waren, drängte jetzt zu einer integrativen Entfaltung in einem komplexen Programm von Wissenschaft, Technik, Wirtschaft, Sozialem und Politik.

Was zuvor an gesellschaftlichen Ressourcen für gestreute wissenschaftliche Programme voraussetzende Bedingung für Entdeckung und Erfindung war, ist jetzt in integrierten Programmen zwecksetzende Bedingung der Entfaltung bzw. Entwicklung von Technik, Produktion und sozialer Verwertung. Unter diesem Aspekt ist keiner der gesellschaftlichen Bereiche zu irgendeiner Zeit autonom oder operational geschlossen.

Das Penicillin-Programm wurde während des Zweiten Weltkrieges – ähnlich wie das Programm zur Entwicklung der Atombombe – als „Geheimwaffe“ behandelt. Geheimverträge zwischen den USA und England waren das Fundament für eine Informationsbarriere, die die übrige Welt, insbesondere die der Gegner im Kriege vom Anteil an den erreichten wissenschaftlichen und technologischen Fortschritten weitgehend ausschloss.

Denn fast zur gleichen Zeit als FLOREY sich – ungewiss, was die nächste Zeit bringen würde – auf den Weg in die USA begab (26. Juni 1941), unterzeichnete deren Präsident ROOSEVELT die Exekutivordnung Nr. 8807, durch die das „Office of Scientific Research and Development“ (O.S.R.D.) gegründet wurde. Dieses Amt wurde beauftragt, für die Forschung über wissenschaftliche und medizinische Probleme, die für die nationale Verteidigung relevant sind, Fürsorge zu tragen. Als Direktor wurde Dr. Vannevar BUSH berufen. Präsident ROOSEVELT und Dr. BUSH brachten eine ausgewählte Gruppe von Leuten zusammen, die aus zweiundvierzig wissenschaftlichen und beratenden Komitees und Räten stammten. Zusammen mit dem Nationalen Forschungsrat formten sie das „O.S.R.D. Committee on Medical Research (C.M.R.)“. Vorsitzender des C.M.R. wurde Dr. A. Newton RICHARDS. Das Komitee sollte die Forschungsinteressen der Mediziner mit den pragmatischen Bedürfnissen der Militärs ausbalancieren.

Programme wurden vom Komitee nur dann bestätigt, wenn nachgewiesen werden konnte, dass die zu erwartenden Ergebnisse die militärische Position der Alliierten verbessern halfen. Die schwierigste Entscheidung, die die Kommission zu treffen hatte, betraf bald das Penicillin.

Die einzelnen Etappen der Konvergenz von politischem und wissenschaftlichem und industriellem Handeln wurden mit der Ankunft von FLOREY und HEATLEY in den USA eingeleitet.

Am 7. August besuchte er A.N. RICHARDS, der Professor für Pharmakologie an der Universität von Pennsylvania war, und in dessen Labor FLOREY bereits fünfzehn Jahre früher einige Monate gearbeitet hatte. Diese alte Verbindung war jetzt von besonderem Wert, da RICHARDS kurz zuvor zum Vorsitzenden des neugebildeten Committee on Medical Research (C.M.R.) berufen worden war, einer Abteilung vom Office of Scientific Research and Development (O.S.R.D.). Dieses war durch Anweisung des Präsidenten vom 28. Juni 1941 geschaffen worden,



um die wissenschaftliche Forschung zu medizinischen Problemen, die die nationale Verteidigung berühren anzuregen und zu fördern. (RICHARDS 1964:442)

Das C.M.R. entschied früh, die Produktion des natürlichen Penicillins kommerziellen Firmen zu übertragen; die stärker spekulativen Forschungen zur Struktur und möglichen chemischen Synthese des Penicillins jedoch unter die strenge Kontrolle des O.S.R.D. zu bringen. Syntheseprogramme sollten von den Fermentierungsprogrammen möglichst stark getrennt gehalten werden, obgleich dadurch höhere Kosten veranschlagt werden mussten. RICHARDS und BUSH gingen von der simplen Annahme aus, dass seitens des kommerziellen Interesses das Penicillin nicht von den zu klärenden Grundfragen her entwickelt werden würde.

Trotz aller Einschränkung war die Überzeugung verbreitet, die Deutschen und Japaner würden die Penicillinindustrie entwickeln. Begründet sah man diese Annahme durch die vorhandenen Voraussetzungen, die diese Länder hatten, die deutsche Bierproduktion und die japanische Sake-Industrie; sie beruhten auf hochentwickelten Fermentierungsmethoden. Zudem legten beide Länder großen Wert auf technologischen Fortschritt. Darüber hinaus verfügten die Deutschen über lange Erfahrungen in der organischen Chemie und Chemieindustrie.

Und zu den ersten Publikationen über das Penicillin hatten alle noch leichten Zugang.

Die meisten der genannten Gründe wären sicher ausreichend gewesen, bei freiem wissenschaftlichen Verkehr und bei Abwesenheit der besonderen Situation des Krieges einen relativen, den nationalen Ressourcen gemäßen, kontinuierlichen internationalen Fortschritt im Penicillinprogramm zu bewirken. Die Einschnitte der Kriegssituation verstärkten aber den diskontinuierlichen Fortschritt zusätzlich, der sonst nur durch die nationalen Voraussetzungen spezifisch modifiziert worden wäre.

Die Behandlung der Kriegsverwundeten mit Penicillin begann am 1. April 1943.

Am 16. Juli 1943 wurde durch das Büro für Pharmazetika und Kosmetika der Behörde für Kriegsproduktion angeordnet, den gesamten industriell hergestellten Arbeitsertrag an Penicillin, den Bedürfnissen entsprechend an die Armee, die Marine, den öffentlichen Gesundheitsdienst und die O.S.R.D. (C.M.R.) gerecht zuzuordnen.

Von Juni bis Dezember 1943 wurde die Penicillinproduktion gegenüber Januar bis Mai 1943 um mehr als 5000% gesteigert. Und Ende April 1944 konnte der Bedarf von Armee und Marine befriedigt werden. (Vgl. Abb. 9, 10, 11)

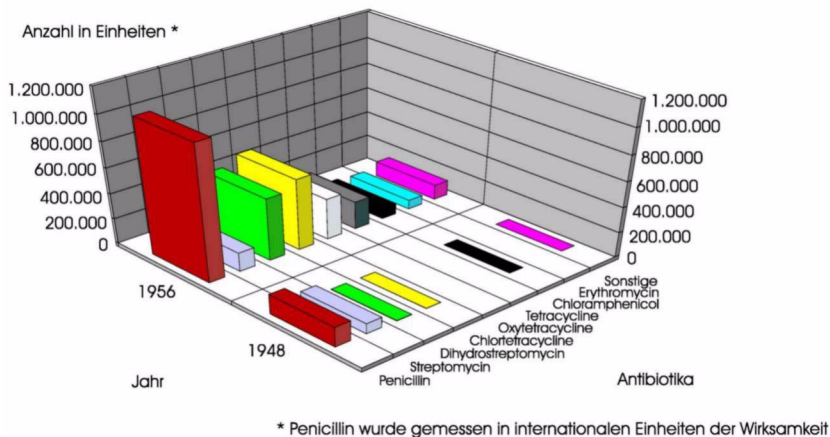


Abbildung 9: Antibiotika-Produktion – (1948–1956)

## 7. Die Diskontinuität als strukturelles Phänomen sozial-politischer Differenzen

Wie bestimmten die spezifischen nationalen Bedingungen die internationale Ausbreitung der Innovation?

Die extreme Situation des Krieges ließ die spezifischen nationalen Zusammenhänge von gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Entwicklung besonders hervortreten, denn die zugespitzten Verhältnisse im Krieg steigerten die Bindungen von Wissenschaft und Gesellschaft. Aber diese Bindungen wurden erst Jahrzehnte später sichtbar, nachdem die Archive allmählich geöffnet wurden.

Die differenzierte Gestalt der medizinischen Revolution zeigt sich als abhängige Variable von nationalen, wissenschaftlichen, technologisch-industriellen, wirtschaftlichen, sozialen, militärischen und politischen Bedingungen.

### 7.1 Großbritannien

Während FLOREY und HEATLEY in den USA weilten, wurde die Laborproduktion von Penicillin auch in Oxford fortgesetzt.

In der Zeit zwischen 1944 und 1945 soll „Penicillin“ im Lande seiner Geburt den Rang eines Haushaltswortes erlangt haben (HOBBY 1985: 125). Anfänglich indes registrierte die britische pharmazeutische Industrie das Penicillin im Ver-

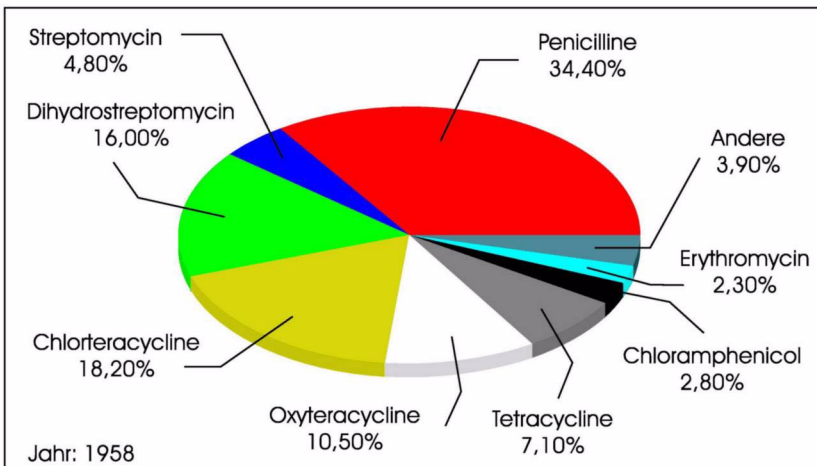
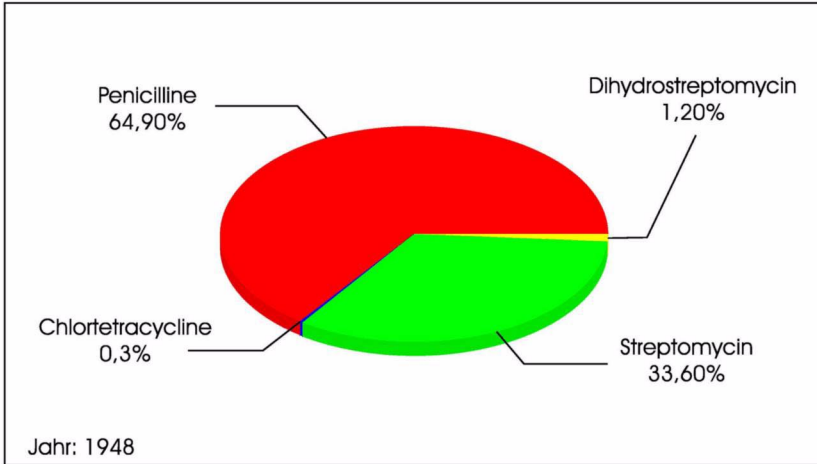


Abbildung 10: Antibiotika-Produktion (Anteile in Prozent: 1948–1956)

laufe jenes Jahres, das zwischen dem ersten Bericht von Oxford am 24. August 1940 und dem zweiten am 16. August 1941 in der Zeitschrift „The Lancet“ lag.

Die angespannte Situation der britischen Industrie durch die Erfordernisse der Kriegsproduktion hatten jedoch FLOREY überzeugt, dass ein schneller Fortschritt – wenn überhaupt – eher in den USA erreichbar sei.

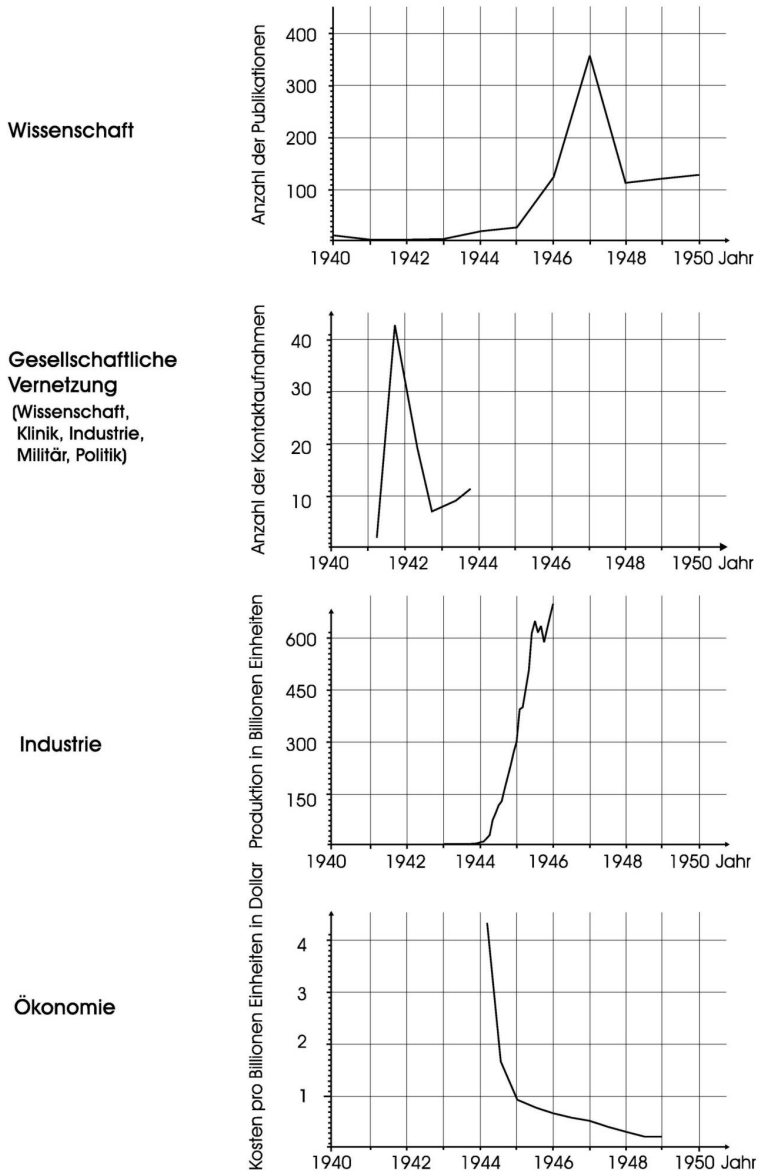


Abbildung 11: Korrelative Entwicklung zu Beginn der Penicillin-Revolution

Anfangs – solange das Penicillin-Programm noch mit nicht übersehbaren Unsicherheiten behaftet war – wirkte der Krieg eher hemmend auf das Forschungsprojekt, denn stimulierend.

Ein Leitartikel über das Penicillin, der am 27. August 1942 in *The Times* erschien, machte die britische Öffentlichkeit auf FLEMINGs Entdeckung aufmerksam. Nachdem durch FLOREYs Reise in die USA bereits intensive Vorbereitungen für Forschung und Produktion getroffen wurden, musste die britische Seite befürchten, in der Nutzung einer Entdeckung, die aus ihrem Lande stammte, hinterher zu bleiben. Aber der damit eingeleitete Disput war nicht nur ein Symptom der Wahrung nationaler Interessen, sondern auch von offenkundig werdenden persönlichen Konflikten, die wegen der Anteile an der Entdeckung und möglichen Anwartschaft auf den Nobelpreis entstanden, der 1945 an FLEMING, FLOREY und CHAIN verliehen wurde.

### 7.2 *Australien*

Die australische Geschichte des Penicillins beginnt im Oktober 1943. Major Percival BAZELEY saß in einem Panzer im nördlichen Neu Guinea, als ihn eine Nachricht vom Hauptquartier in Melbourne erreichte. Es kam keine Anweisung über eine Kriegsoperation, indessen sollte er sich auf der Stelle in die Vereinigten Staaten begeben, um die Möglichkeiten der Penicillinproduktion zu erkunden.

Im Mai 1944 rief Winston CHURCHILL eine Imperial Conference in London ein. Vertreten war auch der australische Premierminister John CURTIN. Dieser hatte offenbar von General BLAMEY, dem Australian commander-in-chief einen Hinweis auf FLOREY und das Penicillin erhalten (BICKEL 1972: 223). Daraufhin erkundigte sich CURTIN bei FLOREY, ob er nicht Australien in dieser Angelegenheit besuchen könne. Für FLOREY bedurfte es keiner besonderen Überredung; er betrachtete es wohl als ehrenvolle Pflicht, seiner Heimat diesen Dienst zu erweisen, nachdem er sich bereits eines öffentlichen Ansehens erfreute.

### 7.3 *Sowjetunion*

Einige Monate nach der Teheraner Konferenz (28. November 1943) zwischen CHURCHILL, STALIN und ROOSEVELT, der politischen und strategischen Beratung der drei Großmächte, begannen Aktivitäten auf anderen Ebenen. Die Beziehungen zwischen der Sowjetunion und den zwei Alliierten waren gespannt und von Misstrauen geprägt. Das änderte sich, als es darum ging, von der sowjetischen Seite eine zweite Front zu eröffnen, um den deutschen Faschismus niederzuschlagen. In der Atmosphäre des „Auftauens“ erging im Sommer 1943 seitens der sowjetischen Regierung eine Einladung an eine anglo-amerikanische wissen-

schaftliche Gesandtschaft. Jedes Land entsandte 2 Vertreter. FLOREY wurde ausgewählt, das britische Team zu leiten.

Am 23. Dezember 1943 verließen FLOREY und SANDERS Oxford mit Dosen an Penicillin.

Die anglo-amerikanische Abordnung traf auf eine spezifisch sowjetische Entwicklung des wissenschaftlichen Aufnahme und des Erfolgs der Antibiose-Problematik.

Das Interesse an der Antibiose als einer potentiellen neuen Quelle chemotherapeutischer Medikamente wurde nicht durch die Entdeckung des Penicillins, sondern – wie bereits in Amerika – durch eine andere Entdeckung geweckt, nämlich der Isolation von Tyrothrizin, die DUBOS im Jahre 1939 gelungen war.

Auf die weitere Entwicklung übte auch hier die Situation des Krieges einen Einfluss aus. Die Behandlung der hohen Zahl an Kriegswunden rückte die Erforschung und Herstellung chemotherapeutischer Medikamente in den Vordergrund der medizinischer Forschung. Deshalb wurde im Januar 1942 ein Institut für Tropische Medizin eingerichtet, das sich der Erforschung der Antibiotika widmete und das *Gramicidin S* entwickelte

Anfang 1943 wurden 1500 Fälle in 10 sowjetischen Krankenhäusern behandelt und im Juli gab der Medizinische Forschungsrat der UdSSR das *Gramicidin S* formal frei für die allgemeine medizinische Anwendung. Im Zusammenhang mit dieser Entwicklung wurde die Großproduktion in der Industrie organisiert. Für den Gebrauch von Gramicidin S wurde im November 1943 ein Handbuch herausgegeben. Gramicidin S blieb für mehrere Jahre das Mittel der Wahl bei der Behandlung der Kriegsverletzten, wie in Deutschland die Sulfonamide und in England/Amerika zunehmend das Penicillin, bevor dieses sich nach dem Krieg international durchsetzte (GAUSE 1980: 91).

#### 7.4 Deutschland

Fast eine Million deutsche Soldaten wurden an den Fronten in der Sowjetunion verwundet, doch kein einziger von ihnen konnte mit Penicillin behandelt werden.

Erst nach dem Kriege kam es unter Beteiligung von Deutschen und Amerikanern zu einem illegalen Schwarzmarkt. Und das meiste dieses Penicillins wurde aus dem Urin von behandelten amerikanischen Soldaten auf dem Weg von Krankenhäusern über die Berliner Firma SCHERING gewonnen.

Was den deutschen Wissenschaftlern und potentiellen Herstellern über das Penicillin zugänglich war, das hatte sich im wesentlichen auf die Veröffentlichung FLEMINGS und FLOREYS beschränkt. Hinzugekommen waren gelegentliche Auf-

sätze Dritter in Fachzeitschriften, in „Nature“ und „Lancet“, „British Journal of Experimental Pathology“ und „Biochemical Journal“. An eine Penicillinherstellung im industriellen Modus war mit diesen Informationen nicht zu denken. Es gab Anhaltspunkte, Hinweise, Fingerzeige, so dass die Richtung des Geschehens vermutet werden konnte. Nach dem „top secret“, als die Nachrichtensperre durch die amerikanisch-englischen Vereinbarungen verhängt war, versiegten jedoch auch diese Informationsquellen.

Über der ersten Publikationen der Gruppe von FLOREY von 1941 in „Lancet“, gelangte ein nachrichtendienstlicher Bericht des deutschen Geheimdienstes zu Heinz ÖPPINGER, der sich als erster mit dem Penicillin in Deutschland befasste. Zwei Jahre lang hatte er als Assistent bei dem Nobelpreisträger Hans FISCHER in München gearbeitet. Für die Fa. HOECHST forschend, gelang es ihm, einen penicillin-produzierenden Pilz zu identifizieren und aus diesem winzige Mengen von Penicillin zu extrahieren.

Unter großer Anstrengung konnte bei HOECHST im Jahre 1944 eine Monatsproduktion erreicht werden, die für die Behandlung von achthundert bis neunhundert Kranken ausreichte. Angesichts des inzwischen entstandenen Bedarfs war das sehr wenig.

Die Gesunderhaltung der Bevölkerung wurde unter den Nachkriegsbedingungen 1946 ein erstrangiges Problem. In den Westsektoren war die amerikanische Armee für Gesundheit verantwortlich. Die Firma SCHERING bekam einen Vertrag mit den amerikanischen Militärhospitälern, die gesamte Menge des Urins käuflich zu erwerben und unter Aufsicht der Besatzungsmacht, Penicillin durch Rückgewinnung aus dem Urin zu produzieren.

Doch angesichts des Bedarfs in den zivilen Krankenhäusern war das auf diese Weise gewonnene Penicillin nicht mehr als ein Tropfen auf den heißen Stein.

Die Farbwerke HÖCHST waren nicht der einzige Ort, an dem deutsche Forscher nach Penicillin suchten. Dort hatte man 1942 begonnen. Etwa zur gleichen Zeit begann Dr. Hans KNÖLL mit den Arbeiten in Jena.

Sein Hauptaugenmerk galt der Erforschung von Krebserkrankungen. Damit im Zusammenhang wurde er 1942 durch ein Referat im „Chemischen Zentralblatt“ auf die englischen Arbeiten zum Penicillin aufmerksam. KNÖLL wollte sogleich auch diese Substanz auf ihre Wirksamkeit gegen Krebs prüfen. Sie war aber nicht zu beschaffen. Deshalb versuchte er sie selber herzustellen. Ende des Jahres 1942 gewann er eine geringe Menge stark verunreinigtes Penicillin im Labormaßstab (ARCHIV Jenapharm, A50).

So bemerkenswert die individuellen wissenschaftlichen Leistungen in Deutschland waren; gemessen am gigantischen, amerikanisch-britischen Programm, ausgeschlossen von deren Informationen und ohne wesentliche staatliche

Stützung während der Kriegsjahre, blieben die Versuche der Penicillinherstellung in Deutschland vergleichsweise sehr bescheiden. Während des Krieges jedenfalls war es in Deutschland nicht möglich, ein großes nationales Forschungsprogramm zu organisieren.

Die deutsche Penicillin-Revolution, sowohl wissenschaftliche, als auch industrielle, entfaltete sich erst nach dem Kriege unter amerikanischer Obhut und Lizenz.

### *7.5 Japan*

Japan hatte während des 2. Weltkrieges ein Organisationssystem eingerichtet, das neue wissenschaftliche Informationen über die japanischen Botschafter nach Tokio zu übermitteln hatte. Alles was unter Kriegsbedingungen verfügbar war, wurde durch Kabel, per Post über die Schweiz oder rückkehrende Diplomaten besorgt. Es gab keinen normalen, direkten internationalen Wissenschaftsbetrieb. In der „Klinischen Wochenschrift“ 7 (1943) erschien ein detaillierter Bericht über Antibiotika von Manfred KIESE, der auch die ersten Publikationen der Oxforder Gruppe über das Penicillin enthält.

Die japanische Organisation verfügte über ein angemessenes Budget, um etwa 1000 Bücher und Journale zwischen September 1943 und 1944 zu übermitteln. Im Juni 1943 schickte Japan ein Unterseeboot nach Hamburg, wo der in Berlin stationierte japanische Militärattaché deutsche und britische wissenschaftliche Berichte auf das Schiff brachten. Wegen der verschärften Transportschwierigkeiten in dieser Zeit gelangte das Heft mit dem Bericht von KIESE offenbar mit einem Mitarbeiter der japanischen Botschaft auf das U-Boot „J-8“ der Japaner, das am 5. Oktober 1943 von Brest auslief und am 21. Dezember 1943 in der Nähe von Hiroshima ankam.

In Japan etablierte sich die Penicillinforschung hauptsächlich über eine sich konstituierende Penicillinkommission, die aus achtzehn nichtmilitärischen Forschern und zehn Offizieren des medizinischen Dienstes, der militärmedizinischen Schule und des Kriegsministeriums bestand.

Die Situation ähnelte auch in dieser Hinsicht der britischen im Herbst 1940. Denn verstärkte Luftangriffe zerstörten Industrieanlagen. Anfang Januar 1945 errichtete die Banyu Pharmaceutical Company einen kleinen Penicillin-Betrieb in Okazaki, indem sie eine Seidenfabrik entsprechend umbaute.



## 8. Versuch einer theoretischen Fassung der strukturellen Dynamik des Handlungsgefüges

„Make it as simple as possible,  
but not simpler.“

ALBERT EINSTEIN

### 8.1 Die Handlungs-Ereignis-Struktur als Netzwerk

Wie kann der historische Vorgang als Netzwerk dargestellt werden?

#### 8.1.1 Das Netzwerkverfahren GERT

Das in *Abb. 12* und *13* dargestellte Netzwerk zeigt *eine* Möglichkeit, die Struktur von Handlungen in der Forschung zu erfassen. Der Versuch einer Rekonstruktion des forschenden Handelns wurde auf der Grundlage einer historischen Beschreibung des Vorganges unternommen. Als Instrument der Rekonstruktion dienten einige wesentliche Elemente des stochastischen Netzwerkverfahrens GERT (Graphical Evaluation and Review Technique).

Dieses Verfahren wurde ursprünglich von Mathematikern der NASA für die Forschungsplanung entwickelt. Vgl. (VÖLZGEN, DICK, ZIMMERMANN 1969), (VÖLZGEN, DICK 1969), (ZIMMERMANN, VÖLZGEN 1972), (MEHNERT, WOLF 1983)

Als Elemente wählen wir historiographisch ausgewiesene Tätigkeiten und Ergebnisse einerseits und Elemente einer Logik andererseits, die es gestatten, die Verbindungen der Tätigkeiten und Ergebnisse darzustellen.

Eingangsseite \ Ausgangsseite		Ausgangsseite		
		exklusives oder	inklusives oder	und
deterministisch	▷	◁	◂	◃
stochastisch	▷	◁	◂	◃

#### *exklusives oder*

Jede auf den Knoten zulaufende und ausgeführte Aktivität kann die Realisierung des Knotenergebnisses bewirken. Ein gleichzeitiges Eintreffen von zwei oder mehr Kanten ist per Definition ausgeschlossen, so dass in einem bestimmten Zeitpunkt jeweils nur eine Kante einlaufen und das Knotenergebnis auslösen kann.

*inklusives oder*

Jede auf den Knoten zulaufende und ausgeführte Aktivität kann zur Realisierung des Knotenergebnisses führen. Ausgelöst wird das Ereignis durch die zuerst Eintreffende Kante, d.h. dieser Knoten ist ein Minimumoperator.

*und*

Das Knotenergebnis tritt erst dann ein, wenn alle Aktivitäten, die durch die einlaufenden Kanten repräsentiert werden, ausgeführt sind (Maximumoperator).

*deterministisch*

Alle von dem Knoten wegführenden Aktivitäten müssen ausgeführt werden, nachdem das Knotenergebnis eingetreten ist, d.h. jede dieser Aktivitäten besitzt einen Wahrscheinlichkeitsparameter von  $p=1,0$ .

*stochastisch*

Nachdem das Knotenergebnis eingetreten ist, wird nur eine der wegführenden Aktivitäten ausgeführt.

Mit Hilfe der Kanten und logischen Knotenelemente ist es möglich, einen zufallsbedingten, mit Unsicherheit behafteten Prozess anschaulich darzustellen.

Das abgebildete Netzwerk ist ein Versuch, die historiographisch gut recherchierten Handlungsfolgen auf der Grundlage der beschriebenen Tätigkeiten strukturell und anschaulich zu erfassen.

Das Netzwerk erbrachte zunächst die bildhafte Vorstellung einer Möglichkeit, Handlungsstrukturen der Forschung zu erfassen. Sie zeigt eine *Genesis, Logik* und *Vernetzung* von Tätigkeiten, die als Manifestation eines kaum nachvollziehbaren sozio-kulturellen Hintergrundes von Beziehungen zustande gekommen sind. In ihrer Struktur der Genesis, Logik und Vernetzung repräsentieren sie einen eigenständigen Inhalt, der nicht einfach mit dem Komplex der zugrundeliegenden sozialen Entstehungsbedingungen zusammenfällt – sowenig wie die Strukturen einer Landkarte als Inhalt mit dem Komplex der zugrundeliegenden geographischen Entstehungsbedingungen einfach zusammenfällt.

*8.2 Die Forschungssequenz von Fleming im GERT-Netzwerk*

Abbildung 12 zeigt die Netzwerkstruktur der Forschungssequenz von FLEMING, die aus seiner Zufallsbeobachtung (Knoten 55) entstanden ist.

Die nächste wichtige Aufgabe von FLEMING war, den Stamm des Schimmelpilzes zu sichern. Dies musste notwendigerweise für den Fortgang der Arbeit geschehen, daher ist der Knoten deterministisch. Der vermehrte Schimmelpilz war der Ausgangsbasis für verschiedene Subsequenzen der Forschung: die Erkundung

- (a) der Wirkung des Schimmels auf verschiedene Bakterien (Knoten 59–62),
- (b) der bakteriziden Wirkung von Nährlösungen (Knoten 63–68),

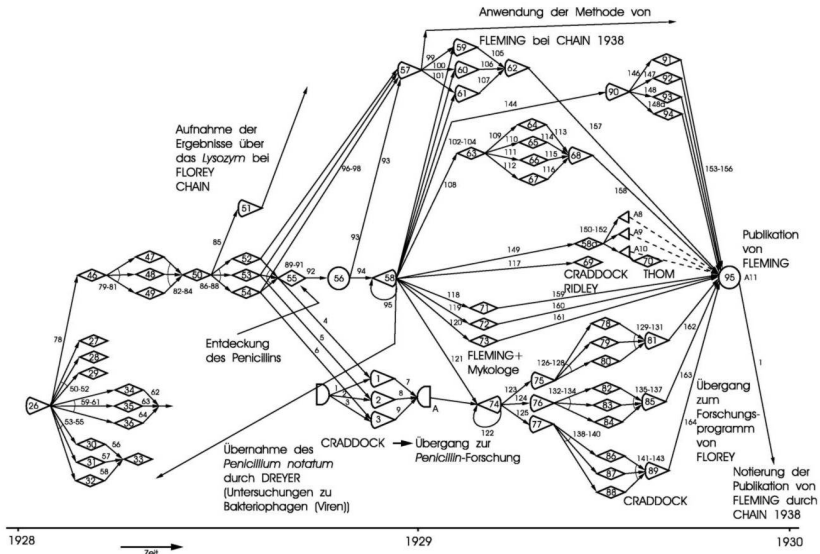


Abbildung 12: Die Entdeckung des Penicillins – Netzwerk des Forschungsprogramms von Fleming

- (c) von Möglichkeiten der Extraktion, die nicht gelang und abgebrochen werden musste (Knoten A8 – A10),
- (d) der bakteriziden Wirkung anderer Schimmelpilze (Knoten 71–73),
- (e) der Wirkungsabhängigkeit des Schimmelsaftes vom Wachstumsstadium, von Temperaturen, von Nährböden. (Knoten 74- 89)

Da die alternativen Untersuchungen parallel verlaufen und eine Selektion der Ergebnisse stattfindet, die das weitere Vorgehen bestimmen, ergibt sich eine zyklische Struktur, die sich – der Genesis des Netzwerkes entsprechend – hierarchisch formiert.

Der separate Schlüssel des Netzwerkes (Abbildung 12) befindet sich im Anhang.

### 8.3 Das beginnende Penicillin-Forschungsprogramm im GERT-Netzwerk

Abbildung 13 zeigt das umfassendere Netzwerk, wovon die zuvor betrachtete Sequenz von Fleming ein Teil ist.

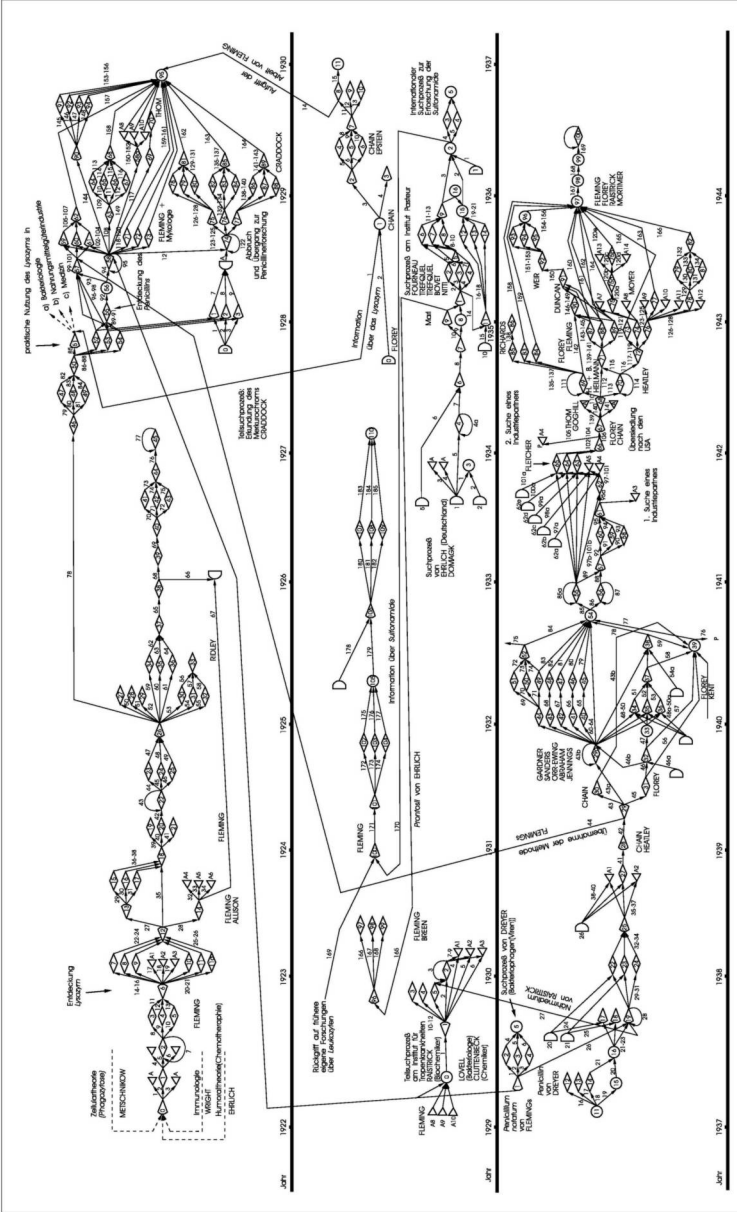


Abbildung 13: Netzwerk der Entstehung des Forschungsprogramms Penicillin

Wir sehen, dass die einzelnen Sequenzen eine zyklische Struktur mit hierarchischer Gliederung aufweisen. Dabei ist die Struktur desto differenzierter je größer der Zyklus ist, den wir betrachten. Auffällig sind drei größere Sequenzen (Zyklen): diejenige von FLEMING (1929), zwei weitere der Gruppe von FLOREY. Der Zyklus (1940) schließt ab mit den gelungenen Tierexperimenten, die eine Voraussetzung des weiteren Programms waren; der darauf folgende Zyklus 1941–43 ist auf eine erste umfassende Erkundung des *Penicillins* und seiner Erprobung am Menschen zurückzuführen und schließt mit einer zusammenfassenden Dokumentation ab, in deren Anschluss die forcierte Kontaktaufnahme mit der Industrie einsetzte.

Symptomatisch für das sequentielle Driften ist nicht nur der stochastische Verlauf angesichts der Knotenrepräsentation, sondern auch die langfristigen Rückkopplungen; CHAIN: selektive Aufnahme der Publikation von FLEMING (Pfad 14 von CHAIN zu Knoten 95 von FLEMING); CHAIN: Information über das Lysozym im Rahmen seiner generellen Rückkopplung auf die verstreuten antibakteriellen Substanzen; CHAIN: Übernahme der Methode zur Toxizitätsprüfung von FLEMING (Pfad 44 von CHAIN zu Knoten 58 von FLEMING); CHAIN: Übernahme des verbesserten Nährmediums von RAISTRICK (Pfad 27 zu Knoten 2 von RAISTRICK); DREYER: Untersuchung des *Penicillium notatum* von FLEMING im Rahmen seiner Forschung zu den *Bakteriophagen* (Pfad 1 von DREYER zu Knoten 58 von FLEMING); CHAIN: Übernahme des von FLEMING stammenden *Penicillium notatum* von DREYER (Pfad 26 von CHAIN zu Knoten 1 von DREYER).

Die Diskontinuität zwischen der abgebrochenen Forschungssequenz von RAISTRICK und dem Beginn des Penicillin-Programms bei CHAIN ist analog zu der zwischen FLEMING und CHAIN – aber sie ist weniger spektakulär, deshalb eine der fast vergessenen. Doch: wäre RAISTRICK gelungen, was später CHAIN glückte, hätte er Nobelpreisträger werden können. Aber seine Befunde zum Penicillin haben dennoch ihren spezifischen Beitrag zur späteren revolutionären Entwicklung beigetragen.

Abbildung 14 zeigt die Logik des Forschungsprozesses von einer anderen Seite: die verschiedenen Anteile des stochastischen und deterministischen Verlaufs sowie den Anteil der Abbrüche. Abbildung 15 lässt die zyklische Struktur des Gruppenbildungsprozesses in Abhängigkeit von den parallelen und interdisziplinären Forschungshandlungen erkennen.

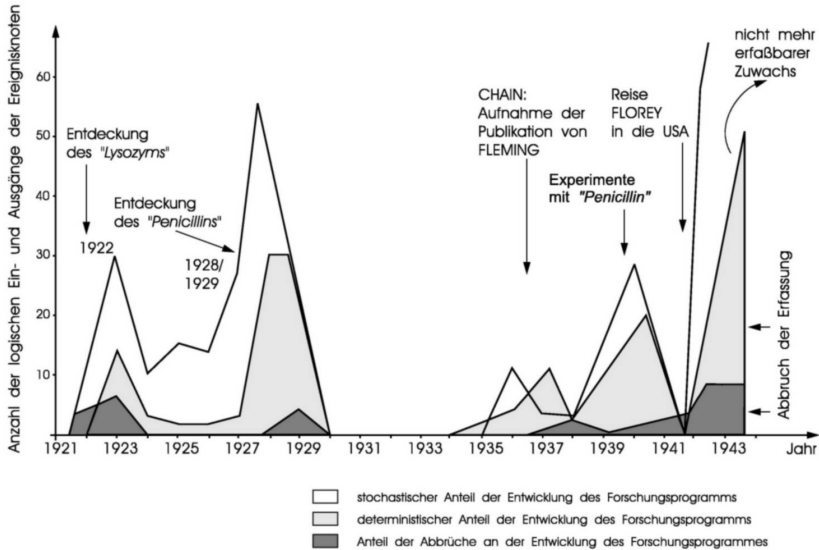


Abbildung 14: Anteil der stochastischen und deterministischen Entwicklung des Netzwerks

## 9. Grundzüge des hypothetischen Strukturmodells

„Diese fundamentale Verflechtung der einzelnen menschlichen Pläne und Handlungen kann Wandlungen und Gestaltungen herbeiführen, die kein einzelner Mensch geplant oder geschaffen hat. Aus ihr, aus der Interdependenz der Menschen, ergibt sich eine Ordnung von ganz spezifischer Art, eine Ordnung, die zwingender und stärker ist, als Wille und Vernunft der einzelnen Menschen, die sie bilden.“

Norbert ELIAS (1982:314)

### 9.1 Das Verhältnis von Entdeckung und Revolution Vorläufige Charakteristik

Die vorangegangene Strukturanalyse scheint zur Annahme folgender vorläufigen hypothetischen Grundzüge eines Strukturmodells wissenschaftlich-technischer Neuerungen zu berechtigen:

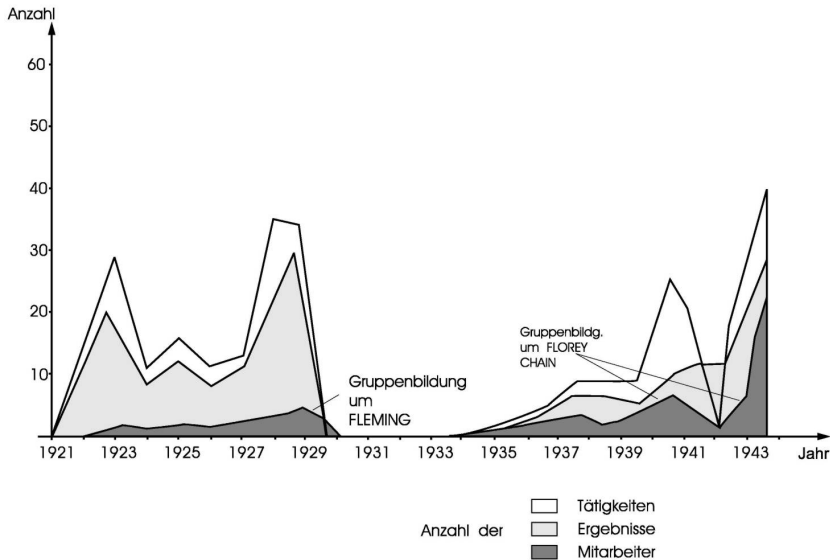


Abbildung 15: Entstehung des Forschungsprogramms „Penicillin“ (Gruppenbildung)

Der dominante Ausgangspunkt einer revolutionären Entwicklung in der Wissenschaft ist nicht *eine* Entdeckung – obwohl es oft so erscheint; auch nicht eine überschaubare Gesamtheit von Entdeckungen, sondern der Modus eines über lange Zeit sich selbststrukturierenden Raumes von konvergierenden, d.h. potentiell sich ergänzenden Entdeckungen und Erfindungen.

Dieser Raum

- ist unsichtbar, weil und solange er aus getrennten Diskursen besteht, deren Konvergenz noch keinen Beobachter hat;
- ist erst am Fuße der einsetzenden revolutionären Entwicklung partiell sichtbar, weil er schlagartig die Konvergenz des bislang getrennt Erschienenen in ein gemeinsames Blickfeld rückt und einen neuen Diskurs auslöst;
- ist erst durch den neuen Diskurs retrospektiv erschließbar, indem dieser einen neuen Aspekt der wissenschaftshistoriographischen Archäologie eröffnet;
- ist ohne Anfang und Ende, weil er ein Netzwerk darstellt, das sich zyklisch und heterarchisch zu Hierarchien formiert;
- ist seiner Natur nach in einer selbststrukturierenden Nahordnung (Mikrostruktur) und Fernordnung (Makrostruktur) befindlich, erzeugt durch die Beziehung von Agierenden und der Genesis des geteilten Arbeitsprozesses.

Die Revolution erscheint im Netzwerk als Scheitel zwischen Hyperzyklen: einerseits als die Ballung eines vergangenen Raumes von (aus der Sicht der Akteure) unverbundenen Forschungssequenzen (Konvergenz), die feld- bzw. raumartig gegliedert sind, und zwar heterarchisch im Entstehen (verborgen entstehender Hyperzyklus) und hierarchisch als Entstandenes (retrospektiv sichtbar gewordener Hyperzyklus); andererseits als die Verzweigung (Divergenz) eines entstehenden Raumes von komplex verbundenen Forschungssequenzen (entstehender Hyperzyklus). (Vgl. Abb. 1–6)

### *9.2 Strukturierung verschiedener Ganzheiten*

Der Totalität des Handlungsnetzwerkes liegt offenbar das Prinzip des Strebens zu immer neuen Ganzheiten verschiedener Größenordnung zugrunde. Dieses Prinzip könnte das *Prinzip der Hologenität* genannt werden. Es schafft eine spielraumartige Ordnung der Genese, für die die Begriffe teleologisch oder teleonomisch nicht eigentlich zutreffend sind. In komplementären Sinne werden in der divergenten Bewegung heterogene und in der konvergenten Bewegung homogene Ereignisse hervorgebracht, die wechselseitig ineinander eingefaltet sind. Solche Ganzheiten sind die eigentlich wirkenden „Wege“ der Entwicklung. Die einzelnen Pfade des Netzwerkes stellen daher etwas „Unvollständiges“, „Unfertiges“ dar; sie sind in der Gänze einer zyklischen Gesamtheit der Input für einen anderen Zyklus; sie sind stochastisch und als netzförmiger Zyklus determiniert. Das Prinzip stellt sich so dar, als sei ein übersubjektiver Puzzlespieler am Werk. Wenngleich von den einzelnen Akteuren abhängt, in welcher Konstellation sie Pfade beschreiten, so sind sie aber eingebunden in die Regeln des übersubjektiven Spielers; er bestimmt in dem von den Akteuren gesponnenen Netzwerk die Entwicklung des Spiels. Das Problem, mit dem wir es dabei unangenehmerweise zu tun haben, ist, dass die Akteure selbst zu den Elementen des Puzzles gehören und der eigentliche Spieler (der einer nicht individuellen Dimension angehörende „Gesamtarbeiter“) im Verborgenen agiert. Schlimmer noch, wir können einschlägige Spiele zu Rate ziehen, um den Vorgang besser zu verstehen; Spiele, wie sie z.B. von Manfred EIGEN und Ruthild WINKLER aufgeführt sind, um Strukturbildungen in der Molekularbiologie besser nachvollziehen zu können – in unserem Falle sind wir mikrostrukturell gesehen Spieler aber makrostrukturell Spielelemente des übersubjektiven Spielers. Dabei kennen wir zumindest zwei Spielregeln des Spielers. Eine Regel lautet: Baue Ganzheiten aus heterogenen, sich ergänzenden Elementen! Eine zweite Regel lautet: Baue die Ganzheiten so, dass größere kleinere enthalten können! Aber der Spieler hat auch zwei hintergründige Freiheitsgrade, einmal den Freiheitsgrad, Ganzheiten von beliebiger Größe im



Rahmen aller Handlungen und Ereignisse zu bilden, und zweitens den Freiheitsgrad, dies beliebig in bezug auf die in die Zukunft reichende Zeit tun zu können. Daraus ergibt sich eine nicht schlüssige Dimensionalität des Spiels. Das heißt, wir können retrospektiv und partiell, bereits erspielte Ordnungen einigermaßen erkennen, aber es ist uns nicht vergönnt, in irgend einer Gegenwart die Gesamtordnung des in die Zukunft reichenden Spiels zu fassen, weil wir nicht wissen, in welchen verschiedenen, geöffneten Zyklen wir uns in der Gegenwart befinden und wie diese in der Zukunft geschlossen werden.

Ein sehr einfaches, aber analoges Beispiel ist die wiederholt auftretende Laborsituation, in der unterschiedliche Suchwege gegangen werden müssen um zu einem akzeptablem wirksamen Ergebnis zu gelangen. Wie wir gesehen haben, etwa bei der Suche nach einem günstigen Nährmedium oder der Suche nach einem potenten Pilz. Was uns hier in sehr elementarer Weise bezüglich der Bifurkation einzelner, alternativer Handlungen begegnet, findet sich auch auf der Ebene von Zyklen und Hyperzyklen von Handlungen wieder, wie es ansatzweise auch in Abb. 13 ersichtlich ist.

### *9.3 Divergenz und Konvergenz – Differenzierung und Integration*

Die Strukturierung der von den Akteuren getrennt vollzogenen Handlungen in einem großen Netzwerk hat eine divergente und konvergente Tendenz. Die divergente Tendenz bewirkt zunehmende Arbeitsteilung und Spezialisierung (*Suchraumerweiterung*), die konvergente, zunehmende Aufhebung der Arbeitsteilung (*Suchraumeinengung*) in der Bewegung gegenseitig sich ergänzender Aktionen. Divergenz splittiert Ziele und Handlungen auf, Konvergenz, führt sie zusammen. So entstehen aufgrund heterarchisch driftender Handlungsnetze Hierarchien von Zielen und Handlungen, die das Netzwerk in der Rekonstruktion hierarchisch erscheinen lassen.

Divergenz und Konvergenz sind aber komplementäre Tendenzen!

Jeder Pfad im Netzwerk (Handlungsfolge) erscheint divergent oder konvergent; aber, die Betrachtung eines Pfades als divergenten Pfad in Bezug auf ein bestimmtes Ereignis, schließt die Betrachtung desselben Pfades als konvergenten Pfad in Bezug auf eben dieses Ereignis aus.

### *9.4 Zeit und Wahrnehmung*

Wenn wir uns die Totalität des Netzwerkes aller Handlungen vorstellen, die für keinen Einzelnen erleb- und erfahrbar ist, so können wir für jeden Zeitpunkt der Geschichte eine Gegenwart desselben denken (vertikaler Schnitt im Netzwerk), eine Vergangenheit (horizontale Schnitte? Schar von Schnitten? – nein: das Netz-

werk selbst!) und eine mögliche Zukunft. Wie sich zeigt, ist Gegenwart etwas Besonderes, wir vermögen Gegenwart und Vergangenheit nicht in einem Sprachmuster zu fassen. Die Vergangenheit ist durch gerichtete Pfade bzw. Netze von Kanten und Knoten repräsentiert. Beobachtet man einzelne Pfade in ihrem Verlauf über mehrere Knoten, so ist zu sehen, dass sie nicht direkt vom betrachteten Ausgangsereignis zu einem Zielereignis gelangen; die Pfade ähneln in ihrem Verlauf eher der Stochastik einer sogenannten Brown'schen Bewegung bzw. der Bewegung von Molekülen beim Phänomen der Diffusion, die, – um mit einem Bild von Erwin SCHRÖDINGER zu sprechen – der Bewegung eines Menschen gleicht, der mit verbundenen Augen versucht, sich auf einer unbekanntem Fläche auf ein Ziel hinzuzubewegen, von dem er nicht genau weiß, wo es sich befindet, weshalb er sich nicht für eine bestimmte Richtung entscheiden kann, sondern diese ständig wechselt und tastend voranschreitet.

Wenn wir nicht allzu kritisch sind, kann die Totalität des Netzwerkes insofern als objektiv oder übersubjektiv angesehen werden, als ihr die Handlungen aller Beteiligten zugrunde liegen, für deren Gesamtschau es kein Subjekt gibt.

Der Einzelne ist im Sinne von Niels BOHR „Schauspieler“ und „Zuschauer“ zugleich. Er hat im Netzwerk eine *doppelte Vergangenheit*: eine wahrgenommene Vergangenheit, die seinem Bewusstsein zugänglich ist, aus der seine bewusst vollzogenen Handlungen hervorgehen; und eine nicht wahrgenommene Vergangenheit, aus der die nicht wahrgenommenen Voraussetzungen seiner Existenz und seiner Handlungen erwachsen; denn: verankert im gesamten Netzwerk, ist er in der Erbfolge sowohl der wahrgenommenen, als auch der nicht wahrgenommenen Vergangenheit. Die evolutionär zustande gekommenen Zustände von Natur und Leben sind Voraussetzung seiner Existenz, nah- oder fernwirkend.

Die Wahrnehmungen des Netzwerkes sind aber noch etwas anderes als dieses selbst, und sei es auch nur, dass die verknüpfte Gesamtheit aller Aktionen etwas anderes sei als die Summe der einzelnen Aktionen oder dass die Gesamtheit der Wahrnehmungen in ihren kommunikativen Beziehungen etwas anderes sei als die Summe der einzelnen Wahrnehmungen. Deshalb möchte ich im Unterschied zu Vergangenheit, Gegenwart, mögliche Zukunft, die Wahrnehmung derselben als *Retrospektive*, *Perspektive* und *Prospektive* bezeichnen.

„*Retrospektive*“ bezeichnet die *Sicht auf vergangene, horizontale Verknüpfungen* von Aktionen und Ereignissen in Bezug auf eine Befindlichkeit im Netzwerk; „*Perspektive*“, die *Sicht auf das gegenwärtige, vertikale In-Beziehung-Setzen* von Aktionen und Ereignissen in Bezug auf eine Befindlichkeit im Netzwerk; „*Prospektive*“ die *Sicht einer gedanklichen Vorwegnahme* (Antizipation) von Möglichkeiten des Auswuchses des Netzwerkes in Bezug auf eine gedachte, in der Zukunft liegenden, Gegenwart.

In einem Gegenwartsschnitt des Netzwerkes finden wir angeschnittene Pfade oder Knoten unterschiedlicher interner, räumlicher und zeitlicher Ferne, die als Synonym für unsere Befindlichkeit in einer Gegenwart stehen. Wenn die Vergangenheit eines Handlungsgefüges sich als ein rhythmisch fließendes Netzwerk darstellt, so gleicht die Gegenwart mit den angeschnittenen Knoten und Kanten – in der Vorstellung einer vertikalen Draufsicht auf das Ankommen der Handlungen und Ereignisse in der Gegenwart – dem nächtlichen Firmament mit seinen unverbundenen, dichter oder dünner gestreuten Sternen in einem sonst leeren Raum. Diese jeden Augenblick erscheinende Unverbundenheit in der Gegenwart mag vielleicht am ehesten eine Ahnung davon vermitteln, wie sehr wir im Banne einer unverständenen Evolution stehen und wie wenig wir ihr Konstrukteur sind. (Der Begriff der „Epistémé“ mag der geistige Aspekt einer Geschichtsvorstellung in solchen Gegenwartsschnitten sein (Vgl. 10.3).

Zwischen perspektivischer und retrospektivischer Wahrnehmung besteht deshalb ein gravierender Unterschied, denn erstere ist die Art des *Erlebens*, letztere die Art des *Erfahrens*. Ihre Bedeutung ist daher verschieden. Ihr Zusammenfallen für ein Individuum und ihr Zusammentreffens im Verkehr der Individuen hat etwas beständig Gesondertes. So haben etwa die Urteile, die aus einer bestimmten Retrospektive *eines* Individuums hervorgehen, und die Befindlichkeit eines *anderen* Individuums in dessen Perspektive betreffen, immer etwas Vermessenes – und doch scheinen wir im Gefüge des Ganzen nicht darauf verzichten zu können. Für die Zwiespältigkeit der Situation stehen Recht und Moral, nicht zuletzt jede Art von strittiger Auseinandersetzung im Leben.

Sind die Menschen allein schon im allgemeinen Verkehr genötigt, diese unüberbrückbare Diskrepanz in endlosem Bemühen zu verringern, so erst recht in der Wissenschaft. In akrobatischen Anstrengungen und Übungen des Geistes wird ein Fundament der Verständigung angestrebt, ohne je ans Ziel zu gelangen. Harmonie im Einzelnen scheint auch hier weniger Sache der Natur als vielmehr ein *strukturierendes Driften im Ganzen*.

### 9.5 Interne Zeit und externe Zeit

Die Vorstellung irgendeines Gesamtnetzwerkes in Bezug auf die Zeit, wie ich sie bisher gebraucht habe, unterstellt eine Zeit der Uhr, des Kalenders; diese Zeit nenne ich *externe Zeit* oder *explizite Zeit*. Denn sie steht dem ganzen Vorgange als außen gedacht gegenüber. Im Unterschied dazu sei als die innere bzw. *interne* oder *implizite Zeit* des Netzwerkes eine andere verstanden: eine Zeit, die mit den Vorgängen zusammenfallend gefasst wird. Deshalb bedeutet zunehmende *Divergenz*, zunehmende zeitliche *Entfernung*, und zunehmende *Konvergenz*, zuneh-

mende zeitliche *Annäherung*. Das konvergente Zusammentreffen, Zusammenfallen von Aktionen und Ereignissen bedeutet *Gleichzeitigkeit* im Netzwerk. Gleichzeitigkeit wird folglich als eine Eigenschaft des *Zusammenfallens von Getrenntem, Fragmentiertem* verstanden.

Je größer, hierarchisch ausdifferenzierter ein Zyklus ist, der sich schließt, desto revolutionärer wird er empfunden, weil die Turbulenz des Zusammenfallens von vielfach Getrenntem, die Ereignisse raum-zeitlich klumpenhaft auftreten lässt, wodurch die kalendarische Zeit zusammengedrückt, verkürzt empfunden wird.

### 9.6 *Zyklen und Quanten von Handlungen als besondere Wirkungs-Einheiten*

Eine sehr auffallende Charakteristik der Struktur des Netzwerkes entsteht durch die Logik der Handlungen. Sie ist maßgebend für die Stochastik und die zyklische Struktur des Netzwerkes. Jeder Zyklus besteht aus einem Sich-Öffnen und einem Sich-Schließen. Im Schließen eines Zyklus entsteht – in Bezug auf seine Herkunft – das „Neue-Ganze“; es trägt die Keime des Öffnens von Zyklen, eines Geborenwerdens. Im Öffnen eines Zyklus entsteht – in Bezug auf seine Herkunft – das „Neue-Getrennte“ bzw. „Neue-Fragmentierte“ im Sinne des Geschiedenen; es trägt die Keime des Schließens von Zyklen, eines Sterbens. Geburt und Tod haben daher im Keim etwas Gemeinsames, eine Kraft der Verwandlung.

Jene Knoten, die eine Konvergenz markieren, repräsentieren in ihrer Genesis das Quantum der Ereignisse des vorangegangenen Zyklus. Betrachtet man daher die Entwicklung des Netzwerkes in Bezug auf solche Schlüsselereignisse, so lässt sich diese Entwicklung als auf Quanten von zum Teil selektierten und zum Teil gegenseitig sich ergänzenden Handlungen und Ereignissen zurückführen. Bei einer Sicht auf diese Quanten wird die sequentielle Struktur des Netzwerkes deutlich. Jeder Zyklus, gleich ob sehr klein oder sehr groß, hat ein für alle gültiges Charakteristikum: das Quantum der in ihm vorkommenden Handlungen und Ergebnisse in Bezug auf den darauf folgenden Zyklus bildet eine Ganzheit, d.h. dieses Quantum wirkt auf die daraus hervorgehenden Zyklen als Ganzes. Da dieses Ganze immer charakterisiert ist als etwas Neues, Eingefaltetes in Bezug auf zuvor gegenseitig sich ergänzendes Entfaltetes, haben die Endknoten (Ereignisse, die einen Zyklus schließen) ein Potential gemäß des Maßes der in sie eingefalteten Kanten und Knoten.

Ich habe nun zwei Möglichkeiten, vom Werden des strukturellen Musters des Netzwerkes zu sprechen: Wenn ich die Wirkung aller Handlungen als fernwirkende Kraft annehme, werden die Akteure des Netzwerkes von der Art der dadurch hervorgebrachten Selbststrukturierung orientiert. Wenn ich hingegen die Akteure als die Erzeuger dieser Art der Strukturierung auffasse, dann hat ihr

arbeitsteiliges, gemeinschaftliches Wirken die Eigenschaft, diese Art der Selbststrukturierung des Netzwerkes hervorzubringen.

Da kein Zyklus statisch für sich steht, sondern in der mannigfaltigsten Vernetzung sich befindet, kann ein einzelnes Ereignis die Art der Zyklizität verändern. Stabil ist nicht die werdende Gestalt des Zyklus, sondern das *Prinzip* der *zyklischen, raumartigen* Selbststrukturierung. Dieses Prinzip ist es, das in der Mannigfaltigkeit der Zufälle eine Art Ordnung (Musterung) schafft. Es scheint, als ob ein Ereignis in Ansehung eines Ganzen, um so zufälliger auftritt, je kleiner der Zyklus ist, dem er angehört ist.

### 9.7 Spielraumbildung

Die Vielzahl kleiner Zyklen – räumlich verteilt und ineinander verschachtelt – schafft daher *Spielräume* für die Gestalt größerer in Form von Hierarchien. Rangniedrigere Zyklen und Hierarchien stehen hingegen unter dem gestaltenden Einfluss jeweils ranghöherer Zyklen und Hierarchien. Und je größer ein Zyklus, desto größer ist seine Stabilität, die Wahrscheinlichkeit bzw. der Grad der Notwendigkeit seines Auftretts.

In der Netzwerkstruktur können wir für die Wissenschaftsentwicklung eine Oberflächenstruktur und eine Tiefenstruktur annehmen. Ihre Oberflächenstruktur besteht in den Handlungen und den daraus hervorgehenden Ergebnissen bzw. Ereignissen (repräsentiert durch Kanten und Knoten des Netzwerkes) sowie ihrer logischen Vernetzung; ihre Tiefenstruktur besteht dagegen aus dem Komplex historisch gewordener, sozio-kultureller Bedingungen für jede der Handlungen und Ereignisse im Netzwerk.

Wenn wir nun fragen, in welchem Verhältnis dazu die Makro- und Mikrostruktur steht, so können wir zunächst feststellen, dass sie eine andere Bezugsform darstellen.

Beide sind sowohl auf die Oberflächen- als auch Tiefenstruktur beziehbar. Die Makrostruktur ergibt sich aus den kommunikativ getrennten, geschiedenen, d.h. fern zueinander stehenden Aktionen im Netzwerk, zwischen denen ein übersubjektives „Selbst“ fernreichweitige Wirkungen auf die Gestaltung von Handlungsspielräumen ausübt. Umgekehrt ergibt sich die Mikrostruktur aus den kommunikativ verbundenen, d.h. nah zueinander stehenden Interaktionen, zwischen denen nahreichweitige Wirkungen bestehen, die die Handlungsspielräume modifizieren. Eine scharfe Trennung beider ist *per definitionem* nicht möglich, da sie ko-evolutiv ineinander übergehen.

Die Diskontinuitäten sind dabei die *Übergänge* der beiden Strukturen ineinander und haben je nach Niveau der raum-zeitlichen Rückkopplung ein mehr

oder weniger auffälliges Erscheinungsbild. Mikrostrukturen sind der Makrostruktur, die sie bewirken, nur in ihrem massenhaften Auftritt ebenbürtig, nicht aber als einzelne Sequenzen. In diesem Sinne ist die Makrostruktur dominant für das generelle Auftreten von Diskontinuitäten, die Mikrostruktur hingegen für das individuelle. Als generelle Erscheinung der Makrostruktur sind die Diskontinuitäten aber Kontinuitäten des Wandels. Das „Selbst“ der Makrostruktur scheint etwas eigenartig Zwingendes zu haben, indem es als die Kraft menschlichen Zeugens keineswegs nur frei entfaltend ist, sondern gleichermaßen bindend auf sich zurückwirkt.

Wollten wir die Dialektik des Umschlagens zwischen Mikro- und Makrostruktur verstehen, kämen wir im philosophischen Sinne auf den *Grund*. Auf ihn bezogen erschiene dann das *Selbst der Netzwerkstrukturierung* als ein *für sich blinder* Vorgang, wie etwa die Blindheit bzw. das Ausgeliefertsein eines Lebewesens angesichts der Nicht-Verhinderbarkeit seiner Geburt und seines Todes.

