

Selbstorganisation der Wissenschaft in Forschungsinstituten

Forschungsinstitute wurden und werden als selbstorganisierte Systeme konzipiert, wie es ihre Geschichte zeigt. Bereits in den 1980er Jahren wurde versucht, die Selbstorganisation der Wissenschaft darzustellen.¹ Zu Beginn unseres Jahrhunderts entwickelten sich nun auch wissensbasierte Experimentalpraktiken mit selbstorganisatorischen Eigenschaften.² Selbstorganisierende Systeme – auch die der Forschungstechnik – stehen stets vor Alternativen, in denen es ihnen selber zukommt, eine Auswahl zutreffen. Forscher befinden sich in diesem Sinne stets in Forschungssituationen, in denen sie sich für oder gegen das Ausführen bestimmter Handlungen entscheiden müssen. Mitunter wird geäußert, formelle Organisationen könnten nicht die geeignete Untersuchungseinheit für Analysen von Forschungsentwicklungen sein, wie Karin Knorr-Cetina meint: Viel zu groß seien solche Organisationen, um der Unbestimmtheit von Prozessen auf die Spur zu kommen, in denen Neues entstehe. „Wählen wir eine Untersuchungseinheit, die größer ist als die tatsächliche Handlungssituation, so kann diese Unbestimmtheit nicht wahrgenommen werden.“³

In diesem Sinn werden wir im Folgenden vor allem die Selbstorganisation der Forschungssituation und Kooperation in Forschungsinstituten analysieren.

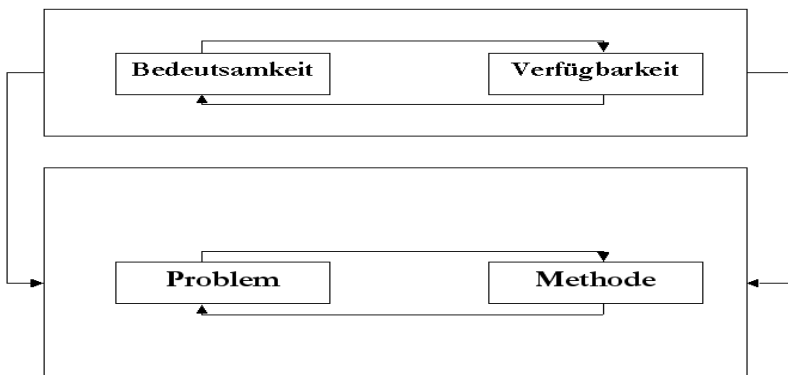
- 1 Siehe unter anderen: Ebeling, W., Scharnhorst, A., Selforganization models for field mobility of physicists. – In: Czechoslovak Journal of Physics. B 36(1986)1, S. 43 – 46; Ebeling, W. / Scharnhorst, A., Evolutionsmodelle für die Dynamik von Wissenschaftsgebieten. – In: Wissenschaft – Das Problem ihrer Entwicklung. Band 2. Hrsg. v. Günter Kröber. Berlin: Akademie-Verlag 1988. S. 187 – 202 Krohn, W. / Küppers, G., Die Selbstorganisation der Wissenschaft. Frankfurt am Main: Suhrkamp 1989.
- 2 King, R. D. / Whelan, K. E. / Jones, F. M. / Reiser, Ph. G. K. / Bryant, Ch. H. / Muggleton, St. H. / Kell, D. B. / Oliver, St. G.; Functional genomic hypothesis generation and experimentation by a robot scientist. – In: Nature. 427(2004)15. Januar 2004, S. 247 – 251.
- 3 Knorr-Cetina, K., The Manufacture of Knowledge. Oxford: Pergamon Press 1981; dt., Die Fabrikation von Erkenntnis. Zur Anthropologie der Naturwissenschaft. Frankfurt am Main: Suhrkamp 1984. S. 83 f.

1. *Entstehung neuer Forschungssituationen*

Selbstorganisation in der Wissenschaft wird meist durch eine Instabilität bisheriger Forschungssituationen gegenüber mehr oder weniger kleinen Veränderungen des Zusammenhangs von Problemfeldern und Methodengefügen in der Forschung eingeleitet. Wissenschaftsdynamik ist dann in einem weiteren Schritt der Selbstorganisation mit der Instabilisierung von bestehenden und der Restabilisierung von neuen Forschungssituationen verbunden.

Unter einer Forschungssituation verstehen wir solche Zusammenhänge zwischen Problemfeldern und Methodengefüge, die es dem Wissenschaftler gestatten, die Problemfelder mittels tatsächlicher Verfügbarkeit an Wissen und Forschungstechnik methodisch zu bearbeiten.

Abbildung: 1 *Methodologische Struktur der Forschungssituation*



Diesem Verständnis der methodologischen Struktur von Forschungssituationen folgend, sind neben den zwei Gebilden Problemfeld und Methodengefüge und den Relationen zwischen ihnen außerdem zwei weitere Elemente zu beachten: zum einen die tatsächliche Verfügbarkeit ideeller und materieller Mittel zur Problembearbeitung und zum anderen die Bedeutsamkeit von Forschungsproblemen nach dem Beitrag ihrer möglichen Lösung sowohl für den Erkenntnisfortschritt als auch für die Lösung von gesellschaftlichen Praxisproblemen (vgl. Abbildung 1). Denn sollen Forschungssituationen mit einem neuartigen Zusammenhang zwischen Problem und Methode sowie Gerät (Soft- und Hardware) herbeigeführt werden, dann können sich von den denkbaren Forschungsmöglichkeiten auch

nur die realisieren, für die von der Gesellschaft die entsprechenden Mittel und Kräfte bereitgestellt werden. Entscheidungen darüber sind jedoch von der aufgezeigten Problemrelevanz abhängig. Die Bedeutsamkeit, d. h. die Bewertung der Probleme nach dem Beitrag ihrer möglichen Lösung sowohl für den Erkenntnisfortschritt als auch für die Lösung von gesellschaftlichen Praxisproblemen, reguliert letztlich die tatsächliche Verfügbarkeit an wissens- und gerätemäßigen Voraussetzungen zur Problembearbeitung.

Im Folgenden möchten wir drei Fälle der Selbstorganisation der Forschung unterscheiden, und zwar erstens Variationen im methodischen Vorgehen, zweitens Variationen beim Problemformulieren durch Modellieren und schließlich drittens Variationen beim Problemformulieren und methodischen Vorgehen.

1.1. Variationen im methodischen Vorgehen – Selbstorganisation bei der Entdeckung der Kernspaltung schwerer Atome im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie (Nobelpreis für Chemie 1944)

Mehr oder weniger kleine oder große Variationen im methodischen Vorgehen sind bei der Bearbeitung von Forschungsproblemen üblich. Auch für Otto Hahn und Fritz Straßmann (Lise Meitner hatte im Juli 1938 Berlin verlassen müssen) gab es Veranlassung Ende 1938 die chemische Art der bei der Uran-Neutron-Reaktion entstehenden Beta-Strahler nochmals zu untersuchen und dabei die Art der Neutroneneinwirkung auf das Uran, Dauer und Geschwindigkeit der Neutronen zu variieren. Interessant ist dabei, dass der Grundversuch nicht nur für die Entdeckung der Uranspaltung sondern auch für Otto Hahns Eintritt in die wissenschaftliche Forschung im Jahr 1904⁴ entscheidend war, wie Walther Gerlach beschreibt: „Bei der Auskristallisation einer Salzlösung fallen chemisch ähnliche Elemente zusammen aus, zum Beispiel alle Erdalkalien oder im speziellen Fall mit dem Barium das nächst höhere Erdalkali Radium. Aber die Löslichkeit dieser beiden Salze ist nicht genau dieselbe; da die des Radiumsalzes ein wenig kleiner ist, scheidet sich bei Beginn der Auskristallisation mit viel Barium etwas mehr Radium ab als später. Wird diese frühzeitig unterbrochen, der zuerst sich bildende Niederschlag abfiltriert, wieder gelöst und erneut in gleicher Weise zur Kristallisation gebracht, so kann nach vielfacher Wiederholung dieser „Methode der fraktionierten Kristallisation“ das Radium im zunehmenden Maße angereichert werden. Die Methode ist auch durchführbar, wenn die gesuchte Substanz – hier das Radium – in kleinsten unwägbaren Mengen in der Lösung enthalten ist. Da

4 Hahn, O., A New Radio-Active Element, which Evolves Thorium Emanation. Preliminary Communication. (Comm. Sir William Ramsay). – In: Proc. Royal. Soc. (London). 76 A(1905), S. 115 – 117.

sich Radium in das leicht erkennbare gasförmige Element, die radioaktive Radium-Emanation umwandelt, ist deren (aus ihrer Strahlung meßbare) Menge ein Kriterium für die Radiumanreicherung.“⁵ Am Montag Abend 19. (Dezember 1938) schrieb Otto Hahn im Labor an Lise Meitner nach Stockholm: „Es ist nämlich etwas bei den Radium-Isotopen, was so merkwürdig ist, daß wir es vorerst nur Dir sagen ... Sie lassen sich von allen Elementen außer Barium trennen; alle Reaktionen stimmen. Nur eine nicht – wenn nicht höchst seltsame Vorgänge vorliegen: Die Fraktionierung funktioniert nicht. Unsere Radium-Isotope verhalten sich wie Barium. ... Wir wollen aber noch vor Institutsschluß etwas über die sogenannten Ra-Isotope für die „Naturwissenschaften“ schreiben, weil wir sehr schöne Kurven haben.“⁶ Experimentell gesehen hatten Otto Hahn und Fritz Straßmann – auch nach der Auffassung von Walther Gerlach – schon vielmehr erreicht als andere: „Die Auftrennung der komplexen Produkte der Uran-Neutronen-Reaktion in zahlreiche einheitliche radioaktive Komponenten, deren Einheitlichkeit und deren Aufeinanderfolge in mehreren Umwandlungsreihen durch die genau bestimmte Halbwertszeit als gesichert anzusehen war; die Veröffentlichung dieser Versuchsergebnisse erschien wichtiger als ihre Deutung.“⁷ Die Autoren kommen in ihrer Publikation im ersten Januarheft 1939 der „Naturwissenschaften“ zum Schluß: „Unsere „Radiumisotope“ haben die Eigenschaften des Bariums; als Chemiker müßten wir eigentlich sagen, bei den neuen Körpern handelt es sich nicht um Radium, sondern um Barium; denn andere Elemente als Radium oder Barium kommen nicht in Frage.“⁸ Kreative Wissenschaftler haben ein Gefühl für die wirklich entscheidenden Fragen, aber sie entwickeln zugleich auch das richtige Gespür dafür haben, inwieweit es beim gegebenen Stand der Forschungstechnologie überhaupt möglich sein wird, die Probleme mit dem zur Verfügung stehenden oder zu entwickelnden Instrumentarium wirklich bewältigen zu können.

Für die Entdeckung der Kernspaltung erhielt Otto Hahn den Nobelpreis für Chemie 1944.⁹

5 Gerlach, W., Otto Hahn. Ein Forscherleben unserer Zeit. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 1984. S. 23.

6 Siehe ebenda, S. 85.

7 Ebenda, S. 87- 90.

8 Hahn, O. / Straßmann, F., Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. – In: Naturwissenschaften. 27(1939), S. 11 – 15. Eingegangen am 22. Dezember 1938, Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, Berlin-Dahlem).

9 Hahn, O., Von den natürlichen Umwandlungen des Urans zu seiner künstlichen Zerspaltung. (Nobelvortrag, gehalten 13.12.1946 in Stockholm). – In: Les Prix Nobel. The Nobel Prizes 1946. Stockholm: The Nobel Foundation 1948., S. 167 – 183.

1.2. Variationen beim Problemformulieren durch Modellieren – Selbstorganisation bei der Modellierung der räumlichen Spiralstruktur der Desoxyribonucleinsäure im Cavendish Laboratory in Cambridge (England) unter Benutzung der durch Röntgenstrukturanalyse im King's College in London erhaltenen Daten (Nobelpreis für Physiologie und Medizin 1962)

Bei einem wissenschaftlichen Erkenntnisproblem liegen die Problemformulierungen in einem solchen Reifegrad vor, dass einerseits alle Bezüge auf das bisher vorhandene Wissen nachweisbar nicht ausreichen, um ein wissenschaftliches Erkenntnisziel zu erreichen, und dass andererseits der Problemformulierung ein methodisches Vorgehen zur Gewinnung des fehlenden Wissens zugeordnet werden kann. In jedem Fall erfordert die Lösung eines Problems die Gewinnung von Wissen, und zwar so lange, bis die im Problem enthaltenen Fragen beantwortet sind, damit sich die für das gestellte Problem charakteristische Verbindung von Fragen und Aussagen auflöst.

So waren sich zum Beispiel Francis Crick und James Watson – nach Meinung von Francis Crick – „überzeugt, daß die Desoxyribonucleinsäure (DNS) wichtig sei, aber ich glaube, uns war beiden nicht klar, als wie wichtig sie sich erweisen sollte. Ursprünglich war ich der Ansicht, das Problem der Röntgenbeugungsmuster sei die Angelegenheit von Maurice (Maurice Wilkins) und Rosalind (Rosalind Franklin) und ihren Kollegen am King's College in London, aber mit der Zeit wurden sowohl Jim als auch ich ungeduldig, weil sie bei ihrer Arbeit nur so langsam vorankamen und ihre Methoden so umständlich waren. ... Der Hauptunterschied, was den Ansatz betraf, war, daß Jim und ich sehr genau darüber Bescheid wußten, wie die Alpha-Helix entdeckt worden war. Uns war klar, welche Schwierigkeiten die bekannten interatomaren Abstände und Winkel darstellten, und daß die Forderung, die Struktur müsse eine regelmäßige Helix sein, die Anzahl der freien Parameter drastisch einschränkte. Die Wissenschaftler am King's College standen einem solchen Ansatz eher ablehnend gegenüber. Vor allem Rosalind wollte soweit als möglich ihre experimentellen Daten ausnutzen. Ich vermute, sie war der Ansicht, ein Erraten der Struktur, indem man verschiedene Modelle ausprobieren und nur ein Minimum an experimentellen Daten heranzog sei zu gewagt.“¹⁰ Francis Crick und James Watson haben ihr entgültiges Modell der Doppelhelix der DNS (oder zumindest einer DNS-Drehung) am Samstag, den 7. März 1953 fertigstellt. James Watson schrieb an Max Delbrück am 12. März 1953: „ Unser Modell (ein gemeinsames Projekt von Francis Crick und mir) steht in keinerlei Beziehung zu den ursprünglichen oder zu den abgeän-

10 Crick, F., Ein irres Unternehmen. Die Doppelhelix und das Abenteuer Molekularbiologie. München-Zürich: Piper 1988. S. 98 – 99.

derthen Pauling-Corey-Shoemaker-Modellen: es ein seltsames Modell und weist mehrere ungewöhnliche Züge auf. Doch da die DNS ja eine ungewöhnliche Substanz ist, schrecken wir vor keiner Kühnheit zurück. ... Wir haben sicher noch einen langen Weg vor uns, bevor wir seine Richtigkeit beweisen können. Wir benötigen zu diesem Zweck die Mitarbeit der Gruppe vom King's College in London, die – neben ziemlich guten Aufnahmen einer parakrystallinen Phase – ganz ausgezeichnete Aufnahmen einer kristallinen Phase besitzt. Unser Modell ist allerdings im Hinblick auf die parakrystalline Form aufgestellt worden, und bislang haben wir noch keine klare Vorstellung darüber, wie sich diese Spiralen zusammen tun könnten, um die kristalline Phase zu bilden.“¹¹

Am 25. April 1953 veröffentlichten Francis Crick und James Watson einen Artikel in der Zeitschrift „Nature“ (zusammen mit zwei Abhandlungen, die am King's College in London ausgearbeitet waren, die erste war von Maurice Wilkins, Sokes und Wikson verfaßt worden, die zweite von Rosalind Franklin und Gosling¹²) mit dem Titel „Die Molekularstruktur der Nukleinsäure“, im dem zum Schluß formuliert wurde: „Es ist uns nicht entgangen, daß die spezifische Paarbildung, die wir postuliert haben, unmittelbar einen möglichen Kopiermechanismus für das genetische Material nahe legt.“¹³

Für die Entdeckung der molekularen Struktur der Nucleinsäuren und deren Bedeutung für den genetischen Code erhielten Francis Crick, James Watson und Maurice Wilkins (Rosalind Francis war 1958 gestorben) den Nobelpreis für Physiologie und Medizin 1962.

1.3. *Variationen beim Problemformulieren und methodischen Vorgehen – Selbstorganisation in der Erforschung der Photosynthese im Max-Planck-Institut für Biochemie (Nobelpreis für Chemie 1988)*

Die Entwicklung der Wissenschaft verläuft seit Mitte des 20. Jahrhunderts zunehmend als Großforschung in Form von Dachverbänden und sogenannten virtuellen Instituten. Damit werden weiterführende Fragen zum Verhältnis von Wissenschaftsdynamik und Selbstorganisation der Forschung aufgeworfen.

- 11 James D. Watsons Brief an Max Delbrück, Cavendish Laboratory Cambridge 12. März 1953. – In: Watson, J. D., Die Doppelhelix. Ein persönlicher Bericht über die Entdeckung der DNS-Struktur. Reinbeck bei Hamburg: Rowohlt 1990. S. 182 -183.
- 12 Franklin, R., Gosling, R., Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate, – In: Nature. 4356 (25. April 1953). S. 740 – 741.
- 13 Watson, J. D., Crick, F. H. C., A Structure for Deoxyribonucleic Acid. – In: Nature. 4356 (25. April 1953). S. 738.