### 9.8 *Zufall und Ordnung*

Der Gedanke von ARISTOTELES „telos“ und „bia“ stünden sich als Kräfte gegenüber, wobei die Ordnung schaffenden Kräfte von den zufälligen gestört werden, kann hier nicht aufrecht erhalten werden. Strukturierung ist vielmehr in dem Sinne zu verstehen, dass mannigfache vernetzte Zufälle mit ihrer eigenen Ordnung korrelieren. Zufall und Ordnung sind gewissermaßen die zwei Seiten ein und derselben Medaille. Wie kann man sich die Entstehung einer makrostrukturellen Ordnung aus einer Vielzahl von vernetzten mikrostrukturellen Zufällen – oder umgekehrt, die Entstehung einer Vielzahl von vernetzten mikrostrukturellen Zufällen – im Rahmen des Ordnungsprinzips des Netzwerkes vorstellen? Etwa in Analogie statistischer Gesetze zu den ihnen zugrundeliegenden Determinationen des Einzelnen. Einem Beispiel von David BOHM (1987) folgend, ist es im Gesundheitswesen möglich, mit hohem Näherungsgrad vorherzusagen, welche durchschnittliche Anzahl von Menschen einer bestimmten Gewichtsklasse, Altersspanne und dgl. an einer bestimmten Krankheit sterben werden. Diese Vorhersage ist möglich, obwohl für die einzelnen Menschen keine genauen Angaben über die Sterbezeit gemacht werden können und obwohl der einzelne Todesfall sogar in einer Weise zufällig sein kann, die in keiner gesetzmäßigen Beziehung zu der Art von Daten stehen muss, die möglicherweise im Gesundheitswesen gesammelt werden (z.B. Verkehrsunfall). Das Wirken der statistischen Gesetze steht nicht im Widerspruch zum gleichzeitigen Wirken von Ursachen, die die besonderen Umstände des Sterbens von Einzelnen bewirken. Wenn also das gleiche Ereignis des Sterbens infolge einer großen Anzahl von wesentlich unabhängigen

Ursachen eintreten kann, weshalb sollten dann nicht auch diese Ursachen auf eben solche Weise verteilt sein, dass sie in einer großen Menge statistischen Gesetzen genügen? Insofern gibt es keinen Grund wegen des Wirkens von statistischen Gesetzen auf die Suche nach den Ursachen oder auch Gesetzmäßigkeiten, die den Einzelfall des Sterbens betreffen, zu verzichten. Beides ist miteinander vereinbar. Ähnlich in der Physik: Mit der Entdeckung, dass Rauchteilchen und Sporen eine Zufallsbewegung ausführen, die gewissen statistischen Gesetzen gehorcht, der Brown'schen Bewegung, wurde die Annahme verbunden, dass diese Bewegung durch Stöße von Myriaden und Molekülen verursacht werden, die tieferliegenden Einzelgesetzen folgen.

Auch bei Bakterien oder anderen sehr kleinen Organismen ist dieses Phänomen zu beobachten. Ihre Bewegungen sind durch die thermischen Unwägbarkeiten des sie umgebenden Mediums bestimmt.

Wenn wir nun einen Blick auf das Netzwerk (Abb. 13) werfen, und irgend einen Pfad durch das ganze Netzwerk verfolgen, werden wir eine – wenn vielleicht auch nur weiträumige – Analogie zur Brown'schen Bewegung bemerken. Solch ein Pfad bewegt sich nämlich sehr unregelmäßig durch das Netzwerk, und jeder einzelne verschieden von dem anderen. Er wird ähnlich den Bakterien oder Molekülen von den gerade herrschenden äußeren Einflüssen hin und her bewegt. Aber alle Pfade folgen, statistisch gesehen, den Prinzipien, die das Netzwerk konstituieren. Gehen wir einen Schritt weiter und entnehmen dem Schlüssel des Netzwerkes den Bedeutungszusammenhang eines Pfades, so werden wir seine (insgesamt gesehen) zufällige Erscheinungsform in Bezug zu anderen Pfaden feststellen können. Begeben wir uns schließlich noch einen Schritt weiter zurück auf eine einzelne Kante des Pfades und der ihr zugrundeliegenden Handlung und fragen nach den Ursachen ihres Zustandekommens, dann werden wir auf tieferliegende Gesetzmäßigkeiten stoßen, die wir annehmen können, die uns jedoch als ein Komplex von Zufälligkeiten begegnen, und die etwa der Kreuzung einer Biographie mit Arbeitsumständen, Kommunikationsbeziehungen und dgl. erscheinen werden.

Auch hier können wir nun fragen, weshalb es entgegenstehende Gründe geben sollte, dass die gegenseitige Ergänzung solcher Handlungen und Ereignisse in einer sehr großen Anzahl so verteilt sind, dass sie statistischen Gesetzen gehorchen und auf dem Niveau großer Handlungsnetzwerke in bestimmter Weise als Ordnungen auftreten.

Insofern ist vorstellbar, wie für einen gedachten Istzustand des Netzwerkes Zufall und Ordnung korreliert sind, und wie sie im Bewegungszustand koevolvieren.

So sind die Diskontinuitäten als generelle Erscheinung der Makrostruktur zugleich Kontinuitäten im weiträumigen Wandel des Handlungs-Ereignis-Netzwerkes. In diesem ihrem Doppelspiel lässt die Kraft menschlichen Zeugens aus mannigfachen mikrostrukturellen Zufällen makrostrukturelle Ordnungen entstehen, als wäre ihr ein morphologisches Prinzip inhärent, in dem das Bindende einer ursprünglichen evolutionären Energie mit dem Schöpferischen ihrer spezifisch menschlichen Bewegungsform rückgekoppelt ist. Die Freiheit des Schöpferischen scheint sich deshalb im Banne einer Regularität zu entfalten, die als morphologisches Ordnungsprinzip waltet und die dennoch nicht als Fessel einer starren Festlegung fungiert.

### *9.9 Implizite und explizite Ordnung im Netzwerk*

Nachdem einige grundsätzliche Merkmale der strukturellen Ordnung des als Netzwerk vorgestellten Forschungshandelns benannt worden sind, sei in einem weiteren Schritt der Versuch unternommen, die Evolutionsstruktur einer Entdeckungs- Erfindungshandlung zu deuten. Dies soll in der Absicht geschehen, unsere Vorstellung von der Netzwerkstruktur ein wenig zu vertiefen.

Bevor wir jedoch dazu kommen, sei eine Replik auf theoretische Vorstellungen von David BOHM erlaubt. Wir werden an Begriffsbildungen von ihm anknüpfen.

David BOHM hat in seinem bemerkenswerten Buch „Die implizite Ordnung“ mit dem Untertitel „Grundlagen eines dynamischen Holismus“ die Dynamik einer Weltordnung zu beschreiben versucht, die jenseits von Subjekt und Objekt hinter den Erscheinungen verborgen ist, aber in alle diese Erscheinungen hineinreicht (BOHM 1987).

Im Vorspann sagt Paul FEYERABEND zu diesem Buch: „Ein Lichtblick in der Öde des philosophischen Geredes von heute und eine sehr nötige Grundlage für eine synthetische Betrachtung der Wissenschaften“ (BOHM 1987a: 200).

David BOHMs zentrales Thema ist die „bruchlose Ganzheit des gesamten Daseins als eine ungeteilte fließende Bewegung ohne Grenzen.“ Sein Ziel ist die Erforschung der Ordnung, die im Universum „implizit“ oder „eingefaltet“ ist. In Analogie zu einem Hologramm verdeutlicht er seine Anschauung. Dabei ist besonders ein Aspekt interessant. Jeder beliebige Teil einer holographischen Aufnahme eines Gegenstandes lässt, wenn er durchleuchtet wird, die ganze Struktur dieses Gegenstandes entstehen, allerdings mit geringerer Schärfe als derjenigen, die beim kompletten Durchleuchten erreicht wird. Im Unterschied zur Linse weist das Hologramm auf eine andere Art von Ordnung hin. Diese Ordnung kann nicht als eine gleichmäßige Anordnung von *Objekten* oder *Ereignissen* ver-



standen werden, sie hat einen *impliziten* Charakter, und zwar derart, dass in jedem Raum- und Zeitabschnitt eine *Gesamtordnung* enthalten ist. Das Wort „implizit“ aus dem lateinischen „implicare“ abstammend, bedeutet „einfalten“ und das multiplikatorische Gegenüber „vervielfältigen“. Daraus wird die Vorstellung entwickelt, „dass in einem gewissen Sinne, jeder Abschnitt eine in ihm „eingefaltete“ Grundstruktur enthält“ (BOHM 1987: 187–188), und die implizite Ordnung „getragen“ wird vom *Holomovement*. „*Das Holomovement ist undefinierbar und unermesslich*“ (BOHM 1987:200).

Nach den Gesetzmäßigkeiten der impliziten Ordnung gibt es eine relativ unabhängige, sich wiederholende, stabile Sub-Totalität, die die *explizite Ordnung* bildet. Es ist jene Ordnung, mit der wir es in der Alltagserfahrung zu tun haben. Wenn etwa Bewusstsein und Materie als der expliziten Ordnung angehörend erscheinen, so sind sie in Bezug auf die implizite Ordnung nicht grundsätzlich verschieden, nicht getrennt existierend und in Wechselwirkung stehend, sondern verbunden dadurch, dass in ihnen in bestimmter Weise das gesamte Universum eingefaltet ist. Bewusstsein und Körper sind gegenseitig ineinander eingefaltet. Die Art der Beziehung ist die, dass eine höherdimensionale Realität in die niedrigdimensionalen Elemente *hineinprojiziert*. Körper und Geist (Bewußtsein) werden deshalb als einer höherdimensionalen Wirklichkeit angehörend angenommen, die deren gemeinsame Grundlage darstellt und in ihrer Art über beide hinausgeht. „Auf höherdimensionalen Grundlage herrscht die implizite Ordnung vor. Auf dieser Grundlage ist also das *was ist* Bewegung, die im Denken als die gleichzeitige Gegenwart vieler Phasen der impliziten Ordnung erscheint.“ ...Die Bewegung entfaltet sich „in einem Moment aufgrund des diesem Gesamtsachverhalt innewohnenden tieferen Notwendigkeitsausdrucks derart, dass im nächsten Moment ein neuer Sachverhalt entsteht. Die Projektionen der höherdimensionalen Grundlage wie Bewusstsein und Körper werden beide im späteren Moment anders sein als im früheren Moment, obwohl diese Unterschiede natürlich zusammenhängen“ (BOHM 1987: 270).

Bisher haben wir den Begriff der „Ordnung“ in einem Sinne ihrer Entstehung aus einem Bewegungsmoment gebraucht; aber nicht ohne Grund, ging es doch darum, unser Denken auf einen Ursprung hin zu richten, von dem aus alle Wirklichkeit als einem Prinzip impliziten Waltens folgend gefasst werden kann. Da wir jedoch eher auf der anderen Seite dieses Ursprünglichen befindlich sind, verbinden wir die Vorstellung von Ordnung mit viel konkreteren Erscheinungen, gleich ob in Bezug auf konservative Erscheinungen wie Staat, Recht, Moral oder mehr dissipative Erscheinungen wie Evolution, Revolution. Bei der Suche nach gemeinsamen Merkmalen dessen, was uns als Ordnung erscheint, finden wir „ähnliche Unterschiede und unterschiedliche Ähnlichkeiten“ (BOHM 1987:158).

In einem hierarchischen Gefüge von Ordnung ist die Vorstellung einer Grenze erforderlich, welche die Art der Unter- bzw. Überordnung festlegt. Diese Grenze kann als das *Maß* einer Ordnung verstanden werden. In diesem Sinne hat jede ganzheitliche Ordnung ihr eigenes Maß. Das Maß seinerseits muss sinnfällig durch eine Proportion oder ein Verhältnis spezifiziert werden, so dass wir einen *Maßstab* erhalten, der die Begrenzungen von geordneten Abschnitten (Teilen) darstellt. Der Zusammenhang schließlich von Ordnung und Maß markiert eine *Struktur*, und zwar in der Bedeutung des lateinischen Ursprungs einerseits des Verbs „struere“, als Hinweis darauf, dass etwas gebaut, geschichtet wird, und andererseits des Substantivs „structura“, das im Suffix „ura“ ursprünglich ein Handeln bezeichnet. Die Wirklichkeit des Zusammenhanges von Ordnung und Maß ist demnach etwas, „Strukturierendes“, Strukturbildendes und -auflösendes (BOHM 1987), (BOHM, PEAT 1987,1990).

Wir wollen jetzt, auf der Grundlage dieser knappen begrifflichen Verständigung, unsere Vorstellung von der Ordnung der empirisch und logisch gewonnenen Netzwerkstruktur vertiefen. Der besseren Anschaulichkeit wegen und als Orientierungshilfe ist eine schematische Darstellung (Abb. 16) vorangestellt.

Als Bezugspunkt unserer Betrachtung sei ein idealtypisches Ereignis im Netzwerk gewählt, das unterschiedliche Modifikationen von markanten Ereignissen repräsentiert; Ereignissen, die aus den nachfolgend zu erörternden Gründen unser besonderes Interesse verdienen.

Im Zentrum der Abbildung 16 ist solch ein markantes Ereignis als Schnittpunkt symbolisiert; es soll zwei Bedingungen genügen, die seine besondere Bedeutung unter den verschiedenen wissenschaftlichen Ereignissen festlegen:

- (1) Das Ereignis sei eines, durch das ein vergangener Handlungszyklus geschlossen und ein neuer Handlungszyklus geöffnet wird.
- (2) Das Ereignis sei eines, das aus einer makrostrukturellen (übersubjektiven) Konfiguration des Netzwerkes hervorgeht.

Der Einfachheit halber können wir mit diesem Ereignis eine konkrete Vorstellung aus der dargelegten Geschichte des Penicillins verbinden, etwa das Ereignis der Entscheidungsexperimente von FLOREY und seiner Gruppe, die an der Schwelle der revolutionären Entwicklung standen.

Die Bewegungen im Netzwerk interessieren uns jetzt in Bezug auf gewisse Gerichtetheiten von Handlungssequenzen. Deshalb wird lediglich das Schließen bzw. Öffnen eines makrostrukturellen Zyklus in Form von zwei sich schneidenden Geraden symbolisiert. Die inhärente Feinstruktur des Netzwerkes lässt sich für beide Seiten – vom Schnittpunkt aus gesehen – in jener Musterung vorstellen, wie sie in Abb. 13 zu sehen ist.

Bevor nun zu den Bewegungen im Netzwerk sinnfällig etwas gesagt werden kann, ist es von Vorteil, einige Beobachterstandpunkte zu benennen, in Bezug zu denen bestimmte Aussagen getroffen werden.

Der erste Beobachterstandpunkt und damit der naheliegendste ist jener, der unterstellt ist, um den gesamten beschriebenen Vorgang darstellen zu können.

Diesen Beobachterstandpunkt wollen wir den *externen retrospektiven Beobachterstandpunkt* nennen. Es handelt sich um jenen Aspekt, bei dem wir von einem gewissen gegenwärtigen Zustand eines Vorganges dessen Vergangenheit erfassen.

Dem gegenüber sind nun zwei fiktive Formen von Beobachterstandpunkten zu benennen, die wir in unserer Vorstellung einnehmen können und die deshalb dem externen retrospektiven Beobachterstandpunkt subordiniert sind.

Als erstes stellen wir uns vor, wir bewegen uns auf dem externen Zeitpfeil Schritt für Schritt in die Vergangenheit mit Blick auf den zyklischen Handlungsvorgang, wie er in der Gegenwart erscheint. Jeden dabei auf dem externen Zeitpfeil möglichen Beobachtungsstandpunkt nennen wir *externen perspektiven Beobachterstandpunkt*. Solch ein Standpunkt stellt die Fiktion der Beobachtung einer bereits vergangenen Gegenwart von außen dar, weshalb wir auch die Möglichkeit eines in Hin- und Herwanderns auf diesem Zeitpfeil annehmen können. Als nächstes stellen wir uns vor, wir bewegen uns innerhalb der beobachteten Zyklen Schritt für Schritt in die Vergangenheit. Solch einen Beobachterstandpunkt nennen wir *internen retrospektiven Beobachterstandpunkt*. Schließlich stellen wir uns noch vor, wir befänden uns innerhalb des zyklischen Handlungsvorganges und beobachteten parallele Ereignisse. Den Beobachtungsstandpunkt dabei nennen wir *internen perspektiven Beobachterstandpunkt*.

Mit Hilfe der vorgenommenen begrifflichen Differenzierung wollen wir jetzt Abb. 16 betrachten.

Als erstes richten wir unseren Blick auf die linke Seite der Abbildung. In dem geöffneten Zyklus, der sich zu einem Ereignis hin schließt, befinden sich einige durchgehende Pfeile, die unterschiedlich ausgerichtet sind. Diese Pfeile symbolisieren unterschiedliche Forschungsprogramme mit verschiedenen Zielrichtungen. Sie können verschiedenen oder auch gleichen wissenschaftlichen Disziplinen zugeordnet sein. Einschränkend nehmen wir in unserer Betrachtung an, dass wir nur eine selektive Auswahl solcher Programme berücksichtigen, aus denen Effekte hervorgehen, die in ihrer gegenseitigen Ergänzung zu einem integrativen Ereignis konvergieren. Diese Effekte bzw. Teilhandlungen und -ergebnisse der Programme sind durch unterbrochene Pfeile symbolisiert, die auf ein entstehendes Ereignis hin ausgerichtet sind. Vom externen retrospektiven Beobachtungsstandpunkt aus sind wir in der Lage, die zyklische Struktur der Anordnung zu erfassen. Für einen Akteur des internen perspektiven Beobachterstandpunktes

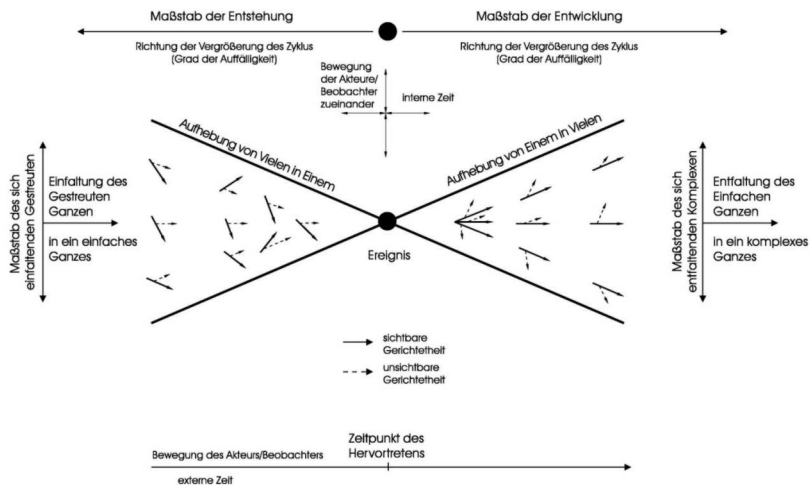


Abbildung 16: Schematische Darstellung der Evolutionsstruktur einer Entdeckungs-Erfindungshandlung

jedoch sind die konvergenten Effekte unsichtbar bis zum Eintritt des Ereignisses, durch welches der Zyklus geschlossen wird. Insofern sind für die beteiligten Akteure die zu einem Ganzen hin strebenden Effekte *verborgene Variable einer zukünftigen Ganzheit*. Und alle Programme des eigenen Wahrnehmungshorizonts erscheinen ihm als gestreute (in ihrer unsichtbaren Verbindung „chaotische“), nicht zusammengehörige Programme, sofern sie verschiedenen Zielrichtungen angehören. Partiiell aufgehoben wird der bloße Eindruck des Gestreuten erst mit jenem integrierten Ereignis, das einen internen retrospektiven Beobachterstandpunkt ermöglicht, durch den die Konvergenz der zuvor verborgenen Variablen sichtbar wird. Bezogen auf das Bewegungsprinzip bzw. das *Holomovement des gesamten Netzwerks*, des Netzwerks des „überindividuellen Gesamtarbeiters“, werden viele gestreute Ereignisse in ein neues Ereignis eingefaltet; im engeren Sinne die Ereignisse eines vergangenen Zyklus, im weiteren Sinne alle vergangenen Zyklen und ihre Evolution einschließlich der kulturellen Voraussetzungen von Sprache, Technik, Ressourcen etc.. Diese Art der gesamten Einfaltung ermöglicht eine erneute Entfaltung in einen komplexen kulturellen Raum hinein. Die rechte Seite der Abbildung stellt schematisch dieses gerichtete komplexe Geschehen dar, das ein großes konzertiertes Programm darstellen kann, in dem die Ziele etwa von Wissenschaft, Technik, Industrie, Wirtschaft usw. koordiniert sind. In den Unterprogrammen können sich gestreute Effekte ergeben, die abermals als ver-

borgene Variable fungieren und unsichtbar Zyklen gestalten. Insofern ist die linke Seite der Darstellung als unterschwellige Feinstruktur in der rechten und die rechte als unterschwellige Feinstruktur in der linken Seite enthalten. Das heißt, jeder der vollen Pfeile auf der linken Seite kann ein mehr oder weniger großes Programm in der Weise der rechten Seite darstellen, genauso wie umgekehrt jeder unterbrochene Pfeil auf der rechten Seite Effekte symbolisieren kann, die zu einer verborgenen Gerichtetheit mit anderen Effekten gehören, wie auf der linken Seite.

Das Maß der Entstehung bzw. Entwicklung eines Zyklus oder Hyperzyklus symbolisiert jenes Quantum (jene Begrenzung) von Handlungen und Ereignissen, das für das betrachtete Ereignis relevant erscheint.

Aus dem ursprünglichen Holomovement hervorgehend, kann die Bewegung des Netzwerkes in seiner impliziten Ordnung als bruchlose Ganzheit angenommen werden; aus der Perspektive und Retrospektive der Akteure indes, stellt es sich in seiner expliziten Ordnung dar, als diskontinuierliche zyklische Bewegung, in die der Akteur eingebunden ist.

Die Bewegung des Netzwerkes als bruchlose Ganzheit vollzieht sich zeitlich aus der Vergangenheit in die Gegenwart und Zukunft. In der Perspektive wird der Vorgang fragmentiert empfunden. Dies ist der Grund, weshalb wir dazu neigen, die Verbindungen der fragmentierten Vorgänge systemtheoretisch zu fassen. Wir haben es dabei aber mit einer grundsätzlichen Schwierigkeit zu tun: Es fällt schwer, die sich durchdringenden dissipativen und konservativen Strukturen zu fassen. Netztheoretisch kann die Bewegung basierend auf dem Grundprinzip „Einfalten-Entfalten verschiedener Dimensionalität“ einheitlich dargestellt werden. Vom netztheoretischen Standpunkt wäre es z.B. erforderlich, einen konstruktivistischen Standpunkt auf die universelle Evolution hin und speziell auf das Übersubjekt hin zu relativieren.

### *9.10 System- und Netztheorie*

Kehren wir noch einmal zum Anliegen dieser Arbeit zurück. Es wurde versucht, zu zeigen, wie aus dem Zufall, der einer individuellen Handlungsfolge in der wissenschaftlichen Forschung entsprungen ist, netzwerkartig ein sehr komplexes programmatisches Handlungsgefüge von gesellschaftlicher Dimension hervorging; zugleich aber, wie dieser Zufall seinerseits einem explizit breit gestreuten, aber implizit zusammenhängenden Handlungsgefüge von ebenfalls gesellschaftlicher Dimension entstammte. Diese Art der Strukturierung ist es, die die daraus abgeleitete theoretische Vorstellung den Denkansätzen von BOHM, PEAT und CHEW ziemlich nahe erscheinen lässt, obwohl – oder vielleicht gerade, weil –

diese Denkansätze im Umfeld von Überlegungen zur Quantenphysik entstanden sind.

Die Annahme von BOHM, unsere universelle Welt sei nach allgemeinen Prinzipien strukturiert, wobei das Ganze in jedes seiner Teile eingefaltet ist, findet eine überraschende Entsprechung in der dargestellten Netzwerkstruktur. Der Begriff „Holomovement“ ist auch hier geeignet, das dynamische Prinzip des universellen Herausfließens von strukturellen ganzheitlichen Formen bzw. Mustern auszudrücken. Im übrigen lässt sich das Netzwerk wissenschaftlichen Handelns – wie wir gesehen haben – kaum sinnvoll vom arbeitsteiligen gesellschaftlichen Handeln absondern oder separieren. Viel näher liegt die Vorstellung, dass der gesellschaftliche arbeitsteilige Reproduktionsprozess, seinem kreativen Aspekt gemäß, einem Suchprozess und damit unserem stochastischen Netzwerk gleicht. So gesehen wäre in diesem Gesamtnetzwerk dasjenige der wissenschaftlichen Handlungen möglicherweise nur eine lokale spezifische Verdichtung. Die miteinander verbundenen Teilnetzwerke als derartige Verdichtungen hätten dann ein unterschiedliches Maß, je nachdem, welches Unterscheidungskriterium wir wählen. Nähmen wir als Kriterium den Anteil der Stochastik, so wäre an einem Ende der Präferenz das künstlerische Handeln, vielleicht vom wissenschaftlichen gefolgt, und am anderen Ende eine der monotonsten Formen wiederholender Produktions- oder Dienstleistungshandelns. Wählten wir als Kriterium den temporalen Grad der Vernetzung, würden wir ein ganz anderes Bild erhalten usw..

Dem Bootstrap-Ansatz von Geoffrey CHEW liegen ähnlich Gedanken zugrunde. „Beim Bootstrap-Ansatz“ – sagt er – „stellt...das ganze System ein Netz von Zusammenhängen ohne jede feste Grundlage dar, weshalb man mit der Beschreibung unseres Themas an vielen verschiedenen Punkten beginnen kann. Es gibt keine eindeutige Ausgangsposition“ (Zit. nach CAPRA 1987:70–71). Ebenso verhält es sich mit unserem Netzwerk. Stellen wir uns vor, es wäre vom zeitlichen und sonstigen Aufwand her gesehen möglich gewesen, das Netzwerk – wie es in Abb. 13 gegeben ist – in seinem ganzen Umfange der dargestellten historischen Zusammenhänge zu rekonstruieren. Wir könnten mit der Biographie von KEKULÉ oder mit der von PASTEUR und einer ihrer Entdeckungen beginnen, die verschiedenen Pfade im Netzwerk zu verfolgen, die schließlich die Biographie von Präsident ROOSEVELT kreuzten, bei einer seiner Entscheidungen über das nationale Penicillin-Programm der USA im Zweiten Weltkrieg. Solche Pfade sind ja indirekt in der vorangegangenen historischen Darstellung, enthalten (Vgl. auch Abb. 17).

Dies wäre eine Möglichkeit, das Netzwerk über einen Zeitraum von fast einem Jahrhundert aufzuspannen, beginnend mit einer mehr oder weniger zufälligen Entdeckung in der Wissenschaft und mündend in einen umfassenden

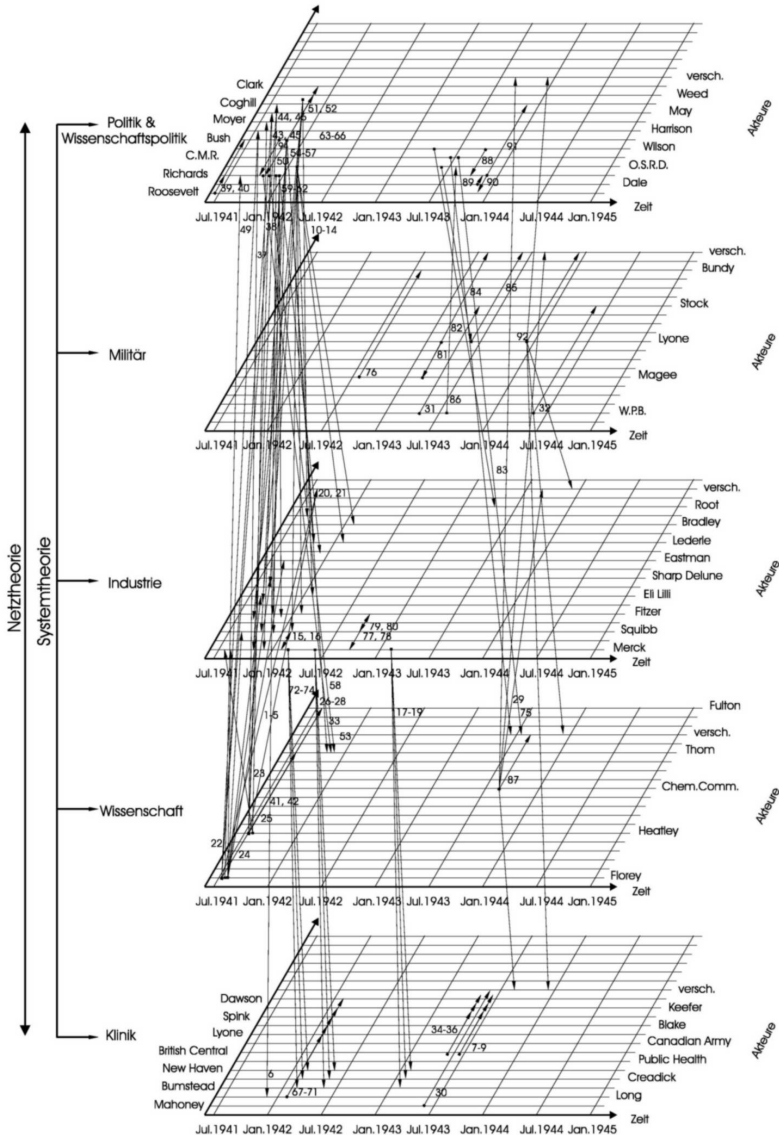


Abbildung 17: Gesellschaftliche Vernetzung der Aktionen zu Beginn der innovativen Entwicklung des Penicillins (Großbritannien – USA)

gesellschaftlichen Vorgang bis zur Entscheidung eines hohen Staatsbeamten. Umgekehrt freilich ist vorstellbar, wir hätten das Handlungsnetzwerk eines langen Zeitraumes der amerikanischen Regierungen aufgespannt, wären auf diese Weise zum Präsidenten ROOSEVELT und eines Tages zu seiner Entscheidung über das Penicillin-Programm gelangt, dann würden wir von dort her tief in das Geflecht wissenschaftlicher Handlungen eindringen können bis wir bei PASTEUR oder KEKULÉ angekommen wären.

Diese Vorstellung provoziert einen Gedanken von allgemeinerer Natur.

Wir können das netzwerkartige Geflecht der gesellschaftlichen Handlungen zunächst unter dem Aspekt der *Form* annehmen. In Bezug auf die Zyklizität dieses Geflechtes ist es dann sinnvoll, die *Form* in *Gestalt* und *Struktur* zu differenzieren. Nehmen wir den Terminus *Gestalt* in der Bedeutung wie sie bei KÖHLER unterstellt ist (KÖHLER 1920), dann ist die Gestalt jede Form von Zyklus, die sich als „freie Ordnung“ zu bilden vermag. *Struktur* hingegen wäre dann die allgemeine Natur des Skeletts des Handlungs-Netzwerkes, das dem Ordnungsprinzip des Holomovement folgt.

Der Zuschnitt unseres speziellen Gegenstandes der Handlungsstruktur ist nun derart, dass sich *dissipative* und *konservative* Strukturen durchdringen. Dissipative Strukturen werden als Strukturen angenommen, die auf synergetischen Fließgleichgewichten beruhen. Der gegenseitige Umschlag von Zufall und Ordnung ist in solchen Strukturen typisch. Konservative Strukturen dagegen werden als in anderer Weise stabile Strukturen angenommen, etwa Festkörper, bei denen ihre Stabilität unterstellt wird als Folge der Bindung seiner Komponenten in einem Potentialminimum. Wenn wir großzügig sind, dann lassen sich soziale Strukturen, die durch gesellschaftliche Regeln – zumindest zeitlich befristet – festgelegt sind, z.B. Regeln eines Staatsgefüges, einer Rechtssprechung einer Produktionsweise, als konservative soziale Strukturen interpretieren, die Handlungen formieren. Zufall und Ordnung stehen unter solcher Regulation anders zueinander als in den dissipativen sozialen Strukturen, die weitgehend aus einem Geflecht von kreativen, innovativen Handlungen hervorgehen.

Mit der Frage, wie sich das soziale Geschehen als ein Prozess der Durchdringung von konservativen und dissipativen Handlungsstrukturen fassen lässt, würde eine Netztheorie gegenüber Systemtheorie favorisiert. Dissipative Prozesse würden unter diesem Aspekt den Abruf der auf konservativen Strukturen gespeicherten Information regulieren und synchronisieren (EIGEN, WINKLER 1975).

Während die zentrale Frage in der systemtheoretischen Betrachtung ist, wie fragmentierte autonome Teile hinsichtlich ihrer Vernetzung über Randbildungen gemeinsam fungieren, wäre die netztheoretische Frage umgekehrt die, wie bei



Dominanz des ungeteilten Ganzen, die als Projektionen des Ganzen erscheinenden Teile unter dem Eindruck des Ganzen fungieren.

Diese Umkehrung ist nicht banal, wer sie mit geht, muss bereit sein, angenommene Gegebenheiten, die mit den Begriffen, *Autonomie*, *Eigenwertbildung*, *Autopoiese* belegt sind, auf die Dominanz des Ganzen bzw. Universellen hin zu relativieren. Auch bedeutet es eine umgekehrte Methodologie.

Norbert BISCHOF hat einschlägige Bedenken prononciert vorgebracht, die auch unter dem Aspekt dieser Studie geltend sind, in der das zentrale Ergebnis die Dominanz des vernetzten Ganzen gegenüber dem fragmentierten Teil ist, wobei das Ganze immer im Teil in bestimmter Weise eingefaltet ist – nicht nur skelletös-strukturell, sondern universell.

„Wenn die Anzeichen nicht trügen“ – so BISCHOF – „bereitet die heuristische Spaltung in einen gallileischen und einen darwinischen Weg heute zunehmend Unbehagen; es regt sich die Sehnsucht nach dem aufgegebenen aristotelischen Paradies.“ („Rückbindung der ‚äußeren‘ in die ‚innere‘ Sinnggebung“) „Dieser Eindruck verstärkt sich, wenn man nicht nur den Kernbestand der nüchternen Forschung, sondern auch das Mycel philosophischer Spekulationen betrachtet, das im Umfeld solcher Quellen gedeiht. Ich denke dabei vor allem an die Gruppe um Maturana, deren sendungsbewusst vorgetragene Philosophie sich um Ausdrücke wie ‚Autopoiese‘ oder ‚Konstruktivismus‘ kristallisiert.

Konrad Lorenz hat einmal gesagt, der Huf des Pferdes sei eine perfekte ‚Abbildung‘ des Steppenbodens, die Körperform des Delphins eine ‚Abbildung‘ der hydrodynamischen Eigenschaften des Wassers. Statt ‚Abbildung‘ hätte er auch ‚Adaption‘ sagen können; gemeint ist auf jeden Fall, dass biologische Strukturen einer ‚äußeren‘ Sinnggebung fähig und bedürftig sind.

Dieser Auffassung und der darauf gründenden Deutung der Evolution als eines ‚erkenntnisgewinnenden Prozesses‘, stellt Varela (1979) ein Prinzip der ‚biologischen Autonomie‘ gegenüber. Der Sinn der Lebensprozesse sei die Aufrechterhaltung der organismischen Identität und nicht deren Preisgabe an einen ‚Adaptionen‘ fordernden Lebensraum. Die Umwelt sei kein Pol äußerer Sinnggebung, sondern allein eine Quelle von Störungen, deren sich der Organismus, solange er eben lebt, erfolgreich erwehrt.

Was sollte es, so wird sinngemäß argumentiert, für einen Nutzen haben, die sechseckigen Waben der Bénard-Instabilität als eine ‚Abbildung‘ des vom Bunsenbrenner erzeugten Temperaturgradienten zu bezeichnen! Das thermische Gefälle spiele hier doch allein die Rolle einer *Störung*, der gegenüber das Sechseckmuster innerhalb eines gewissen Bereichs eben in der Lage sei, seine eigene ‚Identität‘ aufrecht zu erhalten.

Dieser Prozess der Selbstbehauptung wird ‚Autopoiese‘ genannt. Damit ist ein homöostatisches System gemeint, bei dem als Regelgröße nicht irgendein durch die Systemstruktur kanalisierter Prozess, sondern vielmehr *diese Struktur selbst* fungiert. Wäre so etwas möglich, dann allerdings würde das System seine eigenen Randbedingungen kontrollieren und sich damit ständig selbst erschaffen. Der ‚innere Sinn‘ würde so zur Grundlage eines perfekten Solipsismus.“ (BISCHOF 1988:107–108)

### 9.11 Selbstorganisation

„Nach gründlicher Erwägung der Frage der *persönlichen Identität* ist zu sagen: ich finde mich in einem Labyrinth wieder.“

DAVID HUME

Wenn wir das Wort „Selbst“ hören, haben wir spontan ein gewisses Vorverständnis von dem, was es bedeutet. Aber mit der Frage: Was bedeutet „selbst“ in der Selbstorganisationstheorie? – kommen wir unweigerlich in Schwierigkeit. Und das nicht ohne Grund. Denn der gedankliche Zugang zum Begriff des *Selbst* ist eher schwierig als einfach. Spontan erscheint es als Gegensatz von *nicht Selbst* und suggeriert *Selbstständigkeit* gegenüber *Unselbstständigkeit*; *Selbstüberlassenheit* gegenüber *Einflussnahme*; *innere Steuerung* gegenüber *äußere Steuerung*. Genau in diesem Sinne begegnet uns auch derzeit häufig der Gebrauch des Begriffes der „Selbstorganisation“ in den Sozialwissenschaften. Er steht zumeist für multidimensionale Steuerung.

Indes gleicht das Selbst in Selbstorganisation dem eher unbegreiflichen Ich in Ich bin.

Im Gegensatz von „Selbst“ und „nicht Selbst“ ist wechselseitige Referenz unterstellt. Das Selbst in Selbstorganisation hingegen hat keinen äußeren Referenten; es ist der unhintergehbare Grund für eine Aktivität, die, indem sie etwas Einzelnes formend verändert, zugleich das Ganze wandelt – und umgekehrt.

Wenn wir deshalb Wahrheit als *aletheia* (Unverborgenheit) begreifen, hat das Selbst entweder keine Wahrheit, weil es keinen Referenten hat, oder es ist in einem anderen Sinne überhaupt die Wahrheit, weil es mit *aletheia* zusammenfällt. Das Selbst gleicht daher dem Ausdruck: „Ich“ bin Ich. Es ist nicht einfach positiv bzw. affirmativ in einer sogenannten mono-kontexturalen Semantik und Logik bestimmbar, sondern erzeugt vielmehr ein duales enantiomorphes Satzsystem, wie es aus der negativen Theologie und negativen Dialektik bekannt ist. Gleiches und Selbiges erscheinen in einem Satz: „I am (I)“ – use/mention. Ungeachtet, ob es sich bei einem selbstorganisierenden System um ein definiertes

motorisches, sensorisches, kognitives, volitives oder anderes System handelt: das Selbst ist dabei nicht bloß der Akteur (Operator, Relator, etc.) eines Programms, in der Weise, dass er von seiner Aktivität unberührt bleibt und seinen Aktanden übergeordnet ist. Das Selbst steckt im Unterschied, in der dynamischen Differenz von Akteur und Aktand, in der beide sowohl getrennt als auch ineinander umgeschlagen werden.

GÜNTHER (1980) nennt diese Vorbedingung für Operativität „proemial relationship“; sie regelt das Zusammenspiel von Operator und Operand, die Umkehrung der Hierarchie zwischen Operator und Operand, wodurch eine dyadische Operation (Operator-Operand) zu einer chiastischen Figur mit vier Grundelementen dynamisiert wird.

Operator und Operand fungieren simultan im Übergehen ineinander, indem der Operator innerhalb und außerhalb seiner Operativität ist. (KAEHR 1989)

Wir können uns die mikro- und makrostrukturellen Wirkungen aufeinander in dieser Simultanität vorstellen. Wenn wir freilich weiter fragen, was denn diese Umschläge beider ineinander bewirkt, kommen wir philosophisch auf den unhintergehbaren Grund.

Ich glaube, dass sowohl die Überlegung zur Logik als auch die zum Grund auf den raum-zeitlichen Prozess der Selbststrukturierung eines geteilten Arbeitsprozesses nicht abwegig ist.

Er ähnelt unter diesem Aspekt der spontanen Selbstorganisation von Systemen, die sich fern vom Gleichgewicht befinden. Die vernetzten Handlungen organisieren sich – wie es scheint – in ihrer Vernetzung zu charakteristischen Strömungsmustern bzw. Prozessstrukturen in einer eindrucksvollen Fernordnung. Das vernetzte Handlungsgefüge besitzt als dissipative Struktur offenbar die Eigenschaft einer übersubjektiven schöpferischen Fortentwicklung, in der innerer und äußerer Sinn höherdimensional aufgehoben sind. Aus dem Pendeln der Handlungs-Zyklen verschiedener Ordnung formieren sich immer neue Zustände eines dynamischen Systems. Pfade in den Zyklen können als Trajektorien im Phasenraum gedeutet werden. Knoten, in denen Zyklen geschlossen werden, wirken als Orbit, als Attraktor, die in ihrem Umfeld die Trajektorien „anziehen“. Da es sich jedoch um einen Prozess von Aktionen handelt, sollte man besser davon sprechen, dass die Trajektorien ein Umfeld schaffen, in dem sie zu einem Attraktor „driften“. Der Attraktor ist aber kein Fixpunkt, weil sich die Fließbewegungen der Handlungen nie beruhigen. Es kann sich ein periodischer Attraktor bzw. Grenzyklus ausbilden, wodurch eine gewisse Rhythmik im Netzwerk erzeugt wird. Von vielen Individuen wird ihm Leben verliehen, das in der übersubjektiven Dimension eine eigene Komplexität mit einer verwirrenden Vielfalt von Rückkopplungsmechanismen und Kontrollen zu haben scheint. Es organisiert

sich in dieser Weise als Ganzes bzw. in gewissen Ganzheiten von Zyklen. Sein Organismus ist dabei in allen seinen konkreten Details einzigartig, obwohl Gleichartigkeit in den Prozessstrukturen vorkommt. Das in der Divergenz und Konvergenz jeweils entstehende Neue enthält Eigenschaften, die nicht einfach auf Bestandteile der Herkunft zurückführbar sind; es hat eine eigene einzigartige dynamische Identität. Das Gefüge des Netzwerkes als Ganzes verhält sich so, als würde es von einer fernwirkenden Bewegungskraft getrieben, die das Verhalten der Individuen aus den entstandenen übersubjektiven historischen Prozessstrukturen heraus formiert und ihnen individuelle Spielräume der Mitgestaltung einräumt.

Der Prozess der raum-zeitlichen Selbststrukturierung eines geteilten Arbeitsprozesses gehorcht unter diesem Aspekt dem Prinzip der spontanen Selbstorganisation. Netztheoretisch wird dabei vom Prinzip der Homologie ausgegangen. Dieses Prinzip wird durch die These begründet, dass es in verschiedenen Dimensionen der Evolution Prinzipien der selbstorganisierenden Dynamik gibt, die die Verbundenheit aller Dimensionen und aller Projektionen des universellen Ganzen manifestieren. In diesem Sinne wird auch angenommen, dass die Zufälle in den sozialen Handlungen unter dem fernreichweitigen Regime des Gesamtgeflechts der Handlungen stehen und dass makrostrukturelle Konfigurationen versteckte „Spieleiter“ der mikrostrukturellen Konfigurationen von Handlungen sind.

(Vgl. z.B.: BRIGGS, PEAT 1990,1991; DAVIES 1988; EIGEN, WINKLER 1985,1990; GLEICK 1990; HAKEN 1977; HESS, MARKUS 1981; JANTSCH 1982; KÜPPERS 1986, 1987, 1991; MATURANA, VARELA 1979; MIENHARDT 1987,1991; NICOLIS/PRIGOGINE 1987; PENROSE 1989; PRIGOGINE/STENGERS 1980; RICHTER, SCHOLZ 1987,1991)

(Vgl. DAVIES 1988, HAKEN 1977, NICOLIS/PRIGOGINE 1987, PENROSE 1989, PRIGOGINE/STENGERS 1980)

*ANLAGE**Zu Abb. 12**Schlüssel zum Netzwerk (Auszug)*

	Ergebnis	Tätigkeit	Benennung
	(Knoten-Nr.)	(Kanten-Nr.)	
	55		Beobachtung: Zeretzte Staphylokokkenkolonien rings um einen zufällig auf ihnen entstandenen Schimmel
194			
194			
	92		Konservierung eines Stammes des zufällig entstandenen Schimmels
	56		Konservierter Stamm des zufällig entdeckten Schimmels
		93 – 96	Planung der Versuche zur Wirkung des Schimmels auf verschiedene Bakterien
	57		Plan der Versuche zur Wirkung des gefundenen Schimmels auf verschiedene Bakterien
		94 – 95	Vermehrung des Pilzes
	58		Vermehrter Schimmelpilz
		99 – 104	Versuche zur Wirkung des Schimmels auf verschiedene Bakterien
	59		Beobachtungsergebnisse über die Wirkung des Schimmels auf verschiedene Bakterien
		105 – 107	Vergleichende Zusammenfassung der Ergebnisse
	62		Beobachtungsergebnis: Behinderung des Wachstums bestimmter Bakterien, durch den Schimmelpilz, z. B. Streptokokkus, Staphylokokkus, Diphtheriebazillus, Milzbrandbazillus, nicht aber des Typhusbazillus
		108	Experimentelle Erkundung der bakteriziden Eigenschaften der Nährflüssigkeit des Schimmelpilzes

	Ergebnis	Tätigkeit	Benennung
	63		Beobachtungsergebnis: Nachweis der bakteriziden Wirkung der Nährflüssigkeit Schimmelpilz
		109 – 112	Experimentelle Erkundung der bakteriziden Wirkung der Flüssigkeit in unterschiedlicher Verdünnung (20facher, 40facher, 200facher, 500facher)
	64		Beobachtungsergebnisse über die bakterizide Wirkung der Flüssigkeit in unterschiedlicher Verdünnung
		67	
		113 – 116	Vergleichende Zusammenfassung der Beobachtungsergebnisse
	68		Nachweis der bakteriziden Wirkung der Flüssigkeit in ihren verschiedenen Verdünnungen, die Entwicklung der Staphylokokken wurde von allen Proben unterbunden
		117	Versuch zur Identifizierung des Schimmelpilzes
	69		Ergebnis: FLEMING vermutete penicillium chrysogenum, sein hinzugezogener Mykologe diagnostizierte ihn als penicillium rubrum (roter Pinselschimmel) (entsprechend bezeichnete ihn FLEMING in seinen ersten Berichten)
	70		Zwei Jahre später identifizierte ihn der amerikanische Mykologe THOM als penicillium notatum, dem chrysogenum nahe verwandt
		118 – 120	Experimentelle Erkundung anderer Schimmelpilzarten auf ihre bakterizide Fähigkeit
	71		Beobachtungsergebnis:
	73		Bei anderen untersuchten Schimmelpilzarten konnte keine bakterizide Fähigkeit festgestellt werden
		121 – 122	Herstellung von Schimmelsaft durch CRADDOCK
	74		Schimmelsaft

	Ergebnis	Tätigkeit	Benennung
		123	Planung von Experimenten zur Erkundung der größten Ergiebigkeit des Schimmelpilzes – 123: an welchem Tag des Wachstums?
		124	- 124: bei welcher Temperatur?
		125	- 125: auf welchem Nährboden?
		75	Plan der Experimente zur Erkundung des Tages der größten Ergiebigkeit des Schimmelpilzes
	76		Plan der Experimente zur Erkundung der Temperatur der größten Ergiebigkeit des Schimmelpilzes
	77		Plan der Experimente zur Erkundung des Nährbodens der größten Ergiebigkeit des Schimmelpilzes
		126 – 128	Experimente zur Erkundung des Tages der größten Ergiebigkeit des Schimmelpilzes
	78		Experimentelle Ergebnisse zur Ergiebigkeit des Schimmelpilzes
	80		an bestimmten Tagen des Wachstums
		129 – 131	Vergleichende Zusammenfassung der Ergebnisse
	81		Ergebnis: Konstatierung des Tages des Wachstums der größten Ergiebigkeit des Schimmelpilzes
		132 – 134	Experimente zur Erkundung der Temperatur, bei welcher die größte Ergiebigkeit des Schimmelpilzes zu verzeichnen ist
	82		Experimentelle Ergebnisse über den Zusammenhang der Temperatur
	83		und der Ergiebigkeit des Schimmelpilzes
		135 – 137	Vergleichende Zusammenfassung der Ergebnisse
	85		Beobachtungsergebnis: Schnelles Schwinden der bakteriziden Wirkung des Schimmelsaftes bei Zimmertemperatur
		138 – 140	Experimente zur Erkundung eines günstigen Nährbodens für den Schimmelpilz
	86		Experimentelle Ergebnisse über den

	Ergebnis	Tätigkeit	Benennung
	88		Zusammenhang von Nährbodenbeschaffenheit und Ergiebigkeit des Schimmelpilzes
		141 – 143	Vergleichende Zusammenfassung der Ergebnisse
	89		Beobachtungsergebnis: Unbeständigkeit der bakteriziden Wirkung des Schimmelsaftes, verringert sich, wenn die alkalische Nährlösung (pH 9) in eine neutrale (pH 6 – 8) verwandelt wird
		144	Planung der Toxizitätsprobe des Schimmelsaftes
	90		Projektion Toxizitätsprobe
		145	Injektion von 20 ccm des Schimmelsaftes in die Vene eines Kaninchens
	91		Beobachtungsergebnis: Der Saft erwies sich als nicht toxischer als die gleiche Menge Bouillon
		146	Injektion eines halben ccm Schimmelsaftes ins Bauchfell einer Maus
	92		Beobachtungsergebnis: keinerlei toxische Symptome
		147	Dauerspülung großer Hautflächen beim Menschen
	93		Beobachtungsergebnis: keinerlei toxische Wirkung
		148	stündliches Spülen der Bindehaut
	94		Beobachtungsergebnis: keinerlei Reizwirkung
		149	Planung von Versuchen zur Extraktion des wirksamen Stoffes
	95		Plan der Extraktion des wirksamen Stoffes
		150	Extraktionsversuch mit Azeton
		151	Extraktionsversuch mit Äther
		152	Extraktionsversuch mit Alkohol



	Ergebnis	Tätigkeit	Benennung
	95	18 – 10	Abbruch der Versuche, da alle nicht zum Ziel führten  Zusammenfassende Publikation über das Penicillin, Abbruch des Forschungsprogrammes der enormen Schwierigkeiten wegen, welche die Isolierung des Penicillin bereitete; wegen der Instabilität der erhaltenen Substanz, der Fragwürdigkeit, jemals ein ökonomisch vertretbares Präparat erreichen zu können.

### *Literatur*

BICKEL 1972

Bickel, Lennard: Rise up to life: a biography of Howard Florey who made penicillin and gave it to the world, London 1972

BINZ 1912

Binz, A.: Die Mission der Teerfarbenindustrie, Berlin 1912

BOON et.al. 1942

Boon, W.R., Gobson, A.S., Scott.C.M.and Thurlow, H.J.: Imperial Chemical Industries, Ltd. Dyestuffs Division: joint technical Report on Penicillin: Design, Erection, and Start-Up of the Initial Plant at Trafford Park Works, January to October, 1942. Biological department, Trafford Park Works, and Research Department Library File No. H.7051

BOHM 1987

Bohm, D.: Wholeness And The Implicate Order, London; Die implizite Ordnung – Grundlagen eines dynamischen Holismus, München 1987

BOHM, PEAT 1987,1990

Bohm, D., Peat F.D.: Science, Order and Creativity, New York, 1987; Daneue Weltbild – Naturwissenschaft, Ordnung und Kreativität, München 1990

BRIGGS, PEAT 1990

Briggs, J., Peat, David F.: Die Entdeckung des Chaos, München, Wien 1990

BRUNNER 1962

Brunner, R.: Die Antibiotika. Bd. 1/1 Allgemeiner Teil, Penicillin. Brunner, R., Machek, G. (ed.) Nürnberg 1962

## CHAIN 1971

Chain, E.B.: Thirty years of penicillin therapy, 1971, Proc. R. Soc., London 179, 293 – 319

## CHAIN, DUTHI 1945

Chain, E., Duthi, E.S.: Bactericidal and bacteriolytic action of penicillin in the staphylococcus. Lancet 652–657 (1945)

## CHAIN et. al. 1940

Chain, E.B., Florey, H.W., Gardner, A.D., Heathley, N.G., Jennings, M.A., Orr-Ewing, J., Sanders, A.G.: 1940 Lancet ii, 226

## CLARK 1985

Clark, R.W.: The Life of Ernst Chain, London 1985

## CLARKE, JOHNSON, ROBINSON 1949

Clarke, H.T., Johnson, J.R., Robinson, R.: „The chemistry of penicillin, Princeton 1949

## CRELLIN 1980

Crellin, J.: Antibiosis in the Nineteenth Century, in: The History of Antibiotics. a Symposium, Ed. by J. Parascandola American Institute of the History of Pharmacy Madison, Wisconsin 1980

## DAVIES 1988

Davies, P.: Prinzip Chaos. Die neue Ordnung des Kosmos, München 1988

## De KRUIF 1926

De Kruiif, P.: Microbe Hunters, New York 1926; Mikrobenjäger, Zürich und Leipzig 1928, Leipzig 1937

## DOMAGK, HEGLER 1944

Domagk, G., Hegler, C.: Chemotherapie bakterieller Infektionen, Leipzig 1944

## DUBOIS 1951

Dubois, R.J.: Louis Pasteur, London 1951

## DUCHESNE 1897

Duchesne, E.A.: Contribution a l'étude de la concurrence vitale chez les microorganismes: Antagonisme entre les moisissures et les microbes. Dissertation, 1896. Army Medical Academy in Lyon, France. Alexandre Rey, Imprimeur de la Faculté de Médecine, -4, Rue Gentil, 4- (December 1897)

## DUISBURG 1911

Duisburg, C.: Die Wissenschaft und Technik in der chemischen Industrie mit besonderer Berücksichtigung der Teerfarbenindustrie, München 1911

DÜRCKHEIMER et. al. 1985

Dürckheimer, W., Blumbach, J., Lattrel, R., Scheinemann, K.-H.: Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der -Lactam- Antibiotica, *Angew. Chemie.* 97(1985) 183 – 205

EHRlich 1957

Ehrlich, P.: *Gesammelte Arbeiten*, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1957

EINSTEIN 1949

Albert Einstein, *Autobiographie*, in: Albert Einstein, *Philosopher-Scientist*, hrsg.v. Paul A. Schilpp, Evanston, III., 1949

EISNER 1962

Eisner, H.: A generalized network approach to the planning and scheduling of a research projekt, in: *Operations Research*, Vol. 10, 1962, S. 115–125

ELDER 1970

Elder A.L. ed.: *The history of penicillin production*. Chemical Engineering Progress Symposium Series 1970, Number 100, Vol.66, Published by American Institute of Chemical Engineers, New York 1970

ELMAGHRABY 1964

Elmaghraby, S.E.: An algebra for the analysis of generalised activity networks, in: *Management Science*, Vol. 10, 1964, S. 494–514

FLEMING 1929

Fleming, A.: On the antibacterial action of entures of *Penicillium*; with special reference to their use in isolation of *Bac. influenza*, in: *Brit. J. Path.* 10, 226 (1929)

FLEMING 1932

Fleming, A.: Some problems in the use of antiseptics, in: *Brit. deut. J.* 52, 105 (1932); *J. Path. a. Baxter.*, 35, 831 (1932)

FLEMING 1947

Fleming, A.: *Nobel Lecture on Penicillin*, Stockholm 1947

FLOREY 1940

Florey, H.: *Penicillin as a chemotherapeutic agent*, in: *Lancet* Aug. (1940)

FLOREY 1944

Florey, H.W.: *Penicillin: A survey*. *British Medical Journal* Aug. 5, 1934, 168 – 171

FLOREY 1954

Florey, H.W.: *Lectures on General Pathology*, London 1954

FLOREY et. al. 1949

Florey, H.W., Chain, E., Heatley, N.G., Jennings, M.A., Sanders, A.G., Abra-

- ham, E.P., Florey, M.E.: Antibiotics. A survey of penicillin, streptomycin, and other antimicrobial substances from fungi, actinomycetes, bacteria, and plants., London 1949
- GARRÉ 1887  
Garré, C.: Über Antagonisten unter den Bakterien, in: Correspondenzblatt f. Schweizer Aerzte, Jg. XVII, 1887, Zbl. Bacteriol. Parasitenkunde Infektionskr. 2, 312 (1887)
- GARROD, LAMBERT, O'GRADY 1973  
Garrod, L.P., Lambert, H.P., O'Grady, F.: Antibiotic and Chemotherapy, 4th ed., Edinburgh, London 1973
- GAUSE 1980  
Gause, G.F.: Gramicidin S and Early Antibiotic Research in the Soviet Union, in: PARASCANDOLA ed. 1980
- GLEICK 1987, 1990  
Gleick, J.: Chaos – Making A New Science, New York 1987; Chaos – die Ordnung des Universums, München 1988, 1990
- GODLEE 1917  
Godlee, R.J.: Lord Lister, London 1917
- GOETHE 1817 (1876)  
Goethe, J. W. v.: Sämtliche Werke, Vollständige Ausgabe in fünfzehn Bänden, vierzehnter Band, Stuttgart 1876
- HARE 1970  
Hare, R.: The Birth of Penicillin and the Disarming of Microbes, London 1970
- HAKEN 1977,1978,1983  
Haken, H.: Synergetics. An Introduction, Berlin, Heidelberg 1977, 1978, 1983; Synergetik, Berlin, Heidelberg, New York,Tokyo 1983
- HELFAND et.al. 1942  
Helfand, W.H., Woodruff, H.B., Coleman, K.M.H., Cowen, D.L.: Wartime Industrial Development of Penicillin in the United States, in: PARANDOSCOLA ed. 1980
- HERRELL 1945  
Herrell, W.E.: Penicillin and Other Antibiotic Agents, Philadelphia, London 1945, Penicillin und andere Antibiotica, Stuttgart 1949
- HESS, MARKUS 1987,1990  
Hess, B., Markus,M.: Ordnung und Chaos in chemischen Uhren, in: KÜPPERS (Hrsg.), 1987,1991

HOBBY 1985

Hobby, G.L.: Penicillin – Meeting the Challenge, New Haven, London 1985

HUGHES 1974

Hughes, W. Howard: Alexander Fleming and penicillin, London 1974

JANTSCH 1982

Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Unoversums, Vom Urknall zum menschlichen Geist, München 1982

KEEFER 1945

Keefer, C.S: Penicillin. Oxford 1945

KEEFER 1948

Keefer, C.S.: Advances in Military Medicine, Boston 1948

KEKULÉ 1858

Kekulé, A.: Über die Konstitution und die Metamorphosen der chemischen Verbindungen und über die chemische Natur des Kohlenstoffs, in: Annalen der Chemie und Pharmazie. CVI, Bd. 2. Heft, S. 129 – 159 – Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 145, Leipzig 1904, Hrsg. von A. Ladenburg

KEKULÉ 1865

Kekulé, A.: Sur la constitution des substances aromatiques, Société chimique de Paris, 27. Jan. 1865, – Bulletin de la soc. chim. 1865, I, 98 Annalen der Chemie und Pharmazie CXXXVII. Bd., 2. Heft, S. 129 – 196

KÜPPERS 1986

Küppers, B.-O.: Der Ursprung biologischer Information, München 1986

KÜPPERS (Hrsg.) 1987,1991

Küppers, B.-O.: Ordnung aus dem Chaos,1987,1991

KÜPPERS 1987,1991

Küppers, B.-O.: Die Komplexität des Lebendigen – Möglichkeiten und Grenzen objektiver Erkenntnis in der Biologie, in: KÜPPERS (Hrsg.) 1987,1991

KUHN 1967

Kuhn, Th.S.: The Structure of Scientific Revolutions, Chicago 1962, Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Frankfurt/Main 1967

KUHN 1978

Kuhn, Th.S.: Die historische Struktur wissenschaftlicher Entdeckungen, in: Die Entstehung des Neuen, Frankfurt/Main 1978

LISTER 1871

Annals of the Royal College of Surgeons, Bd. VI, Februar 1950

## LOEWE 1950

Loewe, H.: Zur Vorgeschichte der antibiotischen Forschung, in: Pharmazeutische Zentralhalle für Deutschland, 89. Jg., 1 (1950), 2. (1950)

## MACFARLANE 1979

Macfarlane, Gwyn: Howard Florey, the making of a great scientist, Oxford 1979

## MACFARLANE 1984

Macfarlane, Gwyn: Alexander Fleming – The Man and the Myth, Cambridge Mass. 1984

## MAUROIS 1959

Maurois, André: Life of Sir Alexander Fleming, discoverer of penicillin, London 1959

## MAUROIS 1961

Maurois, André: Fleming: The man who cured millions, London 1961

## MEHNERT, WOLF 1983

Mehnert, W.H., Wolf, J.: Merkmale und Probleme der interdisziplinären Zusammenarbeit von Forschern, dargestellt am Beispiel der Forschungsphasen bei Untersuchungen zur Entwicklung eines tumorlokalisierenden Krestestes, in: Interdisziplinarität in der Forschung. Hrsg. H. Parthey und K. Schreiber

## MEINHARDT 1987,1991

Meinhardt, H.: Bildung geordneter Strukturen bei der Entwicklung höherer Organismen, in: KÜPPERS (Hrsg.) 1987,1991

## NEISSER 1914

Neisser, A.: Chemotherapie, in: Paul Ehrlich. Eine Darstellung seines wissenschaftlichen Wirkens, Jena 1914

## NICOLIS, PRIGOGINE 1987

Nicolis, G., Prigogine, I.: Die Erforschung des Komplexen, München Zürich, 1987

## PARASCANDOLA ed. 1980

Parascandola, J., ed.: The history of antibiotics: a symposium. Held at Honolulu, 5 April 1979. American Institute of the History of Pharmacy, Madison, Wisconsin 1980

## PENROSE 1989,1991

Penrose, R.: The Emperor's New Mind Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics, New York, Oxford 1989 ; Computerdenken, Die Debatte um Künstliche Intelligenz, Bewußtsein und die Gesetze der Physik, Heidelberg, 1991

PICKERING 1974

Pickering, George: Creative malady, London 1974

PRATT and DUFFRENOY 1949

Pratt, R., Duffrenoy, J.: Antibiotics. Philadelphia: Lipincott 1949

PRIGOGINE, STENGERS 1980, 1986

Prigogine, I., Stengers, I.: Dialog mit der Natur, München, Zürich 1986

PRITSKER, HAPP 1966

Pritsker, A.A.B., Happ, W.W.: GERT: Graphical Evaluation and Review Technique. Part I. Fundamentals., in: The Journal of Industrial Engineering. Vol. 17, May 1966, S.267–274

PRITSKER, WHITHOUSE 1966

Pritsker, A.A.B., Whitehouse: GERT: Graphical Evaluation and Review Technique. Part II. Probabilistic and Industrial Engineering. Vol. 17. Juni 1966, S. 293–301

RICHARDS 1964

Richards, A.N.: Production of Penicillin in the United States (1941 – 1946), Nature, February 1, 1964

ROBERTS 1874

Roberts, W.: Studies on Abiogenesis, in: Phil. Trans., 1974, 104

RUDOLF 1960

Rudolf, W.: Die Kulturgeschichte der Antibiotika, in: Medizinische Klinik, 55. Jg., 51 (1960)

SHEEHAN 1984

Sheehan, J.C.: The Enchanted Ring. The Untold Story of Penicillin, Cambridge, Massachusetts, London 1984

SHEEHAN, HENEREY-LOGAN 1957

Sheehan, J.-C., Henerey-Logan, K. R.: The total synthesis of Penicillin V. in: J. Am. Chem. Soc. 79 (1957) 262

STENT 1972

Stent, G.: Prematurity and Uniqueness in Scientific Discovery, in: Scientific American, Vol. 227, Dec. 1972, No. 6

TOWNES 1983

Townes, Charles H.: Science, technology, and invention: Their progress and interactions, in: Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 80, pp. 7679–7683, December 1983, Applied Physical Sciences

VÖLZGEN, DICK 1969

Völzgen, H., Dick, R.: Forschungsplanung mit GERT, in: Betriebswirtschaft, Wiesbaden 39(1969) 8, S. 515–530

WAINWRIGHT 1990

Wainwright, M.: Miracle Cure – The Story of Penicillin and the Golden Age Of Antibiotics, Oxford 1990

WAKSMAN 1975

Waksman, S.A.: The Antibiotic Era, Tokyo 1975

WEHMER 1891

Wehmer, C.: Beiträge zur Kenntnis einheimischer Pilze, Leipzig 1891

WEIZSÄCKER 1971

Weizsäcker, C.F.v.: Die Einheit der Natur, München 1971

WILLIAMS 1984

Williams, T.I.: Howard Florey – Penicillin and After, Oxford 1984

WILSON 1976

Wilson, David: In Search of Penicillin, New York 1976

ZIMMERMANN, VÖLZGEN 1972

Zimmermann, H.J., Völzgen H.: Darstellung und quantitative Behandlung stochastischer Abläufe mit Hilfe graphentheoretischer Methoden unter besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendbarkeit auf spezielle Probleme der Unternehmensforschung. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2225. Westdeutscher Verlag, Opladen 1972



---

ANDREA SCHARNHORST

## Zum Verhältnis von sprunghafter und gradueller Entwicklung

### *Einleitung*

Die Frage, ob die Evolution kontinuierlich fortschreitet oder Sprünge macht, ist in jeder Generation von Evolutionsbiologen wieder neu thematisiert worden.<sup>1</sup> Der vorliegende Beitrag geht der Frage nach, wie sich das dialektische Verhältnis zwischen kontinuierlichem und sprunghaftem Wandel in evolutionstheoretisch beeinflussten physikalischen Ansätzen widerspiegelt.