Das 1973 gegründete neue Max-Planck-Institut für Biochemie ist durch die Zusammenlegung von drei Instituten entstanden, nämlich dem Max-Planck-Institut für Biochemie, gegründet 1912 in Berlin-Dahlem als Kaiser-Wilhelm-Institut, dem Max-Planck-Institut für Eiweiß und Lederforschung ebenfalls als Kaiser-Wilhelm-Institut 1918 in Dresden gegründet, und dem Max-Planck-Institut für Zellchemie, gegründet 1954 in München. Mit diesem neuen Institut für Biochemie in Martinsried bei München hat die Max-Planck-Gesellschaft ein Zentrum der Biowissenschaften geschaffen, dessen Konzept über den Begriff der Biochemie im engeren Sinne hinausgeht. Es umfaßt andere Disziplinen wie Zellbiologie und Biophysik ebenso wie eine hochentwickelte Datenverarbeitung. Ein übergeordnetes Ziel stellt das Verständnis der Funktion von Molekülen aufgrund ihrer Struktur dar. Auf diesem Gebiet erhielten drei Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Biochemie, Martinsried bei München den Nobelpreis für Chemie 1988: Johann Deisenhofer, Robert Huber und Hartmut Michel. Gewürdigt wurde die „Erforschung des Reaktionszentrums der Photosynthese bei einem Purpurbakterium“. Die am Max-Planck-Institut für Biochemie durchgeführten Forschungsarbeiten versuchten die dreidimensionale Struktur des photosynthetischen Reaktionszentrums eines Bakteriums aufzuklären. In der Erforschung dieser häufigsten und – als unerläßliche Voraussetzung für das Leben auf der Erde – wichtigsten chemischen Reaktion in der Biosphäre gelang ein Durchbruch, dem Bedeutung auch für das Verständnis zentraler biologischer Prozesse zu kommt: Mit Hilfe der Röntgenstrukturanalyse wurde erstmals der atomare Aufbau eines der in Zellmembranen gebundenen Proteine entschlüsselt.

In seinem Nobel-Vortrag schildert Hartmut Michel den Vorgang einer ersten Variation beim methodischen Problembearbeiten: „Wie so häufig bei neuen wissenschaftlichen Entwicklungen und technischen Erfindungen war es eine zufällige Begegnung, die den Anstoß für die Experimente gab, die schließlich zur Aufklärung der dreidimensionalen Struktur eines photosynthetischen Reaktionszentrums führten: Im August 1978 beobachtete ich, dass lipidfreies Bakteriorhodopsin (...) bei Aufbewahrung im Tiefkühlschrank feste, vermutlich glasförmige Aggregate bildete (...) Von da an war ich überzeugt, dass es möglich sein sollte, nicht nur diese Festkörper, sondern auch dreidimensionale Kristalle herzustellen (...) Zu dieser Zeit arbeitete ich an der Universität Würzburg als „post doc“ im Labor von Dieter Oesterhelt.“

Seit dem Frühjahr 1982 analysierte Hartmut Michel (Abteilung Membranbiochemie seines Doktorvaters Dieter Oesterhelt) in Kooperation mit Johann Deisenhofer (Abteilung Strukturforchung II unter Leitung von Robert Huber) die dreidimensionale Kristallisation des Membranproteins.¹⁴

Interessant ist nun ein Vergleich beider Abteilungs-Berichte über diese selbstorganisierte Zusammenarbeit zweier Abteilungen eines Forschungsinstituts im Jahrbuch 1984 der Max-Planck-Gesellschaft¹⁵:

- Aus der Sicht der Abteilung Membranbiochemie heißt es: „In einer intensiven Zusammenarbeit mit der Abteilung Strukturforchung II (Direktor Prof. Dr. Robert Huber) wird an einer hochauflösenden Röntgenstrukturanalyse gearbeitet. Da bisher überhaupt keine Röntgenstrukturanalyse eines Membranproteins vorliegt, mußte überall Neuland betreten werden, doch traten überraschenderweise keinerlei Probleme auf: 3 Schweratomderivate, Voraussetzung der Phasenbestimmung und Strukturaufklärung, wurden auf konventionelle Weise durch Einlegen der Kristalle in Schweratomlösungen erhalten. Eine Elektronendichtekarte wurde bei 3 Angström Auflösung berechnet und wird zur Zeit interpretiert (Johann Deisenhofer, K. Miki, O. Epp; alle Abt. Strukturforchung II). Atomare Modelle für den gesamten Chrophyllapparat liegen vor.“¹⁶
- Aus der Sicht der Abteilung Strukturforchung II heißt es: „Photosynthetisches Reaktionszentrum des Bakteriums *Rhodospseudomonas virides*. Die Kristallstrukturanalyse dieses Membranprotein-Komplexes bei 3 Angström führte zu einer modellmäßig interpretierbaren Elektronendichteverteilung. Diese Studien wurden von Johannes Deisenhofer, K. Miki und O. Epp in Zusammenarbeit mit Hartmut Michel (Abteilung Membranbiochemie) durchgeführt.“¹⁷
- Publiziert wurden die Ergebnisse von Hartmut Michel, Johann Deisenhofer, K. Miki, K. Weyer und Friedrich Lottspeich in dem Sammelband „Structure and Function of Membran Proteins“ 1983.¹⁸

Ein Jahr später findet sich im Jahrbuch 1985 unter den Angaben der Abteilung Strukturforchung II folgende Erfolgsmeldung: „ H. Michel (Abt. Membranbio-

- 14 Michel, H., 3-Dimensional Crystals of a Membrane-Protein Complex – The Photosynthetic Reaction Center from *Rhodospseudomonas-Viridis*. – In: *Journal of Molecular Biology*. 158(1982)3, S. 567 – 572; Michel, H. / Oesterhelt, D., Preparation of New Two-Dimensional and 3-Dimensional Crystal Forms of Bacteriorhodopsin. – In: *Methods in Enzymoögy*. 88(1982)PI, S. 111 – 117.
- 15 Max-Planck-Gesellschaft Jahrbuch. 1984. Göttingen: Verlag Vandeenhoeck & Rupprecht 1984.
- 16 Ebenda, S. 149 – 150.
- 17 Ebenda, S. 166.
- 18 Michel, H. / Deisenhofer, J. / Miki, K. / Weyer, K. / Lottspeich, F., Crystallization of membrane proteiens and actual state of structure analysis of photosynthetic reaction centre crystals. – In: *Structure and Function of Membrane Proteiens*. Eds. by E. Quagliariello and F. Palmieri. Amsterdam: Elsevier Science Publ. 1983. S. 191 – 197.

chemie) gelang die Züchtung hochgeordneter Kristalle (erreichbare Auflösung 0,25 nm) aus RC von *R. viridis*. Die Röntgenstrukturanalyse dieser Kristalle (Raumgruppe $P4_32_12$, $a = b = 22,35$ nm, $c = 11,36$ nm) unter Anwendung der Methode des mehrfachen isomorphen Ersatzes führte zur Berechnung einer Elektronendichteverteilung bei 0,3 nm Auflösung. Interpretation dieser Elektronendichte und Modellbau am interaktiven Display-System des Instituts sind weit fortgeschritten.¹⁹ Nach einer ausführlichen Darstellung der erreichten Ergebnisse wird auf eine weiterführenden Annahme verwiesen: „Es gibt funktionelle und strukturelle Gründe für die Annahme, daß der mittlere Teil der RC-Struktur (L, M, N-terminale Helix von H) in die bakterielle Membran eingebettet ist (Deisenhofer, Epp, Miki mit Michel, Abt. Membranbiochemie).“²⁰

Zu den in beiden Berichten aufgeführten Publikationen gehören die Veröffentlichung von Johann Deisenhofer, O. Epp, K. Miki, Robert Huber und Hartmut Michel in der Zeitschrift „Journal of Molecular Biology“ 1984.²¹ Die Veröffentlichung über die Hartmut Michel gelungene Kristallisation von Protein-Membranen in einem Sammelband „Enzymes, Receptors and Carriers of Biological Membranes“ 1984 teilt nur die Abteilung Membranbiochemie mit,²² zu einem Thema, mit dem sich Hartmut Michel auch 1986 an der Ludwig-Maximilian Universität habilitierte.²³

Und wieder ein Jahr später finden sich im Jahrbuch der Max-Planck-Gesellschaft 1986 in den Berichten beider Abteilungen folgende Sicht der Ergebnisse:

- Aus der Sicht der Abteilung Membranbiochemie heißt es: „Das photosynthetische Reaktionszentrum des Purpurbakteriums *Rhodospseudomonas viridis* war der erste Membrankomplex, von dem wohlgeordnete dreidimensionale Kristalle eine hochauflösende Röntgenstrukturanalyse erlaubten (Michel mit Deisenhofer, Miki, Epp, Abt. Strukturforschung II). ... Alle erhaltenen Aminosäuresequenzen wurde in das atomare Modell des

19 Max-Planck-Gesellschaft Jahrbuch. 1985. Göttingen: Verlag Vandenhoeck & Rupprecht 1985. S. 132.

20 Ebenda, S. 134.

21 Deisenhofer, J. / Epp, O. / Miki, K. / Huber, R. / Michel, H., X-ray structure analysis of a membrane protein complex: Electron density map at 3 Å resolution and a model of the chromophores of the photosynthetic reaction center from *Rhodospseudomonas viridis*. – In: Journal of Molecular Biology. 180(1984), S. 385 – 398.

22 Michel, H.: Crystallization of two membrane proteins: Bacteriorhodopsin and photosynthetic reaction centers. – In: Enzymes, Receptors and Carriers of Biological Membranes. Ed. by A. Azzi et al. Berlin-Heidelberg: Springer 1984. S. 39 – 43.

23 Michel, H., Kristallisation von Membranproteinen. Habilitation an der Ludwig-Maximilian-Universität München 1986.

Reaktionszentrums inkorporiert (mit Deisenhofer, Abt. Strukturforschung II) und erlaubten daraufhin eine Reihe von Aussagen, die von einem allgemeinen Interesse für die Struktur und Funktion von Membranproteinen sind.“²⁴

- Aus der Sicht der Abteilung Strukturforschung II heißt es: „Das Ziel ist die Aufklärung der dreidimensionalen Struktur von Proteinen, um spezifische biochemisch-biophysikalische Probleme lösen zu können. Strukturanalytische Arbeiten: Lichtsammelproteine aus Blaualgen, ..., Reaktionszentrum des Bakterium *Rhodospseudomonas viridis*, ..., Ascorbatoxidase aus Zucchini.“²⁵

Zu den in beiden Berichten aufgeführten Publikationen gehören die Veröffentlichungen von Johann Deisenhofer, O. Epp, K. Miki, Robert Huber und Hartmut Michel in der Zeitschrift „Nature“ 1985; Johann Deisenhofer, Hartmut Michel und Robert Huber in der Zeitschrift „TIBS“ 1985 und Johann Deisenhofer und Hartmut Michel in dem Sammelband „Antennas and Reaction Centers of Photosynthetic“ 1985.²⁶

Hartmut Michel und Johann Deisenhofer hatten das Reaktionszentrum der Photosynthese bei einem Purpurbakterium im Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried bei München in den Jahren zwischen 1982 und 1985 aufgeklärt und wurden dafür bereits 1988 mit den Nobelpreis für Chemie geehrt. Der dritte Nobelpreisträger für Chemie im Jahre 1988 Robert Huber war der Abteilungsleiter von Johann Deisenhofer, als Hartmut Michel im Frühjahr 1982 um Kooperation gebeten hatte, für die Robert Huber in einer über die Abteilungsgrenzen hinaus selbstorganisierte Zusammenarbeit auch die Voraussetzungen geschaffen hatte, die Struktur großer Biomoleküle zu ermitteln. Und er hat dazu beigetragen, wie die Ergebnisse der Röntgenstrukturanalyse von Johann Deisenhofer und Hartmut Michel zu deuten waren.

24 Max-Planck-Gesellschaft Jahrbuch. 1986. Göttingen: Verlag Vandenhoeck & Rupprecht 1986. S. 112 – 113.

25 Ebenda, S. 128.

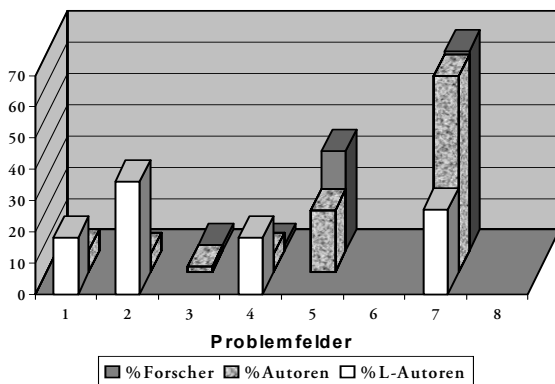
26 Deisenhofer, J. / Epp, O. / Miki, K. / Huber, R. / Michel, H., Structure of the protein subunits in the photosynthetic reaction centre of *Rhodospseudomonas viridis* at 3 Å resolution. – In: Nature. 318(1985), S. 618 – 624; Deisenhofer, J. / Michel, H. / Huber, R., The structural basis of photosynthetic light reaction in bacteria. – In: TIBS. 10 (1985), S. 243 – 248; Deisenhofer, J. / Michel, H., The crystal structure of the photosynthetic reaction center from *Rhodospseudomonas viridis*. – In: Antenna and Reaction Centers of Photosynthetic Bacteria, Ed. by M. E. Michel-Beyerle. Berlin: Springer 1985. S. 94 – 96.

2. Verteilung von Institutsautoren auf verschiedene Problemfelder

Die von Alfred Lotka 1926 gefundenen Verteilung von Autoren nach Publikationsraten weist auf funktionale Abhängigkeiten in Bibliographien hin.²⁷ Die funktionale Abhängigkeit der Anzahl von Autoren mit einer bestimmten Publikationsrate von der Publikationsrate selbst kann zu einem objektiven Maß für die Unterscheidung von zwei Gruppen von Autoren eines beliebigen Forschungsinstituts verwendet werden und zwar in dem Sinne, dass beide Gruppen von Institutsautoren jeweils die Hälfte der Publikationen aus dem jeweiligen Institut erreichen, und zwar die eine mit hohen und die andere mit niedrigen Publikationsraten.

Dieses Maß gestattet auch Analysen der Selbstorganisation in Forschungsinstituten.

Abbildung 2: *Prozentuale Verteilung von Forschern, Autoren und L-Autoren (Autorengruppe, die gemeinsam mit hohen Publikationsraten etwa die Hälfte aller Institutspublikationen erreicht) für ein Institut für Molekularbiologie im Jahre 1988 auf verschiedene Problemfelder (Quelle: Parthey, H. / Schütze, W., Distribution of Publications as an Indicator for the Evaluation of Scientific Programs. – In: Scientometrics. 21(1991)3, S. 463).*



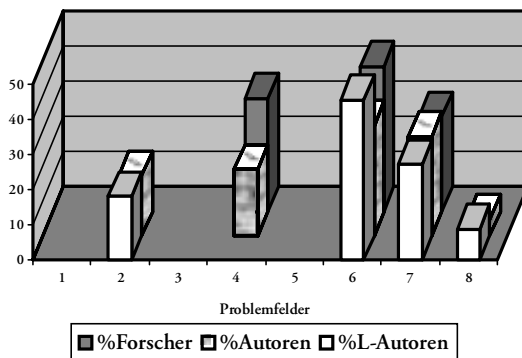
In den Abbildungen 2 und 3 wird beispielhaft darauf hingewiesen, dass bei einer Zuordnung von Institutspublikationen zu unterscheidbaren Problemfeldern Analysen der Selbstorganisation in Forschungsinstituten möglich sind: So bearbeiten

27 Lotka, A., The Frequency Distribution of Scientific Productivity. – In: Journal of the Washington Academy of Science. 16(11926)12, S. 317 – 323.

beide Institute jeweils zwei Problemfelder (und zwar das Problemfeld 2 in beiden Instituten und das Problemfeld 1 im Institut für Molekularbiologie bzw. das Problemfeld 8 in einem Institut für Mikrobiologie) ohne dass dafür in beiden Instituten entsprechende Abteilungen organisiert sind. Und andererseits werden Problemfelder in Institutsabteilungen zum Teil mit einer großen Anzahl von Forschern aber ohne L-Autoren bearbeitet: die Problemfelder 3 und 5 in einem Institut für Molekularbiologie und das Problemfeld 4 im Institut für Mikrobiologie.

In beiden Instituten haben Autoren und darunter auch jedesmal L-Autoren (im genannten Sinn) zu Problemfeldern publiziert, die für beide Institute neuartig sind. Neuartig deshalb, weil bislang zu diesen Problemfeldern keine Abteilungen eingerichtet worden sind. Und in Bezug auf diese im genannten Sinn neuartigen Problemfelder sind L-Autoren in der Publikationstätigkeit des Instituts für Molekularbiologie prozentual hoch vertreten. Allein schon dieser überraschend – wohl gemerkt bereits im bibliometrischen Profil wissenschaftlicher Institute unserer Definition – gefundene Effekt rechtfertigt den Aufwand einer jährlichen Analyse der Lotka-Verteilung von Institutsautoren nach Problemfeldern der Forschung. Wir vermuten, dass L-Autoren kürzere Reaktionszeiten auf international neue Problemfelder und Methodengefüge eigen sind. Damit stellen sich weiterführende Fragen etwa danach, inwieweit neue Forschergruppen einzurichten sind und das Institut damit eine neue Struktur erhält.

Abbildung 3: *Prozentuale Verteilung von Forschern, Autoren und L-Autoren (Autorengruppe, die gemeinsam mit hohen Publikationsraten etwa die Hälfte aller Institutspublikationen erreicht) für ein Institut für Mikrobiologie im Jahre 1988 auf verschiedene Problemfelder*
(Quelle: Parthey, H. / Schütze, W., *Distribution of Publications as an Indicator for the Evaluation of Scientific Programs.* – In: *Scientometrics*. 21(1991)3, S. 463).