Da in physikalischen Darstellungen von dem biologischen Kontext der Evolutionsmechanismen wie Selektion und Mutation oft bereits stark abstrahiert wird, steht am Beginn des Beitrags eine kurze Darstellung einiger biologischer Auffassungen zum Verhältnis von gradueller und sprunghafter Entwicklung. Am Beispiel eines speziellen physikalischen Ansatzes zur Evolution in zufälligen Fitnesslandschaften werden Aspekte des Wissenstransferprozesses von biologischen Theorien zu abstrakten mathematisch-physikalischen Theorien untersucht. Aus den resultierenden physikalischen Modellen lassen sich spezifische, eigenständige Aussagen zum Verhältnis von kontinuierlicher und sprunghafter Entwicklung ableiten, die zu neuen Ansätzen auch in anderen Wissenschaftsfeldern führen könnten. Am Beispiel technologischer Evolution werden die Möglichkeiten eines solchen anschließenden Übertragungsprozesses umrissen.

### *Graduelle und sprunghafte Entwicklung im Kontext biologischer Evolutionstheorien*

Die Evolution gewinnt ihren schöpferischen Aspekt und ihren sprunghaften Charakter durch Zufallsprozesse.<sup>2</sup> Solchen Zufallsprozessen liegen Mutationen zugrunde. Mutationen sind der Schlüssel der Evolution. Das Verhältnis von gra-

1 Mayr, E., *Toward a New Philosophy of Biology. Observations of an Evolutionist*. Cambridge: Belknap Press 1988

2 Ebeling, W. / A. Engel / R. Feistel, *Physik der Evolutionsprozesse*. Akademie-Verlag: Berlin 1990, S. 225

dueller und sprunghafter Entwicklung berührt den Charakter und die Funktion solcher Mutationen. In der biologischen Evolution bezeichnet der Begriff „Mutation“ jegliche vererbare Veränderung in der genetischen Konstituierung eines Organismus.<sup>3</sup> Diese Veränderungen können ein einzelnes Nucleotid in einer DNA-Sequenz (*Punktmutation*) oder größere Bereiche des Genoms (*Makromutation*) betreffen.

Über die Quellen bzw. Ursachen der verschiedenen Mutationen gibt es bisher eher wenig Kenntnisse. Man kann dabei zwischen endogenen Faktoren oder Prozessen und exogenen unterscheiden.<sup>4</sup> Endogen sind die Ereignisse, die von der Aktivität der Zelle selbst ausgelöst werden. Exogene Quellen umfassen beispielsweise die mutagene Wirkung von Radioaktivität, UV-Strahlen und chemischen Substanzen.

*Mutationen sind das Ergebnis einzelner, molekularer Ereignisse.* Diese sind diskret in der Zeit und sprunghaft. „Das Auftauchen einer neuen Entität erfolgt immer sprunghaft, zu einer diskreten Zeit“.<sup>5</sup> Die Diskussion um graduellen vs. radikalen Wandel bezieht sich aber zumeist nicht auf dieses Charakteristikum einzelner Mutationen auf der Mikroebene, sondern auf das daraus resultierende Auftauchen einer neuen Entität (Individuum, Population) auf der Makroebene. Das Auftreten neuer Entitäten ist mit der Vorstellung einer graduellen Weiter- oder Höherentwicklung verbunden. So umstritten der Begriff der „Höherentwicklung“ im Sinne einer „Verbesserung“ von Merkmalen sein mag, unumstritten ist, dass das Entstehen von Neuem mit *anderen* Merkmalen zentral für jede Evolutionstheorie ist.<sup>6</sup>

Im Kontext der biologischen Evolution führt dies auf die Frage, wann Mutationen auf einer Makroebene relevant werden. Während die Mutation auf der Ebene des Genotyps wirkt, greift die Selektion auf der Ebene des Phänotyps an. Für das Verhältnis von sprunghafter und gradueller Entwicklung sind daher die Verbindung von Genotyp und Phänotyp auf der Ebene des Individuums und die Prozesse der Ausbreitung von Mutationen in Populationen wesentlich.

Viele Mutationen führen zu keinen signifikanten Veränderungen in der Morphologie, dem Metabolismus (Stoffwechsel) oder dem Verhalten der sie tragenden Organismen. Sie sind äquivalent zueinander in bezug auf die Adaptivität

3 Majerus, M. / W. Amos /G. Hurst, Evolution. The Four Billion Year War. Longman: Harlow 1996

4 Ebenda, S. 51

5 Ebeling W., Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen. Teubner Verlagsgesellschaft: Leipzig 1976

6 Parthey, H. (Hrsg.), Das Neue, seine Entstehung und Aufnahme in Natur und Gesellschaft. Akademie-Verlag: Berlin 1990

oder Anpassung der Organismen. Diese Mutationen nennt man auch selektiv neutral.<sup>7</sup>

Für den Fortgang der Evolution sind die Mutationen relevant, die zu signifikanten *und* vererbaren Veränderungen eines Individuums führen. Vererbung und Tod ihrerseits sind diejenigen Ereignisse, die zu einer Veränderung der genotypischen Häufigkeiten in einer Population führen. Der Tod eines Individuums kann dabei dem Zufall unterliegen. Eine daraus resultierende Verschiebung der Häufigkeit von Allelen<sup>8</sup> ist zufällig und kann zum Anwachsen oder der Verringerung von Organismen eines bestimmten Typs in der Population führen. Dieser Prozess wird als zufällige genetische Drift (*random genetic drift*) bezeichnet. Er ist dem Rauschen in physikalischen Systemen, d.h. der durch Wärme erzeugten Brownschen Bewegung von Teilchen, vergleichbar. In einem anderen Fall mag der Tod eines Individuums an seinen Genotyp gebunden sein. Das heißt, statistisch haben die Träger mancher Genotypen eine höhere Überlebenschance als andere, was zur Ausbreitung ihrer genotypischen Merkmale in der Population und dem Verdrängen anderer Genotypen führen kann. Diesen Mechanismus nennt man natürliche Selektion. Die natürliche Selektion ist die treibende Kraft des Evolutionsprozesses.

Der Prozess der Mutation erzeugt neue Varianten, die zufällige genetische Drift sorgt für die Verbreitung dieser Genotypen in einer Population, und die Selektion führt zu einer gerichteten Bewegung. Für das Funktionieren dieses Evolutionsapparates bedarf es der folgenden Voraussetzungen:<sup>9</sup>

1. Es muss eine phänotypische Variation vorliegen.
2. Diese phänotypische Variation muss auf einer genetischen Variation beruhen und vererbbar sein.
3. Alle Individuen eines bestimmten Phänotyps müssen – im Durchschnitt – mehr oder weniger Nachkommen produzieren als andere, d.h. es muss einen Zusammenhang geben zwischen Fitness bzw. Anpassung und Phänotyp.

7 In seiner Theorie der molekularen Evolution argumentierte Kimura, dass viele Mutationen, wenn nicht sogar die Mehrzahl, den Phänotyp nicht verändern und wenig Einfluss auf die Fitness haben (Kimura, M., *The Neutral Theory of Molecular Evolution*. Cambridge University Press: Cambridge 1983).

Redundanz findet sich an verschiedenen Stellen des evolutionären Prozesses. So führen z.B. manche nucleotide Substitutionen zu synonymen Codons und man spricht dann von der sogenannten Redundanz des genetischen Codes. Diese Redundanz erfüllt verschiedene Funktionen. An späterer Stelle werden wir darauf noch einmal zurückkommen.

8 Allele sind Gene, die das gleiche phänotypische Merkmal betreffen, es aber anders ausprägen, wie etwa die Farben von Blüten.

9 Majerus, a.a.O., s. FN 3, S. 60

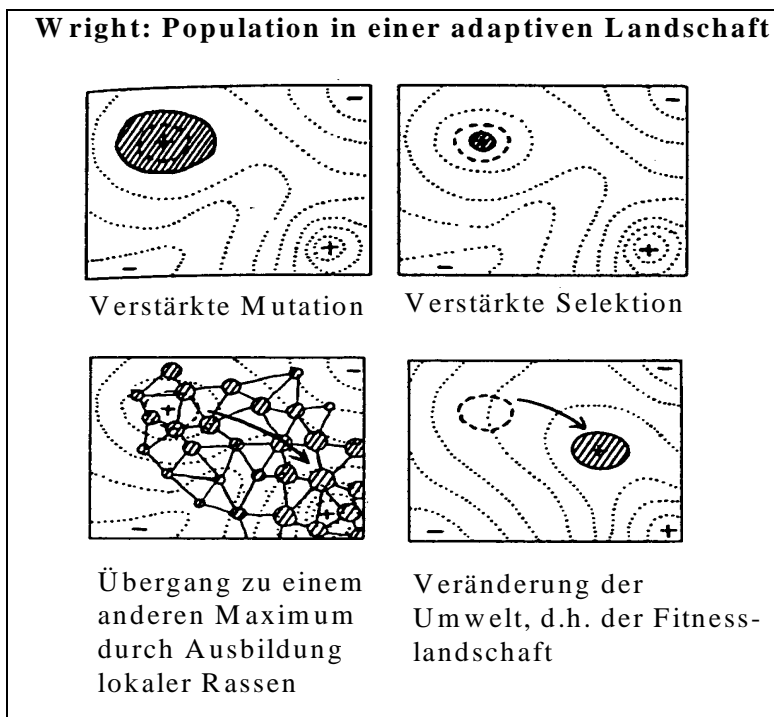


Abbildung 1: Lage und Veränderung von Populationen in einer hypothetischen adaptiven Landschaft

Die gepunkteten Linien markieren die Höhenzüge der Landschaft. Das Zeichen "+" steht für Gipfel in dieser Landschaft und das Zeichen "-" für Täler. Die Lage der Populationen wird durch schrägschraffierte Flächen markiert. Veränderungen der Größe (Ausdehnung) und der Lage der Populationen werden durch gestrichelte Umrandungen bzw. Pfeile gekennzeichnet.

Zur Veranschaulichung der Auswirkungen von Selektion und Mutation auf die Anpassung einer Population und der Veränderung dieser Anpassung führte Wright 1932<sup>10</sup> das Bild einer adaptiven oder Fitnesslandschaft über einem Raum

10 Wright, S., The Roles of Mutation, Inbreeding, Crossbreeding and Selection in Evolution. – In: Proceedings of the VIth International Congress of Genetics (Ithaka, New York). 1(1932)6, pp. 356–366

von Allelkombinationen, Genkombinationen oder Genhäufigkeiten ein (Abbildung 1)<sup>11</sup>.

Selektion führt zu einem Bergaufsteigen in dieser Landschaft. Die Population sammelt sich in Regionen des Raumes, die den Maxima der Fitness entsprechen. Je stärker der Druck der Selektion ist, desto enger konzentriert sich die Population um das jeweilige Maximum. Mutation dagegen führt zu einer Ausdehnung der Population.

In diesem Bild einer hypothetischen Fitnesslandschaft lässt sich auf anschauliche Art und Weise die Existenz von mehreren Fitnesspeaks über einem Raum von Allelkombinationen darstellen und man kann die Folgen diskutieren, die daraus resultieren. Durch die Selektion ist die Population auf dem Gipfel, den sie erreicht hat, unabhängig von dessen Höhe gefangen. Auch wenn verschiedene Gipfel mit unterschiedlicher Höhe existieren, kann eine Population zwischen ihnen nicht durch den Mechanismus der Selektion wechseln. Die offene Frage ist auf einmal nicht mehr, wie erreicht die Evolution einen Gipfel in der adaptiven Landschaft, sondern wie kann sie ihn wieder verlassen.

Wright selbst entwarf verschiedene Szenarien, wie die Evolution das Gipfeldilemma lösen kann. In seiner *shifted balance theory*<sup>12</sup> argumentierte er, dass im Fall schwacher Selektion der Prozess der zufälligen genetischen Drift in stark unterteilten Populationen auch zu einer Bergabwärtsbewegung führen kann. Der Übergang von einem Maximum zu einem anderen erfolgt in diesem Fall über eine Aufspaltung der Population in verschiedene Untergruppen (lokale Rassen). Eine andere Möglichkeit entsteht dadurch, dass sich die Umwelt und damit auch die Fitness an bestimmten Orten im Phänotypraum verändern kann. Dann kann, selbst wenn der ursprüngliche selektive Zustand wieder hergestellt wird, die Population einen anderen Gipfel einnehmen.<sup>13</sup>

Im Raum der Fitnesslandschaft über phänotypischen oder genotypischen Merkmalen lassen sich graduelle und sprunghafte Veränderungen spezifisch definieren. Graduelle Veränderungen beschreiben langsame Driftbewegungen und die Konzentration der Population um ein Maximum. Radikale Veränderungen entsprechen einem Wechsel von Populationen zwischen verschiedenen Maxima.

Unabhängig davon, welche Mechanismen die Bewegung der Populationen im Raum der Genotypen oder Phänotypen steuern, das Bild von sich bewegenden Populationen in einer adaptiven Landschaft erlaubt es, Charakteristika evolutio-

11 Die Zeichnungen in Abbildung 1 stammen von Wright selbst aus der Arbeit von 1932.

12 Wright, S., *Evolution and the Genetics of Populations*. Vol. 3. *Experimental Results and Evolutionary Deductions*. University of Chicago Press: Chicago 1977

13 Majerus, a.a.O., s. FN 3, S. 71

närer Prozesse wie Spezialisierung, das Verhältnis von Selektion und Mutation im Verlauf der Evolution, die Geschwindigkeit der Evolution und Schrittweiten evolutionärer Suche anschaulich darzustellen. Es mag daher nicht überraschen, dass gerade dieses Bild für evolutionstheoretische Verallgemeinerungen eine zentrale Rolle gespielt hat.

### *Fitnesslandschaften und statistische Physik*

#### *Landschaften und dynamische Systeme*

Die mathematische Beschreibung von Evolutionsprozessen aus Sicht der Physik ist eng mit der Entwicklung der Selbstorganisationstheorien verbunden. Der mit den Arbeiten von Prigogine und anderen verbundene Paradigmenwechsel von deterministischen, linearen Theorien hin zu Irreversibilität, Nichtlinearität und Strukturbildung als konstitutiven Elementen der Naturbeschreibung öffnete den Blick der Physik auf die Evolution. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, den verschiedenen evolutionstheoretischen Ansätzen innerhalb der Physik systematisch nachzugehen. Dennoch sollen einige wichtige Ansätze Erwähnung finden, bevor ein spezifisches Modell aus der statistischen Physik in seiner Aussage bezüglich des Verhältnisses von gradueller zu sprunghafter Evolution dargestellt wird.

Die Darstellung biologischer Evolution als Bewegung in einer über einem Merkmalsraum definierten Fitnessfunktion findet in der Physik ihr Gegenstück in Funktionen über dem Zustandsraum, die den Verlauf der Bewegung des physikalischen Systems bestimmen. Solche Funktionen bewerten verschiedene Zustände dahingehend, ob diese Zwischenstadien der Systementwicklung oder relative Endpunkte darstellen. Auf diese Art und Weise kann aus der Gestalt solcher Funktionen auf die Systemdynamik geschlossen werden. Mit der zunehmenden Komplexität physikalischer Prozesse nehmen die Bezüge auf Fitnesslandschaften in physikalischen Theorien zu.

Um die Bedingungen eines solchen Wissenstransfers zu verdeutlichen, sollen im folgenden die Anschlussstellen in der Physik genauer beschrieben werden. Dabei wird zunächst der Frage nachgegangen, um welche Funktionen in physikalischen Systemen es sich handelt, denen später Eigenschaften einer Fitnessfunktion zugeschrieben werden können.

Der Zustand eines (physikalischen) Systems lässt sich durch einen Satz von Zustandsvariablen beschreiben, die die Achsen eines Zustandsraumes bilden. Die Anzahl der Zustandsvariablen definiert die Dimension des Raumes. Die Physik kennt verschiedene Arten von Funktionen, die über dem Zustandsraum definiert

werden können. In der klassischen Physik ist es der Zustandsraum, der sogenannte Phasenraum. Ort und Impuls sind die Zustandsvariablen. Für mechanische Systeme sind die potentielle Energie und die Hamilton-Funktion als skalare Funktionen über dem Phasenraum definiert. Die Minima dieser Funktionen kennzeichnen besondere Konfigurationen, die im gedämpften System stabile Lagen darstellen. In der Thermodynamik bilden makroskopisch definierte Variablen bzw. Zustandsgrößen wie Druck, Temperatur, Volumen den Zustandsraum, in dem thermodynamische Potentiale (freie Energie, Entropie) als ausgezeichnete Größen definiert werden. Die Analyse der Extremaleigenschaften dieser Funktionen ermöglicht die Untersuchung von Zustandsveränderungen (Trajektorien im Phasenraum) und die Bestimmung von Gleichgewichtszuständen. So zeichnen sich z.B. thermodynamische Gleichgewichtsprozesse in abgeschlossenen Systemen durch eine Maximierung der Entropie aus. Lineare Nichtgleichgewichtsprozesse lassen sich dagegen durch eine Minimierung der Entropieproduktion charakterisieren.<sup>14</sup>

Auch in der Theorie dynamischer Systeme spielen Landschaftsvorstellungen eine zentrale Rolle. Diese abstrakte mathematische Theorie untersucht die Dynamik komplexer Systeme vorrangig mittels nichtlinearer Differentialgleichungen. An einem konkreten Beispiel – dem Schlögl-Modell – soll im folgenden die Rolle von Landschaften in der Analyse dynamischer Systeme dargestellt werden.

Das Schlögl-Modell wurde zur Modellierung einer bestimmten chemischen Reaktion aufgestellt und ist eines der klassischen Beispielsysteme aus der Theorie der Selbstorganisation.<sup>15</sup> Das Systemverhalten wird durch eine Variable  $x$  und zwei Parameter  $l$  und  $m$  beschrieben. Der Zustandsraum ist also eindimensional. Die Gleichung, die die zeitliche Veränderung der Variablen  $x$  beschreibt, ist nichtlinear (s. Abbildung 2). Das Schlögl-Modell weist dabei eine Besonderheit auf. Die Funktion  $f = x^3 + lx + m$  beschreibt die Systemdynamik und lässt sich als Ableitung einer Potentialfunktion  $U$  darstellen (s. Abbildung 2). Diese Funktion  $U$  wird auch als kinetisches Potential bezeichnet. Damit gehört das Schlögl-Modell zu den sogenannten Gradientensystemen, die im Rahmen der Katastrophentheorie<sup>16</sup> untersucht werden.

14 Nicolis, G. / I. Prigogine, Die Erforschung des Komplexen. Piper: München 1987

15 Vgl. etwa: Ebeling, W. / R. Feistel, Physik der Selbstorganisation. Akademie-Verlag: Berlin 1982; Malchow, H. / L. Schimansky-Geier, Noise and Diffusion in Bistable Nonequilibrium Systems. Teubner Verlagsgesellschaft: Leipzig 1986

16 Thom, R., Structural Stability and Morphogenesis. Benjamin: Reading 1975, Arnold, V.I., Theorie der Katastrophen. MGU-Verlag: Moskau 1983 (russ.)

Für das Langzeitverhalten jedes dynamischen Systems sind die stationären Punkte wesentlich. In diesen Punkten im Zustandsraum  $\frac{d}{dt}(x) = 0$  verändert sich das System nicht mehr. Sie genügen der Bedingung. Stabile stationäre Zustände stellen vorläufige Endpunkte der Systementwicklung dar<sup>17</sup>, auf die alle Trajektorien (Entwicklungspfade des Systems) zulaufen. Im Fall der Gradientensysteme führt eine topologische Analyse der Potentialflächen zur Bestimmung der stationären Zustände und der Untersuchung ihrer Stabilität. Für das Schlögl-Modell hängt die Gestalt der Potentialfunktion von den Werten der Parameter  $l$  und  $m$  ab. Für bestimmte Werte von  $l$  und  $m$  hat das System drei stationäre Punkte, von denen einer instabil und zwei stabil sind. Das System ist dann bistabil. Im Fall der Bistabilität hat die Funktion  $U$  zwei Minima die durch eine Maximum getrennt sind (Abbildung 2). Die Lage der Extrema entspricht der Lage der stabilen Punkte. Die beiden stabilen Punkte liegen an den Stellen der Minima und sind durch den instabilen stationären Punkt getrennt. Auch wenn man das kinetische Potential im Fall des Schlögl-Modells nicht als Evolutionslandschaft bezeichnen würde, ein Merkmal eines Evolutionsprozesses findet sich bereits in diesem, relativ einfachen, deterministischen System. Die Existenz von Bistabilität führt zu der Frage nach der Möglichkeit eines Übergangs zwischen den beiden stabilen Konfigurationen. Dieser Übergang kann, in einem erweiterten Modellrahmen, bezüglich seiner Wahrscheinlichkeit und seiner Zeitkonstanten analysiert werden. Auf solche Übergänge werden wir im nächsten Teil (3.2.) wieder zurück kommen.

Auch wenn nur ein kleiner Teil der dynamischen Systeme Gradientensysteme darstellt, die Vorstellung von (Potential)-Funktionen, deren Gestalt den Weg des Systems bestimmt, hat wesentlich zur Verbreitung der Ideen der Selbstorganisation beigetragen.<sup>18</sup> (Abbildung 3) Die Minimierung von Energie oder anderen Potentialfunktionen und die Maximierung von Fitnesswerten stellen dabei inverse Probleme dar.

Die Annahme der Existenz einer Bewertungsfunktion, die die Systemdynamik bestimmt, und die prinzipielle Offenheit von Evolutionsprozessen, die die Nicht-Vorhersagbarkeit von Innovationen einschließt, widersprechen einander nur scheinbar. Für die meisten komplexen Systeme existieren, wenn überhaupt, nur lokale Kriterien für die Stationarität von Prozessen und die Stabilität stationärer

17 Das Wort „vorläufig“ soll darauf aufmerksam machen, dass Innovationen als wesentliches Merkmal eines Evolutionsprozesses an die Instabilisierung bereits eingenommener stabiler Zustände gebunden sind. Der Endpunkt der Systementwicklung ist in diesem Sinne nur ein vorläufiger.

18 Nicolis / Prigogine 1987, a.a.O., s. FN 14



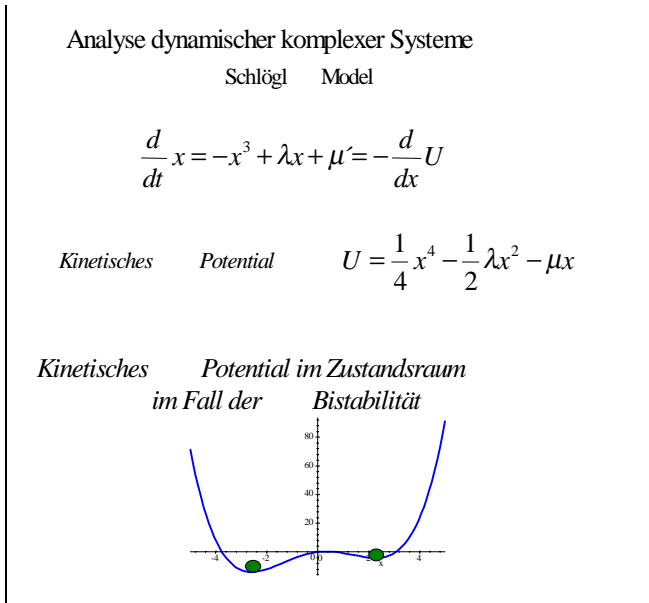


Abbildung 2

Zustände.<sup>19</sup> Die Bewertungsfunktion ist in der Regel nicht bzw. nicht vollständig bekannt. Der Tatsache, dass die Entwicklung in komplexen Systemen i.d.R. unter Unsicherheit erfolgt, kann durch die Modellierung der Bewertungsfunktion als zufälliger, korrelierter Funktion entsprochen werden. Arbeiten aus der statistischen Physik haben gezeigt, wie sich aus statistischen Eigenschaften von Bewertungsfunktionen Rückschlüsse auf Evolutionsprozesse im System ziehen lassen und umgekehrt. Beispiele dafür sind die Untersuchungen zu Spingläsern, neuronalen Netzen und *evolutionary strategies*<sup>20</sup>. Auch für die Arbeiten zur mole-

19 Ebeling / Feistel 1982, a.a.O., s. FN 15, Feistel R. / W. Ebeling, Evolution of Complex Systems. Kluwer: Dordrecht 1989

20 Zu Spingläsern, neuronalen Netzen und evolutionären Strategien siehe als Einführung: Conway, P. / R. Highfield, Frontiers of Complexity. Faber and Faber: London 1995

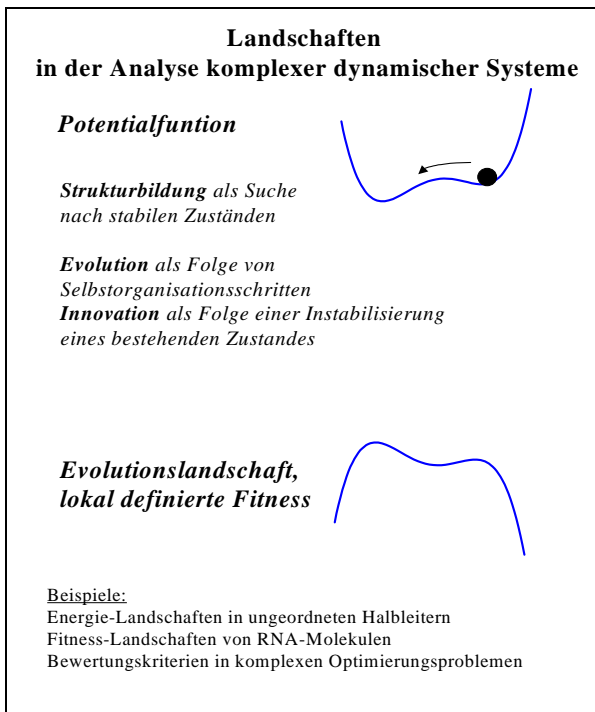


Abbildung 3

kularen Evolution, wie beispielsweise bei Schuster<sup>21</sup> oder Kauffman<sup>22</sup>, sind Landschaftskonzepte zentral.

### *Sprünge und kontinuierliche Evolution*

Im folgenden soll ein spezieller physikalischer Ansatz dargestellt werden, der seinerseits eine Verbindungslinie zwischen den Problemen der statistischen Festkörperphysik und der Theorie der molekularen Evolution zieht und dabei

21 Schuster, P., Beherrschung von Komplexität in der molekularen Evolution. – In: Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Hrsg. v. K. Mainzer. Springer: Berlin 1999, S. 117–145 (s.a. <http://www.phil.uni-augsburg.de/dgksnd/>)

22 Kauffman, S. A., The Origins of Order, Self-Organization and Selection in Evolution. Oxford University Press: Oxford 1983

Aussagen zu wesentlichen Eigenheiten von Evolutionsprozessen auf einer abstrakten Ebene macht. Den Ausgangspunkt bildet ein Modell, das von Eigen für die Beschreibung der molekularen Evolution vorgeschlagen wurde, und das seitdem zu den grundlegenden allgemeinen evolutionstheoretischen Ansätzen gehört.<sup>23</sup> Dieses Modell wurde ursprünglich entwickelt, um die Selbstreproduktion und Konkurrenz verschiedener (diskreter) Sorten von Makromolekülen zu beschreiben. Jede Sorte wird dabei durch eine Konzentration  $n_i(t)$  beschrieben.

In einer Verallgemeinerung betrachten Feistel und Ebeling<sup>24</sup> anstelle der Konzentration einer bestimmten Sorte  $n_i$  eine Dichteverteilung  $n(\vec{q}, t)$  über einem vieldimensionalen Merkmalsraum  $Q$ . Dieser Merkmalsraum ist im Fall biologischer Evolution der Raum phänotypischer Merkmale, ähnlich dem Wright'schen Bild.

Durch diese mathematische Verallgemeinerung lässt sich dann die Eigensche Gleichung in der Form einer sogenannten Reaktions-Diffusionsgleichung schreiben, mit spezifischen Ansätzen für die Reaktionsfunktion  $f$  und den Diffusionsterm  $D$ :

$$\frac{\partial}{\partial t} n(\vec{q}, t) = f(n(\vec{q}, t), \vec{q}, t) + D \Delta n(\vec{q}, t) \quad (1)$$

$$f = (E(\vec{q}) - \langle E \rangle) n(\vec{q}, t) \quad (2)$$

$$\langle E \rangle = \frac{1}{N} \int n(\vec{q}, t) E(\vec{q}) d\vec{q} \quad \text{und} \quad N = \int n(\vec{q}, t) d\vec{q} = \text{const}$$

Die Reaktionsfunktion  $f$  in der Gleichung (2) beschreibt einen autokatalytischen Prozess. D.h., in Gleichung (1) ist die zeitliche Veränderung der Größe  $n(\vec{q})$  proportional zu  $n(\vec{q})$  selbst. Der Koeffizient  $E(\vec{q}) - \langle E \rangle$  beschreibt den Vergleich einer lokalen Größe  $E(\vec{q})$  mit einem über dem ganzen Raum definierten

23 Für Verallgemeinerungen des Eigenschen Ansatzes siehe: Ebeling / Feistel 1982, a.a.O., s. FN 15, Hofbauer J. / K. Sigmund: Evolutionstheorie und dynamische Systeme. Parey: Hamburg 1984

24 Feistel R. / W. Ebeling, Models of Darwin Processes and Evolution Principles. In: BioSystems. 15(1982), pp. 291

Mittelwert. Die Größe  $E(\vec{q})$  entspricht dem Eigenschen Selektionswert. Im kontinuierlichen Fall ist dies eine über dem  $Q$ -Raum definierte skalare Funktion.

Der erste Term der rechten Seite von Gleichung (1) beschreibt den Selektionsprozess. An allen den Orten  $\vec{q}$  im Merkmalsraum, für die die lokale Bewertung  $E(\vec{q})$  über dem Ensemblemittelwert  $\langle E \rangle$  liegt, wächst die Dichtefunktion an. Individuen mit Merkmalen, deren Werte in diesen Bereichen liegen, reproduzieren sich; während an Orten, für die  $E(\vec{q}) < \langle E \rangle$  gilt, die Individuen verschwinden. Auf diese Weise sorgt die Selektion für eine Konzentration der Verteilung in den Maxima der Funktion  $E(\vec{q})$ .

Der zweite Term der rechten Seite von Gleichung (1) beschreibt den Mutationsprozess. Dieser resultiert aus den Eigenschen Mutationsraten und wird als isotrope, homogene Diffusion modelliert. Dieses Vorgehen entspricht der Annahme, dass es nicht stärker oder schwächer mutationsanfällige Arten gibt.

Für die obige kontinuierliche Evolutionsgleichung lässt sich mit einer bestimmten Transformation der Dichtefunktion

$$y(\vec{q}, t) = n(\vec{q}, t) \exp \left\{ \int_0^t \langle E \rangle(t') dt' \right\} \quad (3)$$

eine Verbindung zur Schrödinger-Gleichung der Quantenmechanik herstellen. Die Evolution der Dichtefunktion lässt sich damit in Analogie zur Bewegung von Teilchen in quantenmechanischen Potentialen beschreiben, wobei die Potentialfunktion  $U$  der Funktion  $-E(\vec{q})$  entspricht, d.h. die Zustände des Systems liegen nicht in den Potentialtöpfen, sondern in den Maxima der Funktion  $E(\vec{q})$ . Mit dieser Verallgemeinerung können Resultate der Quantenmechanik für die Diskussion von Evolutionsprozessen herangezogen werden.

Bereits für einfache, gegebene Potentiale führt die Analogiebildung zu sinnvollen Resultaten.<sup>25</sup> Verändert sich die Potentiallandschaft stetig (linear ansteigend), so bewegen sich die Zentren der Dichtefunktion entlang des Gradienten (in Richtung des steilsten Anstiegs). In der quantenmechanischen Analogie entspricht diesem Verhalten die Bewegung eines geladenen Teilchens in einem elektrischen Feld. Das System vollzieht eine Aufwärtsbewegung. Dieser Prozess entspricht einer Verschiebung von Populationen auf Grund der Fitnessverbesserung durch natürliche Selektion. Der Konzentration der Dichtefunktion in Maxima der Bewertungsfunktion entspricht die Stabilisierung von Systemzustän-

25 Feistel / Ebeling 1989, a.a.O., s. FN 19

den in Potentialtöpfen. In physikalischen Systemen, z.B. im Fall des harmonischen Oszillators, wird die potentielle Energie minimiert. Dieser Prozess beschreibt die Ausbildung von Populationen (Inselbildung).

Von besonderem Interesse ist, dass neben diesen einfachen Fällen (linear ansteigende Funktion, quadratische Funktion) auch das Systemverhalten unter der Bedingung von stochastischen Feldern (Potentialfunktionen) untersucht werden kann. Dadurch können Evolutionsprozesse mit reichgegliederten und zufälligen Bewertungslandschaften untersucht werden. Bedingungen für eine erfolgreiche Suche nach einer möglichst guten Anpassung unter Unsicherheit über die Bewertungsfunktion können formuliert werden. In einer stochastischen Beschreibung wird anstelle einer bestimmten Funktion  $E(\vec{q})$  ein Ensemble möglicher Funktionen  $E(\vec{q})$  betrachtet, über dem eine Wahrscheinlichkeitsverteilung (Funktional) definiert werden kann. Dabei lassen sich für die statistischen Eigenschaften dieser stochastischen Funktionen bestimmte notwendige Bedingungen formulieren. So kommt der Prozess der Inselbildung (Entstehung von abgegrenzten Populationen) für Merkmalsräume, deren Dimension größer gleich vier ist, nur zustande, wenn die Bewertungsfunktion korreliert ist. Die Dimensionalität des Merkmalsraums (Anzahl der verschiedenen zu unterscheidenden Merkmale) wird auch im weiteren eine wichtige Rolle spielen. Mathematisch bedeutet das Auftreten von Korrelationen, dass zwischen den Werten der Bewertungsfunktion an verschiedenen Merkmalsorten ein Zusammenhang besteht, der zumindest als Wahrscheinlichkeitsaussage formuliert werden kann. Aus dem Wert der Bewertungsfunktion an der Stelle  $q$  kann man Rückschlüsse auf den Wert der Funktion an der Stelle  $q'$  ziehen. Geometrisch kommt dieser Zusammenhang zwischen Werten an verschiedenen Orten darin zum Ausdruck, dass die Bewertungsfunktion eine „glatte“ Landschaft ohne abrupte Übergänge ist. Die Bedeutung von langreichweitigen Korrelationen für Evolutionsprozesse wurde bereits von Conrad herausgearbeitet (Glattheitspostulat).<sup>26</sup> In einer rein zufälligen Landschaft ohne Korrelationen könnten Systeme keine aufeinander aufbauende Veränderungen vollziehen, d.h. nicht lernen.

In dem bisher aufgestellten Evolutionsmodell (Gleichung 1–2), das nur Selektion und Mutation in einer sehr abstrakten Form enthält, kann man die Entstehung von Populationen („Inseln“) und ihre Stabilisierung in den Maxima beschreiben. Mutationen werden in dem obigen Modell als *kontinuierlicher* Ausbreitungsprozess der Dichtefunktion diffusionsartig beschrieben. Die Stärke von

26 Conrad, M., *Adaptability*. Plenum Press: New York 1983, Conrad, M., *The Geometry of Evolution*. – In: *BioSystems*. 24(1990), pp. 61–81

Fluktuationen, d.h. die Größe des Rauschens bestimmt, wie stark die Dichtefunktion um die Maxima der Fitnessfunktion verschmiert ist.

Während kurzfristig die Ausbildung des Inselregimes zu beobachten ist, steht für eine langfristige Entwicklung dagegen die Frage im Vordergrund, wie einmal erreichte Maxima wieder verlassen und andere, möglichst höhere eingenommen werden können. Dieses Problem schließt an die Wright'sche Frage für die von ihm betrachtete Fitnesslandschaft über dem Raum der Allelkombinationen an, womit sich der Kreis zum ersten Teil des Beitrags wieder schließt. Wright fragte danach, wie die Täler zwischen Fitnessmaxima durchschritten werden können, obwohl der Mechanismus der natürlichen Selektion ein Ausbreiten „schlechterer“ Eigenschaften in der Population verhindern sollte. In der quantenmechanischen Analogie entspricht dieser Frage das Problem des „Tunnelns“ zwischen Potentialtöpfen, die durch eine Potentialbarriere getrennt sind. Ein übliches Vorgehen bei der Behandlung dieses Problems in der theoretischen Physik besteht darin, nach der mittleren Entweichzeit oder Übergangszeit des Systems zwischen den beiden stabilen Zuständen zu fragen.

Ausgehend von der Analogie zwischen der Schrödinger-Gleichung aus der Quantenmechanik und der kontinuierlichen Fisher-Eigen-Gleichung wurden von Engel<sup>27</sup> entsprechende Berechnungsmethoden für das „Tunnelproblem“ aus der theoretischen Physik auf das evolutionstheoretische Gegenstück angewendet. Diese Anwendung führte innerhalb des kontinuierlichen Beschreibungsansatzes (vgl. Gleichung 1–2) zu einem erstaunlichen Ergebnis: Es gibt beim Übergang zu höheren Gipfeln eine „optimale“ Verbesserungsschrittweite. D.h. für Gipfel, die um ein bestimmtes Quantum höher als der bisher erreichte sind, nimmt die mittlere Übergangszeit ein Minimum an.

Im folgenden sollen die Voraussetzungen, die eine solche Aussage ermöglichen, näher betrachtet werden. Geht man von einer zufälligen Bewertungsfunktion aus, dann ist auch die Übergangszeit oder Entweichzeit  $t_E$  eine statistische Größe. Dann lässt sich, unter bestimmten Voraussetzungen an die Statistik des

27 Engel, A., Selektion und Diffusion in stochastischen Feldern. Diplomarbeit. Humboldt-Universität Berlin 1983, s.a. Ebeling / Engel / Feistel 1990, a.a.O., s. FN 2

Ensembles von Bewertungsfunktionen folgende Formel für den Mittelwert der Übergangszeit, die mittlere Entweichzeit  $i_E$ , näherungsweise berechnen:

$$i_E = \frac{\Gamma \cdot \left(\frac{d+1}{d}\right) \sqrt{E}}{\sqrt{D(E-E_0)}} \cdot [s_d]^{1/d} \exp\left\{\frac{E}{2Bd}\right\} \quad \text{mit} \quad s_d = \frac{2\pi^{d/2}}{\Gamma \cdot \left(\frac{d}{2}\right)} \quad (4)$$

Diese Formel erhält man im Fall einer Gaußstatistik für das Ensemble der Bewertungsfunktionen, d.h. an einem beliebigen Ort  $\hat{q}$  im Merkmalsraum sind die zufälligen Realisierungen der Bewertungsfunktion mit dem Mittelwert Null gaußverteilt. Den Zusammenhang zwischen Werten der Funktion  $E(q)$  an verschiedenen Orten, gemittelt über das Ensemble der Realisierungen, beschreibt die Korrelationsfunktion  $B(\hat{q} - \hat{q}')$ . In die obige Formel geht nur der Wert dieser Funktion am Punkt  $(\hat{q} - \hat{q}') = 0$  ein  $B = B(0)$ . Die Größe  $E_0$  steht für die Höhe des eingenommenen Maximums, das verlassen werden soll,  $D$  ist der Diffusionskoeffizient und  $d$  steht für die Anzahl der Dimensionen des Merkmalsraumes.

Abbildung 4 stellt die Funktion  $i_E(E)$  für willkürlich angenommene Werte für  $E_0$ ,  $B$ ,  $d$ , und  $D$  dar. Sie zeigt die Abhängigkeit der mittleren Entweichzeit von dem Höhenunterschied zwischen dem erreichten Maximum und einem höheren Maximum. Am Punkt  $E = E_0$  divergiert die Funktion.

Sucht man nach höheren Gipfeln, so gibt es offensichtlich einen optimalen Verbesserungsschritt, der in minimaler Zeit erreicht werden kann.<sup>28</sup> Daraus *resultiert ein schrittweiser Charakter der Evolution*. Dieses Resultat ist um so erstaunlicher, weil es aus einem kontinuierlichen Ansatz folgt, der mit einer stetig variierenden Bewertungsfunktion im Prinzip auch stetige Veränderungen erlaubt.

Engel argumentiert, dass die Existenz eines Minimums der Übergangszeit auch biologisch sinnvoll ist. Je geringer die Unterschiede in der Fitness sind, desto länger dauert der Selektionsprozess, und damit erhöht sich die Zeit für die Stabilisierung der neuen Art. Da die Maxima der Funktion  $E$  gleichmäßig im Raum verteilt sind und ähnlich hohe Maxima mit einer höheren Wahrscheinlichkeit benachbart sind, sind zum Erreichen eines signifikant höheren Gipfels mehrere Mutationsschritte oder „große“ Sprünge notwendig. Da diese selten sind,

28 Da das Minimum sehr flach ist, kann man auch von einem Intervall der Verbesserung sprechen, für das Übergänge schneller, d.h. häufiger erfolgen.

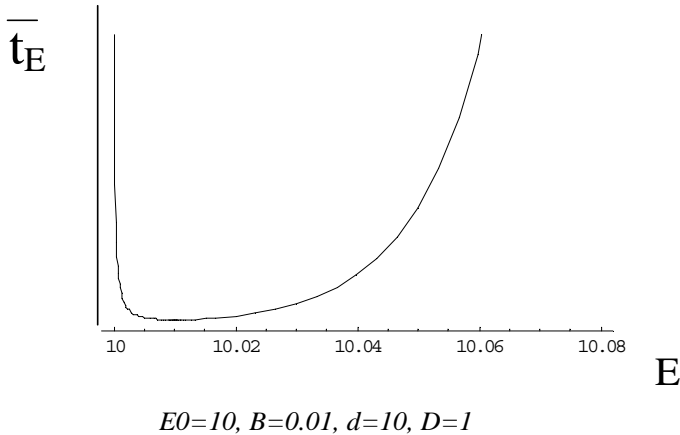


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen der Übergangszeit  $t_E$  und der Höhe des nächsten zu erreichenden Gipfels

wächst die Zeit für einen Übergang zu einem signifikant höheren Maximum ( $E \gg E_0$ ) wiederum an.

In der Evolution werden also flachere, aber näher liegende Maxima eher ange laufen als höhere, aber weiter entfernte. Aus der Gleichung (4) lassen sich weitere Abhängigkeiten zwischen dem Evolutionsprozess und Landschaftscharakteristika ableiten:<sup>29</sup>

- Je höher der Gipfel ist, der bereits erreicht wurde, desto länger dauert der Übergang zu einem noch höheren Maximum.
- Je stärker  $E(\dot{q})$  fluktuiert, d.h. je größer  $B(0)$  ist, desto größer wird der Einfluss der diffusionsartigen Mutation gegenüber der Selektion, und die Übergangszeiten sinken.
- Je größer die Mutationsraten sind, d.h. je größer der Wert des Diffusionskoeffizient  $D$  ist, desto schneller erfolgt der Übergang.
- Je größer die Dimension des Merkmalsraums  $d$  ist, desto geringer ist die Übergangszeit.

Auf den Zusammenhang zwischen Übergangverhalten und Dimensionalität des Merkmalsraums gehen auch Conrad und Ebeling<sup>30</sup> ein. Sie verweisen darauf,

<sup>29</sup> Engel 1983, a.a.O., s. FN 27

<sup>30</sup> Conrad, M. / W. Ebeling, *M. V. Volkenstein*, evolutionary thinking and the structure of fitness landscapes. – In: *BioSystems*. 27(1992), pp. 125–128.



dass Übergänge zu Maxima über Sattelpunkte<sup>31</sup> erfolgen (Sattelpunkthypothese). Gleichzeitig argumentieren sie, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Sattelpunkten mit der Dimensionalität des Raumes wächst. Das heißt, je höherdimensional der Raum ist, desto mehr erhöhen sich die Chancen, einen Übergangsweg zu einem höheren Maximum zu finden.

### *Zusammenfassung des Abschnitts „Sprünge und kontinuierliche Evolution*

Wie wir bisher gesehen haben, lassen sich bei relativ allgemeinen Annahmen über die Bewertungsfunktion interessante Charakteristika eines Evolutionsprozesses formulieren. Für das Verhältnis von radialer vs. gradueller Evolution ist entscheidend, unter welchen Bedingungen und auf welche Art und Weise stabile Zustände (Maxima) erreicht und wieder verlassen werden können. Aus dem obigen Modell eines kontinuierlichen Evolutionsprozesses resultiert ein schrittweiser Charakter der Evolution. Das weist darauf hin, *dass der sprunghafte Charakter von Evolution eher die Eigenschaft des Evolutionsprozesses selbst als das Ergebnis eines diskreten Mechanismus ist.*

Folgt man dem Modell, dann ergibt sich folgendes Szenario für die Entwicklung aus einem Anfangszustand, in dem ein bestimmter Bereich im Merkmalsraum besiedelt ist:

- Kurzfristig bildet sich in der Bewertungslandschaft ein Inselregime aus, Populationen entstehen und koexistieren.
- Langfristig kommt es zu Übergängen zu noch höher gelegenen Maxima. Dabei sind zunächst Übergänge mit geringer Schrittweite im Merkmalsraum und hin zu geringfügig höheren Maxima wahrscheinlicher als große, weite Sprünge und dramatische Verbesserungen, die eher selten vorkommen.

Der Modellrahmen erlaubt es den Sprunggedanken – sowohl im Merkmalsraum als auch in der Fitnesslandschaft über diesem selbst – zu quantifizieren. Der Zusammenhang zwischen sprunghaften Merkmalsveränderungen und Fitnessveränderungen lässt sich aus der Gestalt der Evolutions- oder Bewertungslandschaft in einer quantifizierbaren Form ableiten. Größen, wie eine Evolutionsgeschwindigkeit, können definiert; konvergente und divergente Phasen eines evolutionären Suchprozesses nach Maxima der Fitness unterschieden werden. Der statistische Charakter der Bewertungsfunktion und des Evolutionsprozesses selbst lässt dabei genügend grossen Spielraum für die konkreten Realisierungen eines

31 Sattelpunkte sind eine spezifische Art von stationären Punkten im Zustandsraum. Untersucht man den Verlauf von Trajektorien in der Nähe von Sattelpunkten, so findet man, dass in bestimmten Richtungen Fluktuationen gedämpft, und in anderen Richtungen verstärkt werden.

Evolutionsprozesses. Letztlich lassen sich aus dem stochastischen Modell Rahmenbedingungen für mögliche Evolutionsszenarien ableiten.

Rückschlüsse aus diesen abstrakten Modellüberlegungen für konkrete Evolutionsprozesse, ob nun in der biologischen Evolution der Arten, der molekularen Evolution oder der Evolution von Technologien, setzen voraus, dass man auch die Bestandteile der Modelle adäquat re-spezifiziert.

Für den Bereich der biologischen Evolution verknüpfen Conrad und Ebeling<sup>32</sup> die Dimensionalität des Merkmalsraums mit den Begriffen von Neutralismus<sup>33</sup> und Punktualismus<sup>34</sup>. Hochdimensionale Sattelpunkte sind charakteristisch für den Prozess neutraler Mutationen, da viele genetische Variationen (in einer Vielzahl von Richtungen) die Fitness nicht signifikant ändern. Wachsende Dimensionalität bringt ihrerseits eine Redundanz zum Ausdruck, derart, dass viele genetische Variationen zu keinen Veränderungen im Phänotyp führen. Die Sattelpunktstruktur der hochdimensionalen Fitnesslandschaft eröffnet Wege zwischen Maxima, auf denen keine drastischen Verschlechterungen in Kauf genommen werden müssen. Schnelle evolutionäre Prozesse, im Sinne des Punktualismus, die zu neuen stationären Punkten (Arten) führen, treten danach immer dann auf, wenn solche begehbaren Pfade in der Fitnesslandschaft gefunden werden. Beide Ausprägungen des evolutionären Prozesses, Neutralismus wie auch Punktualismus, sind demnach Folgen der Hochdimensionalität des phänotypischen Merkmalsraumes.

### *Technologische Evolution als Evolution in adaptiven Landschaften*

Das Landschaftsbild der Evolution hat auch für die Beschreibung technologischer Prozesse anregend gewirkt. In jüngster Zeit wurde insbesondere das Kauffmansche NK-Modell auf die Beschreibung technologischer Prozesse angewendet<sup>35</sup>, wobei bereits Kauffman selbst auf solche Möglichkeiten hinwies, wie das folgende Zitat belegt:<sup>36</sup>

32 Conrad / Ebeling 1992, a.a.O., s. FN 30.

33 Neutralismus: Die meisten Mutationen sind selektiv neutral. Evolution (auf der molekularen Ebene) besteht in der zufälligen Fixierung neutraler Mutationen durch zufällige genetische Drift.

34 Punktualismus: Die meisten adaptiven Veränderungen und die Entstehung von Spezien sind die Folge grosser Mutationen in der Evolution (auch mutationistische Sicht genannt).

35 Frenken, K. / L. Marengo / M. Valente, Interdependencies, Nearly-decomposability and Adaptation. – In: Computational Techniques to Model Learning in Economics. Ed. by T. Brenner. Kluwer: Boston 1999

36 Kauffman, S., Der Öltropfen im Wasser. Piper: München 1996

„Bekannte Merkmale der technologischen Evolution scheinen auf einen Suchvorgang in zerklüfteten Landschaften hinzudeuten. Tatsächlich weisen qualitative Merkmale der technologischen Evolution verblüffende Ähnlichkeit mit der kambri-schen Explosion auf: das Verzweigungsmuster der Radiation, das eine reiche Formenmannigfaltigkeit hervorbringt, ist am Anfang büschelförmig; die Verzweigungsrate nimmt dann stetig ab, das Aussterben beginnt, nur einige wenige Grundformen überleben. ... Das bedeutet, dass sich anscheinend jede fundamentale Innovation – Gewehr, Fahrrad, Auto, Flugzeug – eine Phase des radikalen Experimentierens mit grundverschiedenen Formen anschliesst, die sich weiter auf-fächern und dann zu einigen dominanten Linien zusammenlaufen.“<sup>37</sup>

Auch aus der physikalischen Forschungstradition hat es Übertragungen in das Feld technologischen Wandels gegeben, ein Beispiel ist das Konzeptes des *evolutionary drive*.<sup>38</sup> Das in diesem Beitrag ausführlich vorgestellte kontinuierliche Evolutionsmodell ist an anderer Stelle auf seine Tauglichkeit für das Verständnis technologischen Wandels hin untersucht worden.<sup>39</sup>

Unabhängig davon, ob es sich bei dem Wissenstransfer um Konzepte oder mathematische Modelle handelt, auch im Fall der technologischen Evolution müssen die technologischen Entwicklungsprozesse in Hinblick auf geometrische Evolutionsvorstellungen neu beschrieben werden. Dazu gehört die Definition des Merkmalsraums; der Objekte, die sich darin befinden und bewegen; und der Prozesse von Selektion und Mutation im Kontext der technologischen Evolution.

Bisherige Theorien des technologischen Wandels arbeiten bereits mit einer Reihe räumlicher Vorstellungen und liefern somit eine Fülle von Anknüpfungspunkten für geometrisch-orientierte Evolutionstheorien.

Beispiele für solche Konzepte und Begriffe sind<sup>40</sup>:

37 ebenda, S. 302

38 Allen P.M. / M. Lesser, *Evolutionary Human Systems: Learning, Ignorance and Subjectivity*. – In: *Evolutionary Theories of Economic and Technological Change*. Ed. by P.P. Saviotti and J.S. Metcalfe. Harwood Academic Publishers: Chur 1991, pp. 160–171

39 Ebeling, W. / Karmeshu / A. Scharnhorst, *Economic and Technological Search Processes in a Complex Adaptive Landscape*. In: *Econophysics – An Emerging Science*. Ed. by J. Kertesz and I. Kondor. Kluwer: Dordrecht, 1998 (in press), Ebeling, W. / A. Scharnhorst / M.A. Jiménez-Montaña / Karmeshu, *Evolutions- und Innovationsdynamik als Suchprozess in komplexen adaptiven Landschaften*. – In: *Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft*. Hrsg. v. K. Mainzer. Springer: Berlin, 1999, pp. 446–473 (s.a. <http://www.phil.uni-augsburg.de/dgksnd/>)

40 Für die entsprechende Literatur siehe: Scharnhorst, A., *Evolution in Adaptive Landscapes – Examples of Science and Technology Development*. – In: *Wissenschaftsforschung. Jahrbuch 1998/1999 (to be published)*, Leydesdorff, L., *Technology Dynamics – An Introduction*, <http://www.chem.uva.nl/sts/loer/td/intro96.htm>

- technologische Trajektorien
- innovation avenues
- Topologie der technologischen Innovation
- Merkmalsräume von technologischen Outputindikatoren

Das Verhältnis von *radical innovations* und *incremental innovations* lässt sich vor dem Hintergrund evolutionsphysikalischer Modelle neu interpretieren.

Im Rahmen eines Evolutionsmodells wird der Erkundungsprozess in einem technologischen Merkmalsraum von Prototypen technischer Produkte (vor der eigentlichen Marktkonkurrenz) als Diffusion oder Mutationsprozess beschrieben. Eine aus diesen Erkundungsprozessen kontinuierliche Verbesserung (*Incremental innovation*) am Markt bereits stabil platzierter Produkte entspricht der zufälligen Drift von Populationen und dem Übergang einer stabilisierten Population von einem bestehenden Maximum zu einem nahen und nur wenig erhöhten. Die Population bilden dabei Produkte mit einem ähnlichen Spektrum an technologischen Merkmalen. Folgt man den Aussagen des physikalischen Modells, dann haben solche Prozesse eine hohe Wahrscheinlichkeit. Dies deckt sich auch mit empirischen Beobachtungen zur technologischen Evolution. Radikalen Innovationen entsprechen neue Produkten mit neuen Merkmalen, d.h. es liegt ein Übergang zu einem höheren und weiter entfernt liegenden Maximum vor.

Evolutionsphysikalische Modelle erlauben einerseits eine Zuordnung von bekannten empirischen Phänomenen technologischer Evolution (wie z.B. radikale und schrittweise Innovationen) zu Phasen eines Evolutionsprozesses. Andererseits ermöglichen sie auch eine Charakterisierung des Prozessverlaufes selbst. So verändert sich die Varietät der suchenden Populationen im Prozess der Suche. Dies kann in Simulationen nachvollzogen werden. Auch in der technologischen Evolution lösen divergente und konvergente Phasen einander nach bestimmten Mustern ab. Wenn es gelänge, Grundannahmen und Parameter des Modells sinnvoll mit empirisch verifizierbaren technologischen Wandlungsprozessen zu verbinden, ließen sich auch quantitative oder halb-qualitative Aussagen über Sprungweiten ableiten, die zu einer unabhängigen Bewertung von Erfolgsaussichten neuer Produkte herangezogen werden könnten. Voraussetzung dafür sind die Definition eines für verschiedene Produkttypen gemeinsamen Merkmalsraums und empirische Untersuchungen zu unterschiedlichen Verläufen technologischer Trajektorien.

Bis dahin verbleibt die Analogiebildung auf der metaphorischen Ebene. Aber auch hieraus lassen sich Impulse für die Theoriebildung zum technologischen Wandel erwarten, die ihrerseits möglicherweise auch neue empirische Verfahren der Messung anregen.

---

ROLAND WAGNER-DÖBLER

## „Wissenschaftskonjunkturen“ und ihre szientometrische Analyse – mit Beispielen aus Physik und Mathematik des 19. und 20. Jahrhunderts

### *Dynamische Charakteristik von Forschungsgebieten*

Wie an Janos Wolfs Beispiel der Penicillin-Forschung (in diesem Band) nachzuvollziehen ist, entwickeln sich Forschung und Innovation häufig in Sprüngen. Es geschieht also z.B., dass kontinuierliche Forschungsarbeit im Extremfall sogar über Jahrhunderte hinweg getrieben wird, ohne dass sich eine Lösung oder ein Durchbruch abzeichnet, aber auch ohne dass die Arbeit erkennbar in eine Sackgasse gemündet wäre; oder, dass es kontinuierliche Arbeit an einem Problem gibt und sich ein plötzlicher Durchbruch auftut oder eine Entdeckung, die die Fruchtbarkeit der bisherigen Arbeit erweist und zugleich zu einer Expansion des betreffenden Forschungsgebiets führt; und schließlich, dass eine Entdeckung in einem „leeren“ Umfeld zur Etablierung und Expansion einer neuen Forschungsrichtung führt. Interessanterweise ist nur selten von Fällen die Rede, in denen ein florierender Forschungszweig auf *keinen* Durchbruch zurückblicken kann. Erwähnt werden sollte hier, dass insbesondere bei technologischen Forschungsgebieten entscheidende Impulse zur Expansion natürlich auch von außen kommen können.<sup>1</sup>

Typischerweise weist die Wissenschaftsgeschichte und weisen (vor allem retrospektive) Bibliographien diejenigen Forschungsgebiete aus, die auf einen „erfolgreichen“ und damit auch quantitativ in ihrer Literaturproduktion zu Buche schlagenden Verlauf zurückblicken. Damit haben wir gleich das Problem der Identifikation derjenigen Forschungsgebiete angesprochen, die Gegenstand einer szientometrischen Analyse werden sollen.

1 Siehe z.B. die Forschungsexpansion auf dem Gebiet des Alkoholtreibstoffs nach Jahrzehnten geringer Beachtung um 1970 herum. Vgl. S. K. Sen/R. Kundra: Bibliometrics of English language alcohol fuel literature. In: *Scientometrics*, Vol. 10 (1986), S. 43–54.

Denn bei der szientometrischen Nutzung von Bibliographien oder Literaturdatenbanken ist damit zu rechnen, dass die dort vorzufindenden Klassifikationssysteme eine Ex-post-Sicht der Dinge widerspiegeln. Nur die erfolgreichen Linien der Forschung, die sich – ausweislich zahlreicher Partizipation von Forschern – durchsetzen konnten, führen zu (neuen) Systemstellen einer Klassifikation.

Die angesprochenen Sackgassen verschwinden auf Nimmerwiedersehen. Und obwohl sie offenbar einen integralen Bestandteil der Wissenschaftsentwicklung bilden – nicht umsonst stellen manche Wissenschaftstheoretiker oder -forscher gerade Sackgassen, Irrtümer und Widerlegungen in den Mittelpunkt ihrer Analysen – bilden sie keineswegs einen integralen Bestandteil der Wissenschaftsgeschichtsschreibung, wobei einer der Gründe sicher diese retrospektive Unsichtbarkeit darstellt. Man kann dies an Klassifikationen desselben Gegenstands erkennen, die zu verschiedenen Zeitpunkten geschaffen wurden. Dies gilt auch in einer exakt definierenden Wissenschaft wie der mathematischen Logik, etwa wenn man die von A. Church durchgeführte Klassifikation der Logik aus den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts mit der Klassifikation der großen Omega-Bibliographie der mathematischen Logik aus den achtziger Jahren dieses Jahrhunderts vergleicht, Klassifikationen, die gebietsweise kaum vereinbar sind.<sup>2</sup> Dieser Umstand erschwert natürlich eine bibliometrische, auf Bibliographien und deren Klassifikationen gestützte Analyse und Diagnose, je gegenwartsnäher sie ausfallen sollen, und auch, je stärker solche Analysen unter dem Gesichtspunkt sogenannter „Wissenschaftsprospektion“<sup>3</sup> erfolgen sollen. Ich werde später noch einmal hierauf zurückkommen.

Betrachten wir noch einmal den Fall, dass eine Entdeckung scheinbar vollkommen überraschend geschieht, wie etwa im Fall der Röntgenstrahlung im 19. Jahrhundert oder als Beispiel einer mathematischen „Entdeckung“ die Theorie der fuzzy Mengen in unserem Jahrhundert. Explosionsartiges Interesse wurde beiden Phänomenen binnen kurzer Zeit zuteil, gemessen an der Zahl der hier jeweils erschienenen Publikationen. Auch in diesem „sprunghaften“ Fall bewegt sich die Entdeckung jedoch wie im graduellen Fall in einem Möglichkeitsraum, der, allgemein gesprochen, vom Gesamtzustand der disziplinären Entwicklung abhängt, bestimmt unter anderem durch folgende Faktoren: das technologische Entwicklungsniveau, das einer naturwissenschaftlichen Forschungsrichtung zur

2 Vgl. R. Wagner-Döbler/J. Berg: *Mathematische Logik von 1847 bis zur Gegenwart. Eine bibliometrische Untersuchung* (= Grundlagen der Kommunikation und Kognition). Berlin, New York: de Gruyter 1993.

3 Vgl. Arbeitsgruppe *Prospektion der Forschung: Pilotstudie zu einer Prospektion der Forschung anhand ausgewählter Gebiete*. Köln: Wissenschaftsrat 1998.

Verfügung steht und den Stand der experimentellen Methoden beeinflusst; das Niveau der theoretischen Durchdringung; die Menge der als Probleme erkannten oder formulierten Forschungsfragen; die Menge der als relevant betrachteten Forschungsfragen. Die Fragen, die ich im folgenden behandeln möchte, lauten: 1.) Gibt es allgemeingültige Muster der Dynamik von Forschungsgebieten oder gar ganzen Disziplinen, und zwar über die Beobachtung exponentiellen Wachstums hinausführend?<sup>4</sup> 2.) Welche quantitativen, szientometrischen Ansätze gibt es, entscheidende wissenschaftliche Durchbrüche sichtbar zu machen? Ich werde hierzu vor allem von den Ergebnissen eigener Analysen der Mathematik und Physik des 19. und 20. Jahrhunderts berichten. Im folgenden werde ich dabei einfach unterstellen, dass Zeitreihen sachgerecht klassifizierter Publikationen die Entwicklungsdynamik des betreffenden Forschungsgebiets widerspiegeln. Entscheidend ist nicht dies, sondern die zweite oben formulierte Frage, inwiefern auf dieser Grundlage Hinweise auf wissenschaftliche Durchbrüche zu erhalten sind.