3. *Forschungssituation und Kooperationsform*

Die Frage nach dem Einfluß anderer auf die eigene Leistung beziehungsweise nach den Vor- und Nachteilen des Arbeitens in Gruppen gegenüber der Einzelarbeit hat in der Sozialwissenschaft eine lange Tradition.²⁸ Diese Fragestellung auf die wissenschaftliche Leistung selbst angewandt, führt zu Analysen des Verhältnisses von Einzel- und Kooperationsleistung in Forschergruppen, die es weltweit seit den 1930er Jahren gibt.²⁹ Untersuchungen dieser Art verwenden verschiedene Methoden wie die der teilnehmenden Beobachtung oder die der historischen Rekonstruktion. Die mehr oder weniger standardisierte Befragung zur Analyse der Selbstorganisation von Forschergruppen setzte erst in den 1960er Jahren ein.

3. 1. *Problemstruktur und arbeitsteilige Struktur von Forschergruppen*

In Besonderheit gehen die Annahmen und Verfahren in diesen 1960er und den folgenden 1970er Jahren davon aus, dass die Effektivität von Forschergruppen entscheidend durch die Übereinstimmung von Problemstruktur und arbeitsteiliger Struktur in der Gruppe beeinflusst wird.³⁰ Diese Untersuchungen fragen nach den Arbeitsbeziehungen, die Forscher untereinander eingehen müssen, wenn sie bestimmte Problemfelder bearbeiten. Unter Problemfeldern sind vor allem inhaltliche Beziehung zwischen Haupt-, Neben- und Unterthemen eines Problemfeldes zu verstehen. Auf der Grundlage zahlreicher Analysen hat sich nach G. M. Swatez die Vorstellung von Forschergruppen herausgebildet, dass sie durch folgende Merkmale gekennzeichnet sind: gemeinsames Anliegen in Form eines gemeinsam zu bearbeitenden Problems, Arbeitsteilung und Kooperation beim Problemlösen und ihre Koordination durch Leitung.³¹

28 Triplett, N., The Dynamogenic Factors in Page-Making and Competition. – In American Journal of Psychology. (1898)9, S. 507–532; Moede, W.: Experimentelle Massenpsychologie – Beiträge zu einer Experimentalpsychologie der Gruppe. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1920; Allport, F. H., Social Psychology. Boston: Riverside 1924.

29 Fleck, L., Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiven. Bern 1935; Kuhn, Th., The Structure of Scientific Revolutions. Chicago: University of Chicago Press 1962.

30 Bahrdt, H. P. / Krauch, H. / Rittel, H., Die wissenschaftliche Arbeit in Gruppen. – In: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie (Köln). 12(1960)1. S. 1 – 40; Rittel, H., Hierarchie oder Team? – In: Forschungsplanung. Hrsg. v. Helmut Krauch u. Werner Kunz. München/Wien 1966; Pelz, D. C. / Andrews, F. M., Scientific in Organizations. Productive Climates for Research and Development. New York-London-Sydney: Wiley 1966.

31 Siehe: Swatez, G. M., The Social Organization of a University Laboratory. – In: Minerva. 8(1970)1. S. 36 – 58.

Die Annahme, dass die Effektivität von Forschergruppen entscheidend durch die Übereinstimmung von Problemstruktur und arbeitsteiliger Struktur in der Gruppe beeinflusst wird, kann nach empirischen Überprüfungen nur bedingt aufrecht erhalten werden.³² Vielmehr ist die Effektivität beim Wissensgewinn vor allem durch die Verfügbarkeit an Wissen und Gerät zur Problembearbeitung bedingt.

3. 2. Forschungssituation und Kooperationsform in Forschergruppen

Konzeptionelle Anfänge eigener Untersuchungen lagen in der Mitte der 1970er Jahre und konzentrierten sich auf die Erfassung der Forschungssituation und der Kooperationsform in Forschergruppen.³³ Unsere Analysen der Selbstorganisation von Forschergruppen³⁴ mittels standardisierter Fragebogen und bibliometrischer Untersuchungen des Publikationsverhaltens unterstützen die Auffassung, dass Forschungssituationen die notwendige und hinreichende Bedingung für die Kooperationsform in Forschergruppen sind.

Unsere Analysen weisen auf zwei grundsätzliche Überlegungen hin: Zum einen sind das Vorhandensein einer Problemsituation und entsprechend formulierter Forschungsprobleme sicherlich zur Herausbildung von kooperativen Beziehungen zwischen Forschern notwendig, sie reichen dafür aber nicht aus. Die notwendigen und hinreichenden Bedingung dafür, dass Kooperationsformen zwischen Wissenschaftlern auftreten, ist das Vorhandensein einer Forschungssituation bezüglich eines Problems.

Zum anderen üben verschiedene Typen von Forschungssituationen einen unterschiedlichen Einfluss auf die Kooperationsform aus, denn unterschiedliche Grade der Verfügbarkeit von ideellen und materiellen Mitteln zur Bearbeitung von Forschungsproblemen erfordern unterschiedliche arbeitsteilige Beziehungen zwischen den Forschern. In diesem Zusammenhang ist von Interesse, dass Wolfgang Stegmüller³⁵ Ende der 1970er Jahre den Versuch unternimmt, in Auseinan-

32 Parthey, H., Forschungssituation interdisziplinärer Arbeit in Forschergruppen. – In: Interdisziplinarität in der Forschung. Hrsg. v. Heinrich Parthey u. Klaus Schreiber. Berlin: Akademie-Verlag 1983. S. 13 – 46.

33 Parthey, H. / Tripoczky, J., Forschungssituation und Kooperationsform. Zu einigen Voraussetzungen der Analyse von Forschungsgruppen. – In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie (Berlin). 26(1978)1. S. 101 – 105.

34 Parthey, H., Analyse von Forschungsgruppen. – In: Soziologie und Soziologen im Übergang. Beiträge zur Transformation der außeruniversitären soziologischen Forschung in Ostdeutschland. Hrsg. v. Hans Bertram. Opladen: Leske + Budrich 1997. S. 543 – 559.

35 Stegmüller, W., Rationale Rekonstruktion von Wissenschaft und ihrem Wandel. Stuttgart: Philipp Reclam 1979.

dersetzung mit Thomas S. Kuhn³⁶ dessen Begriff der normalen Wissenschaft mit Hilfe des Begriffs des Verfügens über eine Theorie zu präzisieren. Der von uns verwendete Begriff der Verfügbarkeit an wissens- und gerätetmäßigen Voraussetzungen zur Problembearbeitung³⁷ ist wesentlich umfassender als der des Verfügens über Theorie, schließt er doch auch die praktische Machbarkeit in der Forschung ein. In einer späteren Version drängt für Wolfgang Stegmüller "alles in Richtung auf eine systematische Pragmatik, in der mit nichtlogischen Begriffen gearbeitet wird, wie: Wissenssituation von Personen und deren Wandel; subjektiver Glaube von Personen zu bestimmten Zeiten; Hintergrundwissen, das zu einer bestimmten historischen Zeit verfügbar ist und dergleichen".³⁸ In einem weiteren Versuch in dieser Richtung handelt es sich für Wolfgang Stegmüller "um zusätzliche pragmatische Begriffe, die wir in den Begriffsapparat einbauen müssen, den 'Mensch', 'historischer Zeitpunkt', 'verfügbares Wissen', 'Standards für die Akzeptierbarkeit von Hypothesen' sind Begriffe dieser Art".³⁹

Wir möchten den Gesichtspunkt, dass bei der Gruppenarbeit kontinuierlich kommuniziert wird, durch ein Phasenmodell der Wissensproduktion in Forschergruppen konkretisieren.

4. *Phasenmodell der Wissensproduktion in Instituten*

Von allgemeinem Interesse für das Verständnis der Entwicklung von Forschungssituationen ist die Dynamik methodischer und forschungstechnischer Neuerungen in ihrer Auswirkung auf den Wissenszuwachs. So erhöht sich die Verfügbarkeit an wissens- und gerätetmäßigen Voraussetzungen tendenziell in dem Maße, wie die Problemlösung vorankommt. Sie erreicht also ihren höchsten Grad, wenn sie für das bestimmte Problem selbst nicht mehr erforderlich ist. Die Methodenentwicklung hat im gleichen Prozess offensichtlich dann einen Höhepunkt, wenn ihr Niveau als angemessen und als ausreichend für die Problemlösung angesehen werden kann. Dieser Höhepunkt der Methodenentwicklung – der vor dem Höhepunkt der Verfügbarkeit liegt – ist offensichtlich ein Wendepunkt im Zyklus wissenschaftlichen Arbeitens einer Forschergruppe, denn es wird in der

36 Kuhn, Th., *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press 1962.

37 Parthey, H., *Problemsituation und Forschungssituation in der Entwicklung der Wissenschaft*. – In: *Deutsche Zeitschrift für Philosophie* (Berlin). 29(1981)2. S. 172 – 182.

38 Stegmüller, W., *Vom dritten bis sechsten (siebten?) Dogma des Empirismus*. – In: *Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie*. Hrsg. v. Paul Weingartner u. J. Czermak. Wien 1983. S. 236.

39 Stegmüller, W., *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie*. Band II: *Theorie und Erfahrung*. Dritter Teilband: *Die Entwicklung des neuesten Strukturalismus seit 1973*. Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo: Springer Verlag 1986. S. 109.

Gruppe eingeschätzt, dass mit Hilfe der neuentwickelten Methodiken das zur Auflösung des gestellten Problems erforderliche Wissen gewonnen werden kann.

4. 1. *Phasenmodell wissenschaftlicher Arbeit in Forschungsgruppen*

Wir haben in Bezug auf diese Voraussetzungen ein "Phasenmodell der wissenschaftlichen Arbeit in Forschungsgruppen"⁴⁰ entwickelt und unseren Untersuchungen der Selbstorganisation von Forschungsgruppen zugrunde gelegt:

- erstens: die Anfangs- oder Einlaufphase der Methodenentwicklung zur Bearbeitung des gestellten Problems;
- zweitens: die Phase, in der sich die Wohlformuliertheit des Problems auf einem Niveau der Methodenentwicklung einstellt, das als ausreichend für die Problemlösung eingeschätzt wird;
- und schließlich drittens die Auslaufphase, in der keine neuen Methodiken und Forschungstechniken zur Bearbeitung des gestellten Problems entwickelt werden, sondern in der mit den bereits entwickelten das gestellte und nun auch wohlformulierte Problem bis zu seiner Auflösung bearbeitet wird.

Dieses Phasenmodell bezieht sich auf einen Grundzyklus des Problemlösens in der wissenschaftlichen Arbeit von Forschungsgruppen, in dem sich die Kooperationsformen in der Gruppe verändern.

Wenn Zusammenhänge zwischen Phase der Forschungssituation und Formen des Kooperationsverhalten auftreten, dann würde sich je nach Zeitpunkt der Untersuchung bzw. der Evaluation ein anderes Bild ergeben, sodass nur über Gruppen, die sich in einer vergleichbaren Phase der Forschung befinden, verallgemeinert werden könnte.

Dies gilt vor allem auch für die Analyse von Forschungsgruppen „im Rahmen einer nicht länger sozialpsychologisch vernachlässigten Wissenschaftsforschung“, wie Carl Friedrich Graumann bereits vor einem Jahrzehnt forderte.⁴¹

Die von uns bereits in den 1980er Jahren durchgeführten Untersuchungen in biowissenschaftlichen Instituten bestätigen, dass sich Leistungsverhalten und Kooperation von Forschern im Rhythmus der Phasen wissenschaftlicher Problemlösung bedingen.⁴²

40 Parthey, H., Problemsituation und Forschungssituation in der Entwicklung der Wissenschaft. – In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie (Berlin). 29(1981)2, S. 179.

41 Graumann, C. F., Die Forschergruppe. Zum Verhältnis von Sozialpsychologie und Wissenschaftsforschung. – In: Die Objektivität der Ordnungen und ihre kommunikative Konstruktion. Für Thomas Luckmann. Hrsg. v. W. M. Spöndel. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag 1994. S. 399.

4. 2. *Publikationsverhalten von Wissenschaftlern in Phasen der Forschung*

Bekanntlich haben Publikationen in der Wissenschaft die Funktion, Dokumente erfolgreicher Forschung zu sein, die eine Reproduzierbarkeit neuer Wissenproduktion gestatten. Diese Funktion wird mit Sicherheit bleiben. Üblich ist die Erfassung der Publikationstätigkeit aus der Sicht des Instituts, in dem die Autoren wissenschaftlich tätig sind, wovon die Publikationlisten universitärer und außeruniversitärer Institute zeugen. Auf der Grundlage des Science Citation Index, Philadelphia können jährliche Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen der Autorschaft nach Publikations- und Zitationsraten unterschieden werden, die sich aufgrund der Lotka-Verteilung von Autoren eines Instituts sowohl nach Jahresraten der Publikation als auch nach Dreijahresraten ihrer Zitation ergeben.

Mit dem oben vorgestellten Verfahren können Autoren einer Forschungseinrichtung danach unterschieden werden, ob sie zu der größeren Autorengruppe (NP bzw. NZ) gehören, die etwa die Hälfte aller Institutspublikationen bzw. die Hälfte aller dafür in den folgenden drei Jahren international erhaltenen Zitationen mit vergleichsweise niedrigen Raten erreichte, oder ob sie zu der kleineren Autorengruppe (LP bzw. LZ) gehören, der dies mit vergleichsweise hohen Raten gelang.

Um die Phasen der Wissensproduktion in Forschergruppen deutlich zu erfassen, können genannte Phasen als Übergänge zwischen folgenden vier Zuständen der Autorschaft nach Publikations- und Zitationsraten verstanden werden:⁴³

- erstens, ein Zustand der Autorschaft mit niedrigen Publikations- aber sofort hohen Zitationsraten (symbolisiert: NP/LZ);
- zweitens, Autorschaft mit hohen Raten sowohl bei Publikation als auch in der Zitation (symbolisiert: LP/LZ);
- drittens, ein Zustand der Autorschaft mit hoher Publikations- aber bereits niedriger Zitationsrate (symbolisiert: LP/NZ);
- schließlich viertens Autorschaft mit niedriger Rate sowohl bei Publikation als auch in Zitation (symbolisiert: NP/NZ).

In der Phase der beginnenden Methodenentwicklung zur Problembearbeitung vollzieht sich ein Übergang von einem Stadium A relativ geringer Publikation der Forschern, die das gestellte Problem angenommen haben, aber sofort relativ hoher Beachtung (Zitation) im internationalen Kontext erreichen, zu einem Stadium B gleichermaßen relativ hoher Publikation und Zitation. In der ständigen Einschätzung darüber, inwieweit Methodenentwicklung zur Auflösung des

42 Parthey, H., Entdeckung, Erfindung und Innovation. – In: Das Neue. Seine Entstehung und Aufnahme in Natur und Gesellschaft, a.a.O., S. 99 – 148, hierzu insbesondere S. 126 – 129.

43 Ebenda, hierzu insbesondere S. 144 – 145.

gestellten Problems ausreicht (das heißt mit dem erreichten methodischen und gerätemäßigen Niveau kann das zur Problemlösung erforderliche Wissen gewonnen werden) stellt sich eine ausgeglichene Phase des Publikationsverhaltens ein, und zwar stets relativ hohe Publikation, aber mal hoher und mal niedriger Zitation, d.h. ein Übergang von genanntem Stadium B zu einem Stadium C relativ hoher Publikation, aber bereits relativ geringer Zitation. In der Auslaufphase des Grundzyklus, in der kaum noch Methoden neu entwickelt werden, sondern in der mit den bereits entwickelten Methoden das gestellte und nun auch wohlformulierte Problem bis zu seiner Auflösung bearbeitet wird, dominiert ein Übergang von genanntem Stadium C zu einem Stadium D sowohl relativ geringer Publikation als auch relativ geringer Zitation.

Abbildung 4: Stadien der Autorenschaft von Wissenschaftlern in Phasen der Wissensproduktion (nach Raten der Publikation und Zitation der in ihnen gewonnenen Ergebnisse).

	hohe Zitation (LZ)	niedrige Zitation (NZ)
hohe Publikation (LP)	hohe Publikation und hohe Zitation (LP/LZ: Stadium B)	hohe Publikation und niedrige Zitation (LP/NZ: Stadium C)
niedrige Publikation (NP)	niedrige Publikation und hohe Zitation (NP/LZ: Stadium A)	niedrige Publikation und niedrige Zitation (NP/NZ: Stadium D)

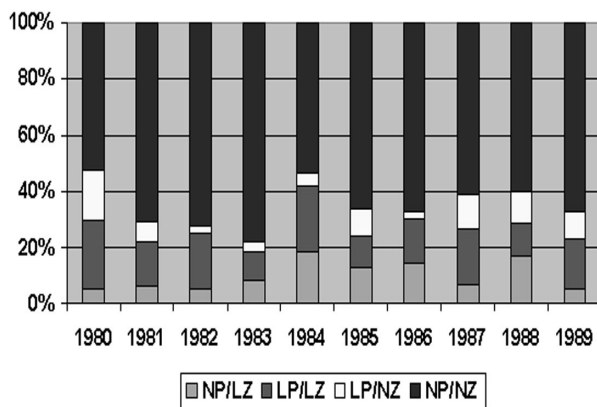
Eine nach diesen Gesichtspunkten durchgeführte Analyse ergab für Autoren des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik in den Jahren 1980 bis 1989 die in Abbildung 5 erkennbare Verteilung.⁴⁴

Nun kann die Wissensproduktion eines jeden nach diesem Verfahren untersuchten Instituts hinterfragt werden, ob und inwieweit im Jahr der Promotion bzw. bereits ein Jahr vor und/oder ein Jahr nach der Promotion das für neue Wissensproduktion charakteristischen Stadium A auftreten. Unter den Autoren des Fritz-Haber-Instituts der Max-Planck-Gesellschaft waren jährlich im Stadium A

44 Parthey, H.: Stadien der Wissensproduktion in Forschungsinstituten nach Raten der Publikation und Zitation der in ihnen gewonnenen Ergebnisse. – In: Deutscher Dokumentartag 1996. Die digitale Dokumentation, a.a.O. S. 137 – 146.