### *Dynamische Charakteristik am Beispiel einer Familie von Forschungsgebieten in der Mathematik*

Jede Wissenschaftsdisziplin besteht aus einer Vielzahl von einzelnen Teilgebieten, auf deren Entwicklung einer der drei oben skizzierten Haupttypen zutrifft (Kontinuität der Forschung ohne Durchbruch, mit Durchbruch, Durchbruch ohne Kontinuität). Welche Gestalt nimmt nun der Entwicklungsverlauf einer größeren zusammengehörigen Gruppe solcher Teilgebiete an, wenn man die Entwicklungskurven der Publikationsaktivitäten all dieser einzelnen Gebiete sozusagen übereinanderlegt? Ich möchte dies am Beispiel der mathematischen Logik prüfen, eines der prosperierendsten Gebiete der modernen Mathematik. Die einschlägige und annähernd vollständige „Omega-Bibliographie zur mathematischen Logik“ weist mehrere zehntausend Publikationen nach, im wesentlichen aus der Sicht der zeitgenössischen, heutigen Logik klassifiziert. Wie bereits gesagt, widerspiegelt dies die retrospektive Sicht der Gewinner konkurrierender Forschungsprogramme, und wir haben es mit überwiegend sehr fruchtbaren Gebieten zu tun, deren Dynamik typischerweise drei Phasen durchläuft: Die anfängliche, nicht expansive Inkubationsphase, die expansive Phase und die Phase der Stagnation

4 Dies ist eine Fragestellung, die durchaus derjenigen H. Smalls ähnelt in seiner Untersuchung „Macro-level changes in the structure of co-citation clusters 1983–1989“ (Scientometrics 26 (1993), S. 5–20) – nur, dass der hier gewählte Untersuchungszeitraum wesentlich umfangreicher ist und Forschungsgebiete anders als bei Small klassifikatorisch identifiziert wurden.

bzw. des Rückgangs. Sehen wir, ob dies auch auf die mathematische Logik zutrifft.

Die Gesamtkurve der jährlichen Publikationen aller über 100 logischen Gebiete zusammengefasst ergibt offensichtlich die drei genannten unterschiedlichen Phasen, wobei eine klassische S-Wachstums-Kurve dem Verlauf nur sehr grob nahe kommt; eher handelt es sich um einen sehr langsam einsetzenden exponentiellen Aufschwung, der (Anfang der 70er Jahre) deutlich abbricht und in Fluktuationen übergeht.<sup>5</sup> Freilich sind auch innerhalb der Logik alle Extreme vertreten: Die friedlich vor sich hindümpelnde Forschung über Zahlentheorie ebenso wie ein abrupter Ausbruch wie etwa bei der Modallogik oder auch fuzzy Logik; letztere entsprang der insgesamt eher stagnierenden Mengentheorie Anfang der siebziger Jahre.<sup>6</sup> Und man kann sagen, dass die mathematische Logik insgesamt wiederum nur ein Beispiel der insbesondere seit dem 19. Jahrhundert exponentiell wachsenden neuzeitlichen Mathematik, und diese wiederum der gesamten Wissenschaft ist, so wie es D. Price herausgestellt und analysiert hat. Dieses exponentielle Wachstum ist bekannterweise ein beherrschender säkularer Trend. Sicherlich aber auch ein Trend mit einer differentiellen Bandbreite an Erscheinungsformen, ganz genauso wie wir es *innerhalb* der Logik beobachten: Von Forschungsrichtungen, die kaum noch Züge exponentiellen Wachstums tragen bis zu Gebieten mit hyperexponentiellem Wachstum. Soweit habe ich Ihnen sicher nichts Neues vorgetragen.

### *Wachstumstrends innerhalb der S-Kurve. Ausgleich der Schwankungen?*

Wir haben uns die Dynamik Hunderter einzelner wissenschaftlicher Forschungsgebiete aus der Logik, Mathematik und Physik von Beginn des 19. Jahrhunderts an einmal genauer angeschaut, um zu prüfen, wie sich ein allgemeiner, übergeordneter Wachstumstrend auf der Ebene einzelner Gebiete auswirkt; ein differentialdiagnostisches Interesse, wenn man so will. Ich komme zu den Methoden dieser Differentialdiagnostik und auf deren Ergebnisse noch zurück.

Was die einzelnen Gebiete der Logik angeht, bei der wir im Moment bleiben wollen, so weisen diese nicht nur unterschiedliche Wachstumstempi auf, sondern auch unterschiedliche Entstehungszeitpunkte.

5 Siehe Wagner-Döbler und Berg, a.a.O., S. 64, Abb. 16; in diesem Buch findet sich auch eine ausführliche Darstellung der „Omega-Bibliographie“.

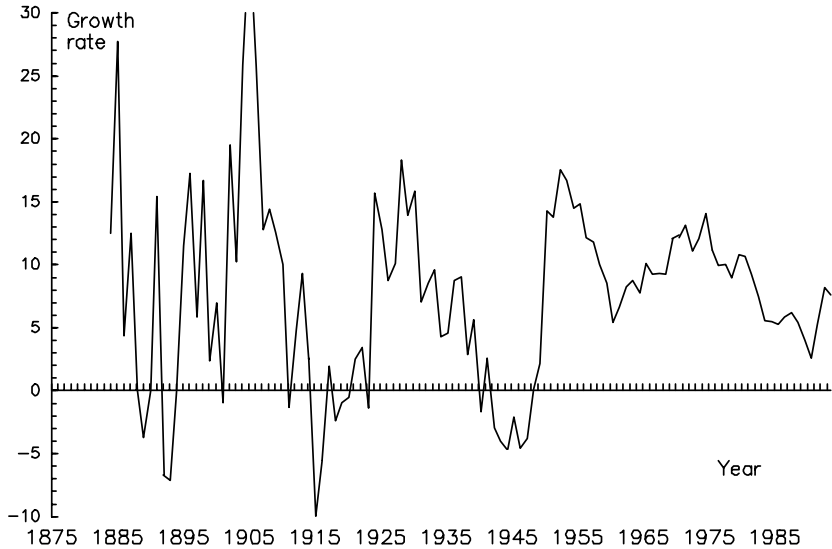
6 Sämtliche Zeitreihen finden sich bei Wagner-Döbler und Berg: *Mathematische Logik...*, a.a.O.



Man könnte nun meinen, dass, wenn man die Chronologie sämtlicher logischen Teilgebiete zusammenfaßt zur Gesamtchronologie der mathematischen Logik (ich spreche selbstverständlich in diesem Zusammenhang immer nur von quantitativen Gesichtspunkten), sich die auf der Ebene einzelner Untergebiete beobachtbaren Wachstumsschwankungen ausgleichen, dass wir es also dann mit einem kontinuierlichen Wachstum, einer insoweit kontinuierlichen oder zumindest nur stochastisch fluktuierenden Entwicklung zu tun haben.

Bezüglich der technologischen Entwicklung ist dies übrigens eine in der ökonomischen Literatur zu findende Vorstellung: Man konzidiert durchaus, dass technologische Durchbrüche jeweils auf verschiedenen Sektoren der technischen Entwicklung in ungleichmäßiger Form auftauchen, meint aber, dass sie in der Summierung diese Ungleichmäßigkeiten verschwänden bzw. lediglich stochastischer Natur seien. Damit wendet man sich gegen die Gültigkeit der sogenannten „Clusterhypothese“, derzufolge technologische Durchbrüche stets zu bestimmten Zeitpunkten massiert auftauchen. Übertragen auf die Wissenschaftsentwicklung heißt die Clusterhypothese: Wissenschaftliche Ereignisse herausragender Bedeutung treten massiert auf, und zwar unabhängig davon, auf welcher Aggregationsebene man sich bewegt – ob auf der Ebene einzelner Forschungsgebiete oder ganzer Disziplinen, oder sogar auf der Ebene sämtlicher wissenschaftlicher Leistungen.

Schauen wir uns nun noch einmal die Dynamik der mathematischen Logik insgesamt von 1875 bis etwa 1990 an, und zwar nun in Form jährlicher prozentualer Wachstumsraten, welche die Schwankungen der Höhe des Wachstums widerspiegeln: Abb. 1 zeigt – im Gegensatz zur „Ausgleichs-Hypothese“ und in Übereinstimmung mit der Cluster-Hypothese – ausgeprägt wellenförmige Wachstumsschwankungen. Würde die Logik mit einer konstanten prozentualen Rate (und damit exponentiell) wachsen, würden die Jahreswerte um eine Regressionsgerade herum streuen, und unter der Annahme, dass exponentielles Wachstum stets einem Ende zustrebt, würde sich die Regressionsgerade nach unten neigen. Ich klammere zunächst einmal die Frage, ob es sich hierbei vielleicht nur um stochastische Schwankungen handelt, völlig aus; fest steht, dass es sich um Wachstumsschwankungen einer Größenordnung handelt, die derjenigen der Wachstumsschwankungen des Sozialprodukts der Industriestaaten ähnelt. Ich sprach im Zusammenhang mit der Clusterhypothese von wissenschaftlichen Durchbrüchen. Was aber haben Schwankungen des Literaturaufkommens der Logik mit Durchbrüchen in der Logik zu tun? Auch diese Frage klammere ich in diesem Moment aus; aber ich werde später einen sehr einfachen Zusammenhang behaupten und empirisch zu belegen versuchen. Der Zusammenhang lautet:



*Abbildung 1:* Prozentuale Wachstumsrate von ca. 55.600 Publikationen auf dem Gebiet der mathematischen Logik, Erscheinungsjahr 1874–1993. Jahreswerte in gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten. Eigene Erhebungen in einer elektronischen Version der *W-Bibliography of Mathematical Logic* für die Jahre 1874–1970 und Online-Suchen in Mathematics (Datenbank der *Mathematical Reviews*, host ESA-IRS, für die Erscheinungsjahre 1961–1993). X-Achse: letztes Jahr eines 10-Jahres-Intervalls als Endpunkt. Einzelheiten in Wagner-Döbler: Wachstumszyklen (siehe Fn. 8).

Durchbrüche fallen in der Regel mit Höhepunkten von Wachstumswellen der Literatur zusammen.

Nun ist die mathematische Logik mit ihren über hundert Teilgebieten wiederum, wie schon gesagt, nur ein – wenn auch ein besonders fruchtbares und expansives – Gebiet der Mathematik insgesamt. Zeigt sich vielleicht auf der Ebene der gesamten Welt-Mathematik ein Ausgleich der Pulsationen ihrer rund 30–40 größeren Unterdisziplinen, von denen eine die mathematische Logik ist? Um eine empirische Antwort auf diese Frage zu erhalten – in Form einer Zeitreihe der Aktivitäten der Welt-Mathematik – betrieben wir beträchtlichen Aufwand; schließlich existieren Datenbanken der mathematischen Literatur erst für

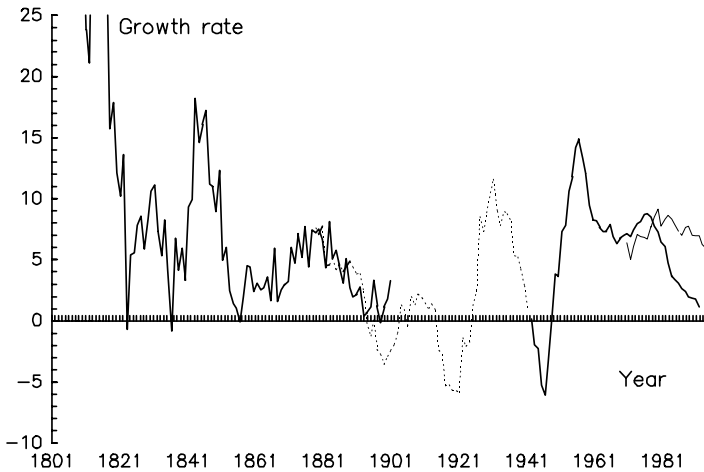


Abbildung 2: Jährliche Wachstumsraten (in Prozent; gleitende 10-Jahres-Intervalle) von ungefähr 1,9 Mio. Veröffentlichungen der Mathematik, 1800-1993. Eigene Erhebungen in *Catalogue of Scientific Papers* (Subject Index 1800–1900, vol. 1: Mathematics, Cambridge 1908); Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik (Wachstumsraten von Abstract-Seiten, 1868–1941; jeder Band bezieht sich auf mathematische Erscheinungen eines Jahres; Compact-MATH CD-ROM (Datenbank von *Zentralblatt für Mathematik/ Mathematics Abstracts*, vols. 1-812, 1931–1995); Datenbank *Mathematics* (1959–1993). X-Achse: letztes Jahr eines 10-Jahres-Intervalls als Endpunkt. Aus: Wagner-Döbler: *Wachstumszyklen* (siehe Fn. 8), S. 140.

die Zeit ab etwa 1930.<sup>7</sup> Für die Zeit davor sind gedruckte Bibliographien statistisch auszuwerten.

Wie Abb. 2 zeigt, welche die prozentualen Wachstumsraten von insgesamt rund 2 Mio. mathematischen Publikationen von 1800 bis zur Gegenwart in gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten verkörpert, ist dies keineswegs der Fall. Vielmehr sehen wir ebenso ausgeprägte Wachstumsschwankungen wie bei der Logik. Und: Die Wachstumsschwankungen der mathematischen Logik verlaufen im großen

7 Seit kurzem existiert eine digitalisierte Probeversion des „Jahrbuchs über die Fortschritte der Mathematik“, das von 1868 bis 1943 erschien; im Internet zugänglich unter der URL <http://www.emis.de/MATH/JFM/JFM.html>.

und ganzen isochron zu den Wachstumsschwankungen der gesamten Weltmathematik, d.h. im selben zeitlichen Muster. Um dies besser erkennbar zu machen, braucht man Abb. 1 und Abb. 2 nur maßstabsgerecht übereinanderzulegen.

Das Ergebnis widerspricht diametral der These vom Ausgleich unterschiedlicher Fluktuationen der Aktivitäten auf der subdisziplinären Ebene auf der Ebene der Gesamtdisziplin.

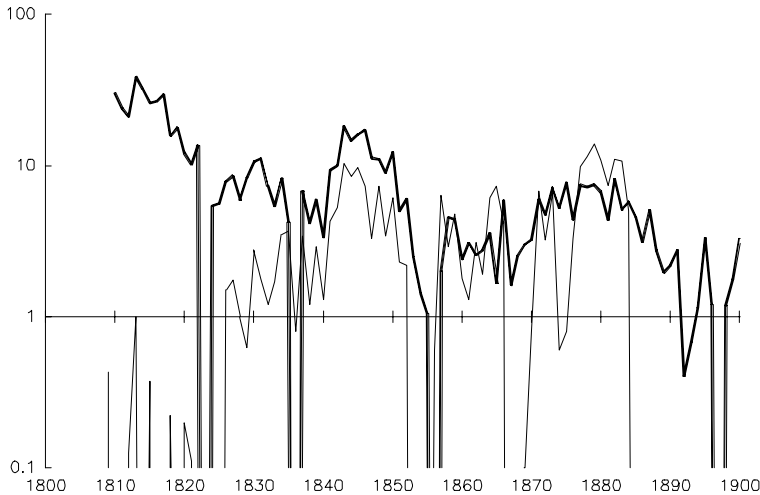
Die Graphiken zeigen Wachstumsraten in gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten. Man meint, typische Schwankungslängen von 20 bis 25 Jahren erkennen zu können. Die visuelle Interpretation solcher Graphiken ist dabei nur ein erster Schritt, bei dem die Filtereffekte gleitender Mittelwerte zu beachten sind. Ich werde aus Zeitgründen die Thematik der Zeitreihenanalyse hier völlig ausklammern und beschränke mich auf den Hinweis, dass typische Frequenzspektren der Wachstumszyklen wissenschaftlicher oder technologischer Forschungsgebiete immer wieder Werte ergeben, die zu Zyklen von etwa 10, 20 bis 30 und 50 Jahren Dauer gehören.<sup>8</sup>

### *Zeitliche Verteilung entscheidender Entwicklungsimpulse*

Bisher habe ich lediglich darüber gesprochen, was die Analyse der Dynamik veröffentlichter Kommunikation ergibt. Was hat dies mit wissenschaftlichen – oder auch technologischen – Durchbrüchen zu tun, auf die sich die Cluster-Hypothese schließlich und endlich bezieht und von denen ja eingangs die Rede war? Wenn ein Forschungsfeld expandiert, lassen sich gewöhnlich einzelne Arbeiten identifizieren, die Ausgangspunkt für eine solche fruchtbare Entwicklung bildeten. In der Logik (bis Anfang der 30er Jahre unseres Jahrhunderts) sind es etwa die Arbeiten von Boole, de Morgan, Frege, Zermelo, Hilbert, Brouwer, Russell, Gödel und anderen. Sie alle haben der Logik entscheidende Impulse verliehen. Betrachten wir ihre zeitliche Verteilung, fällt folgendes auf: Eine große Anzahl dieser Arbeiten erschien offenbar gerade dann, wenn die Wachstumsraten der gesamten publizistischen Aktivitäten einen Höhepunkt erreichten, auf dem Gipfel von Wachstumswellen. Und dies entspricht dem oben angedeuteten Postulat der Korrelation zwischen fundamentalen und Routine-Leistungen, ein Postulat, das ich hier nicht weiter belege.<sup>9</sup> Ich habe unlängst einen weiteren, in dieser Form neuartigen Beleg eines Zusammenhangs zwischen dem Gesamtstrom

8 Näheres bei Wagner-Döbler: Wachstumszyklen technisch-wissenschaftlicher Kreativität. Eine quantitative Studie unter besonderer Beachtung der Mathematik. Frankfurt/M., New York: Campus-Verl. 1997.

9 Siehe Wagner-Döbler: Wachstumszyklen..., a.a.O.



*Abbildung 3:* Zahl der insgesamt etwa 6.000 neuen mathematischen Resultate, Formeln und Theoreme 1800 bis 1885. Differenzkurve in gleitenden 10-Jahres-Mittelwerten (dünne Linie). Statistische Auswertung von G. S. Carr: *Formulas and Theorems in Pure Mathematics*, 2nd ed., Chelsea, New York, N.Y., 1970. Zuerst 1886 u.d.T.: Carr, *A Synopsis of Elementary Results in Pure Mathematics* (nähere Angaben zu dieser Auswertung in Wagner-Döbler: *Rescher's principle of diminishing marginal returns of scientific research*, eingereicht in: *Scientometrics*, 1999). Zum Vergleich die Wachstumsraten der mathematischen Zeitschriftenliteratur 1800–1900 (vgl. auch oben Abb. 2); fette Linie. Die Y-Achse im logarithmischen Maßstab zum besseren Vergleich der Wachstumsschwankungen.

publizistischer Aktivitäten und herausgehobenen Errungenschaften gefunden – wieder auf dem Gebiet der Mathematik, die sich wegen präziserer Maßstäbe für „Neues“ besonders gut für derartige Untersuchungen eignet: Und zwar habe ich die zeitliche Verteilung von rund 6000 in der Mathematik des 19. Jahrhunderts gefundenen Formeln und Theoremen mit den Wachstumsschwankungen der mathematischen Weltliteratur verglichen, und das Ergebnis ist: Es herrscht eine offensichtliche direkte Korrelation der in beiden Fällen zu beobachtenden Schwankungen vor (Abb. 3).

Es gibt hierbei eine unmittelbare Brücke zu einem der Hauptbegriffe dieser Tagung, Innovation: Da fundamentale wissenschaftliche Errungenschaften fast immer auch mit der Entstehung des Neuen zu tun haben, sind es offensichtlich auch die Innovationen – wohlgermerkt hier in einem weiten, unspezifischen Sinn als Neuschöpfung aufgefasst – die der von mir beschriebenen Rhythmik ausgesetzt sind.

Ich will an dieser Stelle meine bisherigen Überlegungen zusammenfassen. Ich habe auf den typischen Entwicklungsverlauf fruchtbarer Forschungsgebiete hingewiesen, der in stark stilisierter Form einer S-Kurve ähnelt, wenn man jährliche Publikationszahlen heranzieht. Dies ist auf einer mikroskopischen Ebene von Forschungsgebieten ebenso beobachtbar wie auf einer makroskopischen Ebene ganzer Disziplinen. Bei näherer Betrachtung der Dynamik im Spiegel jährlicher Wachstumsraten stellt sich allerdings heraus, dass diese nicht konstant sind, sondern mehr oder weniger ausgeprägten, mehr oder weniger zyklischen Schwankungen unterliegen. Man könnte dies auch so ausdrücken: Der großräumige, säkulare exponentielle Wachstumstrend ist von einzelnen kleinräumigen Fluktuationen unterlegt, die nicht regellos sind, sondern zum Gleichklang tendieren.

Es sind solche Fluktuationen, Wachstumsschwankungen auf einer nicht zu groben Zeitskala, die von Ökonomen gelegentlich als Konjunkturzyklen bezeichnet werden.

### *Die Analyse von Wissenschaftskonjunkturen*

Es war meines Wissens der Wissenschaftsforscher A. Zloczower, der als erster von „Wissenschaftskonjunkturen“ oder genauer von „Konjunktur in der Forschung“ sprach.<sup>10</sup> Die plötzliche Beliebtheit eines Forschungsthemas – ein Thema, das „Konjunktur“ hat, wie man ja auch sagt – wird oft als Mode bezeichnet. Dies insbesondere, wenn man damit zugleich ein Werturteil über die Fruchtbarkeit der Bemühungen fällen möchte, und zwar ein eher negatives. Eine Wissenschaftskonjunkturwelle als reine Modeerscheinung abzutun, hat aber wohl stets vorläufigen Charakter: Als wie fruchtbar sich die Ergebnisse einer „Mode“ in historischer Perspektive darstellen, bleibt dem zeitgenössischen Betrachter wohl meist verborgen. Und weil, wie bereits gesagt, Wissenschaftsgeschichten und Bibliographien die „Gewinner“ bevorzugen, ist es auch gar nicht einfach,

10 A. Zloczower: Konjunktur in der Forschung. In: F. R. Pfetsch, A. Zloczower: Innovation und Widerstände in der Wissenschaft. Beiträge zur Geschichte d. dt. Medizin. Düsseldorf: Bertelsmann Univ.-Verl. 1973.

„Moden“ – also wissenschaftlich eher erfolglose und schnell verschwindende Arbeitsrichtungen und Themen – retrospektiv zu identifizieren.

Zumindest für diejenigen, die die Existenz von Modeströmungen in der Wissenschaft für eine Realität halten, mag es von Interesse sein, dass zwei Mitarbeiter des Instituts für Weltwirtschaft in Kiel potentiell chaotisches Verhalten einfacher Modelle von „Moden“ nachgewiesen haben. Dies sei jedoch nur am Rande vermerkt.<sup>11</sup>

Bis hierher haben wir bei unseren „Konjunkturanalysen“, wenn ich die Analyse der Wissenschaftsdynamik einmal so nennen darf, einfache deskriptive Indikatoren bemüht, nämlich die jährliche Zahl der Publikationen bzw. deren Wachstum. Gibt es weitere Indikatoren, insbesondere strukturelle Indikatoren, die uns mehr über die wissenschaftliche Fruchtbarkeit eines Gebietes sagen oder sogar dazu beitragen, einen wissenschaftlichen Durchbruch zu identifizieren? Es gibt sie, und um dies zu erkennen, braucht man sich nur in der Ökonomie umzuschauen. Ein charakteristisches Merkmal der Angebots- und Nachfragestruktur auf Märkten, aber auch von Kommunikationsnetzwerken ist beispielsweise die Verteilung von Ressourcen oder die Verteilung der Häufigkeit, mit der Teilnehmer eines Netzwerks ihre Chancen sich zu äußern nutzen. Solche Verteilungen können vollkommen symmetrisch sein, sie können aber auch sehr ungleich sein. Bekanntlich hat A. J. Lotka die Ungleichheit der Verteilung der Partizipationsintensität in der Wissenschaft demonstriert, zumindest insoweit sie sich in Publikationen oder Entdeckungen manifestiert, eine Regularität, die seitdem immer wieder bestätigt wurde. Sie ist jedoch ein Charakteristikum der Partizipationsstruktur von Forschungsgebieten und nicht etwa ein Maß der Verteilung wissenschaftlicher Fähigkeiten von Individuen, eher ein Maß der Allokation solcher Fähigkeiten. Darauf deutet verschiedenes hin, beispielsweise die Tatsache, dass die Verteilung der Beitragsintensität von dauerhaft wissenschaftlich Tätigen alles andere als „Lotka“-verteilt ist.<sup>12</sup> Es liegt fast auf der Hand: Diese Partizipationsstruktur kennzeichnet die oben skizzierten Entwicklungsphasen von Forschungsgebieten, genauer: die Entwicklungszyklen von For-

11 Siehe B. Hofman/M. Rauscher: Complex dynamics in fashion life cycles. Kiel: Institute of World Economics 1991; M. Rauscher: Keeping up with the Joneses. Chaotic patterns in a status game. *Economic Letters*, Vol. 40 (1992), S. 287–290.

12 R. Wagner-Döbler: Where has the cumulative advantage gone? Some observations about the frequency distribution of scientific productivity, of duration of scientific participation, and of speed of publication. In: *Scientometrics*, Vol. 32 (1995), S. 123–132. B. M. Gupta/C. R. Karisiddappa: Productivity of authors as reflected by duration of their scientific participation and speed of publication. In: *Scientometrics*, Vol. 39 (1997), S. 281–291.

schungsgebieten, denn diese können ja mehrere Wachstumszyklen hintereinander erleben.

### *Sechs Anwendungsfälle aus der Geschichte der Logik und Physik*

Im folgenden möchte ich exemplarisch sechs Gebiete einer „Konjunkturanalyse“ bezüglich ihrer Partizipationsstruktur unterziehen: Drei Gebiete kommen aus der Physik des 19. Jahrhunderts – ein Jahrhundert, in dem der Physik nicht nur zahlreiche Durchbrüche gelangen, sondern in dem auch die Grundlagen für die wichtigsten physikalischen Theorien des 20. Jahrhunderts gelegt wurden; drei Gebiete kommen aus der mathematischen Logik, die in den letzten 100 Jahren aus ihrem aristotelischen Dornröschenschlaf erwachte und sich zu einem sogar technologisch – nämlich in der Computerforschung – bedeutenden Zweig der modernen Mathematik entwickelte. Ich ziehe hier die Physik des 19. Jahrhunderts heran, um die Angemessenheit szientometrischer Methoden auch angesichts historischen Materials zu testen bzw. zu demonstrieren. Die Daten zur Physik des 19. Jahrhunderts beruhen auf der Auswertung des „Catalogue of Scientific Papers 1800–1900“, der zur Physik rund 75.000 Publikationen verzeichnet.<sup>13</sup>

Um die Partizipationsstruktur im Zeitablauf zu kennzeichnen, werden gleitende 10-Jahres-Mittelwerte der jährlichen Publikationen gebildet. Von diesen 10-Jahres-Intervallen wird der Lotka-Exponent bzw. der Gini-Index (in Form einer Treppenfunktion<sup>14</sup>) berechnet; der Lotka-Exponent kennzeichnet bekanntlich die Stärke einer Konzentration. Als Konzentrations-Index *rho* bezeichnen wir dabei den Kehrwert des Lotka-Exponenten,<sup>15</sup> so dass analog zum Gini-Index ein niedriger Wert niedrige Konzentration und ein hoher Wert hohe Konzentration anzeigt. Wir haben festgestellt, dass beide Werte in überraschend konformer Weise Konzentrations-Trends anzeigen. In den folgenden graphischen Darstellungen wird *rho* stets durch zwei dividiert, was, wie die Erfahrung zeigte, meist zu einer ungefähren numerischen Annäherung beider Konzentrationsindizes führt. *Rho* ist nicht ganz unabhängig von der Anzahl der Quellen oder Teilnehmer, während der Gini-Index, der normiert ist und ausschließlich Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann, davon unabhängig ist. Dass wir häufig diese zwei völlig unterschiedlich konzipierten Indizes benützen, liegt in der Möglich-

13 R. Wagner-Döbler/J. Berg: 19th-century physics. A quantitative outline. In: *Scientometrics*, Vol. 47 (forthcoming).

14 Siehe Wagner-Döbler: *Wachstumszyklen...*, a.a.O.

15 J. Berg/R. Wagner-Döbler: A multidimensional analysis of scientific dynamics. Part 1. Case studies of mathematical logic in the 20th century. In: *Scientometrics*, Vol. 35 (1996), S. 321–346.



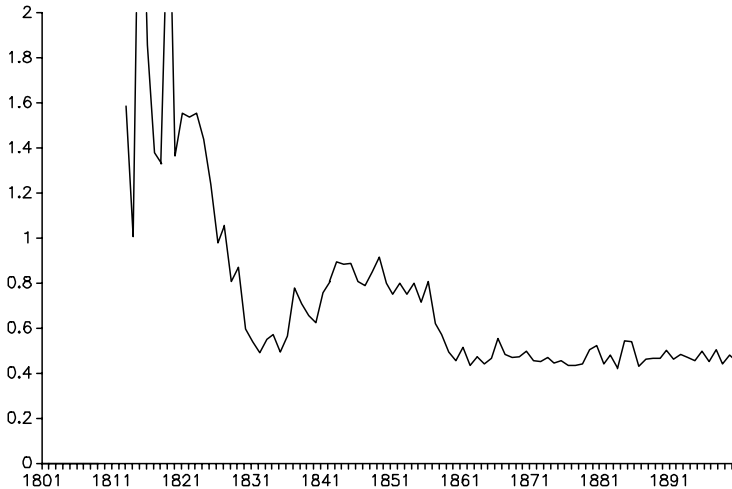


Abbildung 4: Forschungen auf dem Gebiet der Polarisierung des Lichts (gemäß *Royal Catalogue*, Subject Index, Physics, 4000–4050). Konzentrations-Index  $\rho$  von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Zeitschriftenpublikationen 1801–1900. Für diese und sämtliche folgenden Graphiken gilt: Erhebungen und Berechnungen von Jan Berg und mir (dabei  $\rho$  stets von J.B., Gini-Index stets von R. W.-D.); Jahre

keit zum Vergleich, hat aber auch einen weiteren Hintergrund: Jan Berg bevorzugt die Berechnung von *rho*, weil davon andere, von uns für wichtig erachtete Begriffe wie z.B. das „Elite-Limit“ sowie das „Momentum“ einer Verteilung abhängen, während ich in gewissen Fällen aus pragmatischen Gründen die Berechnung des Gini-Index bevorzuge.<sup>16</sup> Ungewöhnlich an unserer Vorgehensweise ist sicher die Tatsache, dass wir Konzentrationsmessungen der anfänglich sehr geringen Forscherzahl zum Trotz schon im embryonalen Stadium eines neuen Gebiets durchführen.

Beginnen wir mit der physikalischen Erforschung der Polarisierung des Lichts (Klassifikationscode im „Catalogue“: 4000–4050), einem wichtigen Gebiet der

16 Zu den Begriffen „Elite-Limit“ und „Momentum“ siehe J. Berg/R. Wagner-Döbler: A multidimensional analysis..., a.a.O. Beabsichtigt man eine informationstheoretische Interpretation der Verteilungen, lässt sich auch deren Entropie berechnen, die dann ebenfalls wie rho nicht von der Zahl der Quellen unabhängig ist. Vgl. H. Grupp: Messung und Erklärung des Technischen Wandels. Grundzüge einer empir. Innovationsökonomik. Berlin (u.a.): Springer 1997, S. 234f.

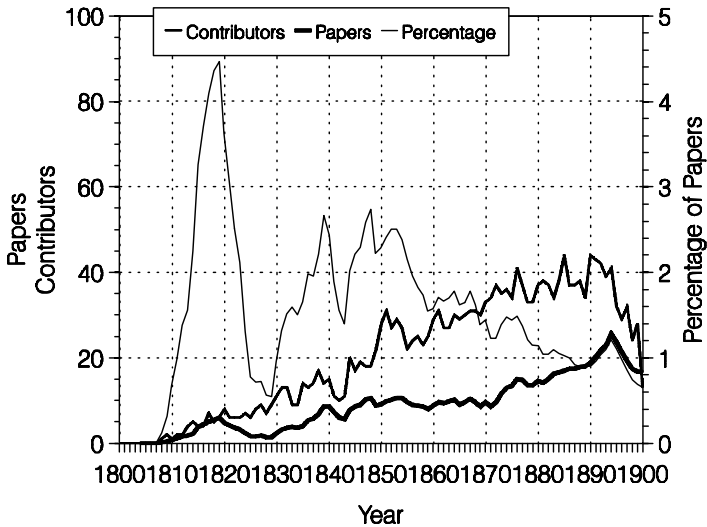


Abbildung 5: Physik 1800-1900, Klassifikationscode 4000–4050: Polarisation. Anteil am Gesamtgebiet, Zahl der Artikel (in gleitenden 5-Jahres-Mittelwerten); jährliche Zahl der aktiv Beitragenden. Als aktiv beitragend bezeichnen wir einen Forscher im Zeitraum vom Jahr der ersten bis einschließlich zum Jahr seiner letzten Publikation, unabhängig vom Ausmaß seiner Aktivität zwischen diesen beiden Jahren. Aus: R. Wagner-Döbler/J. Berg: 19th-century physics, a.a.O., Appendix, Fig. 18.

Physik des 19. Jahrhunderts. Höhepunkt der Konzentration der Partizipationsstruktur auf diesem Gebiet lag während bzw. kurz nach den Arbeiten von Thomas Young und É. L. Malus (der den Begriff Polarisation schuf) zu Beginn des 19. Jahrhunderts (siehe Abb. 4).<sup>17</sup>

Zurück zur Polarisation. In der Tat kam es nach längerer Stagnation, ja Rückschritten Anfang des 19. Jahrhunderts<sup>18</sup> zu einem wegweisenden Durchbruch,

17 Bei Datierungen, die ich im folgenden vornehme, muss man darauf achten, dass die Publikationsanteile überwiegend in gleitenden 5-Jahres-Mittelwerten dargestellt werden, während die Konzentrationsindizes sich auf 10-Jahres-Werte beziehen; nennenswerte Effekte auf die Hauptaussagen hat dies nicht. Grund für die unterschiedliche Darstellungsweise ist, dass ich die Abbildungen heterogen gestalteten Materialsammlungen entnehmen musste.

18 Vgl. K. Simonyi: Kulturgeschichte der Physik von den Anfängen bis 1990. 2., durchges. u. erg. Aufl. Thun, Frankfurt a.M.: Deutsch 1995, S. 350.

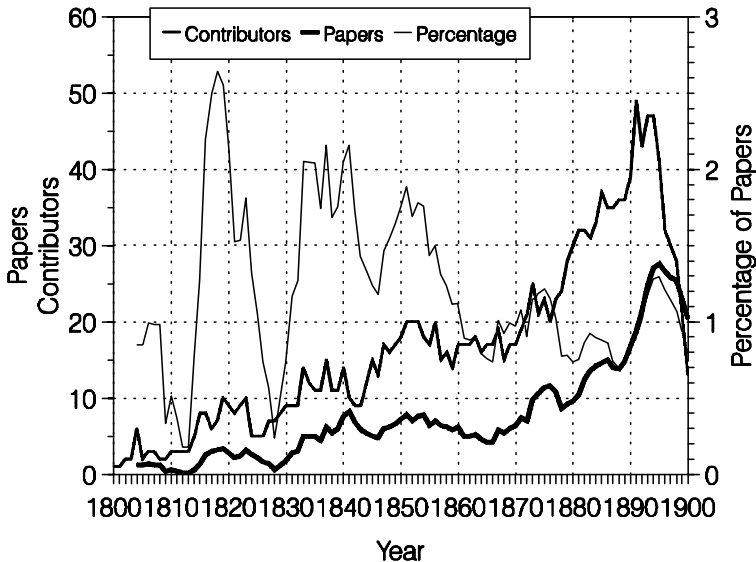


Abb. 6. Forschungen auf dem Gebiet der Interferenz des Lichts (*Royal Catalogue, Subject Index, Physics, 3600–3650*). Konzentrations-Index rho von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Zeitschriftenpublikationen 1800–1900.

der von der Korpuskulartheorie – die ja immerhin damals Autoritäten wie Newton hinter sich sah – zur Wellentheorie des Lichts führte.<sup>19</sup> Niemals war der Anteil der Publikationen auf diesem Gebiet an der gesamten Physik größer als in der Zeit zwischen 1810 und 1825 (siehe Abb. 5). Interessanterweise, vielleicht auch kurioserweise führt die Publikationsliste des Jahrhunderts auf diesem Gebiet der französische Physiker J. Biot an, der bis zu seinem Tod 1862 die neue, sich als richtig erweisende Wellentheorie des Lichts heftig bekämpfte.

Auch auf dem Gebiet der Interferenz des Lichts (3600–3650) ist ein Höhepunkt der Konzentration bald nach der Wende zum 19. Jh. festzustellen (Abb. 6). Und in der Tat war 1801 das Jahr, in dem Thomas Young die Interferenz des Lichts entdeckte, was auf seine Wellennatur hinwies; auch die fundamentalen Arbeiten von Jean Augustin Fresnel aus dieser Zeit wären hier zu nennen. Die Literaturliste des 19. Jahrhunderts auf diesem Gebiet wird übrigens von D. Brewster angeführt; auch er trug damals Grundlegendes bei, gefolgt von Lord Rayleigh. Was den Anteil der Publikationen an allen Publikationen der Physik des 19. Jahrhunderts angeht, so gilt das oben für die Polarisation Gesagte: Wieder

19 Simonyi, ebd.



*Abbildung 7:* Physik 1800-1900, Klassifikationscode 3600–3650: Interferenz und Diffraction. Anteil am Gesamtgebiet, Zahl der Artikel (in gleitenden 5-Jahres-Mittelwerten); jährliche Zahl der aktiv Beitragenden. Aus: R. Wagner-Döbler/J. Berg: 19th-century physics, a.a.O., Appendix, Fig. 16.

erreicht der Anteil etwa von 1810 bis 1820 einen nie wieder erreichten Gipfel. Wie im Fall der Polarisation des Lichts erhielt dieses Gebiet in diesen Jahren seine entscheidenden Impulse (Abb. 7).

Aufschlussreich ist auch die Entwicklung auf dem Gebiet der Thermodynamik (2400–2495). Hier sehen wir – von mehr oder weniger ausgeprägten Fluktuationen abgesehen – einen deutlich ansteigenden Trend der Konzentration von Beginn des 19. Jahrhunderts an bis zu einem Höhepunkt etwa um 1850 bis 1865 (Abb. 8). Insgesamt bewegt sich die Konzentration aber auf einem deutlich niedrigeren Niveau als in den bisherigen Beispielen. Nichtsdestoweniger waren genau dies die goldenen Jahre der Thermodynamik, in denen R. Clausius (in den Annalen der Physik) seine bahnbrechende Arbeit „Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen“ veröffentlichte, William Thomson (der spätere Lord Kelvin) seine gerühmten und bewunderten Arbeiten zur Thermodynamik in der Monographie „On the dynamical theory of heat“ (1851) zusammenfasste, und L. Boltzmann und Clausius die Mathematisierung des Entropiebegriffs und die For-



Abbildung 8: Forschungen auf dem Gebiet der Thermodynamik (*Royal Catalogue*, Subject Index, Physics, 2400–2495). Konzentrations-Index rho von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Zeitschriftenpublikationen 1800–1900.

mulierung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik gelangen (um 1865 herum). Auch aus dem Verlauf der Konzentrationskurve würde man schließen, dass in diesen Jahren die Thermodynamik einen zumindest in diesem Jahrhundert nicht wieder erreichten Höhepunkt erlangt hatte. Die Liste der in Zeitschriften Meistpublizierenden des Jahrhunderts auf diesem Gebiet wird übrigens von Clausius angeführt, gefolgt von W. J. M. Rankine (auch er spielte eine wichtige Rolle in der Entwicklung der Thermodynamik), Lord Kelvin, P. Duhem, Boltzmann und J. P. Joule, auch die bisher noch nicht Erwähnten wahrlich keine unbekanntenen Namen. Auch in den Publikationsanteilen dieses Gebiets an der Gesamtphysik widerspiegelt sich die Entwicklung: Niemals im 19. Jahrhundert dominierten die Publikationen dieses Gebiets die Physik mehr als etwa von 1850 bis 1865 (Abb. 9).

Nun zu den drei Gebieten der mathematischen Logik des 19. bzw. 20. Jahrhunderts (letztes einbezogenes Intervall: 1976 bis 1985):

Der Anteil des Gebiets der Unentscheidbarkeit (Klassifikationscode D35) weist von einem einsamen ersten Höhepunkt um die Jahrhundertwende herum einen (fluktuierenden) Aufwärtstrend auf, der um 1940 herum kulminiert, also einige Jahre nach der berühmten Arbeit Gödels „Über formal unentscheidbare Sätze“ aus dem Jahre 1931.<sup>20</sup> Der Gini-Index zeigt einen Gipfel erst um 1950,

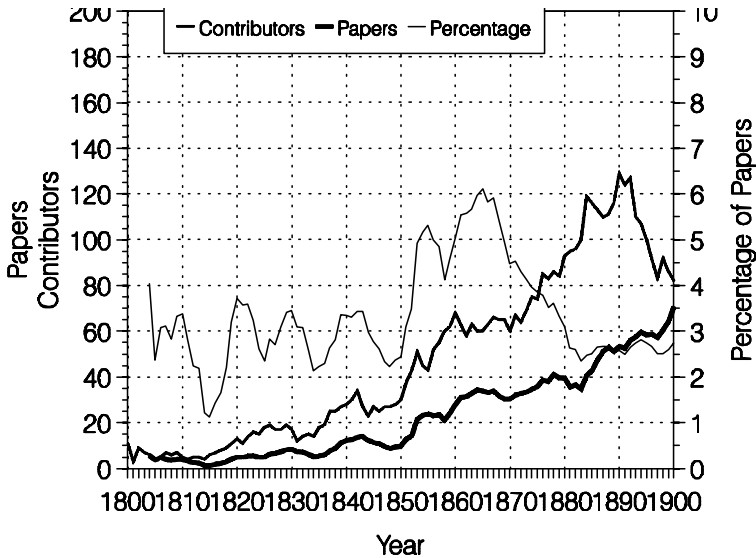


Abbildung 9: Physik 1800–1900, Klassifikationscode 2400–2495: Thermodynamik. Anteil am Gesamtgebiet, Zahl der Artikel und Zahl der aktiv Beitragenden in gleitenden 5[?]-Jahres-Mittelwerten. Aus: R. Wagner-Döbler/J. Berg: 19th-century physics, a.a.O., Appendix, Fig. 9.

daneben jedoch auch einen Gipfel kurz vor 1930 (Abb. 10). Die folgende Entwicklung zeigt, dass der Kulminationspunkt um 1950 herum unerreich bleibt. Interessant bei diesem Beispiel ist, dass die Konzentration zu einem Zeitpunkt kulminiert, wo der Anteil der Publikationen auf diesem Gebiet an sämtlichen logischen Publikationen ein Tief erreicht, also um 1950 herum.<sup>21</sup> Die hohe Konzentration trotz geringen Anteils würde ich als Indiz dafür werten, dass trotz vergleichsweise eher geringer Publikationsaktivitäten auf diesem Gebiet in dieser Zeit Wichtiges passiert oder, etwas vorsichtiger, dass ein harter Kern von Forschern dieses Gebiet trotz möglicherweise kriegsbedingter Rückschläge voranbrachte.

Die konstruktive und intuitionistische Mathematik (F55) verdankt ihre Ausarbeitung vor allem dem Wirken L. E. J. Brouwers in der ersten Hälfte

20 R. Wagner-Döbler/J. Berg: Mathematische Logik..., a.a.O., S. 216.

21 R. Wagner-Döbler/J. Berg: Mathematische Logik..., a.a.O., S. 216 u.

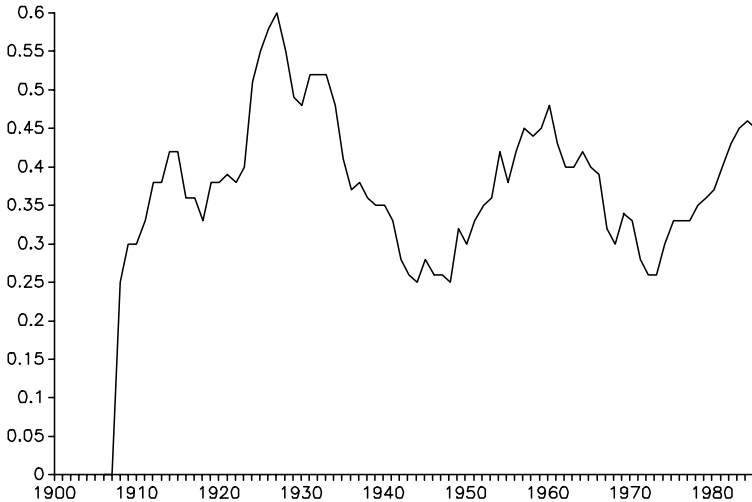


Abbildung 10: Forschungen auf dem Gebiet der Unentscheidbarkeit (Omega-Bibliographie, D35). Gini-Index von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Publikationen 1900–1985.

unseres Jahrhunderts. Der Gini-Index zeigt einen nicht mehr erreichten Höhepunkt der Konzentration um 1920 (im 10-Jahres-Intervall, das kurz nach 1915 beginnt; siehe Abb. 11), während die Kurve der Publikationsanteile erst ein Jahrzehnt später ihrem – auch in diesem Fall nicht mehr erreichten – Höhepunkt zustrebt (wenn man von einem „vorzeitigen“ früheren Ausbruch im 19. Jahrhundert absieht).<sup>22</sup> Obwohl der Publikationsanteil dann stark zurückfällt und die Zahl der überhaupt auf diesem Feld Aktiven sehr gering ist, weisen die Werte des Gini-Index auch nach der frühen Blütezeit mit einem Wert über 0,40 wenigstens zeitweise hohe Werte auf. Es ist schwierig zu entscheiden, ob dies als die Aktivitäten einer kleinen Kerngruppe in einem schrumpfenden Feld zu bewerten ist oder als – z.B. von S. C. Kleene angestoßene – Renaissance dieses für die Computerforschung ja nicht unbedeutenden Zweigs der mathematischen Logik. Für eine szientometrische Analyse wäre die Anwendung weiterer Indikatoren wünschenswert.<sup>23</sup>

22 Wagner-Döbler und Berg: *Mathematische Logik...*, a.a.O., S. 239.

23 Weitere Indikatoren werden entwickelt in J. Berg/R. Wagner-Döbler: *A multidimensional analysis...*, a.a.O.



*Abbildung 11:* Forschungen auf dem Gebiet der konstruktiven und intuitionistischen Mathematik (Omega-Bibliographie, F55). Gini-Index von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Publikationen 1900–1985.

Dem Gebiet der kategorialen Logik (G30) wird von führenden Logikern eine fruchtbare Zukunft vorausgesagt.<sup>24</sup> Wir betrachten die Gini-Werte in Abb. 12. Letztere zeigen einen – von Fluktuationen abgesehen – ununterbrochenen Aufwärtstrend an, wenn auch hier bei insgesamt niedrigem Niveau der Konzentration. Beide Indizes deuten auf einen ersten Höhepunkt im 10-Jahres-Intervall hin, das 1955 beginnt. Der Aufwärtstrend entspricht der lebhaften Entwicklung dieses Gebiets auch nach 1985, dem letzten Erhebungsjahr unserer Analyse.<sup>25</sup>

### *Eine Beobachtung zur Frühphase neuer Forschungsgebiete*

Ich möchte nun auf die wohl wichtigste Phase in der Entwicklung neuer Forschungsgebiete zu sprechen kommen, nämlich auf die für die „Entstehung des Neuen“ so wichtigen ersten Jahre einer neuen Idee. Im Mittelpunkt hier steht die Konzentration in den ersten 5 Jahren der insgesamt 113 Gebiete der mathematischen Logik (gemäß Omega-Bibliographie; bei dieser Auswertung habe ich ausschließlich Zeitschriftenpublikationen berücksichtigt). Ich habe sie mit Hilfe des

24 Vgl. J. Berg/R. Wagner-Döbler: A multidimensional analysis..., S. 339.

25 Vgl. J. Berg/R. Wagner-Döbler, ebd.



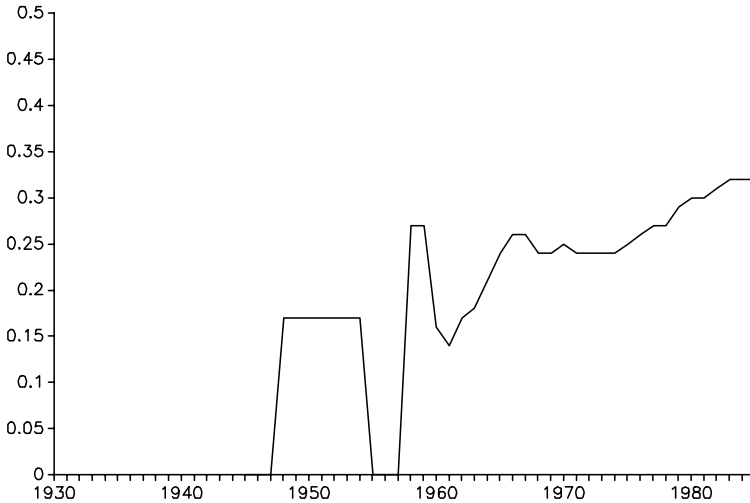


Abbildung 12: Forschungen auf dem Gebiet der kategorialen Logik (Omega-Bibliographie, G30). Gini-Index von gleitenden 10-Jahres-Intervallen der Publikationen 1930–1985.

Gini-Index berechnet: Die durchschnittliche Konzentration beträgt nur 0,06. 81 Gebiete weisen dabei eine Konzentration mit dem Wert Null auf, d.h. es herrscht vollständige Gleichheit im logischen Garten Eden, unter Einschluss des Falles, dass nur ein einziger Autor publizierte; nur zwei Gebiete überschreiten den Wert 0,3.

Dies ändert sich auch nicht nennenswert, wenn man eine Auswahl der rund 60 aus heutiger Sicht bedeutendsten Gebiete der Logik heranzieht:<sup>26</sup> Die durchschnittliche Konzentration beträgt hier lediglich 0,05.

Angesichts dieser Lage nimmt es nicht wunder, dass in den Anfangsphasen zahlreicher logischer Gebiete die Aktivitäten zeitweise vollständig zum Erliegen kommen. Da wir es hier mit letzten Endes doch erfolgreichen Gebieten zu tun haben, kann man hier nur darüber spekulieren, wieviele in ihrer Entstehungsphase nur schwach sichtbaren und nun wohl vollkommenen vergessenen Ansätze auf Nimmerwiedersehen vom Erdboden verschwanden.

Bis zur Wende zum 20. Jahrhundert weist die Omega-Bibliographie (d.h. von 1874 bis 1900) 79 Publikationen nach. In dieser Zeit entstanden – ausweislich der Omega-Bibliographie – nicht weniger als 31 der 113 insgesamt verzeichneten

26 Eine Aufstellung dieser Gebiete bei Wagner-Döbler/Berg: Mathematische Logik..., a.a.O.

logischen Gebiete. Bemerkenswert ist aber weniger die Zahl dieser Gebiete als die geringe Zahl der Publikationen, die diesen Reichtum an logischen Ideen enthält.

Dieser Reichtum der letzten 25 Jahre des 19. Jahrhunderts blieb den – übrigens hervorragend qualifizierten – Bearbeitern des mathematischen Sachindex des „Catalogue of Scientific Papers“ wohl weitestgehend verborgen, obwohl dieser Katalog von 1874 bis 1900 auch nicht weniger als 84 Einträge allein von Zeitschriftenartikeln auf dem Gebiet der „Philosophie“ der Mathematik verzeichnet, was unter anderem auch logische Fragen einschloss. Allerdings sind einige logische Arbeiten auch anderen Gebieten der Mathematik des 19. Jahrhunderts zugeordnet worden und dadurch recht verstreut verzeichnet. Ferner sind die Literaturnachweise beider Bibliographien keineswegs deckungsgleich.

### *Fazit*

Es zeigt sich, dass mit Hilfe des Indikators der Konzentration besonders bedeutende Entwicklungsphasen von Forschungsgebieten identifiziert werden können, während die jährliche Zahl der Publikationen eines Gebiets weniger aussagekräftig ist, ebensowenig wie die Zahl der überhaupt Beitragenden. Aussagekräftiger hingegen ist der Publikationsanteil eines Gebiets an der Gesamtheit der übergeordneten Disziplin. Da zu dieser übergeordneten Disziplin aber nicht selten Daten fehlen oder nur sehr schwer zu ermitteln sind, eignet sich der Konzentrationsindex für die Identifikation fruchtbarer Phasen in der Entwicklung eines Forschungsgebiets.

Aus meiner Sicht wird deutlich, dass man aus der Entwicklung des Lotka-Exponenten der Beitragshäufigkeitsverteilung eines Forschungsgebiets Aussagen über seinen Entwicklungsstand ableiten kann – wenn man über bibliometrische Daten verfügt. Der Lotka-Exponent lässt sich auf diese Weise als empirisch nutzbarer Ordnungsparameter eines Selbstorganisationsprozesses auffassen.

---

HANS-EDUARD HAUSER, GUNTER KAYSER

## Existenzgründerstatistik in den 80er und 90er Jahren in Deutschland

### *1. Einleitung*

Unternehmensgründungen und -liquidationen sind Ausdruck der Dynamik einer Volkswirtschaft. Je stärker die Kräfte des Strukturwandels wirken, desto mehr gewinnt die Analyse der Unternehmensfluktuation an Bedeutung. Strukturwandel geschieht durch Innovation. Das Institut für Mittelstandsforschung Bonn konnte in seiner Studie zum neuen innovativen Dienstleistungssektor feststellen, dass in diesem Sektor ein Drittel aller 1998 bestehenden Arbeitsplätze auf Neugründungen der letzten acht Jahre zurückzuführen sind.<sup>1</sup>

Wichtigste Quelle für die Analyse der Gründungen und Liquidationen ist die Statistik der Gewerbemeldungen, die von den Statistischen Landesämtern geführt wird. Von den Gewerbean- und abmeldungen kann allerdings nicht ohne weiteres auf die Gründungen und Liquidationen geschlossen werden.

Das Institut für Mittelstandsforschung Bonn wertet die Gewerbemeldungen seit 1973 nach einem einheitlichen Verfahren aus und schließt auf eine Anzahl von potentiellen neuen Unternehmen. Dabei konnte es sich zunächst nur auf die Gewerbemeldungen von vier Bundesländern stützen, später wurden es mehr. Bereits seit 1991 waren die Daten der Neuen Bundesländer regelmäßig verfügbar. Seit 1996 haben sich die Bundesländer auf ein einheitliches Meldeverfahren geeinigt, so dass die Gewerbemeldungen aller Bundesländer vorliegen. Bei diesem neuen Meldeverfahren werden nicht mehr nur die reinen Gewerbemeldungszahlen erfasst, sondern auch Handelsregister- oder Handwerksrolleneintrag des angemeldeten Unternehmens, Anzahl der Angestellten u.ä. Außerdem werden auch abhängige Betriebe ausgewiesen, also solche Betriebe, die nur Teil eines Unternehmens sind. Die amtliche Statistik unterscheidet seit 1995 erstmals zwischen Gewerbeanmeldung und „echter Neuerrichtung“ sowie Abmeldung und „vollständiger Schließung“.

1 Pressemitteilung des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn vom 25.6.1999

Im folgenden sollen das Verfahren des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn und das der amtlichen Statistik kurz vorgestellt werden und miteinander verglichen werden. Beide nutzen als Grundlage die Gewerbemeldungen. Im zweiten Abschnitt wird untersucht, wie es möglich ist, die neuentstandenen Unternehmen genauer zu charakterisieren. Es soll aufgezeigt werden, mit welcher Statistik Schlüsse über die Innovativität der neugegründeten Unternehmen gezogen werden können. Hierzu werden die Umsatzsteuerstatistik und die Statistik der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten auf ihre Eignung als Gründungsstatistik untersucht.

Resümierend wird dargelegt, warum das amtliche Verfahren der Schätzung von Neuerrichtungen und endgültigen Schließungen die Statistik der Gründungen und Liquidationen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn zwar ergänzen nicht aber ersetzen kann und wie ergänzend hierzu die Umsatzsteuerstatistik als Innovationsstatistik herangezogen werden kann.

## *2. Die Statistik der Gründungen und Liquidationen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn*

Ziel der Auswertungen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn ist es, die Anzahl der neuen Unternehmen festzustellen. Ein Unternehmen wird dabei als rechtlich selbständige Einheit definiert. Filialbetriebe scheiden damit aus.<sup>2</sup> Im Idealfall entspricht die Veränderung des Unternehmensbestandes zwischen zwei Zeitpunkten genau der Differenz zwischen Gründungen und Liquidationen im gleichen Zeitraum.<sup>3</sup>

Diesem Idealziel stehen einige methodische Hindernisse der Statistik der Gewerbemeldungen entgegen, aber auch der Statistiken, mit denen der Unternehmensbestand gemessen wird.

Die Gewerbeanmeldungen enthalten neben den neugegründeten Unternehmen auch neuerrichtete unselbständige Filialen bereits existierender Unternehmen, An- und Abmeldungen aufgrund von Unternehmensübernahmen, Meldungen wegen Neueintritts von Gesellschaftern und Mehrfachmeldungen von Unternehmen, die mehrere Gesellschafter haben und entsprechend der Anzahl der Gesellschafter Gewerbemeldungen abgeben müssen. Dadurch wird

2 Filialbetriebe sind von der Hauptniederlassung räumlich getrennte Einheiten, die aber nicht rechtlich selbständig sind. Z.B. ist ein Lebensmittelgeschäft der Fa. Rewe oder Aldi nicht mit einem selbständigen Unternehmen gleichzusetzen, nach der Betrachtungsweise des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn ist die Eröffnung eines solchen Geschäftes keine Gründung.

3 Alter Bestand + Gründungen – Liquidationen = neuer Bestand

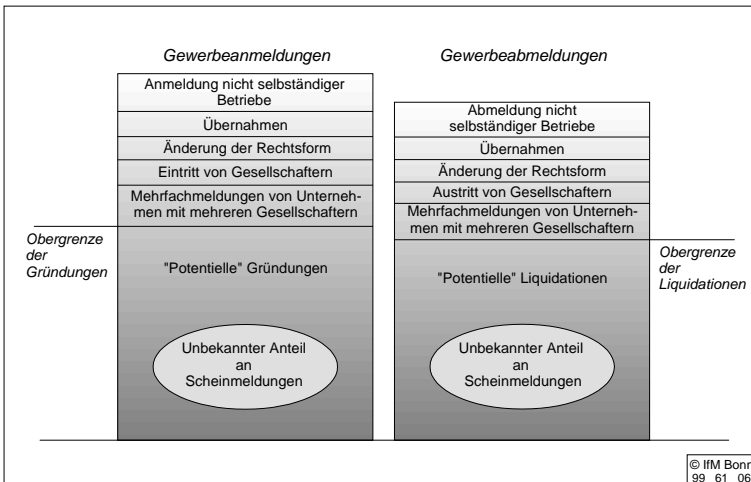


Abbildung 1: Berechnung der Gründungen und Liquidationen im IfM Bonn

die Anzahl der Gewerbeanmeldungen jedes Jahr aufgebläht, ohne dass sie im ausgewiesenen Umfang tatsächlich einen Unternehmenszuwachs enthält. Darüber hinaus muss angenommen werden, dass eine unbekannte Zahl von Meldungen zum Schein abgegeben wird, beispielsweise um steuerliche Vorteile zu nutzen oder um preisgünstig einkaufen zu können (METRO-Schein). Diese Fälle sind entsprechend auch in den Abmeldungen enthalten.

Ab 1999 wird eine Änderung der Gewerbeordnung wirksam, nach der eine Gewerbeabmeldung erst bei Aufnahme der Geschäftstätigkeit abgegeben werden darf. Es ist damit zu rechnen, dass dies eine Verringerung der Scheinmeldungen zur Folge haben wird.

Bis auf die Scheinmeldungen sind zwar alle diese Tatbestände aus der Gewerbeabmeldung ersichtlich, sie wurden aber in der Statistik der Gewerbeabmeldungen bis 1996 nicht ausgewiesen. Um sie trotzdem quantifizieren zu können, zog das Institut für Mittelstandsforschung Bonn unter Einhaltung der Datenschutzvorschriften beim Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen und beim Statistischen Landesamt des Freistaates Sachsen Stichproben der originären Gewerbeabmeldungen und wertete diese aus.<sup>4</sup> Mit Hilfe dieser Stichpro-

4 Eine genaue Beschreibung des Verfahrens findet sich in: Clemens, Reinhard; Freund, Werner: Die Erfassung von Gründungen und Liquidationen in der Bundesrepublik Deutschland, Stuttgart 1993, S. 75ff. und S. 100ff.

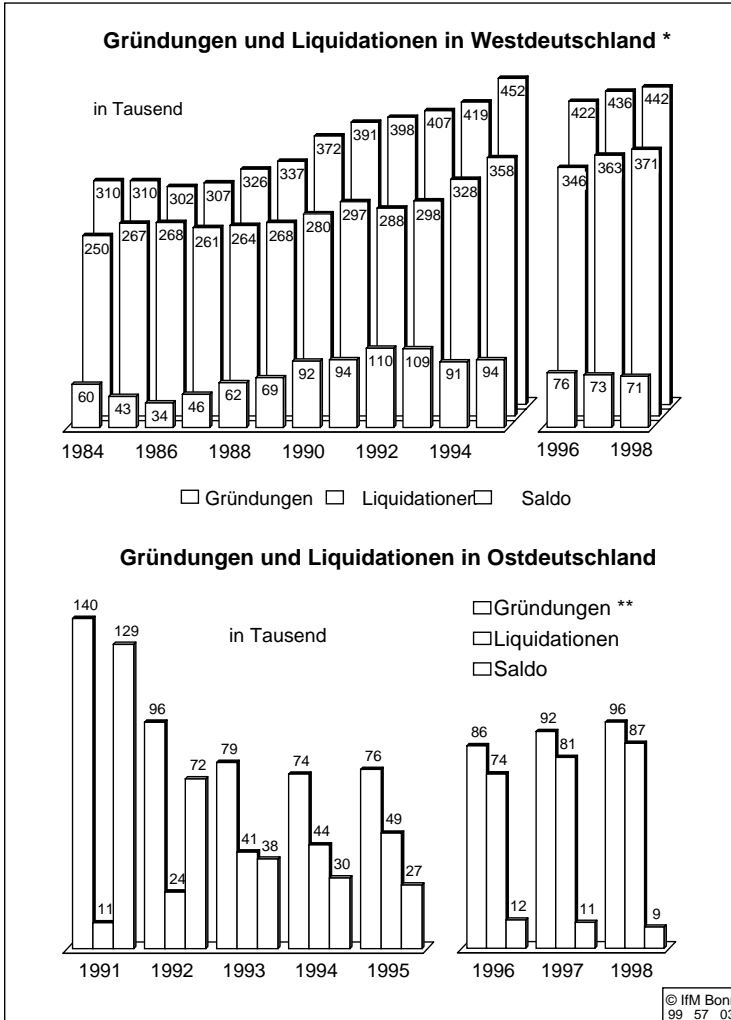


Abbildung 2: Gründungen und Liquidationen seit 1984 in Deutschland  
 Quelle: Gewerbemeldedaten der Statistischen Landesämter; Berechnungen des Institut für Mittelstandsforschung Bonn

ben werden die Gründungen und Liquidationen wie in Abbildung 1 gezeigt errechnet.

Nach Ergebnissen der Auswertung liegt je nach Jahrgang der Anteil der potentiellen Gründungen – d.h. Gewerbeanmeldungen von Firmen, die dann zu echten Unternehmen werden – an den Gewerbeanmeldungen zwischen 66 und 77 Prozent und der der Liquidationen an den Gewerbeabmeldungen zwischen 63 und 80 Prozent.

Abbildung 2 zeigt die vom Institut für Mittelstandsforschung Bonn ermittelte Anzahl der Gründungen und Liquidationen seit 1984 in den alten Bundesländern und seit 1991 in den Neuen. Es zeigt sich, dass neben den Bestandserfassungen die Erfassung von Flussgrößen sehr wichtig ist, denn gemessen an der Gesamtzahl der Unternehmen macht die Summe der Gründungen und Liquidationen nahezu ein Drittel aus. Im Durchschnitt wird pro Jahr ein knappes Sechstel der alten Unternehmen durch neue ersetzt.