Abbildung 5: *Verteilung der Autoren des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik nach niedriger Publikation und hoher Zitation (NP/LZ), hoher Publikation und hoher Zitation (LP/LZ), hoher Publikation und niedriger Zitation (LP/NZ), niedriger Publikation und niedriger Zitation (NP/NZ) im Sinne von L-Autoren und Nicht-L-Autoren in den Jahren 1980 bis 1989*

(Quelle: Jahrbücher der Max-Planck-Gesellschaft 1980 bis 1989).



etwa ein bis zwei der jährlich etwa drei bis zwanzig Promovierten (unter den jährlich etwa zwei bis zehn Autoren mit dem Stadium A).⁴⁵ Ob das ein allgemeiner Trend ist, kann nur nach einer umfassenden Untersuchung des Publikationsverhaltens von Wissenschaftlern zwischen Promotion und Habilitation gesagt werden. Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, vor allem der Weg besonders ausgewiesenen jungen Wissenschaftlern Plätze und Mittel zur Ausstattung kleiner Arbeitsgruppen zur Verfügung zu stellen, orientiert sich von der Sache her an Autoren, die mit neuer Wissensproduktion beginnen, auch ausgezeichnet durch entsprechende Publikationen und entsprechende Beachtung in der internationalen Gemeinschaft der Wissenschaftler.

Jährliche Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen der Autorschaft nach Publikations- und Zitationsraten, die sich aufgrund der Lotka-Verteilung von Autoren eines Instituts sowohl nach Jahresraten der Publikation als auch nach Dreijahresraten ihrer Zitation ergeben, vermitteln eine Auskunft über Phasen der Wissensproduktion. Mit Hilfe einer bereits erprobten Identifizierung von For-

45 Parthey, H.: Wissenschaft und Innovation. – In: Wissenschaftsforschung: Jahrbuch 1996/97. Hrsg. v. Siegfried Greif, Hubert Laitko u. Heinrich Parthey. Marburg. BdWi-Verlag. S. 9 – 32, hier S. 21.

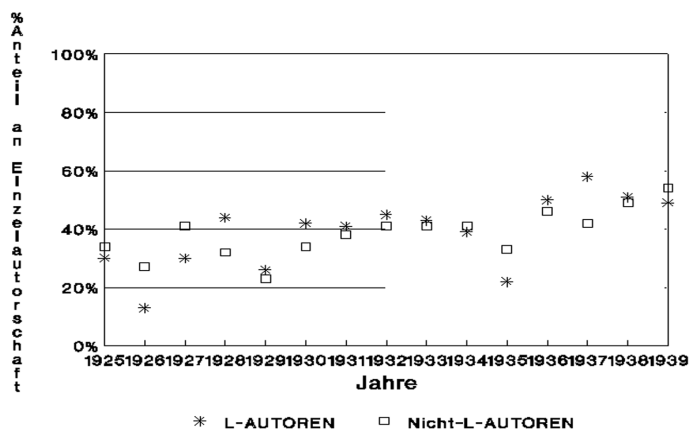
scherguppen⁴⁶ unter den Autoren einer Forschungseinrichtung wäre es möglich, die jeweilige Phase der Wissensproduktion festzustellen, in der sich eine Forschergruppe im Zeitraum der Untersuchung befindet. Auf diese Weise könnten weitere Befunde nur über Gruppen, die sich in einer vergleichbaren Phase der Forschung befinden, verallgemeinert werden. Damit wäre es möglich, auch um die Artefaktegefahr der Analyse von Forschergruppen einzuschränken, die Tätigkeit von Forschergruppen weniger mittels Zustandsbeschreibung, denn in ihrer Prozesshaftigkeit zu erfassen

5. *Strukturwandel bibliometrischer Profile von Forschungsinstituten*

Für alle Untersuchungen mit Bezug auf die Unterscheidung von L-Autoren und Nicht-L-Autoren (wobei beide Gruppen von Institutsautoren jeweils die Hälfte der Publikationen aus dem jeweiligen Institut erreichen, und zwar die eine mit hohen Publikationsraten (L-Autoren) und die andere mit niedrigen Publikationsraten (Nicht-L-Autoren)) ist bemerkenswert, dass selbst die Raten der Einzelautorschaft für L-Autoren mitunter höher sind als die Raten der Nicht-L-Autoren. Nun könnten die hohen Publikationsraten der L-Autoren letztlich aber doch durch eine übergebührliche Ausprägung der Koautorschaft zustande gekommen sein. Um dies zu überprüfen, wurden die Anteile der Einzelautorschaft an den Publikationen (d.h. wieviel Prozent der Publikationen wurden in Einzelautorschaft erzeugt) eines jeden Autors gebildet und dessen arithmetischer Mittelwert für die L-Autoren mit dem arithmetischen Mittelwert für Nicht-L-Autoren verglichen. In den Abbildungen 6 und 7 wird das Ergebnis dieses Vergleich für Autoren der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts dargestellt. Danach kann nicht behauptet werden, dass es nennenswerte Unterschiede in den Anteilen der Einzelautorschaft zwischen L-Autoren und Nicht-L-Autoren an den jeweiligen jährlichen Publikationsraten dieser beiden Autorengruppen gibt. Ein ähnliches Bild zeigt die Abbildung 8 für naturwissenschaftliche Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Institute sowohl im zweiten und dritten Jahrzehnt als auch im vorletzten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts. Damit ist ein Verfahren vorgestellt, mit dessen Hilfe überprüft werden kann, inwieweit L-Autoren gegenüber Nicht-L-Autoren einen höheren Anteil von Koautorschaft bzw. einen geringeren Anteil an Einzelautorschaft ausprägen. Das mit diesem Verfahren reproduzierbare Ergebnis weist Überlegungen zurück,

46 Bordons, M. / Zulueta, M.A. / Cabrero, A. / Barrigon, S., Identifying Research Teams with Bibliometric Tools. – In: Proceedings of the Fifth International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics. Ed. by M.E.D. König and A. Bookstein. Medford N. J.: Learned Information 1995. S. 83 – 89.

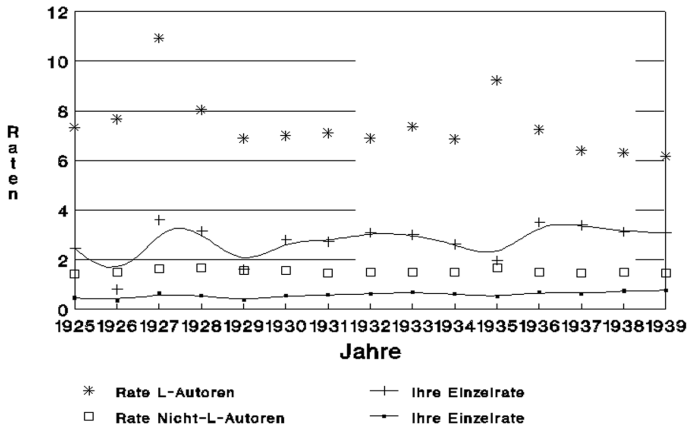
Abbildung 6: Anteil der Einzelautorschaft in Prozent der Publikationen von L-Autoren (Autorengruppe, die gemeinsam mit hohen Publikationsraten etwa die Hälfte aller Publikationen der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft erreicht) und Nicht-L-Autoren (Autorengruppe, die gemeinsam mit niedrigen Publikationsraten etwa die andere Hälfte aller Publikationen der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft erreicht) aus der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft in den Jahren von 1925 bis 1939 (Quelle: Partbey, H., *Bibliometrische Profile von Instituten der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (1923 – 1943)*. Berlin: Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft 1995, S. 15.



wonach zur Erklärung der Unterschiede in der Höhe der Publikationsrate zwischen L-Autoren und Nicht-L-Autoren unterschiedliche Anteile der Koautor- beziehungsweise Einzelautorschaft beider Autorengruppen herangezogen werden können. Gleichzeitig wird im 20. Jahrhundert ein Wandel im bibliometrischen Profil dieser Institute deutlich: der Anteil der Koautorschaft hat sich soweit erhöht, dass sich die Einzelautorschaft im Rahmen eines Fünftel aller Publikationen beschränkt (vgl. Abbildung 8). Damit wird es unmöglich, dass (wie Abbildung 6 für die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts zeigt) bereits die Rate der Einzelautorschaft von L-Autoren höher ist als die Publikationsrate von Nicht-L-Autoren.