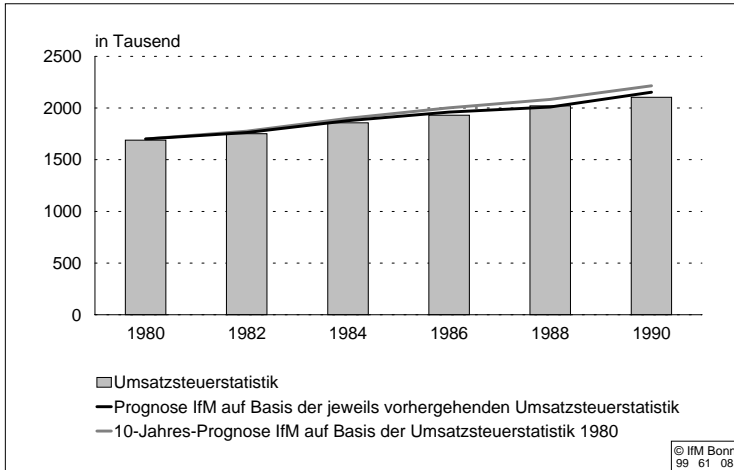
Die Qualität der so gewonnenen Daten lässt sich kontrollieren, indem der Saldo der Gründungen und Liquidationen auf die Bestände der Umsatzsteuerstatistik aufaddiert wird, um damit den Unternehmensbestand der nächsten – zwei Jahre später erscheinenden – Umsatzsteuerstatistik zu prognostizieren. Die Umsatzsteuerstatistik weist alle Unternehmen aus, die einen bestimmten Mindestumsatz innerhalb des Jahres überschreiten, also auch gleichzeitig Gründungen und Liquidationen, die diesen Umsatz überschreiten. Solche, die ihn unterschreiten, erfasst sie nicht.

Der Saldo der Gründungen und Liquidationen eliminiert langfristig auch die sogenannten Scheinmeldungen, denn es ist davon auszugehen, dass nach einer bestimmten Zeit das Finanzamt, die Berufsgenossenschaften u.ä. Behörden mit Meldewünschen vorstellig werden, und der Gewerbemelder eine Abmeldung vornimmt, um der Bürokratie zu entgehen.

Für die Jahre 1980 bis 1990 zeigt sich, dass im 2-Jahresrhythmus die Bestände nahezu korrekt prognostiziert wurden. Im Zehnjahresrhythmus, also die Prognose der Umsatzsteuerstatistik des Jahres 1990 mit Hilfe der Umsatzsteuerstatistik des Jahres 1980 und dem Saldo der Gründungen und Liquidationen weist einen Fehler auf, der vernachlässigbar ist.

Leider ist eine solche Qualitätskontrolle für die Jahre 1990 bis 1997 nicht möglich. Seit 1990 hat mit jeder neu erscheinenden Umsatzsteuerstatistik eine Umstellung der Methodik stattgefunden, was die Ergebnisse immer nur sehr eingeschränkt vergleichbar macht. Insbesondere die Anhebung der Umsatzuntergrenze, ab der ein Unternehmen in der Umsatzsteuerstatistik ausgewiesen wird<sup>5</sup>,

5 Bis 1994 wurden alle Unternehmen, deren steuerbarer Umsatz mehr als 25.000 DM betrug, in der Umsatzsteuerstatistik ausgewiesen. Ab 1996 nur noch solche, deren steuerbarer Umsatz mehr als 32.500 DM betrug.



*Abbildung 3:* Bestandsentwicklung der Anzahl der Unternehmen in den alten Bundesländern von 1980 bis 1990 nach Umsatzsteuerstatistik und Prognose des IfM mit Hilfe der Statistik der Gründungen und Liquidationen

Quelle: Gewerbemeldedaten der Statistischen Landesämter; Statistisches Bundesamt, Umsatzsteuer, div. Jahrgänge; Berechnungen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn

im Jahre 1996 führte zu einer starken Abweichung von der mit Hilfe der Gründungen und Liquidationen prognostizierten Zahl. Offensichtlich liegt ein großer Teil dieser neuen bzw. abgehenden Betriebe in dieser Größenklasse.

### *3. Die Statistik der Gewerbemeldungen seit 1996 und das Verfahren der amtlichen Statistik zur Ermittlung der sogenannten echten Neuerrichtungen und vollständigen Schließungen*

Seit 1995 werden die Gewerbemeldungen in allen Bundesländern einheitlich erfasst.<sup>6</sup> Die Gewerbemeldungen können erstmals nach verschiedenen Kriterien ausgewertet werden. Festgestellt werden kann

- ob es sich um eine echte Neuerrichtung eines Hauptbetriebes handelt

6 Eine genaue Beschreibung des Verfahrens findet sich in: Angele, Jürgen: Zur Einführung einer Gewerbeanzeigenstatistik, in: *Wirtschaft und Statistik* 7/1997, S.462ff.



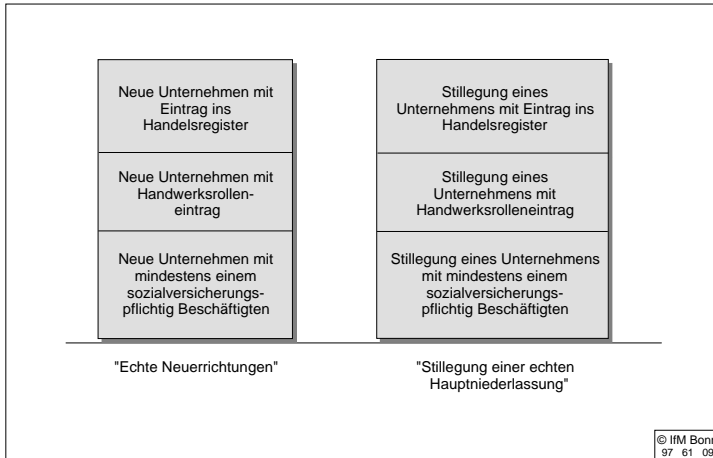


Abbildung 4: Echte Neuerrichtungen einer Hauptniederlassung und Stillegung einer echten Hauptniederlassung in der amtlichen Statistik

- um eine echte Neuerrichtung eines Zweigbetriebes
- um eine Neuerrichtung wegen Betriebsverlagerung
- um sonstige Neuerrichtungen
- um Übernahmen von Haupt- und Zweigniederlassungen
- um eine vollständige Aufgabe eines Hauptbetriebes handelt
- um eine vollständige Aufgabe eines Zweigbetriebes
- um eine Stillegung wegen Betriebsverlagerung
- um sonstige Stillegungen.

Hierbei kann zwischen Gewerbemeldungen von Hauptniederlassungen und Zweigniederlassungen bzw. unselbständigen Zweigstellen unterschieden werden. An dieser Stelle sollen, wie bereits weiter oben erwähnt, nur Gewerbemeldungen von Hauptniederlassungen also An- und Abmeldungen von selbständigen Unternehmen betrachtet werden.

Die amtliche Statistik versucht mit Hilfe dieser ihr zur Verfügung stehenden Unterscheidungsmerkmale ebenfalls eine Aussage über die Anzahl der Unternehmensneugründungen und -schließungen zu treffen. Sie geht hierbei nach streng objektiven Kriterien vor.

Um eine echte Neuerrichtung handelt es sich nur, wenn ein angemeldetes Unternehmen

- in das Handelsregister oder
- in die Handwerksrolle eingetragen wurde

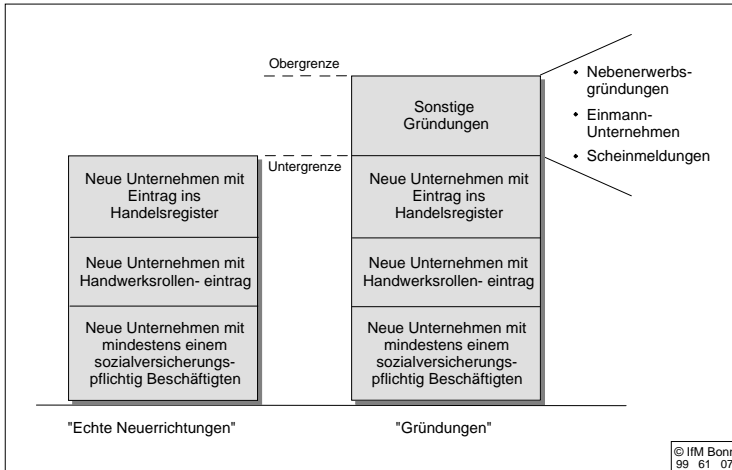


Abbildung 5: Echte Neuerrichtungen einer Hauptniederlassung der amtlichen Statistik vs. Existenzgründungen des IfM

- oder mindestens einen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten eingestellt hat.

Um eine Stilllegung eines echten Unternehmens handelt es sich umgekehrt, wenn das abgemeldete Unternehmen mindestens eine dieser Eigenschaften besaß.

Abbildung 5 zeigt die Differenz zwischen den echten Neuerrichtungen von Hauptniederlassungen und den Gründungen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn. Die so ausgewiesenen echten Neuerrichtungen des Statistischen Bundesamtes können als Untergrenze für Unternehmensneugründungen angesehen werden.

In diesem Korridor zwischen echten Neuerrichtungen und Gründungen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn befinden sich Einmann-Unternehmen, Nebenerwerbsgründungen und Scheingründungen. Viele Gewerbe werden zunächst neben einer abhängigen Beschäftigung geführt, bis der Inhaber sein Gewerbe soweit ausgebaut hat, dass er sicher sein kann, seinen Lebensunterhalt hiervon zu bestreiten. Es dürfte die Ausnahme sein, dass ein Gründer auf Anhieb sozialversicherungspflichtig Beschäftigte einstellt, deshalb müssen auch viele Gewerbemeldungen ohne Arbeitnehmer als echte Gründungen eingestuft werden.

1996 gab es etwa 650.000 Unternehmen mit 32.500 bis 100.000 DM Umsatz, die nicht in das Handelsregister eingetragen waren.<sup>7</sup> Bei einem durchschnittlichen Bruttoeinkommen je Arbeitnehmer in diesem Zeitraum von

60.400 DM<sup>8</sup> ist davon auszugehen, dass diese Unternehmen in der Regel ohne Arbeitnehmer arbeiten. Die Handwerkszählung von 1995 weist in der Größenklasse bis 100.000 DM Umsatz etwa 100.000 Handwerksbetriebe aus. Mithin wären grob gerechnet etwa 550.000 Unternehmen nie als echte Neuerrichtung erfasst worden.

Werden den ausgewiesenen echten Neuerrichtungen noch die sonstigen Neuerrichtungen, das sind die Gewerbeanmeldungen, die weder ins Handelsregister noch in die Handwerksrolle eingetragen sind, die auch nicht mit der Einstellung von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten einhergehen, hinzuaddiert, so müsste definitionsgemäß die Zahl der amtlichen Statistik den Gründungen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn entsprechen, die als Obergrenze angesehen wird. Tatsächlich differieren die Zahlen.

Die Neuerrichtungen des Statistischen Bundesamtes übertreffen die des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn um 60.000, die Stilllegungen die Liquidationen um 30.000 und der Saldo – also der eigentliche Unternehmenszuwachs – der Zahlen des Statistischen Bundesamtes liegt ebenfalls um 30.000 Fälle über denen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn (siehe Tabelle 1).

*Tabelle 1:* Differenz zwischen den Gründungen und Liquidationen des IfM Bonn und Neuerrichtungen und Stilllegungen der amtlichen Statistik

<b>1. Amtliche Statistik</b>					
Echte Neuerrichtungen	158.418	Echte Schließungen	94.246	Saldo	64.172
Sonstige Neuerrichtungen	432.505	Schließungen von Kleingewerbetreibenden	376.036	Saldo	56.469
Neuerrichtungen insgesamt	590.923	Schließungen insgesamt	470.282	Saldo	120.641
<b>2. Institut für Mittelstandsforschung Bonn</b>					
Gründungen	531.000	Liquidationen	441.000	Saldo	90.000
<b>3. Differenz</b>					
Neuerrichtungen – Gründungen	59.923	Schließungen – Liquidationen	29.282	Saldo	30.641

© IfM Bonn

*Quelle:* Statistisches Bundesamt, Statistik der Gewerbeanmeldungen, Institut für Mittelstandsforschung Bonn

Dieses kann mehrere Gründe haben:

7 Statistisches Bundesamt: Fachserie 14, Reihe 8, Umsatzsteuer 1996, Wiesbaden 1998, S. 41

8 Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 1998, Wiesbaden 1998, S. 586

1. Bei den Gewerbemeldungen kommt es zu Doppelmeldungen, wenn mehrere Gesellschafter eines Unternehmens sich zu unterschiedlichen Zeitpunkten anmelden. Das statistische Bundesamt räumt ein, dass Doppelmeldungen bei mehreren Gesellschaftern sehr wahrscheinlich sind, wenn die Meldebögen an unterschiedlichen Tagen eingehen.
2. Ummeldungen können nicht zugeordnet werden und werden fälschlich als An- und Abmeldungen eingeordnet.

Bei den Auswertungen der Stichproben stellte das Institut für Mittelstandsforschung Bonn einen wesentlich größeren Anteil von Ummeldungen an den Gewerbemeldungen fest als die amtliche Statistik. Das Statistische Bundesamt räumte ein, dass solche Fehler auftreten. Es wurde daraufhingewiesen, dass nicht alle Rubriken des Meldebogens erfasst werden können, weil dieses die Zeit zwischen Erfassung und Veröffentlichung verlängern würde. So wird zum Beispiel die Adresse der neugegründeten Betriebe, die einen maschinellen Abgleich von Mehrfachmeldungen und Ummeldungen erlauben würde, nicht elektronisch gespeichert.

3. Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass die Zahlen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn auf Stichproben basieren, während dem Statistischen Bundesamt eine Vollerhebung zur Verfügung steht.

Die Möglichkeit, dass die Zahlen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn auf einer verzerrten Stichprobe beruhen, ist natürlich gegeben. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass die Prognosefähigkeit der Zahlen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn, wie in Abbildung 2 bereits dargelegt, ex post als außerordentlich gut bezeichnet werden kann.

Das Institut für Mittelstandsforschung Bonn wertet zwar nur Stichproben aus, achtet hierbei aber gezielt auf solche Mehrfachmeldungen. Offensichtlich wird diese statistische Abweichung überkompensiert dadurch, dass bei der kleineren Stichprobe genauer auf Mehrfachmeldungen und Ummeldungen geachtet werden kann, als bei der Auswertung aller Gewerbemeldungen. Angesichts des Kostendrucks und andererseits der Forderung, möglichst schnell Ergebnisse zu liefern, wird es für die amtliche Statistik vermutlich auch auf kurze und mittlere Sicht schwierig sein, diese Fehler abzustellen. Sie ist hierbei in hohem Maße von der Qualität der Daten der Gewerbeldeämter in den Gemeinden und Städten abhängig.

#### *4. Möglichkeiten der Erfassung von innovativen Gründungen*

Wie bereits dargelegt, sind die Daten des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn über Gründungen und Liquidationen sehr präzise. An dieser Stelle wollten

wir aber nicht stehenbleiben, denn es konnte weder etwas über den Wirtschaftszweig der neuen Unternehmen ausgesagt werden, noch konnten Angaben über die Entwicklung neugegründeter Betriebe gemacht werden.

Es ist von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung der Volkswirtschaft, ob Gründungen nur aus dem Abgang alter Unternehmen freiwerdende Nachfrage akquirieren oder etwas völlig Neues erstellen und damit einen zusätzlichen Wertschöpfungsbeitrag leisten, der langfristige Steigerungen erwarten lässt.

Um feststellen zu können, ob eine Neugründung innovativ ist, müssen objektive Kriterien gewonnen werden, die eine eindeutige Zuordnung erlauben. Eine Aussage wie etwa „das Produkt ist neu“ heißt nicht unbedingt, dass es auch innovativ ist. Im weitesten Sinne wäre sonst auch ein Kraftfahrzeug, das bislang nur in blauer Farbe ausgeliefert wurde, eine Innovation, wenn es auch in rot produziert würde.

In der Studie Wachstumsmarkt Dienstleistungen<sup>9</sup> wird folgendes Kriterium angewendet, um innovative Wirtschaftszweige von anderen zu unterscheiden:

1. Die Anzahl der Unternehmen, Umsatz und Wertschöpfung müssen überdurchschnittlich gewachsen sein.
2. Aus den Daten der nach Kriterium 1. isolierten Wirtschaftszweige werden Zeitreihen gebildet, die dann mit einer linearen und einer exponentiellen Funktion approximiert werden. Die Wirtschaftszweige, bei denen die exponentielle Funktion einen höheren Anteil der Streuung erklärt, werden als innovative Wirtschaftszweige definiert.

Kriterium 2. wurde aus der Produktlebenszyklushypothese gewonnen, die in der Einführungs- und Wachstumsphase einen solchen exponentiellen Verlauf aufweist.

Für die Untersuchung von Neugründungen mit Hilfe dieser Kriterien sind nur Statistiken geeignet, die die Verfolgung der Entwicklung der Unternehmen nach ihrer Gründung erlauben.

Deshalb sollen hier auch die Beschäftigtenstatistik der Bundesanstalt für Arbeit und die Umsatzsteuerstatistik auf Ihre Eignung als Gründungsstatistik untersucht werden.

9 Wimmers, Stephan; Hauser, Hans-Eduard; Paffenholz, Guido: Wachstumsmarkt Dienstleistungen – Marktzutritts- und Erfolgsbedingungen neuer unternehmensnaher Dienstleister in Deutschland, Wiesbaden 1999, S. 17ff.

#### *4.1 Die Statistik der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten*

Arbeitgeber sind verpflichtet bei Einstellung und Ausscheiden eines Mitarbeiters, der sozialversicherungspflichtig ist, eine Meldung an die Sozialversicherungsträger abzugeben, die u.a. Lohn bzw. Gehalt und Qualifikation enthält. Diese Daten werden bei der Bundesanstalt für Arbeit in einem Datensatz für jeden sozialversicherungspflichtig Beschäftigten zusammen mit einer Identifikationsnummer des Betriebes, in dem er tätig ist, abgespeichert. Wenn ein Arbeitnehmer die Stelle wechselt, wird in seinem alten Datensatz die Betriebsnummer seines alten Arbeitgebers durch die seines Neuen ruhend gesetzt, d.h. der Arbeitnehmer wird zwar seinem neuen Arbeitgeber korrekt zugerechnet, es kann aber auch sein letzter Arbeitgeber festgestellt werden. Dadurch werden Doppelzählungen vermieden, und es ist möglich, Fluktuationen zu erfassen.

In einer zweiten Datei werden außerdem die Datensätze der einzelnen Betriebe gespeichert, die Aufschluß über Betriebsstandort und Wirtschaftszweig geben.

Eine Verknüpfung dieser Datensätze erlaubt Rückschlüsse über das Wechselverhalten der Arbeitnehmer und über das Wachsen und Schrumpfen der Betriebe. Stellt sich bei dem Abgleich der Betriebsnummern zwischen zwei Zeitpunkten heraus, dass die Betriebsnummer nur an einem Zeitpunkt existiert, so kann von einem neuen bzw. geschlossenen Betrieb ausgegangen werden.

Existiert sie nur zum ersten Zeitpunkt, so wurde ein Betrieb zwischen erstem und zweitem Zeitpunkt geschlossen, existiert sie nur zum zweiten Zeitpunkt, so wurde ein Betrieb zwischen erstem und zweitem Zeitpunkt eröffnet.

Ein großer Vorteil der Statistik der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten ist ihre hohe Aktualität, die Daten für den Stichtag 30.6. liegen etwa 8 bis 10 Monate später vor, was verglichen mit amtlichen Statistiken, wie z.B. der Umsatzsteuerstatistik und dem Mikrozensus, ein relativ kleiner time-lag ist. Durch das Abstellen auf örtliche Betriebe ist eine tiefe geographische Gliederung sowie eine abgrenzungsscharfe Wirtschaftszweigsbetrachtung möglich. Ein weiterer Vorteil dieser Statistik ist die Erfassung nach Beschäftigten. Die Beschäftigungseffekte können also gemessen werden.

Die Statistik der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten bringt aber einige Nachteile mit sich, die ihre Aussagefähigkeit als Gründungsstatistik stark einschränken.

Abbildung 6 zeigt den Zusammenhang zwischen den neuentstehenden Betrieben nach der Beschäftigtenstatistik und den Gründungen von selbständigen Unternehmen.

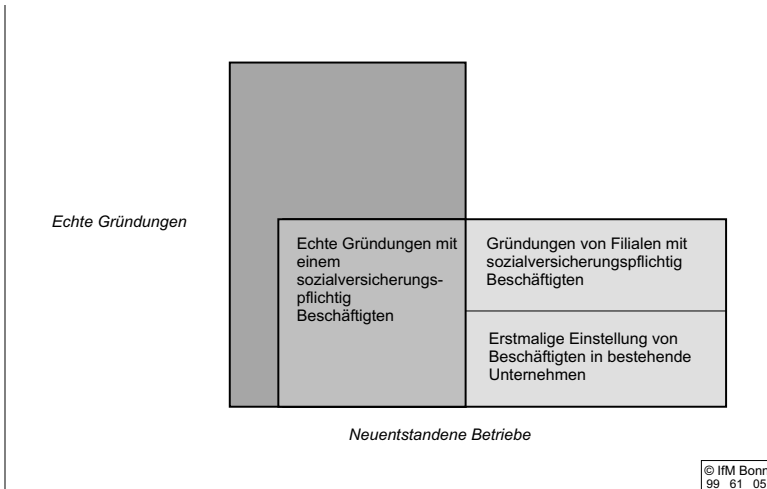


Abbildung 6: Beschäftigungsstatistik der Bundesanstalt für Arbeit als Gründungsstatistik

Die Beschäftigtenstatistik ist nur nach Betrieben gegliedert. Über die Datei der sozialversicherungspflichtig beschäftigten Schwerbehinderten lässt sich zwar eine Unternehmenszuordnung für Betriebe, die zu Unternehmen mit mehr als 16 Beschäftigten gehören, vornehmen. Kleinere Unternehmen, und damit fast alle neugegründeten Unternehmen, bleiben aber unberücksichtigt. Unterschätzt wird außerdem die Anzahl der Mikrobetriebe und der Beschäftigten, weil durch Abstellen auf die Sozialversicherungspflicht der oder die Unternehmer, unentgeltlich mithelfende Familienangehörige und geringfügig Beschäftigte – sogenannte „630 DM-Kräfte“ – nicht berücksichtigt und mithin Ein-Mann-Unternehmen, selbst wenn sie ins Handelsregister oder die Handwerksrolle eingetragen sind, überhaupt nicht erfasst werden. Die Anzahl der Ein-Mann-Unternehmen wird in der Arbeitsstättenzählung von 1987 mit etwa 600.000 angegeben. Eine Betriebsgründung findet erst statt, wenn ein Unternehmer jemanden einstellt, selbst dann, wenn er bereits seit Jahren mit Erfolg tätig ist. Nach den Erfahrungen des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) stellen allerdings neugegründete Unternehmen bereits in den ersten Jahren sozialversicherungspflichtige Mitarbeiter ein, wenn sie überhaupt welche einstellen. Unternehmer, die jahrelang ohne Mitarbeiter arbeiten änderten auch später diese Strategie nur selten.

Andererseits kommt es zu einer Übererfassung, weil aus den Betriebsnummern nicht ersichtlich ist, ob es sich um ein neugegründetes Unternehmen handelt oder nur um die Eröffnung eines Zweigbetriebes bzw. eine Übernahme. Es

kann davon ausgegangen werden, dass die zunehmende Konzentration diesen Effekt in den letzten Jahren verstärkt. Bei einem Abgleich mit dem IAB-Panel ergab sich allerdings, dass der Anteil der Betriebe die identisch sind mit selbständigen Unternehmen im Panel über 80% betrug. Das IAB-Panel besteht zum größten Teil aus zwischen 1991 und 1998 neugegründeten Betrieben.<sup>10</sup> Mithin ist die Annahme gerechtfertigt, dass die Beschäftigtenstatistik der Bundesanstalt für Arbeit für die Beobachtung von Beschäftigungseffekten von Neugründungen mit Einschränkungen geeignet ist.

Lag das Verhältnis zwischen Gründungen und Betriebszugängen 1977 noch bei etwa 1, so kam 1985 schon nur noch auf jede zweite Gründung ein Betriebszugang. Nach einer vorliegenden neueren Untersuchung lag dieses Verhältnis 1994 bei über 3.<sup>11</sup> Es kann daher festgehalten werden, dass sich die Beschäftigtenstatistik als Gründungsstatistik nur bedingt eignet.

#### *4.2 Die Umsatzsteuerstatistik als Gründungsstatistik*

Wichtige Voraussetzung für eine Auswertung der Umsatzsteuerstatistik als Gründungsstatistik ist ebenso wie bei der Beschäftigtenstatistik die Möglichkeit der Verknüpfung der Datensätze über die einzelnen Jahre. Nur so kann festgestellt werden, ob ein Unternehmen in der Vorperiode existierte oder nicht.

Die Umsatzsteuerstatistik wird über die Finanzämter erhoben, die Finanzämter geben die von ihnen über die Unternehmen gewonnenen Daten als Einzeldatensätze an die Statistischen Landesämter weiter. Diese Datensätze enthalten die aus den Umsatzsteuererklärungen gewonnenen Erkenntnisse und außerdem Informationen, die zwar keine direkte Identifizierung des Unternehmens ermöglichen, aber eine Identifizierung von Datensätzen mehrerer Jahre, die dem gleichen Fall zuzuordnen sind. Eine Verkettung über mehrere Perioden ist mithin möglich. Darüber hinaus können auch Unternehmen identifiziert werden, die innerhalb eines Jahres eröffnet und geschlossen werden.

Die Umsatzsteuerstatistik erfasst rechtlich selbständige Unternehmen, so dass die Erfassung von neueröffneten Zweigbetrieben als Gründung ausgeschlossen ist.

In der Umsatzsteuerstatistik werden Unternehmen erst ausgewiesen, wenn sie einen bestimmten Mindestumsatz überschreiten. Das hat den Nachteil, dass sehr spät in einem Jahr gegründete Unternehmen nicht mehr erfasst werden, da die

10 Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesanstalt für Arbeit: Codebook zum IAB-Betriebspanel, Vorabdruck, Nürnberg 1999

11 Van Elkan, Marco: Unternehmensgründungen und Unternehmensliquidationen in Rheinland-Pfalz, Münster 1998, S.102



Umsätze der letzten Monate innerhalb eines Jahres diese Grenze nicht mehr erreichen. Für am Anfang eines Jahres liquidierte Unternehmen gilt das gleiche. Inflationsbedingt wird die Grenze, ab der ein Unternehmen der Umsatzsteuer unterliegt, von Zeit zu Zeit nach oben angepasst. Ein großer Teil der Neugründungen erreicht aber im Jahr Ihrer Gründung einen Umsatz von weniger als 50.000 DM und überschreitet damit nicht die Umsatzobergrenze der kleinsten Größenklasse. Mithin ist die kleinste Größenklasse der Umsatzsteuer abhängig von den Gründungen und Liquidationen. Aus Untersuchungen des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn geht hervor, dass die Anhebung der Erfassungsgrenze regelmäßig zu Abweichungen von den mit Hilfe des Saldos der Gründungen und Liquidationen prognostizierten Anzahl der Unternehmen führt.

Die Umsatzsteuer wurde bislang nur in geraden Jahren ausgewertet (1972, 1974...1994,1996). Bei der Auswertung als Gründungsstatistik zeigte sich, dass in ungeraden Jahren (z.B. 1989) wesentlich mehr Gründungen und wesentlich weniger Liquidationen auftraten als in geraden Jahren (z.B. 1990). Grund ist wieder die Erfassungsgrenze und der Zweijahresrhythmus der Umsatzsteuerstatistik. Erstmals erfasst wird ein Unternehmen, wenn es die Umsatzgrenze überschreitet. Das Gründungsdatum ist aber unabhängig von der Umsatzgrößenklasse bekannt. Im Jahr der Gründung überschreiten viele Unternehmen diese Grenze nicht, häufig jedoch im Folgejahr. Die Umsatzsteuer 1994 erfasst deshalb alle Unternehmen, die 1993 gegründet und 1994 über 25.000 DM Umsatz erwirtschafteten, sowie 1994 gegründete, die noch im Jahr ihrer Gründung diese Grenze überschreiten. Ein Abgleich mit der Umsatzsteuer von 1992 oder 1996 wird nicht gemacht. Die Gründungszahlen 1994 sind mithin, wie oben dargelegt, kleiner als im Jahre 1993.

Ab 1997 erscheint die Umsatzsteuerstatistik jährlich. Wegen Umstellungen der Finanzämter bei der Steuernummer wird eine korrekte Auswertung von Gründungen und Liquidationen aber erst ab 1998 möglich sein. Dann sollen auch Gründungen veröffentlicht werden, die die Umsatzgrenze von 32.500 DM noch nicht erreichen.

Der Unternehmenszweck wird in der Umsatzsteuerstatistik nach objektiven formalen Kriterien erfasst, was gegenüber den Angaben der Gewerbemeldenden Vor- aber auch Nachteile hat. Die Wirtschaftszweigzugehörigkeit eines Unternehmens bestimmt sich in der Umsatzsteuerstatistik nach dem Schwerpunkt der Wertschöpfung, d.h. nach der Tätigkeit, mit der das Unternehmen den größten Anteil der Wertschöpfung erzielt. Dabei wird streng hierarchisch innerhalb der Wirtschaftszweiggliederung vorgegangen. Eine Einordnung, wie sie steuerlich-statistisch vorgenommen wird, spiegelt aber nicht immer den Unternehmens-

zweck wider, wie ihn der Unternehmer sieht und nach dem er sein Unternehmen auch strategisch führt und ausrichtet.

Da die Daten den Anforderungen der Steuergesetze entsprechen müssen und auch dahingehend von den Finanzämtern überprüft werden, falsche oder fehlende Angaben außerdem einen Straftatbestand darstellen können, kann von einer hohen Qualität dieser Daten ausgegangen werden.

Die Umsatzsteuerstatistik erfasst seit 1996 ausschließlich Unternehmen mit einem steuerbaren Umsatz von mindestens 32.500 DM. Damit sind Unternehmen, die einen geringeren Umsatz erwirtschaften und solche, die nicht der Umsatzsteuer unterliegen, nicht erfasst. Mit der Erfassungsgrenze von 32.500 DM werden Unternehmen abgeschnitten, deren Gewinne nach Abzug der Vorprodukte vermutlich nicht ausreichen, um die Existenz Ihres Eigentümers zu sichern. Es handelt sich dabei im wesentlichen um selbständige Nebentätigkeiten, um Scheingründungen aber auch Neugründungen, deren Umsätze in der Anfangszeit noch sehr gering sind oder die erst spät im Jahr gegründet wurden. Letzteres lässt die Umsatzsteuerstatistik zur Erfassung von Gründungen nur eingeschränkt geeignet erscheinen.

Ab 1997 erscheint die Umsatzsteuerstatistik jährlich und verzichtet auf eine Untererfassungsgrenze beim Ausweis von Gründungen, es werden dann auch solche Unternehmensgründungen erfasst, die weniger als 32.500 DM Umsatz im Jahr ihrer Gründung erwirtschafteten. Eine Verknüpfung der Daten ist dann möglich und somit die Anwendung der weiter oben beschriebenen, vom Institut für Mittelstandsforschung Bonn definierten Kriterien für die Innovativität von Unternehmen. Langfristig ist es dann möglich, nicht nur die Menge der Gründungen zu beobachten sondern auch etwas über ihre Innovativität und damit ihre Qualität auszusagen.

## *5. Fazit und Ausblick*

Es wurde gezeigt, dass die präzise Voraussage der Gründungen und Liquidationen nur mit Hilfe der Methode des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn möglich ist. Theoretisch besitzt die amtliche Statistik zwar das Potential, ebenso präzise Aussagen zu treffen. Das würde aber zu einem wesentlich größeren time-lag zwischen der Erhebung und der Veröffentlichung der Daten führen. Bereits jetzt gibt das Institut für Mittelstandsforschung Bonn seine Daten früher bekannt als das Statistische Bundesamt. Es soll aber nicht verschwiegen werden, dass das Institut für Mittelstandsforschung Bonn seine Berechnungen auf Daten der amtlichen Statistik stützt. Die erweiterte Auswertung der Gewerbemeldun-

gen durch die amtliche Statistik ist begrüßenswert und notwendig für die weitere Gründungsforschung.

Bislang gibt es keine befriedigende Möglichkeit, die Entwicklung und damit die Innovativität von Gründungen zu untersuchen. Die Beschäftigtenstatistik der Bundesanstalt für Arbeit lässt dies nur bedingt zu. Das Institut für Mittelstandsforschung Bonn hat wiederholt Kontakt zum Hauptverband der Berufsgenossenschaften aufgenommen, um die Statistik der Mitgliedsunternehmen auf ihre Eignung als Gründungsstatistik zu untersuchen, stieß jedoch bislang auf keinerlei Resonanz.

Sinnvolle Ergänzung zur Gründungsstatistik ist jedoch die Umsatzsteuerstatistik. Gründungen können hier noch weiter verfolgt werden. Damit können Aussagen über die Innovativität der Gründungen nach den weiter oben beschriebenen Kriterien des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn, nämlich Wachstum und Wachstumsverlauf von Umsatz und Wertschöpfung der neugegründeten Unternehmen, gewonnen werden. Die Anwendung der Kriterien hat den Nachteil, dass solche Aussagen erst mehrere Jahre nach der Gründung möglich sind. Die Kriterien des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn sind allerdings bislang die einzigen objektiv meßbaren Maßstäbe, die eine Unterteilung in innovativ und nicht innovativ zulassen.

Eine solche ex post Betrachtung könnte es ermöglichen, weitere objektive Maßstäbe zu finden, die wesentlich zeitnähere Aussagen erlauben.



---

MANFRED WÖLFLING

## Innovationen und Vollbeschäftigung

Von den wichtigsten vier Zielen der Wirtschaftspolitik (Wirtschaftswachstum, Vollbeschäftigung, Preisniveaustabilität und außenwirtschaftliches Gleichgewicht), die im Stabilitätsgesetz von 1967 formuliert wurden, sind für die Bundesrepublik Deutschland seit einigen Jahren ein ausreichendes Wirtschaftswachstum und vor allem die Vollbeschäftigung in weite Ferne gerückt. Mit einer permanenten Arbeitslosenquote von etwa 10 Prozent und einem Wachstum, das seit dem letzten Krisenjahr 1993 noch nicht zu einer spürbaren Entlastung des Arbeitsmarktes geführt hat, stellt Deutschland in Europa nur Mittelmaß dar.

Können Innovationen aus dieser Situation herausführen oder verstärken sie eher den Prozess der Freisetzung von Arbeitskräften? Müssen wir in Deutschland für lange Zeit mit einer hohen Arbeitslosigkeit leben? Ist die „redundant population“ im Sinne von David Ricardo eine Dauererscheinung?

### *Situationsbeschreibung*

In letzter Zeit mehren sich zwar die Anzeichen eines etwas deutlicheren Konjunkturaufschwungs, stellt man aber eine Beziehung zwischen Wirtschaftswachstum, gemessen an der Wachstumsrate des realen Bruttoinlandsprodukts (BIP), und der Arbeitslosenquote her, so zeigt sich folgendes Phänomen, das in der Abbildung 1 auch den eingefleischten Optimisten zum Nachdenken zwingt.

Aus der Abbildung geht deutlich hervor, dass sich das Niveau der Arbeitslosenquote von Zeitraum zu Zeitraum (1961 – 1974, 1975 – 1981, 1982 – 1992 und 1993 – 1998), ohne je in den vorigen Zeitraum abzugleiten, beständig erhöht hat. Die Krisenjahre 1967, 1975, 1982 und 1993 bestätigen diese Tendenz. Auch die Werte für das Jahr 1999 machen da keine Ausnahme (Wachstum des realen BIP mit 1,3 % und Arbeitslosenquote von 10,2 %). Ebenso lassen sich die Prognosewerte des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW) für 2000 (2,4 % und 9,8 %) in die Darstellung integrieren, ohne dass eine positive Veränderung erkennbar wäre.<sup>1</sup>

1 DIW, Wochenbericht 1–2/2000, 5. Januar 2000, 67. Jahrgang, Berlin 2000

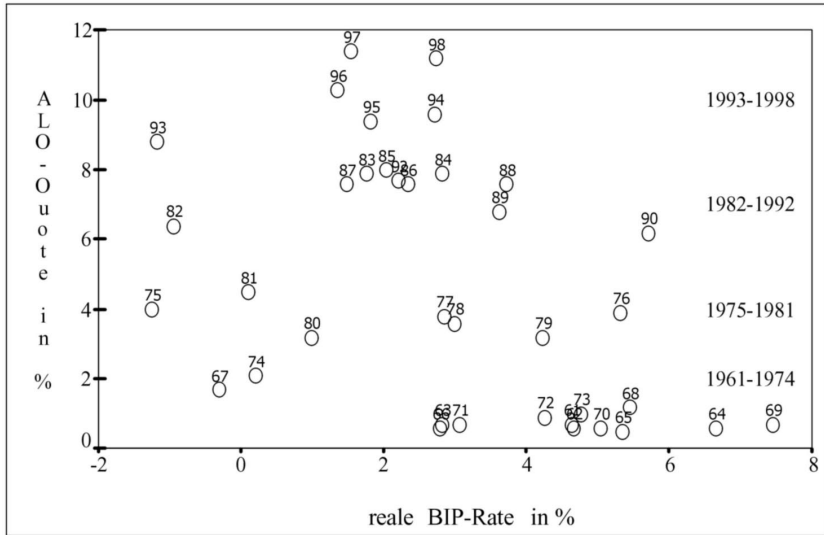


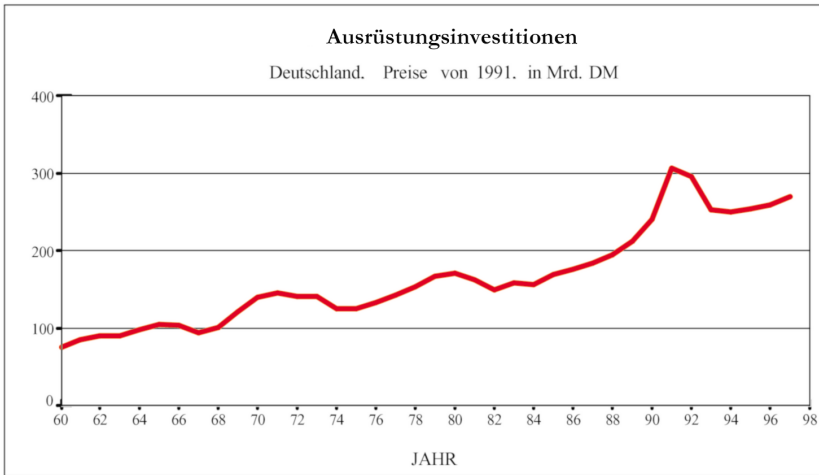
Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Wachstumsrate und Arbeitslosenquote in Deutschland von 1961 bis 1998

Quellen: Statistisches Bundesamt, DIW, Sachverständigenrat

### *Ursachen der Arbeitslosigkeit*

Eines wird immer klarer: Die entscheidenden Ursachen für diese Entwicklung sind weder friktioneller, saisonaler oder konjunktureller Natur, sondern überwiegend strukturellen Ursprungs. Die Abbildung 1 lässt daran nicht den geringsten Zweifel. So hat auch die OECD kürzlich darauf verwiesen, dass etwa 85 % der deutschen Arbeitslosigkeit auf strukturelle Gründe zurückzuführen sind. Sind es also vor allem Strukturprobleme, mit denen die deutsche Wirtschaft zu kämpfen hat, so muss man die Innovationsaktivitäten ins Spiel bringen. Innovationen und Struktur sind nicht voneinander zu trennen. Liegt es nun daran, dass die in Deutschland ansässigen Unternehmen nicht ausreichend in Ausrüstungen investieren?

Betrachtet man die Entwicklung der Ausrüstungsinvestitionen im Zeitraum von 1960 bis 1997 in der Abbildung 2, so kann man diese Zweifel nicht länger hegen. Mit Ausnahme des Vereinigungsbooms kann auf eine stetige Aufwärtsentwicklung der Ausrüstungsinvestitionen verwiesen werden, die zwar durch gewisse



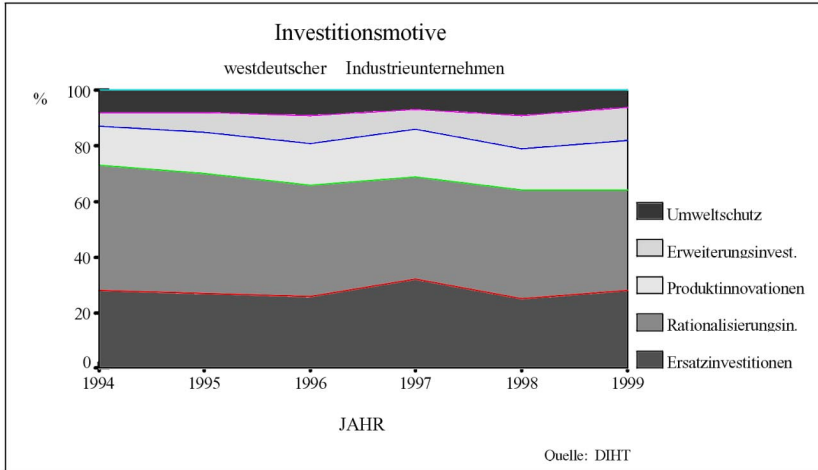
*Abbildung 2:* Ausrüstungsinvestitionen in Deutschland von 1960 bis 1997  
Quelle: Sachverständigenrat, Jahresgutachten 1998/99, S. 359

konjunkturelle Abweichungen gekennzeichnet ist, aber nicht als dominierende Ursache für die hohe Arbeitslosigkeit in Frage kommt.

Ist es andererseits die zu geringe Entwicklung der Unternehmensgewinne, die eine Entwicklung zu neuen Strukturen behindert? Auch das kann nicht der entscheidende Grund sein. Wie der Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung in seinem Jahresgutachten 1998/99 feststellt, haben sich die Gewinn-Erlös-Relation und die Sachanlagenrendite seit dem Jahre 1993 entschieden verbessert und 1998 die höchsten Werte seit langem erreicht.<sup>2</sup>

Wenn in einem ausreichenden Maße investiert wird und außerdem die Gewinnsituation nicht zu beklagen ist, kann es doch offensichtlich nur daran liegen, dass sich die Investitionsstruktur gewandelt hat. Diese Veränderungen sind in der Tat ein deutlicher Hinweis auf das hohe Arbeitslosenniveau in Deutschland. In der Abbildung 3 nehmen die Rationalisierungsinvestitionen etwa 40 % der gesamten Aufwendungen in Anspruch. Produktinnovationen und Erweiterungsinvestitionen dagegen zusammen nur ca. 20 – 30%. Wenn überwiegend rationalisiert wird, was ja in der konjunkturell ungünstigen Situation genutzt

<sup>2</sup> Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, Vor weitreichenden Entscheidungen, Jahresgutachten 1998/99, Metzler-Pöschel Stuttgart 1998, S. 70 ff.



*Abbildung 3:* Investitionsmotive westdeutscher Industrieunternehmen (1994 bis 1999)

Quelle: DIHT, Sachverständigenrat

wird, um die Unternehmen wieder nach der hohen Preis- und Kostenentwicklung in der Hochphase der Konjunktur wettbewerbsfähig zu machen, verstärkt sich der Druck auf den Arbeitsmarkt.

Auf Märkten, die, wie der deutsche bei traditionellen Produkten (Waschmaschinen, Automobile, TV-Geräte, Nahrungsgüter etc.), einen starken Sättigungsgrad aufweisen, bleiben die Absatzchancen gering. Die Inlandsnachfrage stagniert. Die Folge sind Rationalisierungsmaßnahmen, um die Produktivität zu steigern und maximalen Gewinn zu sichern. Es wird also vorrangig in den Branchen rationalisiert, die ein geringes Nachfragepotential aufweisen. Neue Arbeitsplätze entstehen aber überwiegend nur in Branchen mit neuen Produkten und Dienstleistungen (Informations- und Kommunikationssektor, Biotechnologie, Gen- und Medizintechnik, Energiewirtschaft auf Basis alternativer Technologien, Tourismus, Finanzdienstleistungen etc.), die ja auch Produktionserweiterungen erfordern, weil die Nachfrage nach diesen Gütern rasch zunimmt. Solange sich die deutsche Wirtschaft an Sektoren auf der Basis von Low- und Mediumtechnologien<sup>3</sup> festklammert sowie außerdem in vielen dieser Bereiche die mangelnde Wettbewerbsfähigkeit durch Subventionen belohnt wird, bleibt der Rationalisierungsdruck erhalten und Arbeitsplätze gehen massenweise verloren. Damit ist keineswegs gesagt, dass nicht auch in High-Tech-Bereichen<sup>4</sup> rationalisiert wird,



um die Produktivität weiter zu erhöhen. Der Unterschied besteht aber darin, dass in diesen Bereichen eben mehr neue Arbeitsplätze bei wachsender Nachfrage entstehen als durch die Rationalisierung verloren gehen. Die Schaffung neuer Arbeitsplätze in den Bereichen der Hochtechnologie ist wiederholt von der OECD und auch von deutschen Autoren nachgewiesen worden.<sup>5</sup>

In der gegenwärtigen Diskussion werden andere Ursachen in den Vordergrund gestellt. Da es an der Investitionstätigkeit insgesamt (Abbildung 2) und an der Gewinnsituation der Unternehmen nicht im entscheidenden Maße liegen kann, sind auch die dominanten Forderungen nach Unternehmenssteuersenkungen, Lohnnebenkostensenkungen, Aufhebung von Tarifverträgen und Modifizierungen der Ökosteuer nicht als die wesentlichsten Gründe zu akzeptieren. Sie erhöhen sicher kurzfristig den Gewinn der Unternehmen, sind aber nicht geeignet, das Grundproblem aus der Welt zu schaffen. Zum anderen spielen bestimmte Deregulierungsmaßnahmen und die Beseitigung von bürokratischen Hemmnissen, Förderung von Unternehmensgründungen, Bereitstellung von Risikokapital u. v. a. m. eine nicht zu unterschätzende Rolle. Isolierte, verzögerte und einseitig ausgerichtete Maßnahmen und Instrumente führen nicht zu einem Wandel, wie die jüngste Vergangenheit mit ihren eher halbherzigen Experimenten (Unternehmenssteuerreform, Ökosteuer, Verteilung der Arbeit etc.) zeigt. Es wäre illusorisch, von einzelnen Verbesserungen eine radikale Wende hin zur Vollbeschäftigung zu erwarten. In letzter Konsequenz ist das Problem der Innovationsfähigkeit der Unternehmen in Deutschland zu lösen.

### *Lösungsversuche*

In wachsendem Maße mehren sich die Stimmen, dass in Deutschland ein Mangel an hochqualifizierten Fachkräften in den Informations- und Kommunikationsbranchen existiert, der bis zu einer Größenordnung von 100.000 Arbeitsplätzen geschätzt wird. Diese Forderungen bestätigen doch in eindrucksvoller Weise das

- 3 OECD-Klassifikation: Niedrigtechnologien (Nahrungsgüter, Textilien, Bekleidung, Lederwaren, Holzprodukte, Papier- und Druckerzeugnisse, Raffinerieprodukte, nichtmetallische Mineralprodukte, Eisen und Stahl, Metallprodukte, Schiffbau); Mittlere Technologien (chemische Produkte, Gummi und Plastik, Nicht-Eisen-Metalle, nichtelektrische Maschinen, Automobile, Maschinenbau- und Transportausrüstungen)
- 4 Hochtechnologien (Raum- und Luftfahrt, Computer und Büroausrüstungen, Kommunikationsausrüstungen, Halbleiter, elektrische Maschinen, Pharmazeutika, wissenschaftliche Geräte)
- 5 OECD, Technology, Productivity and Job Creation – Best Policy Practices. Analytical Report, Paris 1998; Bundesministerium für Bildung und Forschung, Zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands, Zusammenfassender Endbericht 1998, Bonn 1999

aufgezeigte Strukturproblem in der deutschen Wirtschaft. Solange die Arbeitsproduktivität schneller wächst als die Produktion (bedingt durch die hohen Rationalisierungsinvestitionen), kann es keinen Abbau der Arbeitslosigkeit geben. Erst wenn die Erweiterungsinvestitionen verbunden mit Produktinnovationen zunehmen, wird ein Nettozuwachs an Arbeitsplätzen entstehen. Die finanziellen Voraussetzungen dafür sind in Deutschland verglichen mit anderen entwickelten Ländern nicht zufriedenstellend. Bezüglich der Forschungsintensität (Ausgaben für Forschung und Entwicklung als Anteil am Bruttoinlandsprodukt) liegt Deutschland hinter Schweden, Japan, der Schweiz, Finnland und den USA zurück.<sup>6</sup>

Innovationen richten sich sowohl auf Produkte als auch auf Prozesse. Offenbar gelingt es den Unternehmen in Deutschland sehr viel besser, ihre Produktion zu rationalisieren als neue Produkte auf den Markt zu bringen. Rationalisierungsmaßnahmen erfordern in der überwiegenden Zahl der Fälle die Einführung von Prozessinnovationen. Diese erhöhen die Produktivität und führen zu einer Freisetzung von Arbeitskräften. In Zeiten der konjunkturellen Flaute wird bei geringen Preissteigerungsraten und niedrigen Zinsen der teure Produktionsfaktor (Arbeit) durch den billigeren (Kapital) ersetzt. Die Unternehmen steigern ihre Wettbewerbsfähigkeit, die sie in der Hochkonjunktur durch Kostenerhöhungen (Lohn- und Preisentwicklung) eingebüßt haben. Das Problem der Arbeitslosigkeit verschärft sich. Erst wenn die Kreation neuer Produkte (z. B. Handy, Finanzdienstleistungen) zu einer Steigerung der Nachfrage führt, wird erweitert investiert, um den schnell wachsenden Bedarf zu decken. Dann werden auch neue Arbeitsplätze geschaffen, wie das Beispiel der Informations- und Kommunikationsbranche anschaulich zeigt. Die sich in atemberaubendem Tempo entwickelnde Wissensproduktion, die hochgradig internationalisiert ist, schafft ständig neue Produkte und Dienstleistungen, die auch zu einer drastischen Verkürzung der Lebenszyklen dieser Güter führt. Der seit März 1991 in den USA anhaltende Wirtschaftsaufschwung hat nach Schätzungen mehr als 20 Millionen neue Arbeitsplätze entstehen lassen. Die Gründe dafür werden vor allem in der außergewöhnlichen Innovationskraft der amerikanischen Wirtschaft gesehen, die in der Lage ist, Inventionen besonders schnell in neue Produkte zu verwandeln und ihre Verbreitung zu forcieren. Diese Ergebnisse waren nur möglich, weil die amerikanischen Unternehmen ihre Ausgaben für Forschung und Entwicklung drastisch erhöht haben. Hinzu kommt, dass in den USA eine enge Zusammenarbeit zwischen den Universitäten und Hochschulen einerseits sowie der Wirtschaft und den staatlichen Institutionen andererseits besteht.

6 Bundesministerium für Bildung und Forschung, a. a. O., S. 80 f.

Aus diesem Sachverhalt ist ersichtlich, dass es in einer modernen Volkswirtschaft einer ständigen Herausbildung von hochqualifizierten Arbeitskräften bedarf, die in der Lage sind, sowohl neue Produkte zu entwickeln als auch Produktion und Vermarktung entscheidend mitzubestimmen. Analysiert man das deutsche Bildungssystem danach, ob es in der Lage ist, diese Anforderungen zu erfüllen, so werden deutliche Defizite sichtbar. In Deutschland versteht man es vergleichsweise gut, qualifizierte Facharbeiter durch die funktionierende Berufsausbildung heranzubilden. Diese Ausbildungsform entspricht im wesentlichen der Stärke der deutschen Wirtschaft im Bereich der mittleren Technologien (bzw. höherwertigen Technologien). Dazu gehören die deutschen Renommiergebiete „Maschinenbau“, „Automobilbau“ und „chemische Industrie“. In diesen Branchen werden immer noch die größten Erfolge sowohl im Inland als auch beim Export erzielt. Diese Technologiebereiche haben perspektivisch mit immer gravierenden Sättigungserscheinungen zu kämpfen, so dass die Rationalisierungsanstrengungen zunehmen und weitere Arbeitsplätze wegfallen werden. Dieses ständige Defizit an Arbeitsplätzen kann nur vom Hochtechnologiesektor geschlossen werden.

Was nun die Arbeitskräfte mit Hochschulbildung betrifft, also diejenigen Fachkräfte, die in der Wissenschaft, in Forschung und Technologie, Management, Marketing usw. eingesetzt werden sollen, klaffen doch erhebliche Lücken zu anderen Ländern. Vor allem ist es die unzureichende Flexibilität der Studierenden, die sich in Deutschland aus einer langen Phase der Grundausbildung und einer schon frühzeitig einsetzenden Spezialisierung ergibt. Dadurch wird die notwendige Einstellung auf schnell wechselnde Aufgabenstellungen unterwandert. Hinzu kommt, dass durch die extrem langen Studienzeiten in Deutschland die hochqualifizierten Fachkräfte viel später in den Arbeitsprozess integriert werden und damit das vorhandene Wissen nicht schnell genug umgesetzt werden kann. Das führt dann folgerichtig zu einer Verteuerung der Bildung und zu einem Mangel an kreativen Fachleuten.

Eine der populärsten Lösungen des Beschäftigungsproblems wird in der wachsenden Aufnahmefähigkeit des Dienstleistungssektors gesehen. Neuere Untersuchungen von Cornetz und Schäfer<sup>7</sup>, die nicht dem üblichen Weg der Einteilung der Volkswirtschaft in drei Sektoren (primär, sekundär und tertiär), sondern dem Tätigkeitsprinzip folgen, benennen den Rückstand Deutschlands gegenüber den USA im Jahre 1997 mit 75 % gegenüber 83 % Anteil der Dienstleistungstätigkeiten an der Gesamtbeschäftigung. Bemerkenswert an dieser Untersuchung ist der Umstand, dass nicht die schlecht bezahlten Jobs in den USA häufiger sind als

7 Cornetz, W. (Hrsg.), Chancen durch Dienstleistungen, Wiesbaden 1998

in Deutschland, sondern die qualifizierten Tätigkeiten von Wissenschaftlern, Managern und Kaufleuten. In den USA ist dieser Anteil etwa doppelt so hoch wie hierzulande. In Deutschland gibt es also insgesamt eine ausgeprägte Dienstleistungslücke, die sich fast ausschließlich auf den Unterschied bei anspruchsvollen Tätigkeiten gründet. Bei den geringer bezahlten Tätigkeiten, wie Fahrer, Verkäufer, Kellner, Friseur, Reinigungspersonal, aber auch bei gesellschaftsorientierten Diensten (Lehrer, Ärzte, Polizisten) sind die Anteile etwa gleich groß. Auch diese Analyse benennt das deutsche Defizit mit aller Deutlichkeit: Es fehlt auch in der Dienstleistungssphäre an hochspezialisierten und flexibel einsetzbaren Arbeitskräften, die für einen zukünftigen Innovationsschub unerlässlich sind.

Als Fazit ergibt sich, dass Arbeitskräfte nur dann eine Chance auf gute Jobs und Bezahlung haben werden, wenn sie in modernen Branchen (Information und Kommunikation, Gentechnik, Biotechnologie, Medizintechnik, Dienstleistungen u. a.) einsetzbar sind. Das ist aber nur dann möglich, wenn sie hochqualifiziert und zugleich flexibel sind. Hierzu ist eine Bildung erforderlich, die die zukünftigen Erfordernisse in der Wirtschaft um Jahre im voraus erkennen muss. Offen bleibt die Frage, was mit den Arbeitnehmern geschieht, die diese hochgesteckten Anforderungen nicht erfüllen können.

---

SIEGFRIED GREIF

## Regionale Struktur der Erfindungstätigkeit in Deutschland

### 1. Grundlagen

Im Patentwesen steht ein Instrument zur Beobachtung und Analyse technisch-naturwissenschaftlicher und wirtschaftlicher Sachverhalte zur Verfügung. Im einzelnen sind Patentdaten geeignet als Indikatoren für Forschungs- und Entwicklungstätigkeit (F+E) sowie für technologische und wirtschaftliche Strukturen und Entwicklungen. Das gilt auch für raumbezogene Analysen.

Ziel der hier vorgestellten Untersuchung ist die Gewinnung von Aufschlüssen über die räumliche Struktur von Patentaktivitäten, die darin dokumentierte Erfindungstätigkeit, die daraus abgeleitete F+E-Tätigkeit und das damit aufgezeigte Innovationspotential.<sup>1</sup>

Analysiert werden Patentanmeldungen inländischer Herkunft beim Deutschen Patentamt. Das originäre Anmeldevolumen inländischer Patentanmelder wird vom Deutschen Patentamt praktisch vollständig erfasst. Lediglich rund 2 % der Erstanmeldungen sind Direktanmeldungen beim Europäischen Patentamt, ohne Voranmeldung beim Deutschen Patentamt.

Für die Untersuchung wurden die Daten der Jahre 1992 bis 1994 herangezogen und daraus ein Durchschnitt gebildet. Die drei Jahre sind nicht geeignet, eine zeitliche Entwicklung aufzuzeigen, aber dafür, eventuelle jährliche Zufallsschwankungen zu glätten. Der aus Forschung und Entwicklung resultierende Erfindungsfluß ist von Natur aus ungleichmäßig; das kann insbesondere in Bereichen mit geringen Patentaktivitäten zu erheblichen Schwankungen führen.

Bei der Bestimmung des Zeitraumes wurde darauf verzichtet, jüngere Daten zu verwenden. Die aktuellen Daten haben den Nachteil, dass sie wegen des relativ hohen Anteils an fehlenden Erfindernennungen, die noch nachgereicht werden, mit einer relativ hohen Fehlerquote behaftet sind. So sind Anfang 1997 für die Jahre 1995 und 1996 20 % der Anmeldungen ohne Erfindernennung,

1 Greif, Siegfried: Patentatlas Deutschland. Die räumliche Struktur der Erfindungstätigkeit, München 1998

wohingegen es in den ausgewählten Jahren 1992 bis 1994 nur 10 % sind. Für das unten beschriebene Erfindersitzkonzept ist das von Belang.

Die grundsätzliche Aussagekraft der auf dieser zeitlichen Basis beruhenden Ergebnisse geht über den eigentlichen Erhebungszeitraum hinaus. Die räumliche Struktur der Patentaktivitäten unterliegt kurz- und mittelfristig im wesentlichen keinen Veränderungen. Das gilt hier umso mehr, als die Daten durch die Verwendung des Drei-Jahres-Durchschnitts bereits in sich stabilisiert sind.

Patentanmeldungen enthalten normalerweise Angaben über Anmelder und Erfinder, die sich auch auf deren Sitzorte erstrecken. Die nach dem Patentgesetz vorgesehene Erfindernennung ist jedoch nicht zwingend. Es bestehen die Möglichkeiten, die Erfindernennung völlig zu unterlassen oder nachzuholen.

Bei der Betrachtung des Anmeldersitzes können sich im Hinblick auf den räumlichen Ursprung von Erfindungen gewisse Unschärfen ergeben und zwar durch regional gestreute Betriebe und Forschungsstätten eines Patentanmelders. Mit dem Erfindersitzkonzept ist der Erfindungsort, die tatsächliche Forschungsstätte, besser identifizierbar. Das räumliche Auseinanderfallen von Anmeldeort und Erfindungsort findet sich insbesondere bei Großunternehmen, auch bei den großen Forschungsgesellschaften. Die Analyse erfolgt nach beiden Kriterien, dem Anmelder- und dem Erfindersitz, wobei letzterer jedoch im Vordergrund steht.

Es werden Aufschlüsselungen nach verschiedenen Aspekten und die Verteilung der entsprechenden Patentanmeldungen vorgenommen. Hierbei handelt es sich um Anmelderkategorien und Sachgebiete. Die Patentanmelder werden in die Kategorien Wirtschaft, Wissenschaft und Freie Erfinder aufgegliedert.

Die sachliche Differenzierung der Daten bezieht sich auf technische Bereiche; sie sind durch die Internationale Patentklassifikation (IPC) definiert. Die Übertragung der technischen Bereiche in Wirtschaftsbereiche ist zum Teil direkt und zum Teil über eine Konkordanz zwischen der IPC und der Systematik der Wirtschaftszweige möglich.<sup>2</sup>

Um das Bild der räumlichen Struktur der Erfindungstätigkeit zu erweitern und weiter zu spezifizieren, werden Patentdaten mit anderen Daten zusammengeführt.

Die Verbindung mit Bevölkerungszahlen erlaubt Aufschlüsse über die Patentdichte gemessen in Patentanmeldungen pro Kopf. Angaben zu Beschäftigten erlauben die Feststellung von Patentintensitäten gemessen in Patentanmeldungen

2 Greif, Siegfried und Potkowik, Georg: Patente und Wirtschaftszweige. Zusammenführung der Internationalen Patentklassifikation und der Systematik der Wirtschaftszweige, Köln-Berlin-Bonn-München 1990

Grundlagen		
- Patentanmeldungen inländischer Herkunft beim Deutschen Patentamt		
- Durchschnitt der Jahre 1992 - 1994		
Differenzierende Merkmale		
- Patentakteure:	Anmelder	
	Erfinder	
- Anmelderkategorien:	Wirtschaft	
	Wissenschaft	
	Freie Erfinder	
- Sachgebiete:	Technische Bereiche, Wirtschaftszweige	
- Personendaten:	Bevölkerung	
	Beschäftigte:	Insgesamt
		Forschung und Entwicklung
- Raumebenen:	Verwaltungseinheiten:	Kreise
		Regierungsbezirke
		Bundesländer
		Bundesgebiet
	Funktionseinheiten:	Planungsregionen
		Raumordnungsregionen
		Arbeitsmarktregionen

*Abbildung 1:* Analyse der räumlichen Struktur von Patentaktivitäten.  
Aspekte im Überblick

pro Kopf. Dazu werden die Zahlen der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten herangezogen.

Das enge Verhältnis zwischen F+E und Patenten lässt eine Zusammenführung beider Seiten besonders interessant erscheinen. Ermittelt wird der Patentertrag gemessen in Patentanmeldungen pro F+E-Beschäftigten und daraus resultierend raumspezifische Input-Output-Muster. Die F+E-Daten stammen von der SV-Gemeinnützigen Gesellschaft für Wissenschaftsstatistik mbH im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (SV-Wissenschaftsstatistik) und beziehen sich auf den Wirtschaftssektor.

Die unterste Ebene der räumlichen Zuordnung von Patentanmeldungen ist die der Kreise. Auf ihnen fußen die weiteren Verwaltungseinheiten Regierungsbezirke und Bundesländer sowie die Funktionseinheiten Planungsregionen, Raumordnungsregionen und Arbeitsmarktregionen.<sup>3</sup> Im Vordergrund der Betrachtung stehen die 97 Raumordnungsregionen und 225 Arbeitsmarktregionen.

<sup>3</sup> Bei der letztgenannten Regionsart gibt es allerdings eine Ausnahme, die Arbeitsmarktregion Berlin erstreckt sich zusätzlich zum Stadtgebiet auf einen Ring umliegender Gemeinden, die nur Teile von Kreisen sind.

*Tabelle 1:* Patentanmeldungen nach Bundesländern.  
Durchschnitt 1992 – 1994

Nr.	Bundesland	Patentanmeldungen nach dem					
		Erfindersitz			Anmeldersitz		
		Rang	Anzahl	Anteil in %	Rang	Anzahl	Anteil in %
1	2	3	4	5	6	7	8
08	Baden-Württemberg	1	7 197,6	23,3	1	8 052,7	23,1
05	Nordrhein-Westfalen	2	6 695,3	21,6	2	7 779,3	22,3
09	Bayern	3	6 611,2	21,4	3	7 297,0	21,0
06	Hessen	4	2 812,0	9,1	4	3 694,7	10,6
03	Niedersachsen	5	2 048,0	6,6	5	2 062,3	5,9
07	Rheinland-Pfalz	6	1 503,3	4,9	6	1 595,7	4,6
11	Berlin	7	1 040,8	3,4	7	1 047,0	3,0
14	Sachsen	8	750,0	2,4	9	691,0	2,0
01	Schleswig-Holstein	9	564,4	1,8	10	530,0	1,5
02	Hamburg	10	453,2	1,5	8	749,0	2,2
16	Thüringen	11	371,8	1,2	11	395,3	1,1
15	Sachsen-Anhalt	12	256,3	0,8	12	253,0	0,7
10	Saarland	13	246,0	0,8	13	220,0	0,6
12	Brandenburg	14	207,9	0,7	14	201,0	0,6
13	Mecklenburg-Vorpommern	15	100,2	0,3	16	102,3	0,3
04	Bremen	16	98,6	0,3	15	154,7	0,4
Bundesrepublik Deutschland			30 956,5	100,0		34 825,0	100,0

nen, in welche das Bundesgebiet eingeteilt ist. Bei ihnen ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sich im Falle des Erfindersitzkonzeptes Wohn- und Arbeitsort von Erfindern innerhalb derselben Region befinden.

Die hier genannten einzelnen Analysemerkmale, welche in der Abbildung 1 schematisch zusammengefaßt sind, können in verschiedenen Zusammenstellungen, von verschiedenen Ansatzpunkten ausgehend miteinander kombiniert werden.

## *2. Räumliche Verteilung der Patentanmeldungen*

Die Aufschlüsselung der Patentanmeldungen nach Bundesländern zeigt folgende Struktur (siehe Tab. 1):

Mit einem Anteil von 23 % der Patentanmeldungen liegt Baden-Württemberg an erster Stelle. Es folgen Nordrhein-Westfalen mit 22 % und Bayern mit 21 %. Aus diesen drei Ländern kommen somit rund zwei Drittel aller inländischen Anmeldungen. Das gilt sowohl für die Anmeldersitz- wie die Erfindersitzbetrachtung, die in der Tabelle 1 einander gegenübergestellt sind. Wie den



Länderergebnissen im einzelnen zu entnehmen ist, besteht im wesentlichen Übereinstimmung in Rangfolge und Anteilen. Die Abweichungen bei den jeweiligen Länderanteilen bewegen sich in einem schmalen Band zwischen 0 und 1,5 Prozentpunkten.

Dies Ergebnis zeigt, dass die Verteilung der Patentanmeldungen nach dem präferierten Erfindersitzkonzept auf der Ebene der Bundesländer im wesentlichen auch durch die Verteilung nach dem Anmeldersitzkonzept wiedergegeben wird. Damit wird auch belegt, dass die vom Deutschen Patentamt geführte – auf dem Anmeldersitzkonzept beruhende – Patentstatistik nach Bundesländern geeignet ist, die räumliche Struktur und Entwicklung des Erfindungsgeschehens aufzuzeigen.<sup>4</sup>

Die Tabelle 1 enthält in der Summenzeile für Deutschland die Grundmengen der Patentanmeldungen aus dem Erfindersitzkonzept und dem Anmeldersitzkonzept, auf welchen diese Untersuchung beruht. Die zwischen den Summen bestehende Differenz von 3869 Anmeldungen geht im wesentlichen auf Erfinder-Nichtnennungen zurück.

Tiefere Einblicke vermittelt die Analyse des Patentgeschehens auf der Ebene der Regionen. Im Vordergrund der Betrachtung stehen die Arbeitsmarktregionen. Sie sind funktional orientiert und liegen von der Durchschnittsgröße her zwischen Kreisen und Raumordnungsregionen, nehmen insoweit eine mittlere Position zwischen kleinräumiger und großräumiger Betrachtung ein. Dies gilt jedoch nicht in jedem einzelnen Fall. Es gibt auch einige wenige Arbeitsmarktregionen, die größer als die entsprechenden Raumordnungsregionen sind. Unter anderem beschränken sich bei den Stadtstaaten die Raumordnungsregionen auf das Stadtgebiet, während die Arbeitsmarktregionen auch das Umland mit einbeziehen. Letzteres ist für die Patentanalyse nach dem Erfindersitzkonzept ein wichtiges Kriterium.

Die Patentaktivitäten in den einzelnen Arbeitsmarktregionen sind weit gestreut, sie liegen zwischen 1 und rund 3000. Die Arbeitsmarktregionen mit den größten Patentaktivitäten nach dem Erfindersitzkonzept sind in der Abbildung 2 zusammengefasst.

Die Region Stuttgart nimmt eine überragende Position ein, auf sie entfallen 8 % aller inländischen Patentanmeldungen. Es folgen München und Frankfurt/Main mit ebenfalls sehr starken Aktivitäten. Dieses Spitzentrio vereinigt auf sich 20 % der Patentanmeldungen; 30 % sind es bei den fünf stärksten Regionen, was

4 Laufende Veröffentlichung im Blatt für Patent-, Muster- und Zeichenwesen und in den Jahresberichten des Deutschen Patentamts

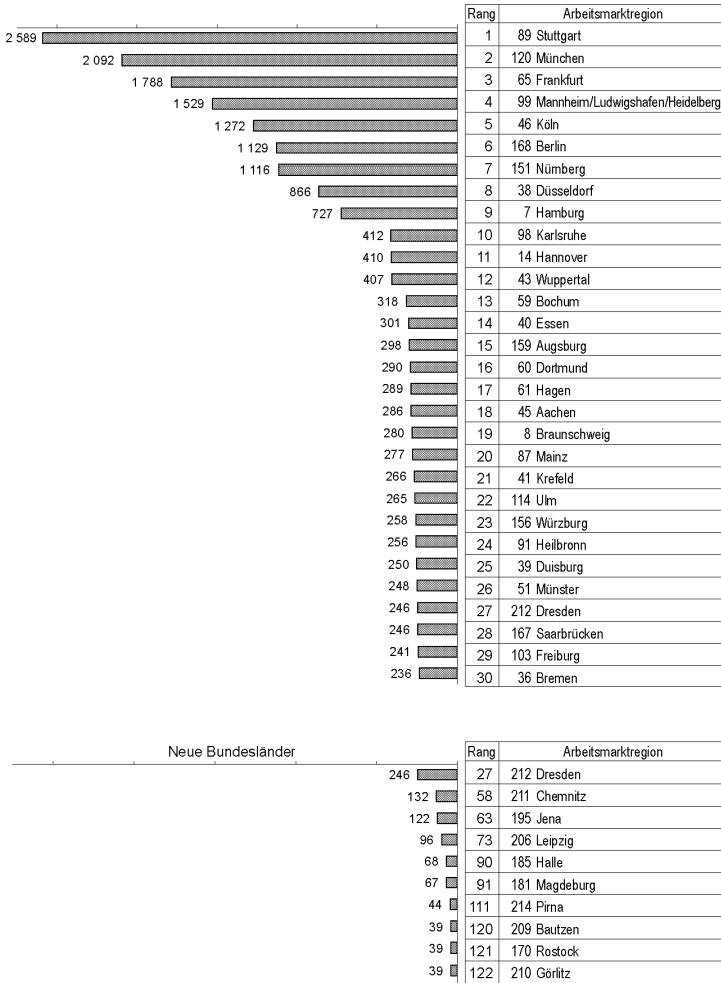


Abbildung 2: Patentmeldungen nach den wichtigsten Arbeitsmarktregionen. Erfindersitz. Durchschnitt 1992 – 1994

angesichts der Gesamtzahl von 225 Arbeitsmarktregionen eine beachtliche räumliche Konzentration bedeutet.

Im unteren Teil der Abbildung 2 wird ein Blick auf die Patentaktivitäten in den neuen Bundesländern geworfen, die sich wegen der besonderen Situation beim Aufbau einer neuen Wissenschafts- und Industrielandschaft – im erkenn-

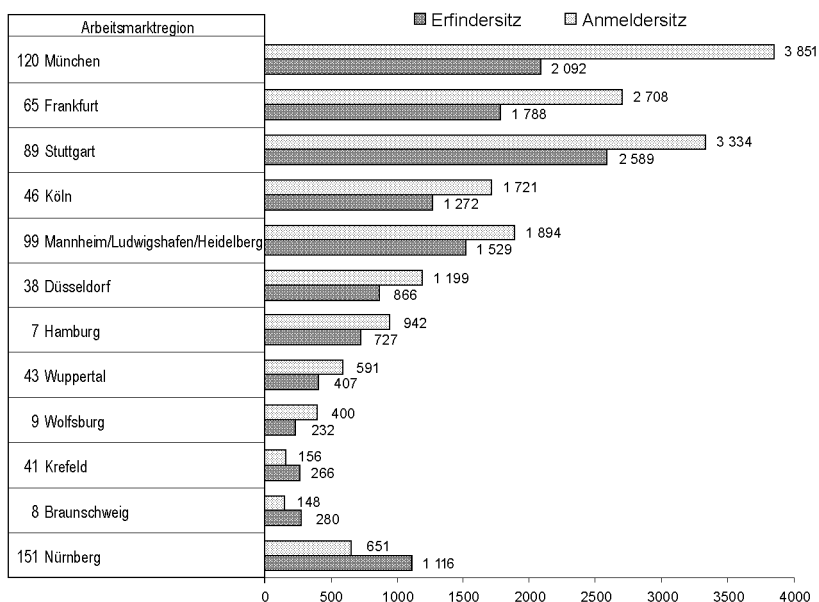


Abbildung 3: Patentanmeldungen in ausgewählten Arbeitsmarktregionen.  
Vergleich Anmeldersitz – Erfindersitz. Durchschnitt 1992 – 1994

baren Aufholprozess – insgesamt noch auf einem relativ niedrigen Niveau bewegen.<sup>5</sup> Die Regionen Dresden, Chemnitz und Jena bilden hier die Spitzenreiter.

Die auf der Ebene der Bundesländer festgestellte wesentliche Übereinstimmung der Verteilungen von Patentanmeldungen nach dem Anmeldersitz einerseits und nach dem Erfindersitz andererseits ist auf der Ebene der Regionen nicht mehr gegeben. Wie ein entsprechender Vergleich zeigt, sind vielmehr zum Teil erhebliche Abweichungen zu beobachten. In der Abbildung 3 sind die Arbeitsmarktregionen mit den größten absoluten Abweichungen (von mehr als 100 Patentanmeldungen) in beiden Richtungen aufgezeigt.

Typisch für die großen Differenzen zugunsten des Anmeldersitzes ist, dass sie in Regionen anzutreffen sind, in deren Kernstädten bedeutende Patentanmelder ihren Sitz haben.

5 Zum Patentgeschehen in den neuen Bundesländern siehe: Greif, Siegfried: Patente als Kriterium innovativer Forschung in den neuen Bundesländern, in: Deutschland-Archiv 1997, Nr. 1, S. 91ff.

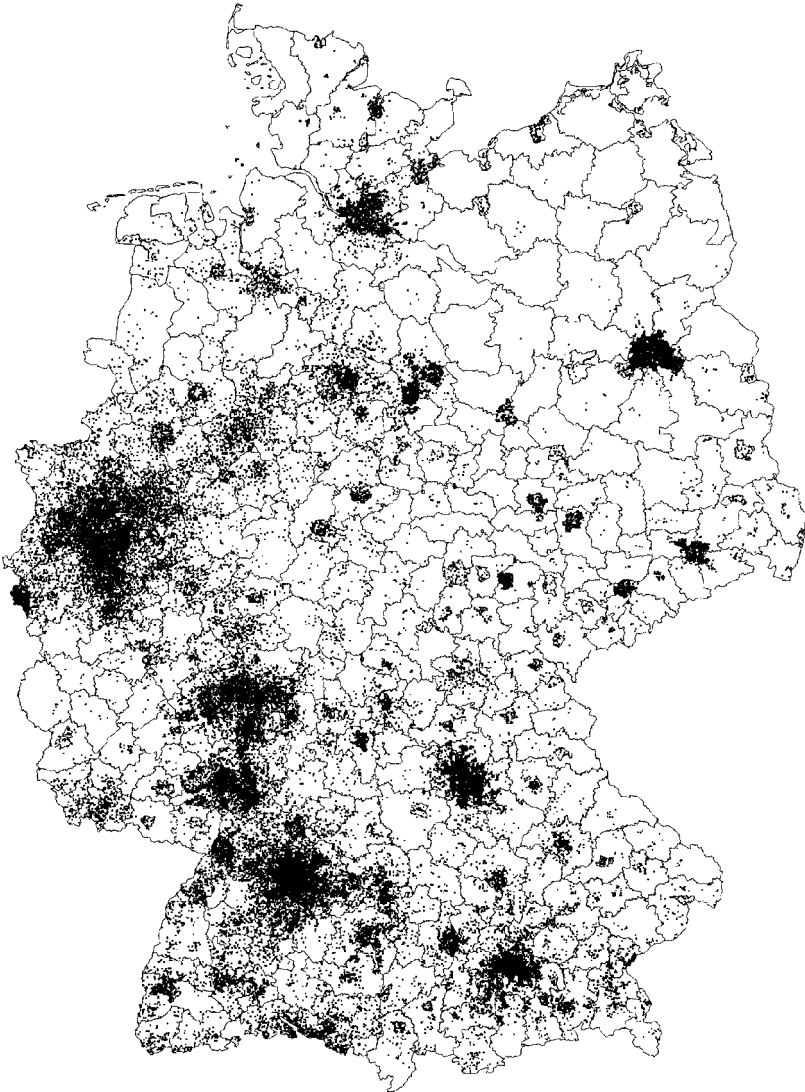
Beispielsweise sind die Anmeldungen des größten deutschen Patentanmelders, der Siemens AG, über seinen Münchener Sitz insgesamt der Stadt München zugeordnet. Die Analyse nach dem Erfindersitz macht jedoch deutlich, dass die von Siemens angemeldeten Erfindungen über das ganze Bundesgebiet streuen und nur zu etwa einem Drittel aus dem Münchener Raum stammen. Die wichtigsten Arbeitsmarktregionen und ihre Anteile sind:

München	32 %
Nürnberg	27 %
Berlin	7 %
Regensburg	4 %
Karlsruhe	2 %
Coburg	2 %
Frankfurt/Main	2 %

Dass Siemens neben dem F+E-Zentrum in München im Nürnberger Raum, mit Schwerpunkt in Erlangen, große Forschungseinrichtungen mit entsprechendem Output an Erfindungen und Patentanmeldungen unterhält, spiegeln die Angaben deutlich wider. Hierin liegt zugleich eine Erklärung dafür, dass in der Arbeitsmarktregion Nürnberg die in der Abbildung 3 aufgezeigte große Differenz zugunsten des Erfindersitzes besteht. An dieser Stelle werden auch die grundsätzlichen Vorzüge des Erfindersitzkonzepts gegenüber dem Anmeldersitzkonzept deutlich.

Eine weitere räumliche Aufschlüsselung der Erfinderaktivitäten erlaubt es, enger gefasste Gebiete als F+E-Stätten und regionale Schwerpunkte zu identifizieren wie auch in der Gesamtschau weiträumige regionale Strukturen zu erkennen. Eine Aufgliederung nach Kreisen (beziehungsweise kreisfreien Städten) enthält die Landkarte der Abbildung 4. Die hier vorgenommene räumliche Zuordnung von Patentanmeldungen bezieht sich auf den Sitzort des Erfinders.

Die Verteilung von Patentanmeldungen ist sehr heterogen. Neben starken Konzentrationen gibt es Regionen praktisch ohne Patentaktivität. Diese Ergebnisse erlauben Rückschlüsse auf die F+E-Tätigkeit und die Technologie- und Innovationsorientierung in den einzelnen Gebieten. Ganz wesentlich wird das Patentgeschehen im Bundesgebiet von den Räumen Rhein-Ruhr, Rhein-Main, Stuttgart und München bestimmt. Insgesamt ist ein Gefälle von Südwesten nach Nordosten zu beobachten.



*Abbildung 4:* Patentanmeldungen gesamt  
Erfindersitz. Durchschnitt 1992 – 1994

Die großräumige Betrachtung macht verschiedene regionale Typen deutlich. Im norddeutschen Raum sind insgesamt relativ schwache Patentaktivitäten zu verzeichnen. Hamburg, Hannover, Braunschweig und Berlin sind hier starke Regionen; daneben sind weite Gebiete strukturschwach. Ein ähnliches Bild zeigt beispielsweise auch Bayern; hier sind die Patentaktivitäten insgesamt zwar relativ hoch, konzentrieren sich aber – bei ansonsten landesweit eher schwachem Patentgeschehen – auf die Räume München, Nürnberg, Augsburg, Ingolstadt und Regensburg.

Demgegenüber stellt sich die räumliche Verteilung zum Beispiel in Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg ganz anders dar. Neben Konzentrationen sind Streuungen relativ starker Patentaktivitäten über weite Landesteile hinweg festzustellen.

In den neuen Bundesländern konzentriert sich das Patentgeschehen deutlich auf den Süden mit den bereits genannten Schwerpunkten Dresden, Chemnitz, Jena, Leipzig und Halle.

### *3. Patendichte und Patentintensität*

Die regionale Verteilung der Patentanmeldungen gibt zunächst nur die Streuung der Erfindungsaktivitäten wieder. Weitergehende Aufschlüsse können gewonnen werden, wenn man die Daten mit anderen Zahlen ins Verhältnis setzt.

Für die Bewertung der inländischen Anmeldungen bietet sich eine Gegenüberstellung mit Bevölkerungszahlen an. In der Tabelle 2 ist eine solche Gegenüberstellung in Form der errechneten Patentanmeldungen pro Kopf der Bevölkerung nach Bundesländern vorgenommen worden.

Die Fälle, in denen die Werte über dem Durchschnitt von 38,1 Patentanmeldungen pro 100000 Einwohner (nach dem Erfindersitzkonzept) liegen, dokumentieren relativ hohe Patendichten und umgekehrt. Die höchste Patendichte ist für Baden-Württemberg zu verzeichnen. Ebenfalls deutlich über dem Durchschnitt liegen Bayern und Hessen. Etwa im Durchschnitt liegen Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen. Die übrigen elf Länder liegen im Bereich relativ niedriger Patendichte.

Die Angaben über die Patendichte erlauben generelle Rückschlüsse auf die Technologie- und Innovationsorientierung der einzelnen Bundesländer.

Eine weitere Kennziffer, die Rückschlüsse darauf zulässt, in welchem Umfang die Wirtschaft auf die Produktion technischen Wissens ausgerichtet ist, ergibt sich aus der Zusammenführung von Patentdaten mit Beschäftigtendaten. Die daraus errechnete Patentintensität, Patentanmeldungen pro 100000 Beschäftigte,

*Tabelle 2:* Patentdichte (nach Einwohnern) und Patentintensität (nach Beschäftigten)  
Erfindersitz. Durchschnitt 1992 – 1994

Bundesland	Patentanmeldungen			
	je 100 000 Einwohner		je 100 000 Beschäftigte	
	Rang		Rang	
1	2	3	4	5
08 Baden-Württemberg	1	70,3	1	191,3
09 Bayern	2	55,7	2	154,9
06 Hessen	3	47,1	3	129,7
07 Rheinland-Pfalz	4	38,3	4	127,6
05 Nordrhein-Westfalen	5	37,7	5	113,7
11 Berlin	6	29,9	7	80,7
03 Niedersachsen	7	26,8	6	85,3
02 Hamburg	8	26,6	10	58,8
10 Saarland	9	22,7	8	71,5
01 Schleswig-Holstein	10	20,9	9	69,0
14 Sachsen	11	16,3	11	45,2
16 Thüringen	12	14,7	12	42,0
04 Bremen	13	14,4	13	33,0
15 Sachsen-Anhalt	14	9,2	14	26,5
12 Brandenburg	15	8,2	15	23,0
13 Mecklenburg-Vorpommern	16	5,4	16	15,8
Bundesrepublik Deutschland		38,1		109,6

sind ebenfalls in der Tabelle 2 enthalten. Bei den Beschäftigten handelt es sich, wie oben bereits erwähnt, um sozialversicherungspflichtig Beschäftigte.

Wie die Zahlen erkennen lassen, zeigen die Pro-Kopf-Ergebnisse – natürlich in verschiedenen Mengenbereichen – bei der Patentintensität ein ähnliches Bild wie bei der Patentdichte. So liegen in beiden Fällen, bei überwiegend gleicher Rangfolge, dieselben fünf Länder im Durchschnitt oder darüber und die übrigen elf Länder darunter. Patentdichte und Patentintensität gehen im wesentlichen Hand in Hand. Die Abweichungen signalisieren gewisse Variationen in dem Anteil der abhängig Beschäftigten an der Bevölkerungszahl.

Eine weitere räumliche Aufschlüsselung der Patentdichte, nämlich nach Arbeitsmarktregionen, zeigt die Karte der Abbildung 5. Relativ hohe Patentdichten finden sich im süddeutschen Raum und im Rheinland. Die vier Arbeitsmarktregionen, die mit mehr als 100 Patentanmeldungen pro 100000

Einwohner die Spitzengruppe bilden, liegen in Baden-Württemberg:

1. Heidenheim	138
2. Friedrichshafen	115
3. Stuttgart	105
4. Tuttlingen	101

In der Karte (Abb. 5) bilden die 22 Arbeitsmarktregionen mit durchschnittlicher Patentdichte ( $38 \pm 5$ ) die Schicht der hellsten Grautönung. 54 Regionen weisen überdurchschnittliche Patentdichten aus. Der Großteil der Arbeitsmarktregionen, nämlich 149 von insgesamt 225, liegt unter dem Durchschnitt; das sind in der Karte die weißen Flächen.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Verteilung der Erfindungen nicht der allgemeinen Verteilung von Bevölkerung und Beschäftigung folgt, sondern eine eigene spezifische Raumstruktur besitzt.

#### 4. Technische Bereiche

Die Internationale Patentklassifikation (IPC), ein technisch orientiertes hierarchisches Ordnungssystem mit über 65.000 Feineinheiten, erlaubt die Zuordnung von Patentanmeldungen zu enger oder weiter definierten Bereichen. Da die höchste Aggregationsebene mit 8 IPC-Sektionen nur relativ grobe Aussagen erlaubt und die nächste Ebene mit 118 IPC-Klassen für Gesamtbetrachtungen schlecht praktikabel ist, wurde von der Weltorganisation für geistiges Eigentum (World Intellectual Property Organization, WIPO) auf der Basis der IPC ein System entwickelt, das die gesamte Technik in 31 Gebiete einteilt und somit für Gesamtübersichten geeignet ist.<sup>6</sup>

Die entsprechende Aufschlüsselung der Patentanmeldungen macht deutlich, welche Bereiche mehr oder weniger Gegenstand der Erfinderaktivitäten sind (siehe Tab. 3). Der wichtigste Bereich ist mit 8,8 % aller Inlandsanmeldungen in Deutschland die Fahrzeugtechnik. Es folgen Elektrotechnik (8,3 %) und Messen, Prüfen, Optik (7,6 %). Auf diese drei Gebiete entfallen somit rund 25 % der

6 Die WIPO untergliedert die von ihr herausgegebenen Welt-Patentstatistiken nach dieser Systematik (Industrial Property Statistics 1996, Genf 1998). Verschiedene Patentämter veröffentlichen derartig aufgegliederte Statistiken, so zum Beispiel das Europäische Patentamt (Jahresbericht 1998, München 1999) und das Deutsche Patentamt (Blatt für Patent-, Muster- und Zeichenwesen 1999, Heft 3). Zuordnungskriterium ist die Hauptklassifizierung.



Patentanmeldungen. Die geringsten Patentaktivitäten finden sich in den Bereichen Kernphysik und Bergbau, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass diese Gebiete relativ eng definiert sind.

Neben den Zahlen für die Bundesrepublik Deutschland insgesamt, enthält die Tabelle 3 die Strukturbilder für die einzelnen Bundesländer. Zur besseren Übersicht sind in dem Tableau die ersten drei Ränge markiert. Die Ergebnisse zeigen ein recht uneinheitliches Bild, neben allgemeinen Strukturmerkmalen erhebliche Abweichungen von den Gesamtwerten und zwischen den einzelnen Ländern, so dass letztlich jedes Land ein spezifisches Muster der Erfindungstätigkeit nach technischen Bereichen hat; das wird auch bei den jeweiligen Konzentrationsgraden, die in der letzten Spalte der Tabelle 3 angegeben sind, erkennbar.

So wird beispielsweise die Dominanz der Chemie in Hessen und Rheinland-Pfalz deutlich. Auch in Sachsen-Anhalt spielt die Chemie eine beachtliche Rolle. Spezialisierungen werden erkennbar, wie zum Beispiel in Sachsen auf den Gebieten der Druckereitechnik und des Textilmaschinenbaus, wobei es sich um Bereiche handelt, die bereits zu DDR-Zeiten mit Spitzenleistungen auf dem Weltmarkt vertreten waren.<sup>7</sup>

Bei der Bewertung dieser prozentualen Verteilungen sollte man jedoch nicht aus dem Blick verlieren, dass sie auf sehr unterschiedlichen Ausgangsmengen beruhen.

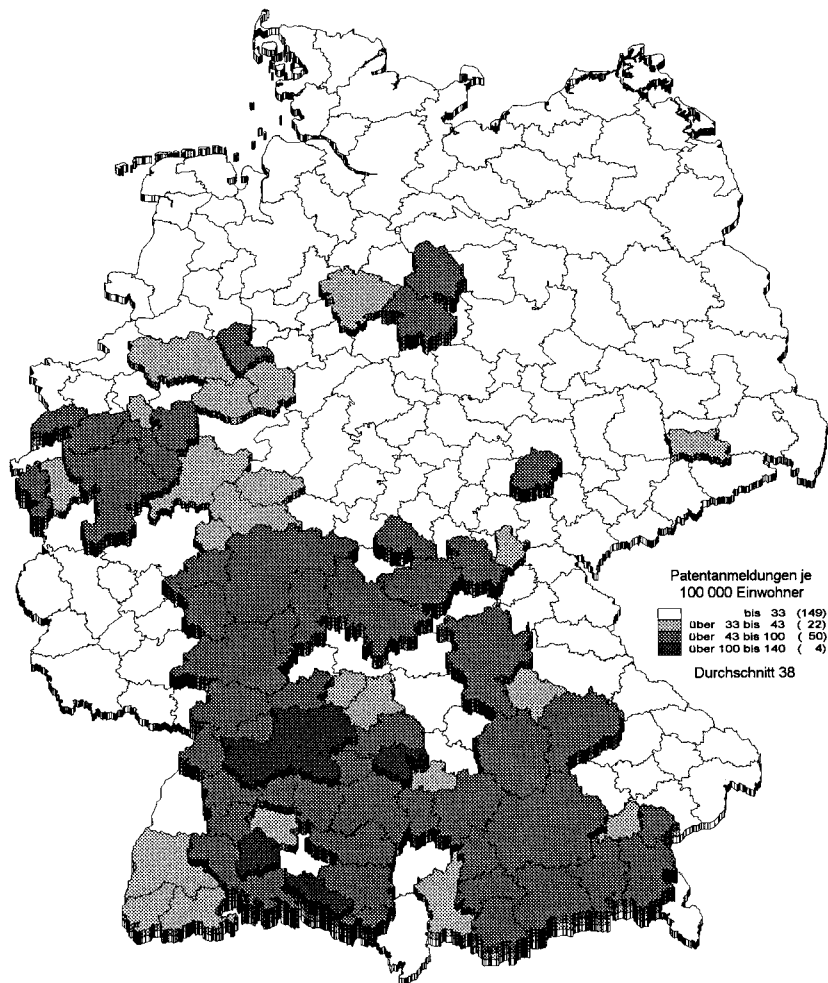
Die Bezeichnungen der technischen Gebiete lassen nicht immer unmittelbar erkennen, was im einzelnen darin enthalten ist. So verbirgt sich zum Beispiel hinter „Fermentierung, Zucker, Häute“ auch die Biotechnologie.<sup>8</sup>

Wie die weitere räumliche Aufgliederung zeigt, hat jede Region ihr eigenes Profil technischer Gebiete, die hier Gegenstand von Erfindungsaktivitäten sind. In der Abbildung 6 werden beispielhaft zwei Arbeitsmarktregionen betrachtet, die jeweils aktivste in den alten und in den neuen Bundesländern. Aufgezeigt sind die Abweichungen im technischen Profil gegenüber dem (in der Tabelle 3 enthaltenen) Bundesdurchschnitt, soweit sie mindestens 1 Prozentpunkt betragen.

Im Stuttgarter Raum stehen die Erfindungsaktivitäten im Bereich der Fahrzeugtechnik deutlich im Vordergrund. 17,7 % der Patentanmeldungen in dieser Region entfallen darauf; im Bundesdurchschnitt sind es 8,8 %. Demgegenüber sind die Gebiete der Chemie weniger bedeutende Forschungsgegenstände.

7 Zum Patentgeschehen in der DDR siehe: Greif, Siegfried: Naturwissenschaftlich-technische Forschung und Entwicklung in der Deutschen Demokratischen Republik und in den neuen Bundesländern. Eine patentstatistische Analyse, in: Laitko/Parthey/Petersdorf (Hrsg.), Wissenschaftsforschung. Jahrbuch 1994/95, Marburg 1996, S. 99ff.

8 Aufschlüsse über die innere Struktur der technischen Gebiete vermitteln die in Fußnote 6 angeführten Quellen



*Abbildung 5:* Patentdichte nach Arbeitsmarktregionen  
Erfindersitz. Durchschnitt 1992 – 1994

**Tabelle 3:** Patentanmeldungen nach technischen Gebieten. Prozentuale Verteilung in den Bundesländern. Erfindersitz. Durchschnitt 1992 – 1994

Legende:  Rang 1  Rang 2 und 3

Technisches Gebiet	Deutschland																
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
	Schleswig-Holstein	Hamburg	Niedersachsen	Bremen	Nordrhein-Westfalen	Hessen	Rheinland-Pfalz	Baden-Württemberg	Bayern	Saarland	Berlin	Brandenburg	Mecklenburg-Vorpommern	Sachsen	Sachsen-Anhalt	Thüringen	
Fahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge	8,8	<b>8,7</b>	<b>11,6</b>	<b>14,1</b>	<b>16,0</b>	6,1	<b>8,0</b>	5,1	<b>11,4</b>	<b>9,4</b>	6,5	5,8	7,4	<b>16,5</b>	4,7	<b>7,5</b>	4,1
Elektrotechnik	8,3	7,9	4,2	5,9	5,1	6,4	7,4	3,2	<b>9,1</b>	<b>11,0</b>	5,2	<b>17,0</b>	<b>11,7</b>	4,5	<b>7,5</b>	<b>3,9</b>	<b>8,7</b>
Messen, Prüfen, Optik, Photographie	7,6	<b>9,3</b>	6,2	<b>6,9</b>	<b>9,6</b>	4,8	<b>8,3</b>	4,6	<b>8,2</b>	<b>9,0</b>	<b>9,0</b>	<b>10,7</b>	<b>8,7</b>	<b>10,8</b>	<b>8,5</b>	6,9	<b>21,0</b>
Fördern, Heben	5,8	7,3	<b>8,5</b>	<b>7,0</b>	7,7	<b>7,6</b>	4,9	<b>5,9</b>	5,2	4,7	8,0	3,0	5,3	4,9	6,2	7,2	4,4
Maschinenbau im allgemeinen	5,8	3,7	3,8	6,4	1,3	6,1	6,3	4,0	6,6	6,1	7,9	2,4	1,6	3,6	3,0	5,2	2,2
Bauwesen	5,4	5,5	6,7	5,7	<b>8,4</b>	<b>6,5</b>	4,9	4,5	5,2	5,2	<b>10,1</b>	3,2	7,7	6,4	4,9	4,3	3,4
Kraft- und Arbeitsmaschinen	5,1	5,5	3,1	6,4	5,2	3,6	3,7	3,0	7,6	5,3	2,8	2,9	2,2	4,2	5,0	2,8	3,8
Gesundheitswesen*, Vergnügungen	4,5	<b>11,8</b>	<b>7,8</b>	3,9	6,8	3,1	3,8	3,9	4,6	5,1	7,4	5,8	5,6	<b>7,7</b>	2,7	4,9	<b>6,5</b>
Trennen, Mischen	4,4	4,8	5,6	4,1	4,7	5,3	4,2	3,8	4,4	3,6	<b>8,7</b>	3,2	5,1	4,3	4,5	<b>10,8</b>	4,0
Organische Chemie	4,2	0,9	2,1	1,9	0,8	<b>6,8</b>	<b>8,4</b>	<b>13,8</b>	1,8	1,4	1,4	<b>6,9</b>	2,1	2,6	1,7	4,6	1,9
Schleifen, Pressen, Werkzeuge	4,1	3,6	2,8	5,3	1,5	4,5	3,1	4,2	4,5	3,7	2,3	2,6	2,3	7,4	5,4	2,0	3,1
Elektronik, Nachrichtentechnik	3,6	3,8	4,0	4,2	4,0	1,8	3,2	1,2	3,6	6,1	2,2	5,8	2,4	0,7	1,8	1,6	2,3
Zeitmessung, Steuern, Regeln, Rechnen	3,5	3,6	4,1	3,1	4,2	2,2	2,6	2,5	3,9	4,5	2,7	6,7	2,8	1,7	3,1	1,3	6,3
Beleuchtung, Heizung	3,3	2,3	3,5	3,0	3,7	4,0	3,4	2,0	3,2	3,0	2,8	3,2	<b>8,4</b>	2,4	5,0	3,5	2,9
Metallobearb., Gießerei, Werkzeugmaschinen	3,2	1,7	1,5	2,3	3,1	4,6	2,2	2,0	3,4	2,7	3,7	1,7	2,3	2,9	4,6	4,4	3,6
Persönlicher Bedarf, Haushaltsgegenstände	3,0	2,8	4,3	3,0	2,0	3,0	3,2	3,0	3,0	3,4	3,1	1,5	1,2	1,8	1,3	2,3	1,7
Organische makromolekulare Verbindungen	2,7	0,7	1,1	1,5	2,3	3,9	3,7	<b>13,0</b>	1,0	1,3	1,2	1,0	4,5	0,0	2,1	<b>7,8</b>	2,1
Anorganische Chemie	2,3	1,9	1,1	2,3	3,8	2,7	3,0	3,5	1,4	1,9	3,3	2,0	4,1	4,1	4,3	4,5	5,5
Textilien, biegsame Werkstoffe	1,9	0,5	0,2	1,1	0,7	2,7	1,4	1,5	1,8	1,6	0,4	1,5	1,7	0,3	5,8	1,1	3,4
Farbstoffe, Mineralölindustrie, Öle, Fette	1,9	1,1	2,0	1,0	0,5	4,0	2,4	4,5	0,7	0,9	0,8	0,8	1,7	0,5	2,1	2,9	0,5
Druckerei	1,9	1,8	1,6	0,9	1,0	1,1	2,1	1,7	2,3	2,3	0,6	1,7	0,8	0,7	<b>6,4</b>	1,2	0,7
Unterricht, Akustik, Informationsspeicherung	1,4	1,5	2,5	1,4	1,7	0,9	1,7	1,6	1,6	1,4	1,4	1,9	1,1	0,3	1,1	1,0	2,4
Hüttenwesen	1,4	0,5	0,9	0,8	1,9	1,8	2,3	1,0	0,8	1,3	1,8	1,2	2,1	1,0	3,1	1,4	1,1
Landwirtschaft	1,3	1,8	0,9	3,2	0,3	1,4	0,5	1,5	1,0	1,1	1,6	0,8	2,2	3,3	1,8	2,0	1,1
Medizinische und kosmetische Präparate	1,2	1,8	4,9	0,8	1,0	1,1	2,7	2,1	0,7	0,7	0,9	2,8	0,7	1,9	0,6	1,1	1,3
Nahrungsmittel, Tabak	0,8	3,2	3,0	0,8	1,9	0,6	0,7	0,8	0,5	0,7	1,2	1,4	2,3	2,3	0,8	0,2	0,2
Papier	0,7	0,6	0,4	0,9	0,0	0,6	0,7	0,8	1,4	0,4	0,4	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2
Fermentierung, Zucker, Häute	0,6	0,3	0,5	0,8	0,2	0,6	0,6	0,9	0,4	0,5	0,3	1,6	0,7	1,9	0,8	2,4	0,8
Waffen, Sprengwesen	0,6	0,9	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5	0,8	0,2	0,3	0,6	0,4	0,5	0,3	0,1
Bergbau	0,4	0,1	0,4	0,7	0,2	1,2	0,1	0,2	0,1	0,1	2,0	0,2	0,5	0,7	0,2	0,4	0,3
Kernphysik	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
Konzentrationsgrad der jeweils drei größten Gebiete	24,8	29,8	27,9	28,1	34,0	20,9	24,7	32,6	28,7	29,4	27,8	34,6	28,8	34,9	22,4	26,1	36,2

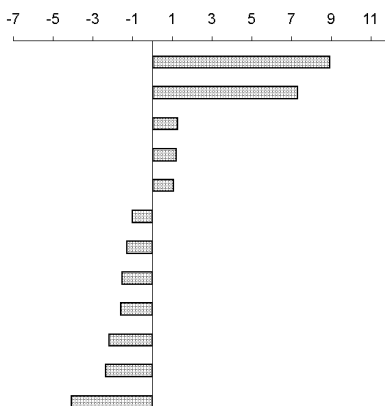
\* ohne Arzneimittel

Eine völlig andere Struktur ist im Dresdener Raum anzutreffen. Hier liegt ein Schwerpunkt des erfinderischen Schaffens im Bereich der Druckereitechnik. Auf

## 89 Arbeitsmarktregion Stuttgart

Technisches Gebiet	Abweichung
Fahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge	8,9
Kraft- und Arbeitsmaschinen	7,3
Elektrotechnik	1,3
Elektronik, Nachrichtentechnik	1,2
Zeitmessung, Steuern, Regeln, Rechnen	1,1
Medizinische und kosmetische Präparate	-1,0
Anorganische Chemie	-1,3
Farbstoffe, Mineralölindustrie, Öle, Fette	-1,5
Fördern, Heben	-1,6
Gesundheitswesen*, Vergnügungen	-2,2
Organische makromolekulare Verbindungen	-2,4
Organische Chemie	-4,1

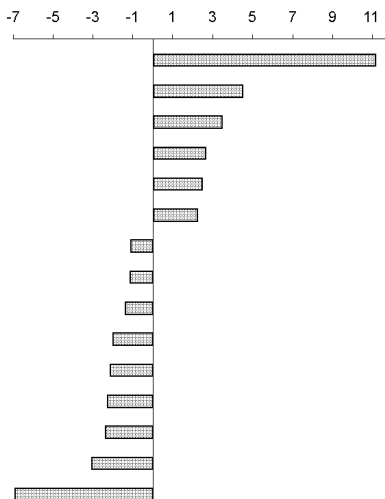
\* ohne Arzneimittel



## 212 Arbeitsmarktregion Dresden

Technisches Gebiet	Abweichung
Druckerei	11,2
Hüttenwesen	4,5
Messen, Prüfen, Optik, Photographie	3,5
Beleuchtung, Heizung	2,7
Elektrotechnik	2,5
Anorganische Chemie	2,3
Organische Chemie	-1,1
Elektronik, Nachrichtentechnik	-1,1
Trennen, Mischen	-1,4
Bauwesen	-2,0
Kraft- und Arbeitsmaschinen	-2,1
Gesundheitswesen*, Vergnügungen	-2,3
Persönlicher Bedarf, Haushaltsgegenstände	-2,4
Maschinenbau im allgemeinen	-3,1
Fahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge	-6,9

\* ohne Arzneimittel



*Abbildung 6:* Ausgewählte Arbeitsmarktregionen und technische Gebiete. Abweichungen vom Bundesdurchschnitt um mindestens 1 Prozentpunkt.

*Tabelle 4:* Patentanmeldungen nach Anmelderkategorien  
Erfindersitz. Durchschnitt 1992 – 1994

Bundesland	Patentanmeldungen Anteil in %		
	Wirt- schaft	Wissen- schaft	Freie Erfinder
01 Schleswig-Holstein	68,7	1,8	29,5
02 Hamburg	59,2	1,5	39,4
03 Niedersachsen	75,9	1,8	22,2
04 Bremen	62,3	4,7	33,0
05 Nordrhein-Westfalen	78,5	1,5	20,0
06 Hessen	81,6	0,8	17,6
07 Rheinland-Pfalz	83,7	0,5	15,8
08 Baden-Württemberg	77,3	2,5	20,2
09 Bayern	75,2	1,2	23,6
10 Saarland	57,4	6,9	35,8
11 Berlin	63,8	7,5	28,8
12 Brandenburg	63,4	10,7	25,9
13 Mecklenburg-Vorpommern	52,9	0,6	46,4
14 Sachsen	64,9	11,2	23,9
15 Sachsen-Anhalt	68,8	4,6	26,7
16 Thüringen	59,4	14,1	26,5
Bundesrepublik Deutschland	75,9	2,3	21,8

ihn entfallen 13,1 % der Patentanmeldungen in dieser Region; der Bundesdurchschnitt beträgt lediglich 1,9 %. Der Bereich der Fahrzeugtechnik spielt in der Dresdener Region hingegen kaum eine Rolle.

### 5. Patentanmelderkategorien

Die Patentanmeldungen kommen zum überwiegenden Teil aus der Wirtschaft, demgegenüber sind die Wissenschaft und die Gruppe der Freien Erfinder nachrangige Herkunftsbereiche (siehe Tab. 4).

Als Patentanmeldungen Freier Erfinder werden die Fälle angesehen, bei denen Identität zwischen Erfinder und Anmelder besteht. Hierin eingeschlossen sind die Anmeldungen von Hochschullehrern, von Arbeitnehmern mit freigegebenen Erfindungen und von Unternehmererfindern.

Zum Bereich der Wissenschaft werden die Patentanmeldungen folgender Institutionen gerechnet:

- Bundes- und Landesforschungsanstalten
- Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren
- Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibnitz (vormals Blaue Liste)
- Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften
- Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung
- Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“

Die aus der Hochschulforschung stammenden Patentanmeldungen sind hier nicht einbezogen. Sie sind nicht ohne weiteres erfassbar, da die Hochschullehrer über ihre Erfindungen frei verfügen können und die Hochschulen nur in seltenen Fällen als Patentanmelder auftreten.

Die in der Tabelle 4 enthaltene Aufgliederung nach Bundesländern macht deutlich, dass die Anmelderstrukturen in den einzelnen Ländern erheblich voneinander und vom Bundesdurchschnitt abweichen. Überdurchschnittlich stark vertreten sind beispielsweise die Patentanmelder aus der Wirtschaft in Rheinland-Pfalz, Hessen und Nordrhein-Westfalen. Dementsprechend gering sind hier die Aktivitäten der Kategorien Wissenschaft und Freie Erfinder.

Vergleicht man die Anmelderstruktur in den neuen Bundesländern mit der in den alten, zeigen sich deutliche Unterschiede: In den neuen Bundesländern kommen vergleichsweise weniger Erfindungen aus der Wirtschaft (62,4 %) und relativ viel aus der Wissenschaft (10,7 %) und der Gruppe der selbständigen Erfinder (26,9 %).

Auch hier sind natürlich die unterschiedlichen Grundmengen von Belang. So stehen beispielsweise hinter dem Wissenschaftsanteil von 1,2 % für Bayern und 11,2 % für Sachsen jeweils etwa gleichviel Patentanmeldungen.

Betrachtet man die Anmelderkategorien auf der Ebene der Regionen, wie es in der Tabelle 5 geschehen ist, werden Schwerpunkte deutlich. Angesichts der Tatsache, dass mehr als drei Viertel der Patentanmeldungen aus der Wirtschaft stammen, besteht natürlich auch ein enger Zusammenhang zwischen deren räumlicher Verteilung und der Gesamtverteilung und sind die zehn patentaktivsten Arbeitsmarktregionen der Wirtschaft (mit einer Ausnahme, Rangverschiebung um zwei Punkte) auch die der Gesamtbetrachtung.<sup>9</sup>

Wie die Tabellenwerte der Tabelle 5 aufzeigen, werden die erfinderischen Aktivitäten in der stärksten Region, Stuttgart, mit 81,2 % überdurchschnittlich von der Wirtschaft getragen. 9 % aller Patentanmeldungen aus der Wirtschaft,

9 Siehe dazu Abbildung 2

*Tabelle 5:* Anmelderkategorien und Arbeitsmarktregionen. Die 10 aktivsten Arbeitsmarktregionen.  
Erfindersitz. Durchschnitt 1992 – 1994

Wirtschaft Arbeitsmarktregion (AMR)	Patentan- meldungen	Anteil der Patentanmeldungen (in %)	
		in der AMR	im Bundesgebiet
Stuttgart	2 102,9	81,2	9,0
München	1 522,4	72,8	6,5
Frankfurt	1 498,1	83,8	6,4
Mannheim/Ludwigshafen/Heidelberg	1 297,1	84,8	5,5
Köln	1 041,2	81,9	4,4
Nürnberg	948,5	85,0	4,0
Düsseldorf	736,1	85,0	3,1
Berlin	712,4	63,1	3,0
Hamburg	468,8	64,4	2,0
Wuppertal	349,7	85,8	1,5

Wissenschaft Arbeitsmarktregion (AMR)	Patentan- meldungen	Anteil der Patentanmeldungen (in %)	
		in der AMR	im Bundesgebiet
Berlin	93,9	8,3	13,1
Stuttgart	61,3	2,4	8,5
Dresden	51,5	20,9	7,2
München	45,8	2,2	6,4
Karlsruhe	44,8	10,9	6,2
Freiburg	33,3	13,8	4,6
Aachen	32,7	11,4	4,5
Jena	27,8	22,8	3,9
Düren	22,2	26,1	3,1
Mannheim/Ludwigshafen/Heidelberg	17,1	1,1	2,4

Freie Erfinder Arbeitsmarktregion (AMR)	Patentan- meldungen	Anteil der Patentanmeldungen (in %)	
		in der AMR	im Bundesgebiet
München	523,7	25,0	7,8
Stuttgart	424,4	16,4	6,3
Berlin	322,6	28,6	4,8
Frankfurt	276,8	15,5	4,1
Hamburg	247,0	33,9	3,7
Köln	217,3	17,1	3,2
Mannheim/Ludwigshafen/Heidelberg	214,7	14,0	3,2
Nürnberg	155,4	13,9	2,3
Düsseldorf	125,7	14,5	1,9
Hannover	111,5	27,2	1,7

bezogen auf die Bundesrepublik, kommen aus dieser Region. An zweiter Stelle steht München. Trotz des großen Beitrags von 6,5 % zum Gesamtaufkommen, liegen die Patentaktivitäten, die auf die Wirtschaft entfallen innerhalb des Münchner Raumes unter dem Durchschnitt, wie man der Tabelle 5 entnehmen kann, zugunsten des Anteils der Freien Erfinder von 25 %.

Für den Bereich der Freien Erfinder lässt sich feststellen, dass die Verteilung der Patentanmeldungen zwar nicht durchweg, aber in den patentstarken Regionen weitgehend, der generellen Verteilung und somit auch der der Wirtschaft folgt.

Ganz anders stellt sich die Situation im Bereich der Wissenschaft dar. Unter den zehn wichtigsten Arbeitsmarktregionen befinden sich fünf, die sonst nicht zur Spitzengruppe zählen. Wie die Daten erkennen lassen, sind das die Regionen, in welchen das Patentgeschehen relativ stark von der Wissenschaft geprägt wird. Insgesamt nimmt der Raum Berlin mit einem Anteil von 13,1 % der Patentanmeldungen aus dem Wissenschaftsbereich, bezogen auf das Bundesgebiet, eine überragende Stellung ein.

Die Analyse nach technischen Bereichen macht deutlich, dass die einzelnen Anmelderkategorien eigene sektorale Strukturen besitzen, die von einander und vom Bundesdurchschnitt zum Teil erheblich abweichen (siehe Tab. 6). Das Gesamtbild wird auch hier wesentlich von den Patentaktivitäten der Wirtschaft bestimmt. Im Bereich der Wissenschaft steht mit einem Anteil von 22 % der Bereich Messen, Prüfen, Optik im Zentrum der erfinderischen Aktivitäten. Mit Abstand folgt der Bereich Elektrotechnik mit 13,9 %.

Auffallend ist, dass die Wissenschaft auf einigen Gebieten relativ stark vertreten ist, wie zum Beispiel in den Bereichen Hüttenwesen (Rang 6) und Fermentierung, Zucker, Häute (Rang 5)<sup>10</sup>, denen im Bundesdurchschnitt insgesamt (mit den Rängen 23 und 28) weniger Beachtung geschenkt wird. In umgekehrter Richtung auffallend ist, dass die Fahrzeugtechnik, die im Bundesdurchschnitt an erster Stelle steht und bei den Freien Erfindern und der Wirtschaft ebenfalls auf dem ersten beziehungsweise zweiten Platz rangiert, von der Wissenschaft mit relativ geringem Interesse bedacht wird.

Bei den Patentaktivitäten der Freien Erfinder sind die Bereiche Bauwesen, Gesundheitswesen und Haushaltsgegenstände im Verhältnis zu den Zahlen für die anderen Kategorien und die Gesamtheit auffallend stark vertreten.

10 Hierin enthalten ist auch die Biotechnologie



*Tabelle 6:* Patentanmeldungen nach Anmelderarten und technischen Gebieten. Prozentuale Verteilung und Rangfolge. Erfindersitz. Durchschnitt 1992–1994

Legende:  Rang 1  Rang 2 und 3

Technisches Gebiet	Gesamt		Wirtschaft		Wissenschaft		Freie Erfinder	
	Rang	Anteil	Rang	Anteil	Rang	Anteil	Rang	Anteil
Fahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge	1	8,8	<b>2</b>	<b>8,7</b>	25	0,6	<b>1</b>	<b>10,3</b>
Elektrotechnik	2	8,3	<b>1</b>	<b>9,3</b>	<b>2</b>	<b>13,9</b>	10	4,4
Messen, Prüfen, Optik, Photographie	3	7,6	<b>3</b>	<b>7,7</b>	<b>1</b>	<b>22,0</b>	6	5,8
Fördern, Heben	4	5,8	5	5,8	17	2,1	4	6,4
Maschinenbau im allgemeinen	5	5,8	4	6,3	13	2,6	11	4,3
Bauwesen	6	5,4	9	4,4	22	0,8	<b>2</b>	<b>9,7</b>
Kraft- und Arbeitsmaschinen	7	5,1	6	5,2	20	1,0	7	5,1
Gesundheitswesen*, Vergnügungen	8	4,5	16	3,0	4	5,4	<b>3</b>	<b>9,6</b>
Trennen, Mischen	9	4,4	8	4,4	<b>3</b>	<b>6,1</b>	9	4,4
Organische Chemie	10	4,2	7	5,2	9	4,0	25	0,6
Schleifen, Pressen, Werkzeuge	11	4,1	10	4,0	15	2,3	8	4,4
Elektronik, Nachrichtentechnik	12	3,6	11	4,0	8	4,0	18	2,1
Zeitmessung, Steuern, Regeln, Rechnen	13	3,5	13	3,3	16	2,2	12	4,3
Beleuchtung, Heizung	14	3,3	15	3,1	12	3,0	13	4,1
Metallbearb., Gießerei, Werkzeugmaschinen	15	3,2	14	3,3	7	4,0	14	2,7
Persönlicher Bedarf, Haushaltsgegenstände	16	3,0	20	2,1	30	0,3	5	6,2
Organische makromolekulare Verbindungen	17	2,7	12	3,3	14	2,4	29	0,4
Anorganische Chemie	18	2,3	17	2,3	10	3,7	17	2,2
Textilien, biegsame Werkstoffe	19	1,9	19	2,2	11	3,0	22	0,9
Farbstoffe, Mineralölindustrie, Öle, Fette	20	1,9	18	2,2	19	1,1	23	0,9
Druckerei	21	1,9	21	2,1	31	0,2	19	1,5
Unterricht, Akustik, Informationsspeicherung	22	1,4	23	1,2	23	0,8	16	2,3
Hüttenwesen	23	1,4	22	1,5	6	4,7	24	0,6
Landwirtschaft	24	1,3	25	0,9	21	0,9	15	2,6
Medizinische und kosmetische Präparate	25	1,2	24	1,2	18	1,9	20	1,2
Nahrungsmittel, Tabak	26	0,8	27	0,7	28	0,3	21	1,2
Papier	27	0,7	26	0,9	29	0,3	30	0,3
Fermentierung, Zucker, Häute	28	0,6	29	0,5	5	4,8	26	0,6
Waffen, Sprengwesen	29	0,6	28	0,6	26	0,5	27	0,6
Bergbau	30	0,4	30	0,4	27	0,4	28	0,4
Kernphysik	31	0,2	31	0,2	24	0,7	31	0,1

\* ohne Arzneimittel

## 6. *Patentertrag: Forschung und Entwicklung*

Durch die Differenzierung nach Anmelderkategorien eröffnet sich die Möglichkeit Patentdaten mit F+E-Daten zu verknüpfen. Aufgeschlüsselte F+E-Daten stehen für den Bereich der Wirtschaft zur Verfügung.<sup>11</sup>

Eine Zusammenführung von Patent- und F+E-Daten auf der Ebene der Bundesländer, wie sie in Abbildung 7 vorgenommen wurde, zeigt eine starke positive Korrelation zwischen den beiden Größen. Zugrunde gelegt wurden hier F+E-Personal und Patentanmeldungen jeweils des Wirtschaftssektors. Zur Stabilisierung der Daten wurden auf beiden Seiten zeitbezogene Durchschnittswerte gebildet. Die zwischen F+E und Patenten gewählte zeitliche Differenz berücksichtigt das Ergebnis einer Untersuchung für die Bundesrepublik Deutschland, wonach die F+E-Aktivitäten mit einer zeitlichen Verschiebung von 1 bis 2 Jahren einen Niederschlag in Patentanmeldungen finden.<sup>12</sup>

Neben der Korrelation zeigt die Abbildung 7 auch, dass die Platzierung der einzelnen Bundesländer einer gewissen Streuung unterliegt. Hier werden länderspezifische Input-Output-Muster, gemessen in der Relation zwischen F+E-Einsatz und Patentanmeldungen, erkennbar.

Eine weitere räumliche Aufschlüsselung auf der Ebene der Raumordnungsregionen bestätigt die starke Korrelation zwischen F+E und Patenten, bei einer gewissen Streuung der Einzelwerte (siehe Abb. 8). Anzahl und Dichte der Punkte, die jeweils eine Raumordnungsregion darstellen, erlauben es nicht, die Bezeichnungen der Regionen in die Abbildung mit aufzunehmen. Die einzelnen Angaben sind dem Patentatlas zu entnehmen.<sup>13</sup>

Der festgestellte Zusammenhang belegt, dass die räumliche Verteilung der Patentanmeldungen die der F+E-Tätigkeit widerspiegelt. Damit wird der Zusammenhang zwischen F+E und Patenten um eine räumliche Variante erweitert.

Mitbestimmend für das Bild der räumlichen Differenzierung von Patentanmeldungen und Patentintensitäten sind Einflussgrößen, die sich aus bestimmten wirtschaftlichen Strukturen ergeben; insbesondere sind hier Wirtschaftszweige und Unternehmensgrößen zu nennen. Zum einen ist von Interesse, welchen

11 Quelle: SV-Wissenschaftsstatistik. Siehe dazu den Beitrag von Grenzmann, Christoph: Vernetzung in der Forschungs- und Innovationskooperation, in diesem Band

12 Greif, Siegfried: Relationship Between R&D Expenditure and Patent Applications, in: World Patent Information 1985, No. 3, S. 190ff.; derselbe: Forschung und Entwicklung und Patente, in: Herzog, Richard (Hrsg.), F&E-Management in der Pharma-Industrie, Aulendorf 1995, S. 229ff.

13 Greif, Siegfried: Patentatlas Deutschland, a.a.O., S. 126ff.

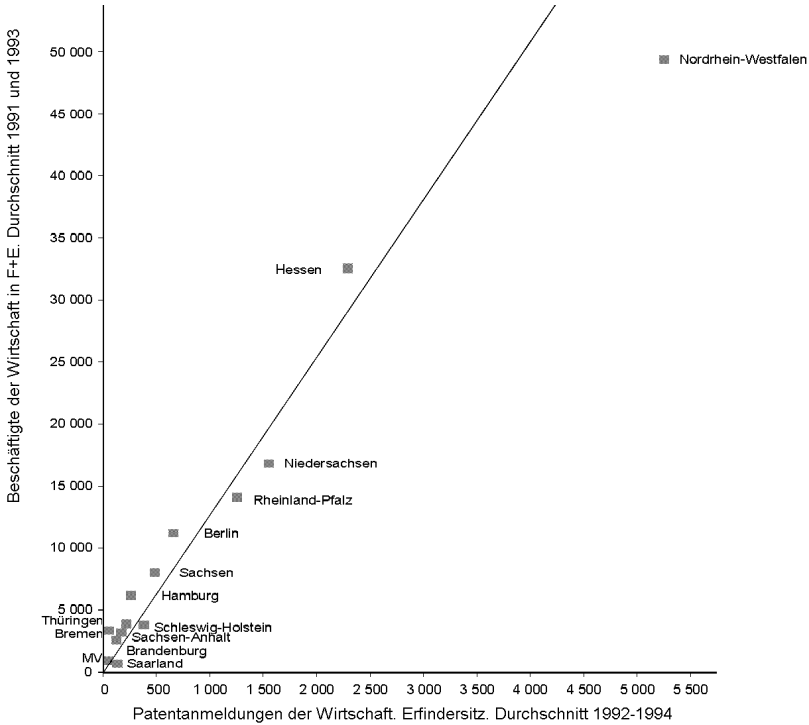


Abbildung 7: Patentanmeldungen und F+E-Beschäftigte nach Bundesländern

quantitativen Beitrag die einzelnen Wirtschaftsbereiche zum Aufkommen an Patentanmeldungen leisten, zum anderen aber auch, welche Bedeutung branchenspezifischen und unternehmensgrößenspezifischen Patentierungsmustern zukommt.

Die Abbildung 9 enthält die Verteilung der Patentanmeldungen nach Wirtschaftszweigen und zugleich eine Gegenüberstellung von F+E-Aktivitäten und Patentanmeldungen<sup>14</sup>. Die Zahlen machen deutlich, dass das F+E-Ergebnis, gemessen in Patentanmeldungen – bei grundsätzlicher Korrelation zwischen Input und Output – in gewissem Umfang variiert, zum Beispiel in der Elektrotechnik und im Maschinenbau relativ hoch, beim Kraftfahrzeugbau sowie beim Luft- und Raumfahrzeugbau dagegen relativ niedrig ist.

14 Greif/Potkowik: Patente und Wirtschaftszweige, a.a.O., S. 38

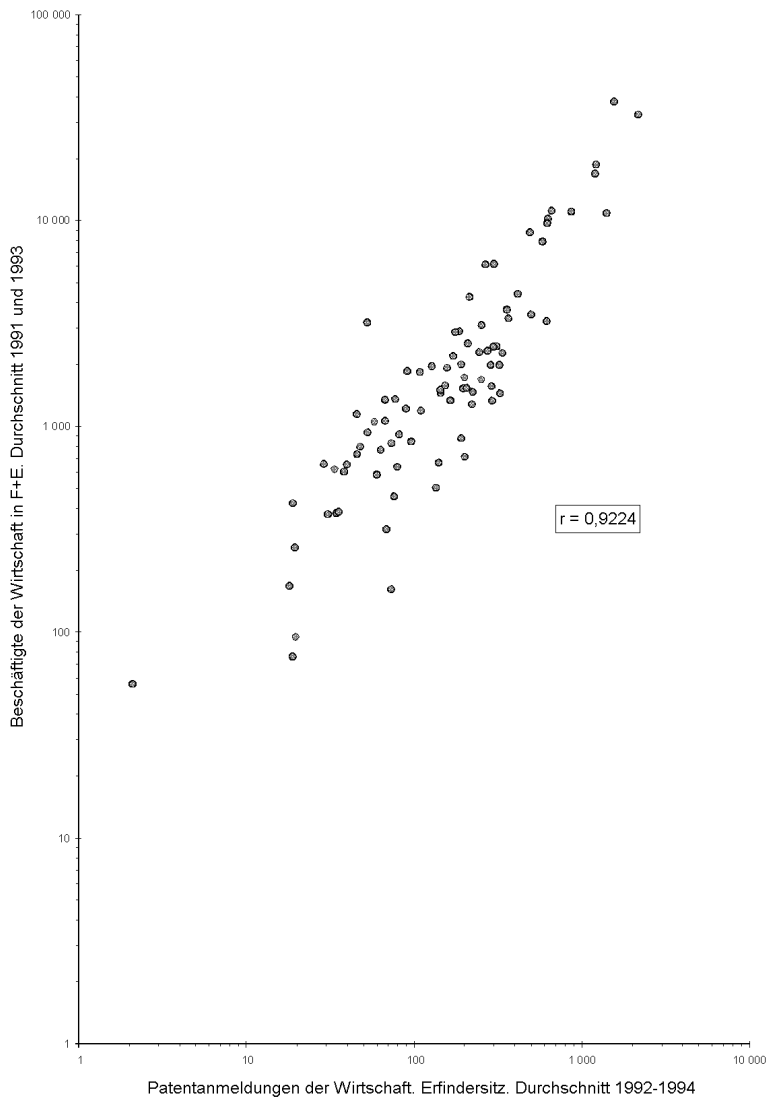


Abbildung 8: Patentanmeldungen und F+E-Beschäftigte nach Raumordnungsregionen

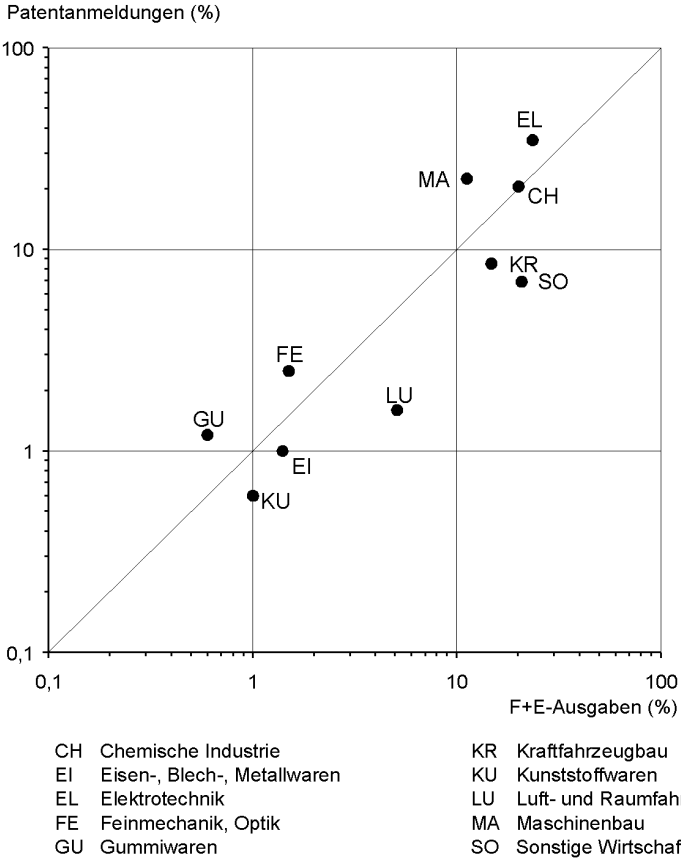


Abbildung 9: Prozentuale Verteilung von F+E-Ausgaben und Patentanmeldungen nach Wirtschaftszweigen 1983 (logarithmischer Maßstab)

Diese Konstellationen stimmen weitgehend mit den Ergebnissen einer entsprechenden Analyse der US-amerikanischen Verhältnisse von Scherer überein.<sup>15</sup> Die unterschiedlichen Relationen zwischen F+E-Ausgaben und Patenten ergeben sich hauptsächlich aus Unterschieden im Ertrag an patentierbaren Erfindungen pro Einheit F+E-Aufwand. Der relativ geringe Output an Patenten

15 Scherer, Frederic M.: The Propensity to Patent, in: International Journal of Industrial Organization 1983, Nr. 1, S. 107ff.

*Tabelle 7:* Prozentuale Verteilung von F+E-Ausgaben (1987) und Patentanmeldungen (1988) nach Unternehmensgrößen

Beschäftigte	F+E-Ausgaben	Patentanmeldungen
unter 100	6,1 %	15,0 %
100 - 499	8,2 %	11,9 %
500 - 999	4,4 %	6,2 %
1000 - 1999	5,3 %	8,3 %
2000 - 4999	8,2 %	7,7 %
5000 - 9999	9,5 %	8,5 %
10000 und mehr	58,3 %	42,4 %

bei der Kraftfahrzeugindustrie ist beispielsweise darauf zurückzuführen, dass ein großer Teil des F+E-Aufwandes für die Formgestaltung und das Testen neuer Modelle aufgewandt wird, Aktivitäten, aus denen nur relativ wenig patentierbare Erfindungen hervorgehen. Ähnlich ist der relativ geringe Anfall an Patenten beim Luft- und Raumfahrzeugbau zu erklären, bei dem der Systemgestaltung und der Erprobung von Modellen und Prototypen erhebliche Bedeutung zukommt.

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass sie auch von anderen Strukturen beeinflusst werden, insbesondere von Unternehmensgrößeneffekten. Die in der Tabelle 7 enthaltenen Daten machen deutlich, dass es unternehmensgrößenspezifische Patentierungsmuster gibt, dass die kleinen und mittleren Unternehmen patentintensiver forschen und entwickeln. Mit zunehmender Unternehmensgröße wird der Output an Patenten gegenüber dem Input an F+E-Ausgaben relativ geringer. Bei der kleinsten Unternehmensgröße erwirtschaften 6,1 % der F+E-Ausgaben 15 % der Patentanmeldungen; bei den ganz großen Unternehmen stehen 58,3 % der F+E-Ausgaben nur 42,4 % der Patentanmeldungen gegenüber.<sup>16</sup>

Stellt man die spezifischen Patentierungsmuster in einen räumlichen Kontext, fällt ein Zusammenhang mit den Sachgebieten auf, in welchen sich die Erfindungstätigkeit bewegt. So liegen zum Beispiel die Schwerpunkte der Patentaktivitäten in den drei Raumordnungsregionen mit den höchsten Patenterträgen (Westmittelfranken, Würzburg, Siegen) in Bereichen mit relativ hohem Patent-Output im Verhältnis zum F+E-Input, nämlich im Maschinenbau, in Fein-

16 Greif, Siegfried: Patente als Indikatoren, a.a.O., S. 41f., 56

mechanik und Optik sowie im Bauwesen.<sup>17</sup> In die Bewertung der Ergebnisse sind auch immer die zugrunde liegenden absoluten Zahlen einzubeziehen.

## 7. *Schlußbemerkungen*

Mit der Untersuchung der räumlichen Verteilung von Patentanmeldungen und damit verbunden von Patentedichten (nach Bevölkerung), Patentintensitäten (nach Beschäftigten) und Patenterträgen (nach F+E-Einsatz) ist ein Instrumentarium entwickelt worden, das die räumlichen Quellen der naturwissenschaftlich-technischen Wissensproduktion aufzeigt und eine Fülle zielgerichteter Einblicke in die räumliche Struktur der untersuchten und der daraus abgeleiteten Sachverhalte erlaubt. So können die Gestalt eines Gesamtbildes, das übergreifende arbeitsteilige Zusammenspiel von Regionen sowie die Detailanalyse bestimmter räumlicher Einheiten, technischer Bereiche, Anmelderkategorien oder sonstiger Merkmale gleichermaßen Gegenstand der Betrachtung sein.

Die gewonnenen Ergebnisse können von allgemeinem Interesse sein wie auch von besonderem Interesse für Wissenschaft, Wirtschaft und staatliche Stellen; sie können die Basis für raumorientierte Maßnahmen bilden, insbesondere auf dem Gebiet der Forschungs- und Technologiepolitik. Neben Entscheidungshilfen können die regionalisierten und gewichteten Patentdaten auch Indikatoren für die Wirksamkeit politischer Maßnahmen sein.

Die vorliegende Untersuchung läßt natürlich auch noch Fragen offen und weckt Interesse an weiteren Aufschlüssen, insbesondere zieht sie die Frage nach Entwicklungen im Zeitablauf nach sich. Um darauf weitere Antworten zu finden, werden die Arbeiten fortgeführt und um eine dynamische Betrachtung erweitert.

17 Für das Bauwesen, das in Abb. 9 nicht aufgeführt ist, gilt ebenfalls eine Input-Output-Relation mit relativ hohem Patentertrag.





---

CHRISTOPH GRENZMANN

## Forschungskooperation der Unternehmen in Ost- und Westdeutschland

### *Vorbemerkung*

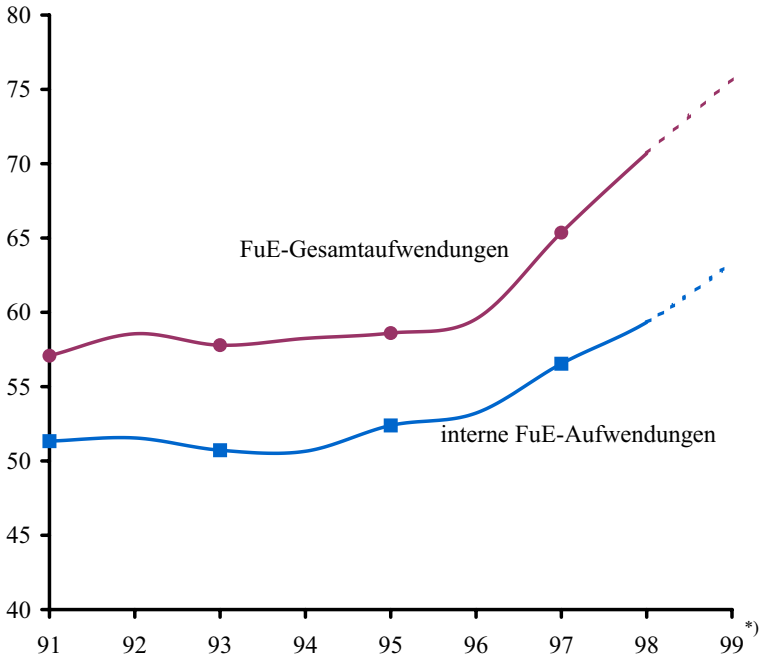
Forschung und Entwicklung sind wesentliche Triebfedern der Innovation. Insofern überrascht es nicht, dass der überwiegende Teil der Aufwendungen, die mit der Durchführung von Forschung und Entwicklung (FuE) verbunden sind, auf die Unternehmen entfällt. Werden rund 2/3 der FuE in den Unternehmen und wirtschaftsnahen Forschungsinstituten durchgeführt<sup>1</sup>, *teilen sich das verbleibende Drittel die Forschungsinstitute, die dem Staat zugeordnet werden<sup>2</sup>, und die Hochschulen; ein geringer Anteil entfällt auf die sogenannten Privaten Institutionen ohne Erwerbszweck.*

Gleichwohl hat sich die Modalität, mit der sich der Innovationsprozess in den Unternehmen vollzieht, in den letzten Jahren deutlich gewandelt: Der Trend nimmt zu, Forschungen im Verbund mit anderen Institutionen oder Unternehmen durchzuführen. Die Zunahme dieser Forschungskooperationen ist nicht zuletzt auf die Bestrebung der Unternehmen zurückzuführen, sich auf Kernkompetenzen zu konzentrieren, in diesem Bereich aber führend zu sein. Dieser Trend ist erkennbar an der Zunahme der Forschungsaufträge, die Unternehmen an andere Institutionen vergeben. Hier ist in den letzten Jahren das Volumen von 3,9 Mrd. DM (1987) auf 8,8 Mrd. DM (1997) gestiegen.

Im Mittelpunkt der folgenden Ausführungen steht eine Untersuchung über die Kooperation der Unternehmen im Bereich von Forschung, Entwicklung und Innovation. Hierbei wird auch die unterschiedliche Situation in Ost- und West-

1 vgl. Wissenschaftsstatistik (Hrsg.): FuE-Datenreport 1999, Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 1997–1999, Essen 1999

2 Zu diesen zählen in Deutschland zum Beispiel die Institute der Max-Planck-Gesellschaft oder der Fraunhofer-Gesellschaft, aber auch die Forschungsinstitute, die den Ministerien zugeordnet sind.



\*) Schätzung aufgrund einer Erhebung bei ausgewählten Unternehmen,  
1999 Plandaten; Stand: Januar 2000

Abbildung 1: FuE-Gesamtaufwendungen des Wirtschaftssektors 1991–1998, Tendenz 1999

deutschland betrachtet. Die Untersuchung<sup>3</sup> basiert im wesentlichen auf den zum damaligen Zeitpunkt vorliegenden Datenmaterialien der Jahre 1993 und 1995.

### *Die Entwicklung von FuE im Wirtschaftssektor*

Die Entwicklung der Forschungsk Kooperationen geht einher mit der Zunahme des Engagements der Unternehmen und Institutionen für Gemeinschaftsforschung, die in jüngster Zeit ihren Einsatz für Forschung und experimentelle

3 Bertel, Grenzmann, Marquardt, Hansen, Ransch: Rahmenbedingungen für Innovationsnetze in den neuen Bundesländern und Berlin-Ost, Essen 1998

Entwicklung (FuE) deutlich erhöht haben (vgl. Abbildung 1). Betrugen die FuE-Aufwendungen des Wirtschaftssektors 1995 noch 58,6 Mrd. DM, stiegen sie 1997 auf 65,3 Mrd. DM (+11,8 %). Im Jahr 1998 haben sie sich um rund 8,2 % auf 70,7 Mrd. DM erhöht<sup>4</sup>. Inzwischen sind im Jahr 2000 die FuE-Aufwendungen im Wirtschaftssektor auf über 81 Mrd. DM gestiegen.

Damit hat die Phase einer eher zurückhaltenden FuE-Tätigkeit im Wirtschaftssektor in der ersten Hälfte der neunziger Jahre ein Ende gefunden: während für die FuE-Gesamtaufwendungen im früheren Bundesgebiet in den frühen achtziger Jahren noch zweistellige Steigerungsraten festgestellt wurden, haben sich diese im vereinigten Deutschland auf ein niedrigeres Niveau eingestellt und gewinnen jetzt wieder an Fahrt.

### *Zunahme der FuE-Aufträge*

Das Engagement der Unternehmen und Institutionen für Gemeinschaftsforschung (IfG) zeigt sich in den FuE-Projekten, die „hausintern“ durchgeführt werden (interne FuE) und in den Forschungsaufträgen, die an andere Unternehmen oder Forschungseinrichtungen vergeben werden (externe FuE). Die Summe der internen und externen FuE bilden die FuE-Gesamtaufwendungen.

Haben zu Anfang der neunziger Jahre interne FuE-Aufwendungen und FuE-Gesamtaufwendungen einen gleichgerichteten Verlauf genommen, zeigt sich, dass in den letzten Jahren die externen gegenüber den internen FuE-Aufwendungen stärker gestiegen sind. Zwischen 1995 und 1997 haben diese um rund 7,8 % zugenommen, während die FuE-Gesamtaufwendungen mit 11,5 % deutlich stärker gewachsen sind. Daraus folgt, dass die Unternehmen zunehmend dazu übergehen, Forschungs- und Entwicklungsaufträge an Dritte zu erteilen (externe FuE). Dieser Trend ist auch zwischen 1997 und 1998 ungebrochen.

Die externen FuE-Aufwendungen gliedern sich in Aufträge an den Wirtschaftssektor (an andere Unternehmen oder wirtschaftsnahe Forschungsinstitute), an staatliche Institute, an Hochschulen, an Private Organisationen ohne Erwerbszweck (dies sind im wesentlichen nichtstaatliche Forschungsinstitute mit gemeinnützigem Charakter) und an FuE-Einrichtungen im Ausland. Die Aufteilung der externen FuE nach diesen Gruppen zeigt, dass die externen FuE-Aufträge überwiegend im Wirtschaftssektor verblieben: im Jahre 1995 flossen rund 60 % der Aufträge an den Wirtschaftssektor zurück, rund 22 % gehen an Hochschulen und staatliche Forschungsinstitute, rund 15 % resultieren aus

4 Wissenschaftsstatistik (Hrsg.): FuE-Datenreport 1999, a.a.O.

Aufträgen an ausländische FuE-Stätten. Private Institutionen ohne Erwerbszweck erhalten Aufträge von rund 3 %<sup>5</sup>.

Die Zunahme der FuE-Aufträge im Jahre 1997 ist nur in geringem Maße auf eine stärkere Einbeziehung der Hochschulen und staatlichen Forschungsinstitute zurückzuführen, vielmehr auf eine Zunahme der wirtschaftsinternen Flüsse (FuE-Kooperationen innerhalb des Wirtschaftssektors) und eine Steigerung der Verzahnung mit dem Ausland. 65 % der Aufträge sind im Wirtschaftssektor geblieben, fast 20 % sind in das Ausland gegangen.

Im Zusammenhang mit den externen FuE-Aufwendungen, mit den FuE-Aufträgen, die an Dritte vergeben werden, ist die Brücke geschlagen zu den Untersuchungen zu der FuE-Kooperation.

### *Finanzierung und Aufträge als Hinweis auf FuE-Kooperationen*

Es war bereits darauf hingewiesen worden, dass der Umfang der externen FuE-Aufwendungen Hinweise zum Umfang der FuE-Kooperationen liefert. Analog ist die Finanzierung der FuE-Aufwendungen ein weiterer Hinweis zu den FuE-Kooperationen, weil hierdurch eine Aussage möglich ist, inwieweit die Unternehmen FuE-Aufträge von anderen Unternehmen oder Forschungsinstituten erhalten haben. Im ersten Fall tritt ein Unternehmen als Auftraggeber, im zweiten Fall als Auftragnehmer auf.

Im Folgenden soll eine Bestandsaufnahme zur Struktur der Finanzierung und der externen Auftragsvergabe bei den FuE-betreibenden Unternehmen in Ost und West gegeben werden (vgl. Tabelle 1). Bei den *externen FuE-Aufwendungen* nach Auftragnehmern und den Finanzierungsquellen für FuE sind in Ost und West deutliche Unterschiede erkennbar (vgl. Abbildung 2). Auffallend ist, dass die Aufträge an ausländische FuE-Einrichtungen bei Unternehmen in den neuen Ländern und Berlin-Ost mit 2,7 % (1993) bzw. 3,5 % (1995) praktisch keine Rolle spielen, während beim Wirtschaftssektor des früheren Bundesgebietes über 18 % (1993) bzw. rd. 17 % (1995) der externen FuE-Aufwendungen in das Ausland fließen. Dies zeigt die vergleichsweise geringe Einbindung der Ostunternehmen in eine internationale Arbeitsteilung. Besonders krass wird dies bei der Betrachtung der Chemischen Industrie. Gehen bei den Unternehmen mit Sitz in Ostdeutschland 9,3 % (1995) des externen Auftragsvolumens in das Ausland, sind dies bei den Westunternehmen 45,3 % (1995).

5 vgl.: Wissenschaftsstatistik (Hrsg.): FuE-Datenreport 1997–1999, Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 1995, Essen 1997

*Tabelle 1:* Externe FuE-Aufwendungen der Unternehmen 1993 und 1995 in den neuen Ländern u. Berlin-Ost (Hauptsitz der Unternehmen) nach Auftragnehmern und ausgewählten Wirtschaftszweigen

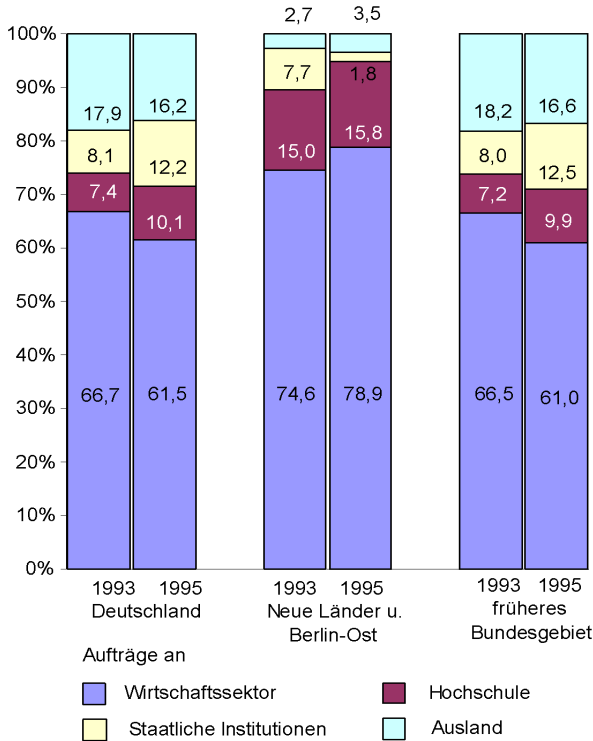
	Externe FuE-Aufwendungen									
			Davon Aufträge an							
	insgesamt		den Wirtschaftssektor		Hochschulen		den Staat u. sonst. Inländer		das Ausland	
Wirtschaftsgliederung	Mill. DM		%							
	1993	1995	1993	1995	1993	1995	1993	1995	1993	1995
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Insgesamt	130	171	74,6	78,9	15,0	15,8	7,7	1,8	2,7	3,5
darunter:										
Chemische Industrie	21	24	76,6	64,0	13,2	24,4	5,1	2,3	5,1	9,3
Maschinenbau	21	23	61,1	68,7	30,4	25,5	6,1	3,4	2,4	2,4
Elektrotechnik	8	9	72,2	70,1	14,6	24,5	11,7	4,3	1,6	1,1
Feinmechanik und Optik	9	16	79,7	95,8	14,9	2,6	3,8	1,2	1,6	0,3
Dienstleistungen, soweit von Unternehmen erbracht	11	13	60,5	41,8	10,6	51,6	26,9	3,7	2,0	2,9

Rundungsabweichungen

*Quelle:* Stifterverband Wissenschaftsstatistik

Das zweite Betrachtungsmerkmal ist die Verteilung der FuE-Gesamtaufwendungen nach *Finanzierungsquellen*; es ist zu unterscheiden zwischen den eigenen Mitteln, den Mitteln aus dem Wirtschaftssektor, Mitteln vom Staat, Mitteln von sonstigen Inländern (z.B. Privaten Organisationen ohne Erwerbszweck) und Mitteln aus dem Ausland (vgl. Abbildung 3). Es zeigt sich, dass bei den Unternehmen in Ostdeutschland im Vergleich zu den Unternehmen des früheren Bundesgebietes die Mittel vom Ausland äußerst gering sind. Ein Austausch von Technologie zwischen den neuen Ländern und dem Ausland fand 1993 praktisch nicht statt. Der Anteil der Mittel aus dem Wirtschaftssektor lag 1993 mit 5,1 % der FuE-Gesamtaufwendungen im Osten etwas höher als im Westen mit 4 % (1993). Im Jahre 1995 sank dieser Anteil auf 2 % und damit unter den Wert der Unternehmen im früheren Bundesgebiet.

Der staatliche Finanzierungsanteil lag 1993 bei Unternehmen in den neuen Ländern und Berlin-Ost mit 13,6 % mehr als doppelt so hoch wie bei den



*Abbildung 2:* FuE-Aufwendungen der Unternehmen 1993 und 1995 nach Auftragnehmern und Regionen (Hauptsitz der Unternehmen)  
Quelle: Stifterverband Wissenschaftsstatistik

Unternehmen im früheren Bundesgebiet. Im Jahre 1995 belief sich der Anteil im Westen auf 7,0 %, im Osten auf 10,9 %<sup>6</sup>.

6 Unter Berücksichtigung der Zuwendungen des Staates für die indirekt spezifische FuE-Förderung würde der Anteil der staatlichen Mittel für die neuen Länder und Berlin-Ost bei 24 % (1993) liegen; diese Mittel aus der indirekt spezifischen Förderung des Bundes werden aber in der FuE-Statistik als Mittel aus dem Wirtschaftssektor ausgewiesen. Diese Handhabung ist ähnlich der bei der steuerlichen Behandlung von FuE.

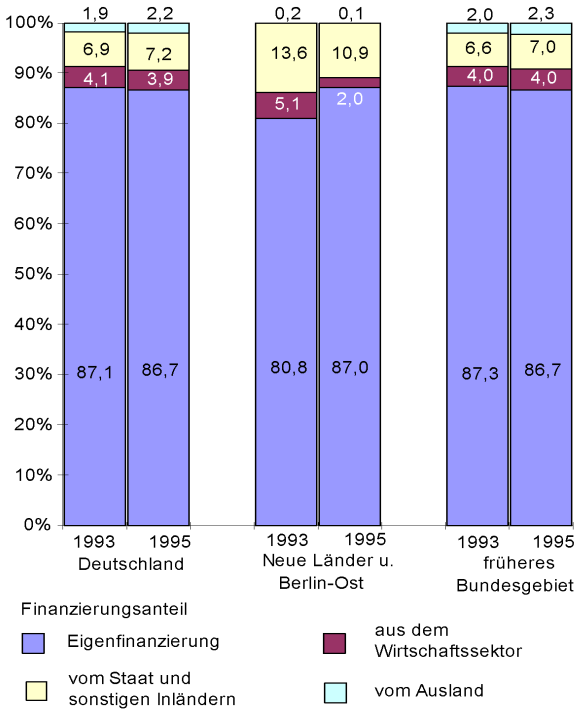


Abbildung 3: FuE-Gesamtaufwendungen der Unternehmen 1993 und 1995 nach Finanzierungsquellen und Regionen (Hauptsitz der Unternehmen)

Quelle: Stifterverband Wissenschaftsstatistik

### Typisierung der Unternehmen

Für die Betrachtung der FuE-Kooperationen sind in erster Linie die Anteile der Fremdfinanzierung von Interesse, die nicht vom Staat kommen, weil für die Betrachtung der Kooperationen nur die Geldflüsse von Bedeutung sind, die auf einen Leistungsverkehr (Geld gegen Forschung) hinweisen; dies trifft für staatliche Förderungen freilich nicht zu.

Aus den Daten der FuE-Finanzierung und der externen Auftragsvergabe kann auf die Neigung eines Unternehmens zu FuE- bzw. Innovationskooperationen

		Externe FuE-Aufwendungsquote	
		niedrig	hoch
Externe FuE-Finanzierungsquote	hoch	<b>III</b> <b>FuE-Auftragnehmer</b>	<b>I</b> <b>Netzteilnehmer</b> <b>(potentieller Netzknoten)</b>
	niedrig	<b>IV</b> <b>"Solist"</b>	<b>II</b> <b>FuE-Auftraggeber</b>

Quelle: Stifterverband Wissenschaftsstatistik

*Abbildung 4:* Externe FuE-Aufwendungsquote und externe FuE-Finanzierungsquote – Vierfeldermatrix –

geschlossen werden. Um eine Typisierung der Unternehmen zu ermöglichen, soll definiert werden:

1. Die *externe FuE-Aufwendungsquote* wird definiert als die Relation von externen FuE-Aufwendungen zu den gesamten FuE-Aufwendungen. Eine hohe externe FuE-Aufwendungsquote weist auf Unternehmen hin, die hauptsächlich Auftraggeber sind, d.h. ein Großteil ihrer FuE wird außer Haus durchgeführt. Auf der anderen Seite bedeutet eine niedrige externe FuE-Aufwendungsquote, dass das Unternehmen in hohem Grade FuE selbst durchführt (FuE im eigenen Hause).
2. Die *externe FuE-Finanzierungsquote* wird definiert als das Verhältnis der externen FuE-Finanzierung<sup>7</sup> zu den gesamten FuE-Aufwendungen. Dabei bedeutet eine hohe externe FuE-Finanzierungsquote, dass das Unternehmen hauptsächlich Forschungs-Auftragnehmer ist, d.h. es führt viel fremdfinanzierte FuE im eigenen Hause durch. Eine niedrige externe FuE-Finanzierungsquote weist hingegen auf Unternehmen hin, die FuE selbst finanzieren.

Mittels der externen FuE-Aufwendungsquote und der externen FuE-Finanzierungsquote ergibt sich eine Typisierung der Unternehmen gemäß der Vier-Felder-Matrix (vgl. Abbildung 4). Der Solist (Quadrant IV) entspricht dem

7 Dies sind die Mittel, die nicht vom Unternehmen selbst aufgebracht wurden oder die aus Fördermaßnahmen herrühren; mit Blick auf die praktische Datenverfügbarkeit werden alle staatlichen Mittel als Fördermittel angesehen.



autonom innovierenden Unternehmen, der FuE-Auftragnehmer (Quadrant III) der innovierenden Hersteller-Organisation und der FuE-Auftraggeber (Quadrant II) der innovierenden Verwender-Organisation. Schließlich entspricht das sich in einem Beziehungsgeflecht befindende Unternehmen dem ersten Quadranten, dem Netzwerkteilnehmer mit vielschichtigen internen und externen FuE-Aktivitäten. Die Abbildung macht deutlich, dass die Unternehmen, die den Quadranten I, II und III zuzuordnen sind, grundsätzlich als Netzwerkteilnehmer in Frage kommen können.

### *Kooperationen der Unternehmen*

Im weiteren sollen externe FuE-Aufwendungen und externe FuE-Finanzierung untersucht werden in Bezug auf ihre Entwicklung über eine Dekade. Die Ergebnisse auf aggregierter Ebene für die Bundesrepublik sind aus der Tabelle 2 zu entnehmen.

Die Indikatoren zeigen eine Zunahme der Innovationsnetzwerkaktivitäten in Deutschland zwischen 1985 und 1995. Obwohl externe FuE-Aufwendungsquote bzw. externen FuE-Finanzierungsquote auf Niveaus von ca. 10 % bzw. ca. 6 % nach mehreren Jahren des Wachstums stagnieren, steigt die Anzahl der Unternehmen mit externen FuE-Aktivitäten erheblich. So wurde die Anzahl der Unternehmen in Deutschland, die externe FuE-Aktivitäten haben, zwischen 1989 und 1995 – teilweise vereinigungsbedingt – mehr als verdoppelt. Dieses Wachstum ist vor allem auf Unternehmen aus den alten Bundesländern zurückzuführen.

Jedoch setzen auch in den neuen Bundesländern immer mehr Unternehmen auf Netzwerkaktivitäten. Zwischen 1993 und 1995 stieg deren Zahl um 4 %, bei den KMU sogar um 7,5 %. Die ohnehin geringe Zahl der ostdeutschen Großunternehmen mit externen FuE-Aktivitäten ging in derselben Periode allerdings von 52 auf 37 zurück.

Betrachtet man die FuE-Gesamtaufwendungen, die die Unternehmen mit externen FuE-Aufwendungen auf sich vereinigen, sieht man, dass deren Gewicht leicht gewachsen ist. Insgesamt machten nämlich die FuE-Gesamtaufwendungen der in externer Forschung aktiven Unternehmen 1995 80 % der FuE-Gesamtaufwendungen aus (1989: 79 % und 1993: 77 %). Auf der anderen Seite sind die möglichen Kontakte in diesem Markt, d.h. die Anzahl der teilnehmenden Unternehmen, sehr stark gestiegen. Als Fazit bedeutet dies, dass das Potential für Innovationsnetzwerke in der Bundesrepublik insgesamt gewachsen ist.

Im Folgenden soll die Entwicklung der externen FuE-Aufwendungsquote und externen FuE-Fremdfinanzierungsquote für ausgewählte Wirtschaftszweige näher

*Tabelle 2:* Kennzahlen der Innovationsnetzwerkaktivitäten der Unternehmen in Deutschland, 1985–1995

Kennzahl	Dimen- sion	Jahr					
		1985	1987	1989	1991	1993	1995
FuE-Gesamtaufwendungen	Mill. DM	38.917	44.281	50.161	56.242	57.029	58.836
externe FuE-Aufwendungen	Mill. DM	3.502	3.716	4.608	5.548	6.876	5.881
	%	9,0	8,4	9,2	9,9	12,1	10,2
externe FuE-Finanzierung (ohne staatlichen Finanzierungsanteil)	Mill. DM	1.902	2.325	3.023	3.587	3.506	3.471
	%	4,9	5,3	6,0	6,4	6,1	6,0
Berichtseinheiten mit FuE-Gesamtaufwendungen	Anzahl	11.965	11.137	10.117	11.714	11.457	10.639
Berichtseinheiten mit externen FuE-Aufwendungen	Anzahl	1.394	1.237	1.207	...	...	3.869
	%	11,7	11,1	11,9	...	...	36,4
Berichtseinheiten mit externer FuE-Finanzierung	Anzahl	315	316	310	...	...	504
	%	2,6	2,8	3,1	...	...	4,7

Anmerkungen:

1991–1993: hochgerechnete Ergebnisse (Stichprobe bei kleinen und mittleren Unternehmen); 1985–1989: früheres Bundesgebiet; ab 1991: Deutschland

*Quelle:* Stifterverband Wissenschaftsstatistik

untersucht werden. Tabelle 3 zeigt die externe FuE-Aufwendungsquote und externe FuE-Finanzierungsquote der Unternehmen, bei denen entweder eine externe Finanzierung oder externe Auftragsvergabe vorliegt. Gemessen wurde das arithmetische Mittel, um das „durchschnittliche“ Einzelunternehmen nach Größenklasse und Branche abbilden zu können.

Zunächst ist deutlich, dass die betroffenen Unternehmen, als solche mit externer Finanzierung oder externer Auftragsvergabe für FuE, in den neuen Bundesländern gegenüber denen in den alten Bundesländern stärker von der Fremdfinanzierung partizipieren, also im Schnitt stärker als FuE-Auftragnehmer in Erscheinung treten; dies wird besonders bei den KMU erkennbar. Hatte ein Unternehmen in den alten Bundesländern 1995 nur eine externe FuE-Finanzierungsquote von rund 4 %, war dieser Wert bei einem Ostunternehmen mit rund 11 % annähernd drei Mal so hoch.

*Tabelle 3:* Externe FuE-Aufwendungsquote und FuE-Finanzierungsquote<sup>1)</sup> 1989–1995 nach Regionen (Hauptsitz der Unternehmen), ausgewählten Wirtschaftszweigen und Beschäftigtengrößenklassen  
Basis: ausgewählte Unternehmen<sup>2)</sup>

Wirtschaftszweige	Beschäftigten- größen- klasse	1989		1993				1995			
		Alte Bundes- länder		Alte Bundes- länder		Neue Bundes- länder		Alte Bundes- länder		Neue Bundes- länder	
		AQ <sup>3)</sup>	FQ <sup>3)</sup>	AQ <sup>3)</sup>	FQ <sup>3)</sup>	AQ <sup>3)</sup>	FQ <sup>3)</sup>	AQ <sup>3)</sup>	FQ <sup>3)</sup>	AQ <sup>3)</sup>	FQ <sup>3)</sup>
Insgesamt	< 500	17,24	6,34	16,61	4,97	12,19	12,56	16,39	3,90	13,89	11,55
	> 500	16,06	4,98	13,05	4,73	17,81	3,96	12,50	4,09	21,79	0,66
	insgesamt	16,79	5,82	15,43	4,89	12,76	11,69	15,27	3,95	14,44	10,79
darunter:											
Chemische Industrie	< 500	21,28	6,16	20,04	3,41	28,20	15,37	19,52	3,18	21,32	4,06
	> 500	15,30	2,59	13,00	0,93	10,10	8,78	11,57	0,48	8,64	–
	insgesamt	18,70	4,62	17,44	2,49	25,18	14,27	16,97	2,31	19,55	3,49
Maschinen- bau	< 500	15,93	5,07	14,81	2,45	9,63	9,91	15,51	1,52	14,67	10,67
	> 500	9,77	1,17	9,31	1,80	17,77	2,09	8,11	1,47	17,82	–
	insgesamt	13,91	3,79	13,30	2,27	10,59	8,99	13,81	1,51	14,83	10,02
Elektro- technik	< 500	10,01	8,07	10,99	6,60	9,97	9,76	11,77	4,48	7,46	12,38
	> 500	8,87	4,91	7,20	7,45	3,90	3,25	7,94	5,81	10,59	1,49
	insgesamt	9,68	7,16	9,98	6,83	9,58	9,34	10,81	4,81	7,61	11,87
EBM-Waren	< 500	22,09	1,05	18,83	4,29	6,97	17,45	18,37	3,83	9,89	8,21
	> 500	17,38	1,46	11,46	2,22	0,00	0,00	12,03	1,45	–	–
	insgesamt	20,49	1,19	16,69	3,69	6,97	17,45	16,55	3,15	9,89	8,21

<sup>1)</sup> Arithmetisches Mittel

<sup>2)</sup> Unternehmen mit externen FuE-Aufwendungen und/oder externer FuE-Finanzierung (ohne staatl. Mittel)

<sup>3)</sup> AQ = Externe FuE-Aufwendungsquote ; FQ = Externe FuE-Finanzierungsquote

*Quelle:* Stifterverband Wissenschaftsstatistik

Wie in allen betrachteten Branchen, verzeichnen die Ost-KMU hohe externe FuE-Finanzierungsquoten, die allerdings in der Periode 1993 – 1995 stark

zurückgegangen sind. Gleichzeitig sind die externen FuE-Aufwendungsquoten im selben Betrachtungszeitraum nicht gestiegen.

Deutlich ist bei der Chemischen Industrie die geringe Fremdfinanzierungsquote und der hohe externe Auftragsanteil sowohl in Ost- als auch in Westdeutschland. Dies deutet darauf hin, dass die in Netzwerkaktivitäten eingebundenen innovativen Unternehmen der Chemie in Ostdeutschland sich wirtschaftlich stabilisieren konnten. Die Daten bestätigen dies für die Ostunternehmen des Maschinenbaus und der Elektrotechnik nicht, dort sind die Fremdfinanzierungsanteile gegenüber den Westunternehmen geringer. Das bedeutet, dass sie noch nicht in ausreichendem Maße als Auftragnehmer für FuE-Aufträge in Erscheinung treten.

### *Erfolgsmessung von Netzteilnehmern*

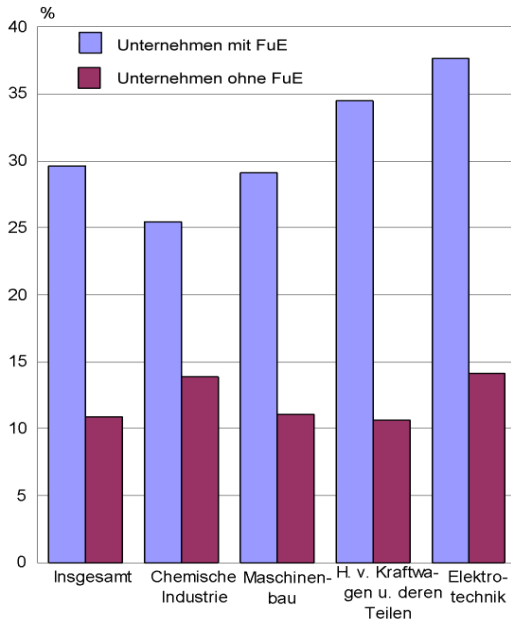
Es soll im Weiteren auf die Frage eingegangen werden, ob sich die Kooperation „lohnt“, ob kooperierende Unternehmen erfolgreicher sind. Einen Beitrag zur Bewertung der Erfolgsmessung der FuE-Aktivitäten leistet die Produktinnovationsrate. Dies ist der Anteil am Umsatz eines Unternehmens, der auf neue Produkte entfällt. Dabei bedeutet eine hohe Produktinnovationsrate, dass das Unternehmen innovativ ist und dass es gute Marktarbeit leistet, während eine niedrige Produktinnovationsrate auf ein weniger innovatives Unternehmen hinweist.

Die Frage soll ausgedehnt werden auf die Frage, ob sich FuE überhaupt lohnt, ob FuE-Unternehmen gegenüber sonstigen Unternehmen erfolgreicher sind. Zwischen forschenden und nicht forschenden Unternehmen besteht ein erheblicher Unterschied bezüglich der Produktinnovationsraten. Dabei zeigt sich, dass im Jahre 1995 der Umsatzanteil neu eingeführter Produkte in Unternehmen mit FuE-Aktivitäten bei 27 % liegt. In scharfem Kontrast dazu liegt die Produktinnovationsrate der nicht forschenden Unternehmen lediglich bei 10 %<sup>8</sup>. Dieses Ergebnis zeigt sich über verschiedene Branchen hinweg; allerdings sind die Unterschiede in der Chemie am geringsten (ca. 27 % versus 13 %) und in der Elektronik am größten (ca. 37 % versus 11 %) (vgl. Abbildung 5).

Eine Auswertung nach dem Grade der Netzzugehörigkeit der Unternehmen kann die Frage beantworten, inwiefern Unternehmen, die externe Partner in ihre Innovationsvorhaben einbeziehen, erfolgreicher sind als solche, die in dieser Hinsicht den Alleingang bevorzugen.

8 Wissenschaftsstatistik (Hrsg.): FuE-Datenreport 1999, a.a.O.

**Abb. 5: Umsatzanteil neu eingeführter Produkte  
in Unternehmen mit und ohne FuE 1995**



\*) Unternehmen mit Angaben zum Umsatzanteil seit 5 Jahren eingeführter Produkte  
Stand: Dezember 1997  
Quelle: Stifterverband Wissenschaftsstatistik SVWStat Grafik 4.0\_1/97

*Abbildung 5:* Umsatzanteil neu eingeführter Produkte in Unternehmen mit und ohne FuE 1995

Quelle: Stifterverband Wissenschaftsstatistik

Tabelle 4 macht deutlich, dass die Solisten deutlich niedrigere Produktinnovationsraten haben als der Durchschnitt, während die anderen Typen dicht am bzw. über dem Durchschnitt liegen. Ferner wird deutlich, dass die Solisten in allen drei Beobachtungsperioden geringere Produktinnovationsraten haben als die anderen Typen. Insbesondere der FuE-Auftragnehmer weist sehr hohe Produktinnovationsraten auf.

*Tabelle 4:* Umsatzanteil neuer Produkte 1989–1995 nach Berichtsgruppen externe FuE-Aufwendungsquote und externe FuE-Finanzierungsquote

Berichtsgruppe	Anteil neu eingeführter Produkte <sup>1)</sup> am Umsatz						
	1989	1993			1995		
	D	D	ABL	NBL	D	ABL	NBL
	1	2	3	4	5	6	7
	%						
Insgesamt	28,8	32,8	27,1	45,0	29,6	22,5	40,3
darunter der Unternehmen mit							
externer FuE-Aufwendungsquote = 0 externer FuE-Finanzierungsquote = 0	27,4	31,8	•	•	24,0	•	•
externer FuE-Aufwendungsquote > 0 externer FuE-Finanzierungsquote > 0	35,0	37,5	•	•	32,2	•	•
externer FuE-Aufwendungsquote > 0 externer FuE-Finanzierungsquote = 0	29,3	32,4	•	•	27,0	•	•
externer FuE-Aufwendungsquote = 0 externer FuE-Finanzierungsquote > 0	31,1	41,6	•	•	34,9	•	•

<sup>1)</sup> arithmetisches Mittel, Produktalter max. 5 Jahre

*Quelle:* Stifterverband Wissenschaftsstatistik

### *Forschung in ostdeutschen Betriebsstätten*

*Indikator für ein Zusammenwachsen der Forschungslandschaft* in Ost- und Westdeutschland ist auch der Umfang, in dem Unternehmen in einem Landesteil Forschungsstätten im jeweils anderen Landesteil unterhalten. Insbesondere bei Großunternehmen ist es die Regel, dass von einem Unternehmen mehrere Forschungsstätten an unterschiedlichen Orten unterhalten werden; bei der Auswertung der FuE-Daten nach Regionen wird daher der Sitz der jeweiligen Forschungsstätte berücksichtigt. Deshalb sind Forschungsaufwendungen und das Personal dem Bundesland zugeordnet, in dem die Forschung stattfindet.

Im Jahr 1993 waren 2.031 Forscher in den neuen Bundesländern tätig, während der Sitz des Unternehmens in Westdeutschland war. Dies sind ungefähr

9,2 % des FuE-Personals in den neuen Bundesländern. Umgekehrt waren nur 157 Personen in Forschungsstätten in den alten Bundesländern tätig bei Unternehmen, deren Sitz in den neuen Bundesländern lag. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich für die folgenden Jahre die Werte nicht wesentlich verändert haben.

### *Schlussfolgerung*

Die Zunahme des Engagements der Unternehmen in Forschung und Entwicklung, die sich seit Mitte der neunziger Jahre in Deutschland abzeichnet, ist mit einer Zunahme der externen FuE-Aufwendungen und damit einer Zunahme der FuE-Kooperationen einhergegangen. Dies zeigt sich sowohl an der Höhe der externen FuE-Aufwendungen als auch an der Zahl der Unternehmen, die FuE-Aufträge an andere Forschungsinstitute oder Unternehmen vergeben. Unternehmen, die im Verbund mit anderen FuE-Projekte realisieren und damit ihre Innovation gemeinsam vorantreiben, sind erfolgreicher als solche, die FuE im Alleingang realisieren. Dies gilt in Ost- und Westdeutschland gleichermaßen. Gleichwohl befinden sich die Unternehmen der neuen Bundesländer und der westdeutschen Unternehmen in unterschiedlichen Ausgangspositionen:

- Die Vernetzung mit dem Ausland ist bei den ostdeutschen Unternehmen extrem gering.
- Die hohen Fremdfinanzierungsanteile der in FuE-Netze eingebundenen Unternehmen zeigt, dass die ostdeutschen Unternehmen eher als Anbieter von FuE-Leistungen denn als Nachfrager auftreten.

Gleichfalls zeigt die Entwicklung der industriellen FuE auch in den neuen Bundesländern<sup>9</sup>, dass auch dort eine Stabilisierung erkennbar ist. Noch stehen in Ostdeutschland vergleichsweise wenig Großunternehmen als Kern von FuE-Netzen zur Verfügung. Dies wirkt sich hemmend auf die Bildung von Kooperationen aus. Die Ansiedlung von Großunternehmen ist auch ein Problem der erforderlichen Infrastruktur. Dabei gewinnt die vorhandene und erforderliche Industrieforschung einen wichtigen Platz.

9 vgl. Wissenschaftsstatistik (Hrsg.): FuE-Datenreport 1999, a.a.O.





---

FRANK HAVEMANN

## Bibliometrische Analyse biotechnologischer Forschung in der Region Berlin-Brandenburg 1980 bis 1998

### 1. *Einleitung*

Es muss hier darauf verzichtet werden, Begriff und Entwicklung der modernen Biotechnologie sowie mit ihr verbundene Hoffnungen und Befürchtungen zu diskutieren<sup>1</sup>; nur auf zwei Tendenzen der vergangenen zwei Jahrzehnte in diesem Forschungs- und Innovationsfeld möchte ich aufmerksam machen: Zum einen hat sich „der Kreis beteiligter natur- und ingenieurwissenschaftlicher Disziplinen, [...] ständig erweitert“, und zweitens „werden die Grenzen zwischen Grundlagenforschung, anwendungsorientierter Forschung und innovativer Umsetzung immer unschärfer“<sup>2</sup>. Dass in der Biotechnologie der Schritt von der grundlegenden Erkenntnis zur Anwendung sehr kurz sein kann, erklärt warum Firmen dieser Sparte bevorzugt in der Nähe von Forschungszentren gegründet werden<sup>3,4</sup>. Wenn dann noch Spezialisten mehrerer Disziplinen für eine Innovation benötigt werden, sind Standorte in Metropolen oder Wissenschaftsregionen erst recht im Vorteil. Vermutlich verringert sich dieser Vorteil auch nicht wesentlich durch die elektronische Vernetzung der Labore. Weil besonders Biotechnologie sich geographisch konzentriert entwickelt, ist es angemessen auch ihre Förderung auf Regionen auszurichten, wie es im BioRegio-Wettbewerb der Bundesregierung 1995 (bei dem die Region nicht zu den Gewinnern gehörte) ja auch geschah. Die Zahl biotechnologischer Firmen ist in den letzten Jahren weltweit stark gestiegen, so auch in Berlin-Brandenburg.

- 1 Shohet, S., *Biotechnology in Europe: contentions in the risk-regulation debate.* – In: *Science and Public Policy* (Guildford, England). 23(1996)2, S. 117 – 122.
- 2 Große, U. / Hartmann, F. / Voß, R. / Brandt, M., *Internationale Trends in der Biotechnologie.* (Sonderausgabe von BioLuck, Biotechnologiepark Luckenwalde), Berlin: Köster 1998.
- 3 Audretsch, D.B. / Stephan, P.E., *How Localized are Networks in Biotechnology?* (Discussion Paper FS IV 94 – 8.) Wissenschaftszentrum Berlin 1994.
- 4 Audretsch, David B. / Stephan, Paula E., *Company-Scientist Links: The Case of Biotechnology.* – In: *American Economic Review*, 86(1996)3, S. 641 – 652.

Die Region Berlin-Brandenburg zeichnet sich durch eine langfristig und organisch gewachsene Wissenschaftskultur aus, deren Effekt für die Forschung weder „massiver Mitteleinsatz noch erstklassiges Management“ zu ersetzen vermag<sup>5</sup>. Seit dem Fall der Mauer im Herbst 1989 wächst dieser Wissenschaftsraum wieder zusammen, nachdem es in den 80er Jahren fast keine Kooperation westberliner Naturwissenschaftler und ihrer Kollegen von der östlichen Seite mehr gegeben hatte<sup>6</sup>. Zugleich wurde ab 1990 das Wissenschaftssystem im Osten dem im Westen angepasst.

Bei der Entwicklung neuer Produkte und Verfahren sollte die Veröffentlichung in Fachzeitschriften nicht das vorrangige Ziel der beteiligten Wissenschaftler und Techniker sein. Innovationsprozesse können daher bibliometrisch nur schwer nachvollzogen werden; sie hinterlassen ihre Spur eher in Form von Patenten. Weil jedoch die moderne Biotechnologie der Grundlagenforschung so nahe ist, kann hier mehr als anderswo Aufschluss von der Analyse der Publikationen erwartet werden. Durch bibliometrische Untersuchungen lassen sich die Akteure eines Forschungsfeldes ermitteln (von einzelnen Wissenschaftlern bis zu ganzen Staaten), weiterhin deren Kooperationsbeziehungen und Spezialisierungen; und es können Indikatoren für Umfang und Beachtung ihrer Resultate gebildet werden.

Mit dem Aufstieg der modernen Biotechnologie wurden auch ihr gewidmete Journale gegründet, die jedoch nicht alle für dieses Innovationsfeld relevanten Beiträge enthalten. Die Streuung der Literatur eines Forschungsgebietes auch über entlegene Journale ist altbekannt, besonders ausgeprägt ist sie in stark interdisziplinären Feldern. Eine bibliometrische Analyse der biotechnologischen Forschung von Instituten und Forschungsgruppen sollte sich daher auf mehr als nur die speziellen Fachzeitschriften stützen; bei größeren Untersuchungseinheiten können auch diese schon eine brauchbare Datenbasis bilden.

Die mir zur Zeit zugänglichen Daten erlauben eine Analyse der Region Berlin-Brandenburg, die zunächst auf einem Satz speziell biotechnologischer Zeitschriften basiert. Dazu kommen einige Publikationsdaten, für die Journale der Biowissenschaften insgesamt einbezogen wurden, welche nun wiederum auch biotechnologisch nicht relevante Beiträge enthalten. Der Untersuchungszeitraum

- 5 Laitko, H., Berlin-Brandenburg – ein historisch gewachsener einheitlicher Wissenschaftsraum. – In: Wissenschaftsforschung: Jahrbuch 1994/95. Hrsg. v. H. Laitko, H. Parthey und J. Petersdorf. Marburg: BdWi-Verlag 1996. S. 17 – 44.
- 6 Havemann, F., Lokale, nationale und internationale Kooperationsbeziehungen Berliner Biowissenschaftler in den 80er Jahren und in der ersten Hälfte der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts. Erscheint in: Wissenschaftsforschung: Jahrbuch 1998/99. Hrsg. v. W. Umstätter und H. Parthey. Berlin 2000.

umfasst die 19 Jahre von 1980 bis 1998. Außer den Publikationen werden auch Patente, die in den Jahren 1992 bis 1994 (und auch 1996) angemeldet worden sind, herangezogen. Die Analyse ist Teil eines von der Bundesregierung und vom Berliner Senat geförderten Projektes zu den Biowissenschaften in Berlin-Brandenburg im Zeitraum 1980 -1999, in dem auch Zitationen analysiert werden.

## 2. Datenquellen

Hier sind vor allem die 19 Jahrgänge 1980 bis 1998 des vom *Institute for Scientific Information* (ISI) in Philadelphia herausgegebenen *Science Citation Index* (SCI) in der CD-ROM-Version zu nennen. Für diese bibliographische Datenbank werden vom ISI die internationalen Kernzeitschriften in allen naturwissenschaftlichen Disziplinen und Teildisziplinen ausgewertet. Es werden alle Autoren mit ihren Institutsadressen erfasst. Der Zeitschriftensatz des SCI wandelt sich von Jahr zu Jahr. Neue wichtige Journale werden aufgenommen, andere, die ihre Bedeutung verloren haben, werden nicht mehr ausgewertet. In jährlich gedruckt vorgelegten *Guides* zum SCI werden die Journale Spezialgebieten (*subfields*) zugeordnet, von denen sich einige überlappen.

1985 trug das ISI der Entwicklung durch Eröffnen des neuen *subfields* BIOTECHNOLOGY & APPLIED MICROBIOLOGY Rechnung, welches im 5-Jahres-*Guide* 1980–84 19 Journale umfasst<sup>7</sup>, im nächsten Jahrfünft 28 und 1990–94 bereits 54 Journale, wobei 13 von ihnen schon vor 1990 im SCI erfasst wurden, jedoch nicht in der Sparte Biotechnologie. 1997 wurden 75 im SCI indizierte Zeitschriften mit 11.249 Beiträgen diesem Gebiet zugeordnet. Ein Teil dieser Zeitschriften wurde auch in den Listen anderer Teilgebiete geführt, insbesondere beim Feld Mikrobiologie (1997: insgesamt 61 Journale, 10 davon auch Biotechnologie). Von den 22 Journalen, die 1997 zur Biotechnologie hinzukamen, waren 15 schon vorher unter anderen Rubriken im SCI erfasst.

Wenn es um die Biowissenschaften insgesamt geht, berücksichtige ich hier die Journale, die jeweils zu 26 biowissenschaftlichen Forschungsgebieten gehörten (Tabelle 1). Die Journalnamen können den *Guides* der kumulierten (gedruckten)

7 Drei von ihnen erschienen damals in Berlin, davon zwei, die noch heute in die Biotechnologie eingeordnet werden, nämlich *Acta Biotechnologica* (Ostberlin) und *Applied Microbiology and Biotechnology* (Westberlin). *Acta Biotechnologica* erscheint heute (laut ISI, [www.isinet.com](http://www.isinet.com)) in Weinheim (Wiley-VCH Verlag GmbH.), *Appl. Microbiol. Biotechnol.* in New York (Springer Verlag). Vgl.:

Czerwon, H.-J., Glänzel, W., Schubert, A., Analyse der Publikationstätigkeit auf dem Gebiet der Biotechnologie. Ein 30-Länder-Vergleich, 1981 bis 1985. – In: *Berichte zur Wissenschaftsinformation und -kommunikation* (Berlin). 12(1989)1, S. 3 – 22.

SCI-Ausgaben der drei Jahrfünfte von 1980 bis 1994 und den Jahres-Guides 1995 bis 1998<sup>8</sup> entnommen werden.

Bei den Patentdaten konnte ich mich auf den *Patentatlas Deutschland* von Siegfried Greif stützen<sup>9</sup>.

### 3. Publikationen

Der Anteil der Region Berlin-Brandenburg an den deutschen Publikationen in biotechnologischen SCI-Journalen betrug im Jahrfünft 1990–94 nur noch 8,5% nach über 11% in den 80er Jahren (Tabelle 2). Da in den Biowissenschaften insgesamt dieser Anteil ebenfalls sank, kann dies nicht darauf zurückgeführt werden, dass ab 1990 bedeutend mehr Zeitschriften als biotechnologisch eingeordnet wurden<sup>10</sup>. Die Region blieb vielmehr relativ zurück wegen der Umstrukturierung der ostdeutschen Wissenschaft in diesem Zeitraum<sup>11,12</sup>. Biowissenschaftliche Resultate aus dem Osten Deutschlands (ohne Westberlin) wurden zu Anfang der 90er Jahre jährlich absolut weniger publiziert als zum Ende der 80er Jahre, wo ihre Zahl jedoch schon stagnierte<sup>13</sup>. In der Biotechnologie halbierte Ostdeutschland nach dem Mauerfall seinen Weltanteil an SCI-Veröffentlichungen, während Westdeutschland ihn um ein Drittel steigerte (Tabelle 3).

Zum Ende der 90er Jahre begann sich der Osten wieder zu erholen. Die biowissenschaftlichen Publikationszahlen nähern sich jetzt wieder dem Niveau Eins zu Fünf im Verhältnis Ost zu West, welches zu Beginn des Untersuchungszeitraumes vorlag<sup>14</sup>. Auch die Region Berlin-Brandenburg konnte ihren Anteil an deutschen Publikationen in den Biowissenschaften und in der Biotechnologie wieder steigern (Tabelle 2).

- 8 Für 1998 lag mir bei der Analyse der *Guide* noch nicht vor, so dass ich auf die Listen des ISI im Internet zurückgreifen musste ([www.isinet.com](http://www.isinet.com)). Die dort gefundene Liste für die Biotechnologie ist im Anhang abgedruckt.
- 9 Greif, S., *Patentatlas Deutschland*, München: Deutsches Patentamt 1998.
- 10 Das erklärt teilweise, warum die absoluten Zahlen in der Biotechnologie stärker als in den Biowissenschaften insgesamt stiegen.
- 11 Czerwon, H.-J., Transformation of the science system in East Germany: a comparative study of the new federal states and East Berlin. – In: *Research Evaluation*, 5(1995)2, S. 131 – 136.
- 12 Meske, W., Die Umgestaltung des ostdeutschen Forschungssystems – eine Zwischenbilanz – . – In: Veröffentlichungsreihe der Forschungsgruppe Wissenschaftsstatistik des Wissenschaftszentrums Berlin für Sozialforschung (Berlin, Juni 1993) 38 S. Englische Version: Meske, W., *The Restructuring of the East German Research – a Provisional Appraisal – .* – In: *Science and Public Policy* (Guildford, England). 20 (1993)5, S. 298 – 312.
- 13 Havemann, a.a.O.

*Tabelle 1:* Liste der 26 biowissenschaftlichen Teilgebiete (*subfields*) im SCI, die bei der Analyse berücksichtigt wurden (ZZ – Zahl der Zeitschriften 1993).

ZZ	Subfield
165	Biochemistry & Molecular Biology
95	Plant Sciences
79	Cytology & Histology (Cell Biology)
72	Zoology (General)
67	Genetics & Heredity
57	Microbiology
56	Physiology
55	Agriculture
53	Marine & Freshwater Biology
50	Ecology
48	Biology (General)
44	Food Science & Technology
37	Biotechnology & Applied Microbiology
35	Entomology
33	Biophysics
31	Nutrition & Dietetics
28	Engineering, Biomedical
27	Agriculture, Dairy & Animal Science
24	Developmental Biology (Embryology)
19	Virology
18	Parasitology
15	Biology, Miscellaneous
14	Anatomy & Morphology
11	Microscopy
11	Ornithology
10	Mycology

- 14 Wobei allerdings das Forschungspersonal (insbesondere das leitende) im Osten zum Teil durch Wissenschaftler aus dem Westen ausgetauscht worden ist. Nach Schätzungen der Zeitschrift *Nature* haben ca. 1000 Professoren und 14000 Assistenten an den ostdeutschen Universitäten ihre Anstellung verloren. Mittlerweile seien dort 2/3 der C4-Stellen von Wissenschaftlern aus dem Westen besetzt, 2/5 der C3- und 1/5 der C2-Stellen. Vgl.:  
 Abott, A., Tough measures bring a scarred science back to the world stage. – In: *Nature* (London), 401(1999)14. Oct., S. 635 – 637.

Für 1980 bis 1984 scheint nach den Publikationszahlen der Osten Deutschlands dem Westen in der Biotechnologie weit voraus gewesen zu sein (Tabelle 3). Die Verhältnisse kehrten sich im zweiten Jahrfünft der 80er Jahre um, weil die in der DDR herausgegebene *Zeitschrift für Allgemeine Mikrobiologie*, nachdem sie in *Journal of Basic Microbiology* umbenannt worden war, im SCI nur noch unter der Rubrik Mikrobiologie geführt wurde. Aber auch ohne Berücksichtigung dieser Zeitschrift publizierten in den 80er Jahren die Forscher in der DDR fast halb so viel in biotechnologischen SCI-Journalen wie die in der BRD, während sie in den Biowissenschaften insgesamt nur weniger als ein Fünftel der westdeutschen Publikationen erreichten<sup>15</sup>. Ich führe dies darauf zurück, dass in der DDR die Biotechnologie „als eine für die Entwicklung des Landes bedeutungsvolle Schlüsseltechnologie eingestuft und mit politischen und staatlichen Mitteln zentralistisch-administrativ in die Volkswirtschaft, Wissenschaft, Forschung und Bildung sowie andere Bereiche zu integrieren versucht“ wurde<sup>16</sup>.

Die unterschiedliche Entwicklung in Ost und West lässt sich auch innerhalb der Region Berlin-Brandenburg deutlich belegen. Westberliner Forscher publizierten im dritten Jahrfünft des untersuchten Zeitraums einen größeren Anteil an deutschen Beiträgen in biotechnologischen Journalen als im zweiten (4,9% nach 3,7%, Tabellen 2 und 3). Aus Ost-Berlin und dem brandenburgischen Umland kamen hingegen in der ersten Hälfte der 90er Jahre anteilmäßig weniger solche Publikationen als vorher. Entfernt man bei der Analyse der Region die *Z. Allg. Mikrobiol.* aus dem biotechnologischen Zeitschriftensatz, so bleibt dennoch die Entwicklung ihrer Teile in den drei Jahrfünft bis 1994 höchst ungleichmäßig (Tabelle 3). Das brandenburgische Umland blieb hinter Berlin zurück, der Osten der Stadt verlor seine Führung an den Westen, wobei West-Berlin stärker von der Erweiterung des biotechnologischen Zeitschriftensatzes ab 1990 profitierte. Zum Ende der 90er Jahre steigerten alle drei Teile der Region ihre Publikationszahlen in der Biotechnologie verglichen mit dem Anfang des Jahrzehnts auf das Doppelte.

Wenn es um die Standorte biotechnologischer Forschung in der Region Berlin-Brandenburg geht, ist zuallererst Berlin-Buch zu nennen. Dort befand sich das *Zentralinstitut für Molekularbiologie* (ZIM) der Akademie der Wissenschaften (AdW) der DDR, das 1992 mit in das *Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin* (MDC), ein Großforschungszentrum, einging. Ich habe in den betracht-

15 Vgl.: Czerwon et al., a.a.O.

16 Voß, R. / Hartmann, F. / Schiele, K. / Brandt, M., Ostdeutsche Biotechnologie im Umbruch. (IRI-Schriften, Band 1, Inst. f. Regionale Innovationsforschung). Berlin: polycom 1998. (Zitat S. 9)

*Tabelle 2:* Publikationen aus Deutschland und aus der Region in biowissenschaftlichen und in biotechnologischen SCI-Journalen in den Publikationsjahren 1980 – 1998 (1998 ohne Berücksichtigung der Nachträge auf der CD-ROM 1999; mehr als ein Zehntel der Beiträge in SCI-Journalen wird erst im Jahr nach der Publikation indiziert, einige noch später). Es wurden nur die SCI-Publikationstypen *article*, *review*, *letter* und *note* berücksichtigt (nicht *meeting-abstracts*, *editorials* etc.).

Disziplinäre Einordnung	Geographische Herkunft	1980–84	1985–89	1990–94	1994 – 98 (ohne Nachtrag 1998)
Biowissenschaften (einschließlich Biotechnologie)	Deutschland	34.490	37.918	44.427	52.979
	Berlin-Brandenburg	4.536	4.542	4.783	6.014
	Anteil an Deutschland	13,2%	12,0%	10,8%	11,4%
Biotechnologie	Deutschland	526	640	1.878	3.164
	Berlin-Brandenburg	60	74	160	298
	Anteil an Deutschland	11,4%	11,6%	8,5%	9,5%

*Tabelle 3:* Journal- und Publikationszahlen im Teilgebiet Biotechnologie und Angewandte Mikrobiologie des SCI in den Publikationsjahren 1980 – 1998 (zu 1998 vgl. Tabelle 2). Alle Publikationen weltweit, die mit Adressen im Osten und im Westen Deutschlands, sowie die aus den Teilen der Region. Alle Publikationstypen (Zahlen in Klammern ohne *Z. Allg. Mikrobiol.*).

Jahrfünft	Zahl der Journale	Welt (nach Erfassungsjahren)	West- Deutschland (mit West- Berlin)	Ost- Deutschland (mit Ost- Berlin)	West- Berlin	Ost- Berlin	Land Brandenburg
1980–84	19	5.896	185	343	8	36	17
<i>Anteil an Welt</i>	(18)	(5.485)	(160) 3,1%	(79) 5,8%	(7)	(13)	(7)
1985–89	28	10.571	437	210	24	42	13
<i>Anteil an Welt</i>			4,1%	2,0%			
1990–94	54	30.073	1.696	245	92	56	16
<i>Anteil an Welt</i>			5,6%	0,8%			
1994–98 <sup>*)</sup>	78	46.377	2.932	434	188	111	30
<i>Anteil an Welt</i>	(1998)		6,3%	0,9%			

<sup>\*)</sup> Ohne Nachtrag 1998; mehr als ein Zehntel der Beiträge in den SCI-Journalen wird erst im Jahr nach der Publikation indiziert, einige noch später.

eten biotechnologischen Zeitschriften insgesamt fünfzigmal das ZIM als Adresse gefunden<sup>17</sup>. Die Schwerpunkte dieses Instituts lagen jedoch woanders; ungefähr die Hälfte der ca. 700 hier erfassten biowissenschaftlichen Publikationen des ZIM erschien in Journalen, die im SCI der Biochemie und der Molekularbiologie zugeordnet wurden. Die Forschungsstruktur des MDC ähnelt der des ZIM. Mehr als vierzigmal taucht die Adresse MDC in biotechnologischen Journalen auf, von denen auffallend viele auch der Genetik zugeordnet sind. Auf dem Biomedizinischen Forschungscampus Berlin-Buch (BBB) haben sich in den letzten Jahren biotechnologische Firmen gegründet, die ebenfalls als Publikationsadressen in SCI-Journalen zu finden sind.

Als nächstes muss der Fachbereich *Lebensmitteltechnologie und Biotechnologie* der im Westteil Berlins gelegenen Technischen Universität (TU) genannt werden<sup>18</sup>. Er taucht 41mal in Adressenangaben auf, davon weisen fünfzehn auf das *Institut für Biotechnologie* des Fachbereichs hin (seit 1988 mit biowissenschaftlichen Publikationen im SCI). Die anderen Einrichtungen an diesem Fachbereich konzentrierten sich stärker auf die Lebensmitteltechnologie.

Zwei weitere Einrichtungen anderer Fachbereiche der TU Berlin lieferten im Beobachtungszeitraum eine nennenswerte Zahl von Beiträgen in biotechnologischen SCI-Journalen (vor allem in den 90er Jahren), das *Institut für Biochemie und Molekulare Biologie* (Fachbereich Physik und Angewandte Chemie, 18mal in Adressenangaben) und das *Fachgebiet Hygiene* (jetzt im Institut für Technischen Umweltschutz, 22mal in Adressenangaben).

Durch die Erweiterung des biotechnologischen Zeitschriftensatzes (s. o.) traten in den 90er Jahren auch das *Institut für Molekulare Genetik* (IMG) der Max-Planck-Gesellschaft und das *Robert-Koch-Institut* (RKI, bis 1994 im Bundesgesundheitsamt) als Akteure mit mehr als zwanzig Adressennennungen in der biotechnologischen Forschung im SCI in Erscheinung. Beim IMG (31 Nennungen) waren es vor allem genetische Journale, die vom ISI auch der Biotechnologie zugeordnet wurden, beim RKI (23 Nennungen) virologische.

Wenig in SCI-Journalen (aber vorrangig in biotechnologischen) veröffentlichte das *Forschungszentrum Biotechnik* (FZB) im Osten Berlins, das 1988 aus dem *Institut für Technische Mikrobiologie* hervorgegangen war (zusammen 21mal

17 Ich gebe hier die Zahl der Autorschaften der Institute an, nicht die Zahl der Publikationen. Letztere ist immer dann geringer als erstere, wenn mehrere Abteilungen oder Teilinstitute als Adressen einzelner Publikationen angegeben sind.

18 „Als erste Universität Deutschlands führte die TU Berlin 1986 den Studiengang ‚Biotechnologie‘ ein [...]“. Kreuzfeld, M., „Modernität“ auf allen Ebenen? Wie die Gentechnologie das Fach Biologie verändert. – In: Forum Wissenschaft (1999)3, S. 13–15.



als Adresse). In den letzten Jahren konzentrierte sich das FZB mehr auf Serviceleistungen<sup>19</sup>.

Von den weniger als zwanzigmal in Adressen genannten in der Biotechnologie forschenden Einrichtungen sei noch das *Zentralinstitut für Ernährung* (ZIfE) der AdW der DDR in Bergholz-Rehbrücke (bei Potsdam) erwähnt (17 Nennungen). Sein Nachfolger, das *Deutsche Institut für Ernährungsforschung*, DIfE, hat diese Studien nicht im gleichen Maße fortgesetzt (3 Nennungen). Auch an der Humboldt-Universität zu Berlin, an der Freien Universität Berlin, an der Universität Potsdam und an weiteren öffentlichen und privaten Einrichtungen wurde biotechnologisch relevante Forschung betrieben.

#### 4. Patente

Die Biotechnologie ist im technischen Gebiet 16 der deutschen Patentklassifikation enthalten, das die Bezeichnung *Fermentierung, Zucker, Häute* trägt<sup>20</sup>. 1996 wurden beim Deutschen Patentamt für dieses Gebiet 323 Patente aus dem Inland angemeldet. Das Gebiet entspricht in der Internationalen Patentklassifikation den drei Klassen<sup>21</sup>:

- C12: Biochemie; Bier; Spirituosen; Wein; Essig; Mikrobiologie; Enzymologie; Mutation oder genetische Techniken (297 inländische Anmeldungen 1996),
- C13: Zuckerindustrie (5 inländische Anmeldungen 1996),
- C14: Häute; Felle; Pelze; Leder (21 inländische Anmeldungen 1996).

Im weiteren wird sich jeweils immer auf die durchschnittliche jährliche Zahl von Patentanmeldungen beim Deutsche Patentamt in den Jahren 1992 bis 1994 bezogen, geographisch nach dem Erfindersitz zugeordnet (nicht nach dem Anmeldersitz). „Im Durchschnitt geht eine Patentanmeldung auf zwei Erfinder zurück.“<sup>22</sup> Jedem Erfinder (und damit seiner Region) werden die Anmeldungen anteilig zugerechnet, je nach der Zahl der Erfinder, die das Patent anmeldeten (fraktionale Zählweise). Das erlaubt die Addition der Zahlen verschiedener Regionen.

Das Gebiet 16 nahm mit 190,9 Anmeldungen, das waren 0,6% aller deutschen Patentanmeldungen, den Rang 28 (von 32 Gebieten) ein; bei den Anmeldungen aus der Wissenschaft wurde mit 4,8% der Rang 5 erreicht<sup>23</sup>.

19 Voß et al., a.a.O., S. 158 ff. und persönliche Mitteilung.

20 Greif, a.a.O., Fußnote 32, S. 30.

21 Greif, a.a.O., Tab. 2.0.2., S. 146.

22 Greif, a.a.O., S. 12.

23 Greif, a.a.O., Abb. 17, S.32; Abb. 9, S.21; Tab. 2.1.2.1, S.152.

Für das Gebiet 16 kamen aus Berlin 16,9 Anmeldungen, das waren 1,6% der hauptstädtischen Patentanmeldungen (Rang 21), aus dem Land Brandenburg 1,5 Anmeldungen, das waren 0,7% aller brandenburgischen (Rang 27)<sup>24</sup>.

Die Arbeitsmarktregion Berlin umfasst auch den „Speckgürtel“ im brandenburgischen Umland<sup>25</sup>. Aus ihr kamen 18,1 Anmeldungen für das Gebiet 16 (die Regionen um Luckenwalde und die Stadt Brandenburg trugen noch je 0,1 Anmeldungen zum Ergebnis der gesamten Region Berlin-Brandenburg bei). Damit hatte die Berliner Arbeitsmarktregion den Rang 1 vor der Region Mannheim-Ludwigshafen-Heidelberg mit 18 und der Region München mit 17 Anmeldungen. München würde auf Platz 1 vorrücken, wenn man dort auch die Arbeitsmarktregion Weilheim mit 4,5 Anmeldungen zurechnete<sup>26</sup>.

Von diesen 18,1 Anmeldungen aus Berlin und dem Umland kamen 6,7 aus der Wissenschaft, verglichen mit je 4,1, welche jeweils die Wissenschaft der beiden anderen Spitzenregionen hervorbrachte<sup>27</sup>. Dafür war dort die Wirtschaft als Anmelder stärker (12,5 und 9,2 Anmeldungen). Die trug in Berlin nur 8,4 Anmeldungen bei<sup>28</sup>. Der Rest (3,0 Anmeldungen) kam von freien Erfindern (München: 3,6 Anmeldungen)<sup>29</sup>.

Bei den Patenten aller Klassen belegte die Arbeitsmarktregion Berlin mit 1129 Anmeldungen nur den Rang 6 (nach Stuttgart, München, Frankfurt/M., Mannheim-Ludwigshafen-Heidelberg und Köln)<sup>30</sup>. Das Land Berlin nahm mit 1040,8 Anmeldungen Rang 7 der Bundesländer ein. Auch mit den 207,9 Anmeldungen aus dem Land Brandenburg (Rang 14) würde die Region nicht Rheinland-Pfalz von Platz 6 verdrängen<sup>31</sup>. Bezieht man diese Werte jeweils auf die Zahl der Beschäftigten, verbleibt Berlin auf Rang 7, Brandenburg wird von Bremen überflügelt und sinkt auf Rang 15 (vor Mecklenburg-Vorpommern)<sup>32</sup>.

24 Greif, a.a.O., Abb. 9, S.21; Tab. 2.1.2.1, S.152.

25 Greif, a.a.O., Karte 1.2., S. 50.

26 Greif, a.a.O., Tab. 2.3.3, S. 200.

27 Greif, a.a.O., Tab. 2.3.5., S. 216.

28 Greif, a.a.O., Tab. 2.3.4., S. 208.

29 Greif, a.a.O., Tab. 2.3.6., S. 224.

30 Greif, a.a.O., Abb. 3, S. 14.

31 Greif, a.a.O., Abb. 2, S. 12.

32 Greif, a.a.O., Abb. 7, S. 18.

## 5. Fazit

Aktuelle und wirtschaftliche Aspekte der Biotechnologie in einer Region wie Berlin-Brandenburg lassen sich nicht in befriedigender Weise mit Informationen aus bibliographischen Datenbanken wie dem SCI beleuchten; da ist es lohnender im Internet zu recherchieren (in unserem Beispiel ist dies Dank dem der Biotechnologie in Berlin-Brandenburg gewidmeten Aktionszentrum BioTOP besonders einfach<sup>33</sup>). Längere Trends der Forschung in einer Region können jedoch mittels Daten aus dem SCI (wenn auch nicht ohne einen gewissen Aufwand) sichtbar gemacht werden. Die Analyse kleinerer Einheiten bleibt solange schwankend, wie nicht über die relativ grobe, unscharfe und wechselnde Zuordnung von Artikeln zu Forschungsgebieten mittels der SCI-Journal-Klassifikation hinausgegangen wird.

Ein Vergleich der Patentanmeldungen 1992 bis 1994 aus deutschen Arbeitsmarktregionen zeigt Berlin (einschließlich „Speckgürtel“) mit an der Spitze bei biotechnologisch relevanten Erfindungen, während die Region bei der Zahl der Patente aller Klassen nur Rang 6 nach süd- und westdeutschen Regionen belegt.

Von vielen Seiten wird die Entwicklung der Biotechnologie in Berlin-Brandenburg als sehr dynamisch eingeschätzt<sup>34</sup>. Bezüglich der Forschungsdaten kann dies hier nur bestätigt werden. Die Region scheint sich von den Turbulenzen nach dem Mauerfall relativ erholt zu haben und an Traditionen in der biowissen-

33 Web-Seite: [www.biotop.de](http://www.biotop.de). Dort fand ich am 12. 10. 1999 z.B. folgende Aussage: „Nach den Erhebungen des neuen ‚Biotechnologie Jahr- und Adressbuches 1999‘, das vom Berliner Fachverlag Biocom AG herausgegeben wird, gibt es in der Bundesrepublik derzeit 1250 Unternehmen, die biotechnologische Produkte herstellen oder Dienstleistungen anbieten. 502 von ihnen zählen zur Kategorie I: Firmen, die ihren Umsatz überwiegend mit Biotechnik erwirtschaften. In dieser Klasse ist Berlin mit 61 Unternehmen der bundesweite Spitzenreiter. Nimmt man Brandenburg mit 18 Firmen hinzu, wird der Abstand zu den übrigen deutschen Bio-Regionen noch größer: München (45 Unternehmen), Göttingen/Braunschweig/Hannover (30), Freiburg (26), Heidelberg (21), Leipzig/Jena (18), Hamburg (17), Düsseldorf (15), Marburg/Gießen (13) und Aachen/Jülich (10).“

34 Analysten aus der Bankenbranche empfehlen zuallererst die Bio- und Medizintechnologie und dann auch die IuK-Branche, die Mikrosystemtechnik, die Verkehrssystemtechnik in Berlin als „Kompetenzzentren“ zu entwickeln und begründen dies so: „Die Stadt ist der größte deutsche Hochschulstandort, kein Bundesland gibt mehr für Wissenschaft aus. Trotz Einsparungsmaßnahmen wird Berlin auch in Zukunft der wichtigste Universitätsstandort und das größte außeruniversitäre Wissenschaftszentrum in Deutschland bleiben.“ (Bohnsack, P. / Mertens, H., Regional Portrait Berlin. – In: Volkswirtschaft, August 1999. Berlin: Bankgesellschaft Berlin AG). Die Autoren fahren nach obigem Zitat fort: „Berlin ist die einzige Stadt Deutschlands, die sich trotz finanziell bedingter Umstrukturierungen auch künftig mit dem Kultur- und Wissensangebot internationaler Metropolen messen kann.“ (S. 7)

schäftlichen Forschung anzuknüpfen.

#### DANKSAGUNG

*Dr. Siegfried Greif (Deutsches Patentamt München), das Institut für Regionale Innovationsforschung (IRI) Berlin, das Aktionszentrum BioTOP Berlin-Brandenburg und das Institut für Bibliothekswissenschaft der Humboldt-Universität zu Berlin stellten mir Daten und Publikationen zur Verfügung, wofür ich mich hier bedanken möchte.*

*Anhang:* Journal-Liste des *subfields* BIOTECHNOLOGY & APPLIED MICROBIOLOGY, Science Citation Index 1999 (79 Journale; M: Zahl der Monate von einem Heft zum nächsten; J: Jahr, ab dem das Journal im SCI erfasst wurde, bei leerem Feld keine Angabe in der Quelle: <http://www.isinet.com>, 3.6.1999, 15.40 Uhr)

Journal	M	J	Verlag
<i>ACTA BIOTECHNOLOGICA</i>	3	83	WILEY-VCH VERLAG GMBH, PAPPALALLEE 3, WEINHEIM, GERMANY
<i>ADVANCES IN APPLIED MICROBIOLOGY</i>	12		ACADEMIC PRESS INC, 525 B ST, STE 1900, SAN DIEGO, CA, 92101-4495
<i>AMERICAN JOURNAL OF ENOLOGY AND VITICULTURE</i>	3		AMER SOC ENOLOGY VITICULTURE, PO BOX 1855, DAVIS, CA, 95617-1855
<i>ANIMAL BIOTECHNOLOGY</i>	6	96	MARCEL DEKKER INC, 270 MADISON AVE, NEW YORK, NY, 10016
<i>ANTISENSE &amp; NUCLEIC ACID DRUG DEVELOPMENT</i>	2	96	MARY ANN LIEBERT INC PUBL, 2 MADISON AVENUE, LARCHMONT, NY, 10538
<i>APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY</i>	1		AMER SOC MICROBIOLOGY, 1325 MASSACHUSETTS AVENUE, NW, WASHINGTON, DC, 20005-4171
<i>APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY</i>	1	82	HUMANA PRESS INC, 999 RIVERVIEW DRIVE, SUITE 208, TOTOWA, NJ, 07512
<i>APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY</i>	1	84	SPRINGER VERLAG, 175 FIFTH AVE, NEW YORK, NY, 10010
<i>BIOCATALYSIS AND BIOTRANSFORMATION</i>	3	97	HARWOOD ACAD PUBL GMBH, C/O STBS LTD, PO BOX 90, READING, ENGLAND, RG1 8JL
<i>BIODEGRADATION</i>	2	96	KLUWER ACADEMIC PUBL, SPUIBOULEVARD 50, PO BOX 17, DORDRECHT, NETHERLANDS, 3300
<i>BIOLOGICAL CONTROL</i>	3	93	ACADEMIC PRESS INC, 525 B ST, STE 1900, SAN DIEGO, CA, 92101-4495
<i>BIOLOGICALS</i>	3	90	ACADEMIC PRESS LTD, 24-28 OVAL RD, LONDON, ENGLAND, NW1 7DX
<i>BIOPROCESS ENGINEERING</i>	1	98	SPRINGER VERLAG, 175 FIFTH AVE, NEW YORK, NY, 10010
<i>BIORESOURCE TECHNOLOGY</i>	1	90	ELSEVIER SCI LTD, THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD, ENGLAND, OX5
<i>BIOSCIENCE BIOTECHNOLOGY AND BIOCHEMISTRY</i>	1	91	JAPAN SOC BIOSCI BIOTECHN AGROCHEM, JAPAN ACAD SOC CTR BLDG, 2-4-6 YAYOI
<i>BIOSENSORS &amp; BIOELECTRONICS</i>	1	90	ELSEVIER ADVANCED TECHNOLOGY, OXFORD FULFILLMENT CENTRE

<i>BIOTECHNIC &amp; HISTOCHEMISTRY</i>	2	91	<i>LIPPINCOTT WILLIAMS &amp; WILKINS, 227 EAST WASHINGTON SQ, PHILADELPHIA, PA, 19106</i>
<i>BIOTECHNOLOGY &amp; GENETIC ENGINEERING REVIEWS</i>	12		<i>INTERCEPT LTD, PO BOX 716, ANDOVER, ENGLAND, SP10 1YG</i>
<i>BIOTECHNOLOGY ADVANCES</i>	3	86	<i>PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON,</i>
<i>BIOTECHNOLOGY AND APPLIED BIOCHEMISTRY</i>	2	87	<i>PORTLAND PRESS LTD, 59 PORTLAND PL, LONDON, ENGLAND, W1N 3AJ</i>
<i>BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING</i>	24/52		<i>JOHN WILEY &amp; SONS INC, 605 THIRD AVE, NEW YORK, NY, 10158-0012</i>
<i>BIOTECHNOLOGY LETTERS</i>	1	79	<i>KLUWER ACADEMIC PUBL, SPUIBOULEVARD 50, PO BOX 17, DORDRECHT, NETHERLANDS, 3300</i>
<i>BIOTECHNOLOGY PROGRESS</i>	2	94	<i>AMER CHEMICAL SOC, 1155 16TH ST, NW, WASHINGTON, DC, 20036</i>
<i>CANADIAN JOURNAL OF MICROBIOLOGY</i>	1		<i>NATL RESEARCH COUNCIL CANADA, RESEARCH JOURNALS, MONTREAL RD, OTTAWA, CANADA, K1A 0R6</i>
<i>CANCER GENE THERAPY</i>	2	94	<i>STOCKTON PRESS, 345 PARK AVE SOUTH, NEW YORK, NY, 10010-1707</i>
<i>CRITICAL REVIEWS IN BIOTECHNOLOGY</i>	3	89	<i>CRC PRESS INC, 2000 CORPORATE BLVD NW, JOURNALS CUSTOMER SERVICE, BOCA RATON, FL,</i>
<i>CURRENT OPINION IN BIOTECHNOLOGY</i>	2	97	<i>CURRENT BIOLOGY LTD, 34-42 CLEVELAND STREET, LONDON, ENGLAND, W1P 6LE</i>
<i>CURRENT OPINION IN GENETICS &amp; DEVELOPMENT</i>	2	95	<i>CURRENT BIOLOGY LTD, 34-42 CLEVELAND STREET, LONDON, ENGLAND, W1P 6LE</i>
<i>DIAGNOSTIC MOLECULAR PATHOLOGY</i>	2	93	<i>LIPPINCOTT WILLIAMS &amp; WILKINS, 227 EAST WASHINGTON SQ, PHILADELPHIA, PA, 19106</i>
<i>DISEASE MARKERS</i>	3	85	<i>IOS PRESS, VAN DIEMENSTRAAT 94, AMSTERDAM, NETHERLANDS</i>
<i>DNA SEQUENCE</i>	2	94	<i>HARWOOD ACAD PUBL GMBH, C/O STBS LTD, PO BOX 90, READING, ENGLAND, RG1 8JL</i>
<i>ENZYME AND MICROBIAL TECHNOLOGY</i>	1/2	79	<i>ELSEVIER SCIENCE INC, 655 AVENUE OF THE AMERICAS, NEW YORK</i>
<i>FOLIA MICROBIOLOGICA</i>	2		<i>FOLIA MICROBIOLOGICA, INST MICROBIOLOGY, VIDENSKA 1083, PRAGUE 4, CZECH REPUBLIC, 142 20</i>
<i>FOOD CONTROL</i>	3	94	<i>ELSEVIER SCI LTD, THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD, ENGLAND, OX5</i>
<i>FOOD MICROBIOLOGY</i>	2	92	<i>ACADEMIC PRESS LTD, 24-28 OVAL RD, LONDON, ENGLAND, NW1 7DX</i>

<i>GENE THERAPY</i>	2	94	<i>STOCKTON PRESS, HOUNDMILLS, BASINGSTOKE, ENGLAND, RG21 6XS</i>
<i>GENETIC ANALYSIS-BIOMOLECULAR ENGINEERING</i>	2	90	<i>ELSEVIER SCIENCE BV, PO BOX 211, AMSTERDAM, NETHERLANDS, 1000 AE</i>
<i>GENOME</i>	2	87	<i>NATL RESEARCH COUNCIL CANADA, RESEARCH JOURNALS, MONTREAL RD, OTTAWA, CANADA,</i>
<i>GENOMICS</i>	1/2	90	<i>ACADEMIC PRESS INC, 525 B ST, STE 1900, SAN DIEGO, CA, 92101-4495</i>
<i>HUMAN GENE THERAPY</i>	1/2	90	<i>MARY ANN LIEBERT INC PUBL, 2 MADISON AVENUE, LARCHMONT, NY</i>
<i>HYBRIDOMA</i>	2	82	<i>MARY ANN LIEBERT INC PUBL, 2 MADISON AVENUE, LARCHMONT, NY</i>
<i>INSECT MOLECULAR BIOLOGY</i>	3	97	<i>BLACKWELL SCIENCE LTD, P O BOX 88, OSNEY MEAD, OXFORD, ENGLAND, OX2 0NE</i>
<i>JOURNAL OF ANTIBIOTICS</i>	1		<i>JAPAN ANTIBIOT RES ASSN, 2 20 8 KAMIOSAKI, SHINAGAWA KU, TOKYO, JAPAN, 141</i>
<i>JOURNAL OF APPLIED MICROBIOLOGY</i>	1	97	<i>BLACKWELL SCIENCE LTD, P O BOX 88, OSNEY MEAD, OXFORD, ENGLAND, OX2 0NE</i>
<i>JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY</i>	2	91	<i>KLUWER ACADEMIC PUBL, SPUIBOULEVAR 50, PO BOX 17, DORDRECHT, NETHERLANDS, 3300</i>
<i>JOURNAL OF BIOACTIVE AND COMPATIBLE POLYMERS</i>	3	98	<i>TECHNOMIC PUBL CO INC, 851 NEW HOLLAND AVE, BOX 3535, LANCASTER, PA, 17604</i>
<i>JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY</i>	1/2	85	<i>ELSEVIER SCIENCE BV, PO BOX 211, AMSTERDAM, NETHERLANDS, 1000 AE</i>
<i>JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY</i>	1	79	<i>JOHN WILEY &amp; SONS LTD, BAFFINS LANE, CHICHESTER, W SUSSEX, ENGLAND, PO19 1UD</i>
<i>JOURNAL OF FERMENTATION AND BIOENGINEERING</i>	1	89	<i>SOC BIOSCIENCE BIOENGINEERING JAPAN, OSAKA UNIV, FACULTY ENGINEERING, 2-1</i>
<i>JOURNAL OF FOOD PROTECTION</i>	1	77	<i>INT ASSOC MILK FOOD ENVIRONMENTAL SANITARIANS, INC, 6200 AURORA AVE, SUITE 200W,</i>
<i>JOURNAL OF FOOD SAFETY</i>	3	83	<i>FOOD NUTRITION PRESS INC, 6527 MAIN ST, P O BOX 374, TRUMBULL, CT</i>
<i>JOURNAL OF GENERAL AND APPLIED MICROBIOLOGY</i>	2		<i>CHOME MICROBIOL RES FOUNDATION, JAPAN ACADEMIC SOC CENTER BLDG, 4-16 YAYOI 2 TOKYO, JAPAN, 113</i>
<i>JOURNAL OF GENERAL VIROLOGY</i>	1		<i>SOC GENERAL MICROBIOLOGY, MARLBOROUGH HOUSE, BASINGSTOKE RD, SPENCERS WOODS READING, ENGLAND, RG7 1AE</i>
<i>JOURNAL OF MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY</i>	2	98	<i>SPRINGER-VERLAG SINGAPORE PTE LTD, , SINGAPORE, SINGAPORE</i>

<i>JOURNAL OF THE AMERICAN SOCIETY OF BREWING CHEMISTS</i>	3	94	<i>AMER SOC BREWING CHEMISTS INC, 3340 PILOT KNOB RD, ST PAUL, MN, 55121-2097</i>
<i>JOURNAL OF TUMOR MARKER ONCOLOGY</i>	3	94	<i>INT ACAD TUMOR MARKER ONCOLOGY INC PUBL, SCHWARZSPANIERSTR 15, VIENNA, AUSTRIA,</i>
<i>JOURNAL OF VIROLOGICAL METHODS</i>	1	80	<i>ELSEVIER SCIENCE BV, PO BOX 211, AMSTERDAM, NETHERLANDS</i>
<i>LETTERS IN APPLIED MICROBIOLOGY</i>	1	86	<i>BLACKWELL SCIENCE LTD, P O BOX 88, OSNEY MEAD, OXFORD, ENGLAND, OX2 0NE</i>
<i>MAMMALIAN GENOME</i>	1	92	<i>SPRINGER VERLAG, 175 FIFTH AVE, NEW YORK, NY, 10010</i>
<i>METHODS IN MICROBIOLOGY</i>	12		<i>ACADEMIC PRESS LTD, 24-28 OVAL RD, LONDON, ENGLAND, NW1 7DX</i>
<i>MOLECULAR AND CELLULAR PROBES</i>	2	87	<i>ACADEMIC PRESS LTD, 24-28 OVAL RD, LONDON, ENGLAND, NW1 7DX</i>
<i>MOLECULAR MARINE BIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY</i>	3	97	<i>SPRINGER VERLAG, 175 FIFTH AVE, NEW YORK, NY, 10010</i>
<i>MOLECULAR PLANT-MICROBE INTERACTIONS</i>	1	93	<i>AMER PHYTOPATHOLOGICAL SOC, 3340 PILOT KNOB ROAD, ST PAUL, MN, 55121</i>
<i>MUTATION RESEARCH-DNA REPAIR</i>	2	94	<i>ELSEVIER SCIENCE BV, PO BOX 211, AMSTERDAM, NETHERLANDS,</i>
<i>MUTATION RESEARCH-FUNDAMENTAL AND MOLECULAR MECHANISMS OF MUTAGENESIS</i>	1/2	94	<i>ELSEVIER SCIENCE BV, PO BOX 211, AMSTERDAM, NETHERLANDS, 1000 AE</i>
<i>MUTATION RESEARCH-GENETIC TOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL MUTAGENESIS</i>	1/2	97	<i>ELSEVIER SCIENCE BV, PO BOX 211, AMSTERDAM, NETHERLANDS, 1000 AE</i>
<i>MUTATION RESEARCH-REVIEWS IN MUTATION RESEARCH</i>	2	97	<i>ELSEVIER SCIENCE BV, PO BOX 211, AMSTERDAM, NETHERLANDS, 1000 AE</i>
<i>NATURE BIOTECHNOLOGY</i>	1	96	<i>NATURE AMERICA INC, 345 PARK AVE SOUTH, NEW YORK, NY</i>
<i>PHARMACOGENETICS</i>	2	97	<i>LIPPINCOTT WILLIAMS &amp; WILKINS, 227 EAST WASHINGTON SQ, PHILADELPHIA, PA, 19106</i>
<i>PLANT CELL TISSUE AND ORGAN CULTURE</i>	1	83	<i>KLUWER ACADEMIC PUBL, SPUIBOULEVARD 50, PO BOX 17, DORDRECHT, NETHERLANDS, 3300</i>
<i>PREPARATIVE BIOCHEMISTRY &amp; BIOTECHNOLOGY</i>	3	96	<i>MARCEL DEKKER INC, 270 MADISON AVE, NEW YORK, NY, 10016</i>
<i>PROCESS BIOCHEMISTRY</i>	2		<i>ELSEVIER SCI LTD, THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD, ENGLAND, OX5</i>
<i>PROTEIN ENGINEERING</i>	1	87	<i>OXFORD UNIV PRESS, GREAT CLARENDON ST, OXFORD, ENGLAND</i>



---

<i>PROTEIN EXPRESSION AND PURIFICATION</i>	2	92	<i>ACADEMIC PRESS INC, 525 B ST, STE 1900, SAN DIEGO, CA, 92101-4495</i>
<i>STEM CELLS</i>	2	93	<i>ALPHAMED PRESS, ONE PRESTIGE PLACE, STE 290, MIAMISBURG, OH,</i>
<i>SYSTEMATIC AND APPLIED MICROBIOLOGY</i>	4	83	<i>GUSTAV FISCHER VERLAG, VILLENANG 2, JENA, GERMANY, D-07745</i>
<i>TRANSGENIC RESEARCH</i>	2	95	<i>KLUWER ACADEMIC PUBL, SPUIBOULEVARD 50, PO BOX 17, DORDRECHT, NETHERLANDS, 3300</i>
<i>TRENDS IN BIOTECHNOLOGY</i>	1	85	<i>ELSEVIER SCI LTD, THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD, ENGLAND, OX5</i>
<i>YEAST</i>	1/2	90	<i>JOHN WILEY &amp; SONS LTD, BAFFINS LANE, CHICHESTER, W SUSSEX, ENGLAND, PO19 1UD</i>



## Bibliographie Karlheinz Lüdtke.

Zusammengestellt anlässlich seines 60. Geburtstages.

### *I. Monographische Schriften*

Funktion und Wirksamkeit der sozialen Kontrolle und Möglichkeiten ihrer Erfassung – ein Beitrag zur Analyse der Wirkungsweise sozialer Normen. Promotionsschrift zum Dr. phil., vorgelegt der Gesellschaftswissenschaftlichen Fakultät des Wissenschaftlichen Rates der Humboldt-Universität zu Berlin. Berlin: 1975.

Zur Funktion von Konflikten für die Persönlichkeits- und Gruppenentwicklung. Promotionsschrift zum Dr.sc.phil., vorgelegt der Sektion Wissenschaftlicher Kommunismus der Karl-Marx-Universität Leipzig. Leipzig: 1984.

### *II. Artikel in periodischen und anderen fortlaufend erscheinenden Publikationen*

(mit Bärbel Beck & Jochen Tripoczky): Ein Ansatz zur Untersuchung von Verhaltensnormen in Forschungsgruppen. – In: Faktoren der Intensivierung kollektiver Forschung. Untersuchung in Forschungsgruppen: Materialien einer Fallstudie. Akademie der Wissenschaften der DDR. Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft. Berlin 1978 (Studien und Forschungsberichte, Heft 9, Teil I). S.169–193.

Annahmen zur Funktion von Kooperation, Kommunikation und der interpersonellen Wahrnehmung im Arbeitsprozeß von Forschungsgruppen. – In: Faktoren der Intensivierung kollektiver Forschung. Untersuchung in Forschungsgruppen: Materialien einer Fallstudie. Akademie der Wissenschaften der DDR. Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft. Berlin 1978 (Studien und Forschungsberichte, Heft 9, Teil II). S. 205–245.

Normenaneignung und gesellschaftliche Kontrolle. – In: Zeitschrift für Philosophie (Berlin). 28(1980)3. S. 217–230.

- „Anomalien“ als Voraussetzung für Wissenschaftsentwicklungen. – In: Alternativen zu Th.S.Kuhn: Wissenschaftstheoretische und –historische Untersuchungen zu Kuhns Konzept der Wissenschaftsentwicklung. Akademie der Wissenschaften der DDR. Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft. Berlin 1983 (Studien und Forschungsberichte, Heft 15). S. 51–96.
- (mit Ursula Geissler & Jochen Tripoczky): Die Ursprünge der Molekularbiologie. Eine wissenschaftshistorisch orientierte Auseinandersetzung mit der auf Thomas S. Kuhn zurückgehenden Entwicklungsauffassung von N.C.Mullins. – In: Alternativen zu Th.S.Kuhn: Wissenschaftstheoretische und –historische Untersuchungen zu Kuhns Konzept der Wissenschaftsentwicklung. Akademie der Wissenschaften der DDR. Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft. Berlin 1983 (Studien und Forschungsberichte, Heft 15). S. 25–50.
- (mit Ursula Geissler & Jochen Tripoczky): Die Herausbildung der Phagengenetik – Thesen zur Entwicklung eines wissenschaftlichen Spezialgebietes. – In: Studien zur Entstehungsgeschichte naturwissenschaftlicher Disziplinen. Rostock: Universität Rostock 1984 (Rostocker Wissenschaftshistorische Manuskripte, Heft 10). S. 15–27.
- Der Unterschied zwischen der Entstehung von Entdeckungen und ihrer Anerkennung. Die Darstellung dieses Unterschiedes an einigen Aspekten der Geschichte der DNS-Struktur-Aufklärung. – In: Gibt es vorzeitige Entdeckungen? Beiträge zum Institutskolloquium am 5.Juli und 6.September 1984. Akademie der Wissenschaften der DDR. Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft. Berlin 1985 (Kolloquien, Heft 47). S. 56–71.
- Zum Entwicklungszusammenhang zwischen sozialen und kognitiven Strukturen im Wissenschaftsprozess. – In: Faktoren der Intensivierung der Forschungsarbeit in Gruppen: Materialien der wissenschaftlichen Tagung am 24.und 25.November 1984. Akademie der Wissenschaften der DDR. Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft. Berlin 1985 (Kolloquien, Heft 50). S. 18–38.
- Zur Entwicklung neuer Forschungsrichtungen aus soziologischer Sicht. – In: Bedingungen für die Entstehung und Entwicklung neuer Forschungsrichtungen. Beiträge zum internationalen Symposium am 26. und 27.November 1986 in Berlin. Akademie der Wissenschaften der DDR. Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft. Berlin 1987 (Kolloquien, Heft 59). S. 49–60.

(mit Volker Heyse): Erzeugen Kreative Konflikte ? – In: Wissenschaft und Fortschritt (Berlin). 38(1988)12. S. 304–306.

Zum Entwicklungsverhältnis zwischen empirischem und theoretischem Wissen am Beispiel der Geschichte des Virusbegriffes. – In: Bedingungen für die Entstehung und Entwicklung neuer Forschungsrichtungen.. Beiträge zum 2. Internationalen Symposium vom 23. bis 25. November 1988 in Berlin. Akademie der Wissenschaften der DDR. Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft. Berlin 1989 (Kolloquien, Heft 69, Teil II). S. 293–301.

(mit Renate Müller): La science et le mur de Berlin. – In: Alliage. Science et culture en Europe (Nice). (1993)16/17. S. 91–95.

Interdisziplinarität und Wissensentwicklung. Wie Phänomene in interdisziplinärer Kommunikation wissenschaftlich bedeutsam werden. – In: Journal for General Philosophy of Science (Dordrecht). 26(1995). S. 93–117.

Wissensentwicklung und der Wandel der Interaktionsformen im Forschungsprozeß. – In: Jenaer Beiträge zur Soziologie (Jena). 1(1995)2. S. 1–32.

(mit Annedore Schulze): Zur Interpretation von Ergebnissen in der mikrosoziologischen und sozialpsychologischen Wissenschaftsforschung. – In: Journal für Psychologie. Theorie, Forschung, Praxis (Heidelberg). Heft 3 (1995). S. 76–89.

Development of Knowledge and the Change of Forms of the Researchers' Intercourse. – In: Science and Science of Science (Kiev). 14(1996)3/4. S. 68–74.

Wissenschaftsentwicklung und der Wandel disziplinärer Strukturen. – In: Ethik und Sozialwissenschaften. Streitforum für Erwägungsliteratur (Opladen). 8(1997)4. S. 562–564.

Zur Geschichte der frühen Virusforschung. Wie sich mit technischen Fortschritten bei der Untersuchung „filtrierbarer“ infektiöser Agenzien das Verständnis der Virusnatur entwickelt hatte – In: Preprint 125. Schriftenreihe des Max-Planck-Institutes für Wissenschaftsgeschichte . Berlin: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte 1999. 88 Seiten.

### *III. Beiträge zu wissenschaftlichen Sammelbänden und Lexika*

(mit Lothar Läsker, Annedore Schulze & Jochen Tripoczky): Kooperation und Kommunikation als Faktoren der Intensivierung der Forschung. – In: Intensivierung der Forschung. Bedingungen, Faktoren, Probleme. Hrsg. v. Günter

- Kröber, Lothar Läscher & Hubert Laitko. Berlin: Akademie-Verlag 1984. S. 231–301.
- Inwiefern ist Wissenschaftsentwicklung ein Prozeß des Wandels sozialer Strukturen wissenschaftlicher Gemeinschaften? Zu Thomas S. Kuhns Verständnis der Wissenschaftsentwicklung. – In: *Wissenschaft – das Problem ihrer Entwicklung*, Band 1. Hrsg. v. Günter Kröber & Hans-Peter Krüger. Berlin: Akademie-Verlag 1987. 215–244.
- Der Wandel von Formen kooperativ-kommunikativer Wissenschaftlerbeziehungen und die Wissenschaftsentwicklung. – In: *Wissenschaft – das Problem ihrer Entwicklung*, Band 2. Hrsg. v. Günter Kröber. Berlin: Akademie-Verlag 1988. S. 205–223.
- (mit Renate Müller): Characteristics of public understanding of science in a changing society: an inquiry in East and West Berlin. – In: *Science and Culture in Europe*. Ed. by John Durant & Jane Gregory. London: Science Museum 1993. S. 77–80.
- (mit Renate Müller): Wissenschaftsverständnis der Öffentlichkeit. Zu Ergebnissen einer Befragung in Berlin. – In: *Wissenschaftsforschung: Jahrbuch 1994/1995*. Hrsg. v. Hubert Laitko, Heinrich Parthey & Jutta Petersdorf. Marburg: BdWI-Verlag 1996. S. 218–258.
- Von elementaren Merkmalsklassifikationen zu systematischem Wissen – ein Prozeß der Annäherung an die natürliche Ordnung der Dinge? – In: *25 Jahre Wissenschaftsforschung in Ost-Berlin. Reden eines Kolloquium*, Berlin 23.09.1995. Hrsg. v. Hansgünter Meyer. Berlin: Schriftenreihe des Wissenschaftssoziologie und –statistik e.V., Heft 10, 1996, S. 169–177.
- Das öffentliche Wissenschaftsverständnis in Ost und West. Zu Ergebnissen einer Befragung in Berlin. – In: *Deutsch-Deutsche Sprachspiele. Tagungsband zur 9. Tagung Friedenspsychologie Jena 1996*. Hrsg. v. Wolfgang Frindte, Thomas Fahrig & Thomas Köhler. Münster: LIT-Verlag 1997. S. 108–122.
- Entstehung und Entwicklung wissenschaftlich-technischer Neuerungen in soziologischer Sicht. – In: *Wissenschaftsforschung: Jahrbuch 1996/1997*. Hrsg. v. Siegfried Greif, Hubert Laitko & Heinrich Parthey. Marburg: BdWI-Verlag 1998. S. 33–64.
- Die Entwicklung wissenschaftlichen Wissens in interdisziplinären Diskursen. – In: *Interdisziplinarität – Herausforderung an die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Festschrift zum 60. Geburtstag von Heinrich Parthey*. Hrsg. v. Walther Umstätter & Karl-Friedrich Wessel. Bielefeld: Kleine-Verlag 1999. S. 62–107.

*IV. Rezensionen*

- (mit Jochen Tripoczky): (Rezension) Hiebsch, H., *Wissenschaftspsychologie*. Berlin 1977. – In: *Deutsche Literaturzeitung* (Berlin). 100(1979)7/8. S. 542–543.
- (Rezension) Mucchielli, R., *Einstellungen und Manipulation. II. Praktische Übungen*. Salzburg 1975. – In: *Zeitschrift für Psychologie* (Leipzig). 186(1978)3. S. 423.
- (Rezension) Hollander, E.P., *Principles and Methods of Social Psychology*. New York 1976. – In: *Zeitschrift für Psychologie* (Leipzig). 186(1978)4. S. 558–559.
- (Rezension) Ziegler, J., *Kommunikation als paradoxer Mythos: Analyse und Kritik der Kommunikationstheorie Watzlawiks und ihrer didaktischen Verwertung*. Weinheim-Basel 1977. – In: *Zeitschrift für Psychologie* (Leipzig). 187(1979)1. S.120–121.
- (Rezension) Levy, L. & Anderson, L., *Psychological Stress: Population, Environment and Quality of Life*. New York et al. 1975. – In: *Zeitschrift für Psychologie* (Leipzig). 188(1980)1. S. 107.
- (mit Ursula Geißler): (Rezension) Hahn, T., Welskopf, R. u.a., *Innovation und Motivation in Forschung, Entwicklung und Überleitung*. Berlin 1988. – In: *Zeitschrift für Philosophie* (Berlin). 38(1990)2. S.191–192.





## Publikationen der Mitglieder im Jahr 1999

- Bonitz, Manfred, Eberhard Bruckner & Andrea Scharnhorst:** The Matthew Index – concentration patterns and Matthew core journals. – In: *Scientometrics* (Oxford-Amsterdam). 44(1999)3. S. 361–378.
- Bonitz, Manfred, Eberhard Bruckner & Andrea Scharnhorst:** The Micro-structure of the Matthew Effect for Countries. – In: *Proceedings of the Seventh International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics*, July 5–8, 1999, Colima, Mexico. Ed. by César A. Macias-Chapula. Colima, Mexico: Universidad de Colima 1999. S. 50–64.
- Bonitz, Manfred:** Die wissenschaftlichen Talente der Nationen oder die Wissenschaft und das Himmelreich. – In: *Jahresringe, Vorträge und Sitzungsberichte* (Dresden). 26(1999)6.
- Bonitz, Manfred:** The scientific talents of nations. Impact of the Matthew effect for countries on scientometrics, sociology of science, and research policy. Paper presented at the Second Conference on Baltic Studies in Europe Values and Norms in Societies in Change. Vilnius, August 20–23, 1997. – In: *Mokslotyra*. 3(1999), S. 9–20.
- Fuchs-Kittowski, Klaus, Lutz J. Heinrich & Arno Rolf:** Information entsteht in Organisationen – in kreativen Unternehmen – Wissenschaftstheoretische und methodologische Konsequenzen für die Wirtschaftsinformatik. – In: *Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie – Bestandsaufnahme und Perspektive*. Hrsg. von Jörg Bekker, Wolfgang König, Reinhard Schütte, Oliver Wendt, Stephan Zelewski. Wiesbaden: Verlag Gabler 1999. S. 329–361.
- Wolff, Bernd, Klaus Fuchs-Kittowski, Ralph Klischewski, Andreas Möller & Arno Rolf:** Organisationstheorien als Fenster zur Wirklichkeit. – In: *Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie – Bestandsaufnahme und Perspektive*. Hrsg. von Jörg Becker, Wolfgang König, Reinhard Schütte, Oliver Wendt, Stephan Zelewski. Wiesbaden: Verlag Gabler 1999. S. 289–327.
- Fuchs-Kittowski, Klaus, Lutz J. Heinrich & Bernd Wolff:** Wahrheit und Wirklichkeit, (Wirtschafts-) Information und (Unternehmens-) Organisation. – In: *Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie – Grundpositionen und Theoriekerne*. Hrsg. von Reinhard Schütte, Jukka Siedentopf und Stephan

- Zelewski. Essen: Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement 1999. (Arbeitsbericht Nr. 4). S. 123–145.
- Fuchs-Kittowski, Klaus:** Künstliche Intelligenz in der Medizin – Herausforderungen und Visionen an der Jahrtausendwende in der Medizin. In: *Medizin und Gesellschaft* (Berlin). 95(1999)16, S. 31–72.
- Fuchs-Kittowski, Klaus:** Neither Matter nor Mind: On the Essence and on the Evolutionary Stage Conception of Information. – In: *The Quest for a Unified Theory of Information*. Ed. by Wolfgang Hofkirchner. *World Futures General Evolution Studies* (Amsterdam). 13(1999), S. 331–350.
- Fuchs-Kittowski, Klaus:** Informationsentstehung und Informationsverarbeitung. – In: *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät* (Berlin). 32(1999)5, S. 81–85.
- Fuchs-Kittowski, Klaus & Peter Krüger:** The Noosphere Vision of Pierre Teilhard de Chardin and Vladimir I. Vernadsky in the Perspective of Information and Communication – In: *The Quest for a Unified Theory of Information*. Ed. by Wolfgang Hofkirchner. *World Futures General Evolution Studies* (Amsterdam). 13(1999), S. 525–551.
- Gläser, Jochen:** Datenschutzzrechtliche und ethische Probleme beim Publizieren von Fallstudien: Informationsschutz und „Objektschutz“. – In: *Soziologie* (Berlin). 4(1999), S. 30–45.
- Gläser, Jochen & Grit Laudel:** Theoriegeleitete Textanalyse? Das Potential einer variablenorientierten qualitativen Inhaltsanalyse. Discussion Paper P99–401. Berlin: Wissenschaftszentrum für Sozialforschung 1999.
- Gläser, Jochen & Grit Laudel:** here do the Actants/ Mangles Come From? Paper prepared for the conference „Sociality/Materiality: The Status of the Object in Social Science“, Brunel University, 9–11 September 1999. Discussion Paper P99–402. Berlin: Wissenschaftszentrum für Sozialforschung 1999.
- Greif, Siegfried:** Patente – Statistik und Analysen. – In: *Deutsches Patent- und Markenamt. Jahresbericht 1998*. Hrsg. vom Deutschen Patent- und Markenamt. München: Deutsches Patent- und Markenamt 1999. S. 13–22.
- Greif, Siegfried:** Die neuen Bundesländer im Patentgeschehen der Bundesrepublik Deutschland. – In: *Patentschutz und Innovation in Geschichte und Gegenwart*. Hrsg. von Rudolf Boch. Frankfurt am Main: Peter Lang 1999. S. 147–166.
- Greif, Siegfried:** Der Beitrag der Wissenschaft zur Produktion des technischen Wissens. – In: *Ifo-Studien. Zeitschrift für empirische Wirtschaftsforschung* (Berlin-München) 45(1999)4, S. 541–559.

- Bruch, Rüdiger vom & Eckart Henning** (Hrsg.): Wissenschaftsfördernde Institutionen im Deutschland des 20. Jahrhunderts. Beiträge der gemeinsamen Tagung des Lehrstuhls für Wissenschaftsgeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin und des Archivs zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft, 18.-20. Februar 1999. Berlin: Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft 1999. 214 Seiten. (= Dahlemer Archivgespräche, 5).
- Henning, Eckart:** Auslandsbeziehungen der Kaiser-Wilhelm- / Max-Planck-Gesellschaft im Überblick (1911–1998) mit einem Anhang von Dirk Ullmann. – In: Wissenschaftsfördernde Institutionen im Deutschland des 20. Jahrhunderts. Beiträge der gemeinsamen Tagung des Lehrstuhls für Wissenschaftsgeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin und des Archivs zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft, 18. – 20. Februar 1999. Hrsg. von Rüdiger vom Bruch und Eckart Henning. Berlin: Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft 1999. S. 95–118.
- Henning, Eckart & Wolfgang Neugebauer:** Zum 50. Band des Jahrbuchs für brandenburgische Landesgeschichte und Inhaltsübersicht 1991–1998. – In: Jahrbuch für brandenburgische Landesgeschichte (Berlin). 50(1999), S. 7–11.
- Henning, Eckart:** In memoriam Alfred Friedel Wolfert. – In: Vierteljahrsschrift N. F. 15 (Berlin). (1999), S. 181–183.
- Henning, Eckart:** Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft. Jahresbericht 1998. – In: Jahrbuch der Max-Planck-Gesellschaft 1999. München: Max-Planck-Gesellschaft 2000. S. 883 – 886 (Hauptband) u. S. 515 (Veröffentlichungsband).
- Henning, Eckart:** (Rezension) L. Noack / J. Splett: Bio – Bibliographien. Brandenburgische Gelehrte der Frühen Neuzeit. – In: Forschungen zur Brandenburgischen und Preußischen Geschichte N. F. (Köln). 9(1999), S. 246–247.
- Henning, Eckart:** (Rezension) Brandenburgische Landesgeschichte und Archivwissenschaft. Festschrift für Lieselott Enders. – In: Jahrbuch für die Geschichte Mittel- und Ostdeutschlands N. F. (München). 45(1999), S. 369–370.
- Henning, Eckart:** (Rezension) Friedrich II. und die europäische Aufklärung. Hrsg. von Martin Fontius. Berlin: Duncker & Humblod 1999. 128 Seiten. – In Jahrbuch für brandenburgische Landesgeschichte (Berlin). 50(1999), S. 247.
- Henning, Eckart:** (Rezension) Dorothee Geßner/Hannelore Robin: Schlösser und Gärten in Potsdam, Bibliographie. Potsdam: Verw. d. staatl. Schlösser u.

- Gärten 1999. – In: Jahrbuch für brandenburgische Landesgeschichte (Berlin). 50(1999), S. 248.
- Henning, Eckart:** (Rezension) Karl Schmid: Geblüt, Herrschaft, Geschlechtsbewusstsein. Grundfragen zum Verständnis des Adels im Mittelalter. – In: Herold-Jahrbuch N. F. (Neustadt/Aisch). 4(1999), S. 258–259.
- Henning, Eckart:** (Rezension) Christa Mache: Beiträge zur Geschichte der Heraldisch-Genealogischen Gesellschaft „Adler“. Wien: Selbstverlag 1998, 2 Teile. – In: Herold-Jahrbuch N. F. (Neustadt/Aisch). 4(1999), S. 246–247.
- Henning, Eckart:** (Rezension) Petra Hauke: Spezialbibliotheken in Deutschland, Band 4: Geschichte, Historische Hilfswissenschaften. Bad Honnef: Bock & Herchen 1999. 258 Seiten. – In: Herold-Jahrbuch N. F. (Neustadt/Aisch). 4(1999), S. 259–261.
- Kant, Horst:** The German Uranium Project and the Kaiser-Wilhelm-Institute for Physics. – In: Proceedings of the International Symposium HISAP'96 Science and Society – History of the Soviet Atomic Project (40's-50's). Vol. 2; Moskva: IZDAT 1999. S. 57–67.
- Kant, Horst:** Kalendarium zu ausgewählten Daten der Naturwissenschafts- und Technikgeschichte (Schwerpunkt Physikgeschichte) für 1999. – In: Physik in der Schule (Berlin). 37(1999)1, S. 60–61.
- Kant, Horst:** (Rezension) Albrecht Fölsing: Heinrich Herz – eine Biographie. Hamburg 1997. – In: Spektrum der Wissenschaft. (1999)2, S. 82.
- Kant, Horst:** (Rezension) V. J. Frenkel: Professor Friedrich Houtermans – Arbeiten, Leben, Schicksal. St. Petersburg: Isd. PIJaf RAN 1997. – In: Physikalische Blätter (Weinheim). 55(1999)9, S. 80.
- Kant, Horst:** Bericht über ein Symposium der Arbeitsgruppe Wissenschaftsgeschichte zur Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. – In: NTM. Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin N. S. (Basel). 7(1999)1, S. 42–43.
- Kretschmer, Hildrun:** Types of two-dimensional and three-dimensional collaboration patterns. In: Proceedings of the Seventh Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics, Colima, Mexico, July 5–8, 1999. Edited by C. A. Macias-Chapula. Universidad de Colima, Colima, Mexico, S. 244–257.
- Kundra, R. & Hildrun Kretschmer:** Collaboration patterns in Indian Medicine. In: Proceedings of the Seventh Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics, Colima, Mexico, July 5–8, 1999. Edited by C. A. Macias-Chapula. Universidad de Colima, Colima, Mexico, S. 258–266.

- Kretschmer, Hildrun:** Development of structures in coauthorship networks. In: *Emerging trends in scientometrics*. Edited by P.S. Nagpaul, K.C. Garg, B.M. Gupta, S. Bhattacharya, A. Basu, P. Sharma, S. Kumar. Allied Publishers LTD. New Delhi. 1999, S. 157–198.
- Kretschmer, Hildrun:** Collaboration, Part I: Scientific Productivity and Collaboration. – In: *International Library Movement*. 21(1999)2, S. 82–112.
- Kretschmer, Hildrun:** Collaboration, Part II: Reflection of a Proverb in Scientific Communities: Birds of a Feather Flock Together. – In: *International Library Movement*. 21(1999)3, S. 113–134.
- Kretschmer, Hildrun:** A New Model of Scientific Collaboration. Part I: Types of Two-Dimensional and Three-Dimensional Collaboration Patterns. – In: *Scientometrics (Amsterdam-Budapest)*. 46(1999)3, S. 501–518.
- Kundra, R. & Hildrun Kretschmer:** A New Model of Scientific Collaboration. Part II: Collaboration Patterns in Indian Medicine. – In: *Scientometrics (Amsterdam-Budapest)*. 46(1999)3, S. 519–528.
- Laitko, Hubert:** Laudatio zum 60. Geburtstag von Heinrich Parthey. – In: *Interdisziplinarität – Herausforderung an die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Festschrift zum 60. Geburtstag von Heinrich Parthey*. Hrsg. von Walther Umstätter und Karl-Friedrich Wessel. Bielefeld: Kleine Verlag 1999. S. 10–18.
- Laitko, Hubert:** Disziplingeschichte und Disziplinverständnis. – In: *Disziplinen im Kontext. Perspektiven der Disziplingeschichtsschreibung*. Hrsg. von Volker Peckhaus und Christian Thiel. München: Wilhelm Fink Verlag 1999. S. 21–60.
- Laitko, Hubert:** The Reform Package of the 1960s: The Policy Finale of the Ulbricht Era. – In: *Science under Socialism. East Germany in Comparative Perspective*. Ed. by Kristie Macrakis and Dieter Hoffmann. Cambridge, Mass., and London: Harvard University Press 1999, S. 44 – 63.
- Laitko, Hubert:** Martin Guntau als Wissenschaftshistoriker. – In: *Geohistorische Blätter (Berlin)*. Heft 2(1999), S. 165–176.
- Laitko, Hubert:** Die Preußische Akademie der Wissenschaften und die neuen Arbeitsteilungen. Ihr Verhältnis zum „Kartell der deutschsprachigen Akademien und zur Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. – In: *Die Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften zu Berlin im Kaiserreich*. Hrsg. von Jürgen Kocka unter Mitarb. von Rainer Hohlfeld und Peter Th. Walther. Berlin: Akademie Verlag 1999 (= Interdisziplinäre Arbeitsgruppen.

Forschungsberichte. Hrsg. von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften Bd.7), S. 149–173.

- Laitko, Hubert:** Kommunikative und geographische Strukturen in der Wissenschaft. – In: 1929 CALCULI 1999. Hrsg. von J. Folta. Prague: National Technical Museum in Prague – Society for the History of Science and Technology 1999 (= Acta historiae rerum naturalium necnon technicarum. Prague Studies in the History of Science. New Series Vol. 3), S. 259–282.
- Laitko, Hubert:** Historizität und Globalität: Der Beitrag der Geowissenschaften zum wissenschaftlichen Weltbild des 19. Jahrhunderts. – In: Zeitschrift für geologische Wissenschaften (Berlin). Heft 1/2 (1999), S. 37–59.
- Laitko, Hubert:** Wissenschaft und Weltbild. – In: Das zweite Jahrtausend. Streiflichter. Berlin: Neues Deutschland 1999, S. 68–73.
- Laitko, Hubert:** Zentrum, Magistrale und Fluchtpunkt. Der Wissenschaftsstandort Berlin im 20. Jahrhundert. – In: Wissenschaftsfördernde Institutionen im Deutschland des 20. Jahrhunderts. Beiträge der gemeinsamen Tagung des Lehrstuhls für Wissenschaftsgeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin und des Archivs zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft, 18. – 20. Februar 1999. Hrsg. von Rüdiger vom Bruch und Eckart Henning. Berlin: Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft 1999 (= Dahlemer Archivgespräche Bd.5), S. 11–39.
- Laudel, Grit:** Interdisziplinäre Forschungskooperation. Erfolgsbedingungen der Institution „Sonderforschungsbereich. Berlin: edition sigma 1999. 278 Seiten.
- Laudel, Grit & Jochen Gläser:** Konzepte und empirische Befunde zur Interdisziplinarität: Einige Möglichkeiten für die Wissenschaftssoziologie, an Arbeiten von Heinrich Parthey anzuschließen. – In: Interdisziplinarität - Herausforderung an die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Festschrift zum 60. Geburtstag von Heinrich Parthey. Hrsg. von Walther Umstätter u. Karl-Friedrich Wessel. Bielefeld: Kleine Verlag 1999. S. 19–36.
- Lüdtke, Karlheinz:** Entwicklung wissenschaftlichen Wissens in interdisziplinären Diskursen. – In: Interdisziplinarität - Herausforderung an die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Festschrift zum 60. Geburtstag von Heinrich Parthey. Hrsg. von Walther Umstätter u. Karl-Friedrich Wessel. Bielefeld: Kleine Verlag 1999. S. 62–107.
- Lüdtke, Karlheinz:** Zur Geschichte der frühen Virusforschung. Wie sich mit technischen Fortschritten bei der Untersuchung „filtrierbarer“ infektiöser Agenzien das Verständnis der Virusnatur entwickelt hatte. – In: Preprint 125. Schriftenreihe des Max-Planck-Institutes für Wissenschaftsgeschichte. Berlin: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte 1999. 88 Seiten.

- Parthey, Heinrich:** Persönliche Interdisziplinarität in der Wissenschaft. – In: Interdisziplinarität - Herausforderung an die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Festschrift zum 60. Geburtstag von Heinrich Parthey. Hrsg. von Walther Umstätter u. Karl-Friedrich Wessel. Bielefeld: Kleine Verlag 1999. S. 243–254.
- Scharnhorst, Andrea:** Modelle von Wertedynamik und Kompetenzentwicklung. – In: Kompetenzbiographie – Kompetenzmilieu – Kompetenztransfer. Hrsg. von John Erpenbeck u. Volker Heise. QUEM Report, Schriften zur beruflichen Weiterbildung, Heft 62. Berlin 1999, S. 106–140.
- Scharnhorst, Andrea & Werner Ebeling:** Zur Modellierung der Kompetenzentwicklung durch selbstorganisiertes Lernen. – In: Kompetenzbiographie – Kompetenzmilieu – Kompetenztransfer. Hrsg. von John Erpenbeck u. Volker Heise. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung 1999, S. 31–69.
- Ebeling, Werner, Andrea Scharnhorst, Miguel A. Jiménez Montano & Karmeshu:** Evolutions- und Innovationsdynamik als Suchprozeß in komplexen adaptiven Landschaften. – In: Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf den Weg ins nächste Jahrhundert. Hrsg. von Klaus Mainzer. Berlin: Springer-Verlag 1999, S. 446–473.
- Umstätter, Walther:** Die Rolle der Digitalen Bibliothek im Wissensmanagement. Einige grundlegende Gedanken. – In: Informations- und Wissenstransfer in der Medizin und im Gesundheitswesen. Hrsg. von K.-H. Kaltenborn. - (ZfBB Sonderheft ; 72) S. 506 - 533.
- Schwarz, Iris & Walther Umstätter:** Medizinische Online-Dienste und CD-ROM-Datenbanken. – In: Informations- und Wissenstransfer in der Medizin und im Gesundheitswesen. Hrsg. von K.-H. Kaltenborn. - (ZfBB Sonderheft ; 72)
- Umstätter, Walther:** Bibliothekswissenschaft als Teil der Wissenschaftswissenschaft - unter dem Aspekt der Interdisziplinarität. – In: Interdisziplinarität - Herausforderung an die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Festschrift zum 60. Geburtstag von Heinrich Parthey. Hrsg. von Walther Umstätter u. Karl-Friedrich Wessel. Bielefeld: Kleine Verlag 1999. S. 146–160.
- Umstätter, Walther & Karl-Friedrich Wessel (Hrsg.):** Interdisziplinarität - Herausforderung an die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler: Festschrift zum 60. Geburtstag von Heinrich Parthey. Bielefeld: Kleine Verlag 1999. 286 Seiten

- Ewert, Gisela & Walther Umstätter:** Die Definition der Bibliothek. Der Mangel an Wissen über das unzulängliche Wissen ist bekanntlich auch ein Nichtwissen. – In: Bibliotheksdienst. 33(1999)6. S. 957-971.
- Schwarz, Iris & Walther Umstätter:** Die vernachlässigten Aspekte des Thesaurus: dokumentarische, pragmatische, semantische und syntaktische Einblicke. – In: nfd Information - Wissenschaft und Praxis. 50(1999)4. S. 197-203.
- Umstätter, Walther:** Die Beziehung der Bibliothekswissenschaft zur Architektur. – In: ABI-Technik. 19(1999)3. S. 232-242
- Wagner-Döbler, Roland:** William Goffman's „Mathematical Approach to the Prediction of Scientific Discoveries, revisited. Proceedings of the 7th Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics, Juli 5–8, 1999, Colima, México. Ed by Cèsar A. Macias-Chhapula. Colima, Mexiko: Universidad de Colima 199. S. 522–531. Revised as „William Goffman's 'Mathematical Approach to the Prediction of Scientific Discovery' and its application to mathematical logic, revisited“. – In: Scientometrics (Oxford-Amsterdam). 46(1999). S. 635–645.
- Wagner-Döbler, Roland:** Cognitive Mobility. – In: Nagpaul, P. S. (ed.) (u.a.). Emerging Trends in Scientometrics. Essays in honour of Ashok Jain. New Delhi (u.a.): Allied Publishers 1999. S. 225–245. [Überarb. engl. Version von: Kognitive Mobilität. Eine makroskopische Untersuchung der Wanderung von Wissenschaftlern zwischen Forschungsgebieten am Beispiel der Mathematik. Journal for General Philosophy of Science, Vol. 29, 1998, S. 265–287.]
- Wagner-Döbler, Roland:** Rescher's principle of diminishing marginal returns of scientific research. – In: Die Zukunft des Wissens. 18. Deutscher Kongreß für Philosophie, Konstanz 1999. Workshop-Beiträge. Hrsg. v. Jürgen Mittelstraß. Konstanz: Universitätsverlag 1999. S. 464–465.
- Wagner-Döbler, Roland & Jan Berg:** Physics 1800–1900: A quantitative outline. – In: Scientometrics (Oxford-Amsterdam). 46(1999). S. 213–285.
- Zott, Regine** (Hrsg.): Wilhelm Ostwald: Zur Geschichte der Wissenschaft. Vier Manuskripte aus dem Nachlaß von Wilhelm Ostwald. (Mit einer Einführung über W. Ostwalds wissenschaftshistorische Beiträge zum Problem des wissenschaftlichen Schöpfertums sowie Kommentaren zu den einzelnen Manuskripten). 2. überarb. Auflage. Frankfurt am Main: Verlag Harry Deutsch 1999. 285 Seiten.
- Zott, Regine:** (Rezension) Harenberg-Lexikon der Nobelpreisträger. Alle Nobelpreisträger von 1901 bis heute. Ihre Leistung, ihr Leben, ihre Wirkung. Dortmund: Harenberg 1998. 703 Seiten. – In: Herold-Jahrbuch. Neue Folge. 4. Band. Neustand an der Aisch: Verlag Degener & Co. 1999, S. 234–237.



**Zott, Regine:** (Rezension) Die chemischen Dissertationen der Universität Göttingen 1734–1900. Eine Bibliographie. Göttingen: Verlag Museum der Chemie 1998. 216 Seiten. – In: NTM. Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin N. S. (Basel). 7(1999)4, S. 263–264.



## Autorenverzeichnis

**Dr. Siegfried Greif**, Deutsches Patentamt, Zweibrückenstr. 12, D-80331 München

**Dr. Christoph Grenzmann**, Geschäftsführer der SV-Gemeinnützige Gesellschaft für Wissenschaftsstatistik mbH im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, Barkhovenallee 1, D-45239 Essen, e-mail: *grenzmann@stifterverband.de*

**Hans-Eduard Hauser**, Institut für Mittelstandsforschung Bonn, Maximilianstr. 20, D-53111 Bonn, e-mail: *hauser@ifm-bonn.org*

**Dr. Frank Havemann**, Gesellschaft für Wissenschaftsforschung e.V., Prenzlauer Promenade 149 – 153, D-13186 Berlin

**Dr. Gunter Kayser**, Geschäftsführer des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn, Maximilianstr. 20, D-53111 Bonn

**Dr. Andrea Scharnhorst**, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Reichpietschufer 50, D-10785 Berlin, Germany, e-mail: *as@medea.wz-berlin.de*

**PD Dr. Roland Wagner-Döbler**, Institut für Philosophie der Universität Augsburg, Universitätsstr. 1, D-86159 Augsburg, e-mail: *rfw-d@t-online.de*

**Prof. Dr. Manfred Wölfling**, Heinrich-Roller-Str. 19, D-10405 Berlin, e-mail: *Manfred.Woelfling@t-online.de*

**Dr. Janos Wolf**, Neuer Garten I-39, D-12524 Berlin, e-mail: *mail@janos-wolf.de*