Koautor- beziehungsweise Einzelautorschaft auf der einen und Publikationsraten von Autoren auf der anderen Seite korrelieren nicht in dem Maße, um zur Erklärung der Lotka-Verteilung herangezogen zu werden. Wesentlicher ffür das Verständnis von Selbstorganisation in der Wissenschaft erscheint uns der Hinweis von Robert K. Merton im Jahre 1968 auf den sogenannten Matthäus-Effekt in der Wissenschaft, der besagt, dass Produktivität ein sich selbst verstärkender Vorgang sei: Diejenigen, die schon früh herausragende Arbeit geleistet haben,

Abbildung 7: *Publikationsraten und davon Raten in Einzelautorschaft von L-Autoren (Autorengruppe, die gemeinsam mit hohen Publikationsraten etwa die Hälfte aller Publikationen der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft erreicht) und Nicht-L-Autoren (Autorengruppe, die gemeinsam mit niedrigen Publikationsraten etwa die andere Hälfte aller Publikationen der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft erreicht) aus der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft in den Jahren 1925 bis 1939*
 Quelle: Parthey, H., *Bibliometrische Profile von Instituten der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (1923 – 1943)*. Berlin: Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft 1995. S. 14. .



werden mit größerer Wahrscheinlichkeit auch weiterhin ausgezeichnet arbeiten als diejenigen, die zuvor keine derartigen Leistungen erbracht haben.⁴⁷ Jonathan R. Cole und Stephen Cole⁴⁸ sowie Harriett A. Zuckerman und Robert K. Merton⁴⁹ haben festgestellt, dass Wissenschaftler, die schon zu Beginn ihrer Karriere Anerkennung für ihre Arbeit gefunden haben, auch später produktiver sind als andere, denen solche Anerkennung nicht zuteil wurde. So war der Grundversuch für die Entdeckung der Uranspaltung Ende 1938 auch bereits für Otto Hahns Eintritt in die wissenschaftliche Forschung im Jahr 1904⁵⁰ entscheidend, worauf wir bei der Erörterung von Variationen im methodischen Vorgehen im Sinne der

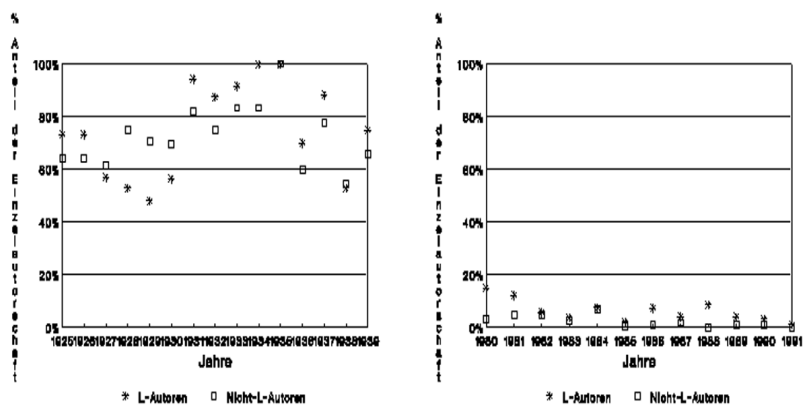
47 Merton, R. K., The Matthew Effect in Science: the Reward and Communication System of Science are considered. – In: Science (Washington). 159(1968), S. 56 – 63.

48 Cole, J. R. / Cole, S., Social Stratification in Science. Chicago: University of Chicago Press 1972.

49 Zuckerman, H. A. / Merton, R. K., Age, Aging and Age Structure in Science. – In: Aging and Society, Bd. 3, A Theory of Age Stratification. Ed. by Matilda W. Riley, Marilyn Johnson and Anne Foner. New York: Russell Sage Foundation 1992.

Abbildung 8: Anteil der Einzelautorschaft in Prozent an den jährlichen Publikationsraten von L-Autoren (Autorengruppe, die gemeinsam mit hohen Publikationsraten etwa die Hälfte aller Institutspublikationen erreicht) und Nicht-L-Autoren (Autorengruppe, die gemeinsam mit niedrigen Publikationsraten etwa die andere Hälfte aller Institutspublikationen erreicht) aus dem Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Institut für Biologie in den Jahren von 1926 bis 1939 und von 1980 bis 1991

Quelle: Parthey, H., *Bibliometrische Profile von Instituten der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (1923 – 1943)*. Berlin: Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft 1995, S. 16 – 17.



Selbstorganisation bei der Entdeckung der Kernspaltung schwerer Atome im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie hingewiesen haben.

Für Aage B. Sorensen deuten unsystematische Beobachtungen „nachdrücklich darauf hin, daß motivationale Variablen ebenfalls zur Erklärung der Mechanismen dieses positiven Rückkopplungseffektes beitragen können: Diejenigen, die Erfolg haben, fühlen sich für ihre Anstrengungen belohnt und setzen ihre Arbeiten mit größerer Intensität als andere fort“.⁵¹ Andererseits nimmt Aage B. Sorensen auch an, dass diejenigen, die früh Erfolg haben vielleicht mit weniger

50 Hahn, O., A New Radio-Active Element, which Evolves Thorium Emanation. Preliminary Communication. (Comm. Sir William Ramsay). – In: Proc. Royal. Soc. (London). 76 A(1905), S. 115 – 117.

51 Sorensen, A. B., Wissenschaftliche Werdegänge und akademische Arbeitsmärkte. – In: Generationsdynamik und Innovation. Hrsg. v. P. M. Hofschneider und K. U. Mayer. Max-Planck-Gesellschaft. Berichte und Mitteilungen. Heft 3/1990. München 1990. S. 95

Barrieren problemloser Mittel für ihre Arbeit und Einladungen zur Teilnahme an Projekten und Tagungen erhalten, die ihren Erfolg weiter verstärken.

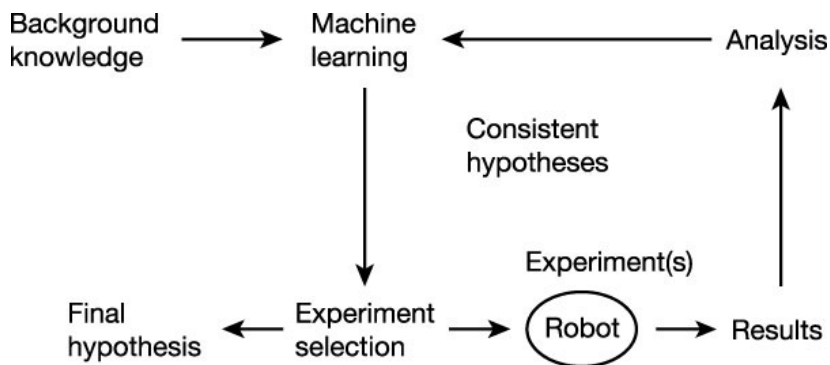
6. *Selbstorganisation bei der Überprüfung von Hypothesen mittels automatisierter Technik des Experimentierens*

Wenn Forschungsinstitute als selbstorganisierende Systeme konzipiert werden, dann ist es dabei auch ein Ziel, forschungstechnische Systeme in den Instituten zu entwickeln, die selbstorganisierende Eigenschaften in der Wissenschaft haben.

Bei der Geburt der Wissenschaft wurden vor allem die bloße Beobachtungsmethode, die mathematische und die historische Methode verwendet, denn es wurde zwischen Epistemologischem und Technologischem so streng unterschieden, dass das Experiment zur Wahrheitsfindung abgelehnt und nur die bloße Beobachtung ohne Experiment bevorzugt wurde. Das Experiment wurde in der Geburt der Wissenschaft mit dem Argument der Sicherung der wissenschaftlichen Integrität im methodischen Vorgehen der Forschung ausgeschlossen. Und das hat für die Wissenschaft einundeinhalb Jahrtausend gegolten. Erst mit Galileo Galilei kam der experimentell bedingten Beobachtung die Funktion zu, in all den Fällen, wo der Wahrheitswert von Aussagen nicht direkt durch bloße Beobachtung festgestellt werden kann, zu versuchen, die hypothetisch behaupteten Sachverhalte durch Experimente hervorzurufen. Das bedeutete für Galilei die gesuchten Zusammenhänge durch experimentelle Anordnungen der Beobachtung stärker in Erscheinung treten zu lassen. Die Durchführung von Experimenten ist nur ein Schritt in der experimentellen Methode. Ihm geht voraus, dass Folgerungen aus der zu überprüfenden Hypothese gezogen werden, deren behauptete Sachverhalte im Experiment beobachtet werden können. Der Durchführung eines Experiments folgt die Deutung experimenteller Ergebnisse in bezug auf die Hypothese nach. Deshalb können Experiment und experimentelle Methode nicht gleichgesetzt werden. Während die experimentelle Methode durch bestimmte Schritte und bestimmte logische Strukturen gekennzeichnet ist, sind dem Experiment bestimmte Merkmale eigen, und es kann in verschiedenen Arten auftreten. Inwiefern einige mögliche Arten von Experimenten der gesellschaftlichen Integrität nicht genügen, ist eine weitere Entscheidung, die sich in Abhängigkeit von gesellschaftlichen Tabus und ihrer historischen Veränderung stellt.⁵²

Schon vor vier Jahrzehnten „zeichnet sich ab, daß durch die wissenschaftlich-technische Revolution die Technik des Experimentierens in allen Wissenschaftszweigen grundsätzlich neue Möglichkeiten erhält. Die Automatisierung eröffnet der experimentellen Methode neue Wege. Automaten können gleichzeitig und

Abbildung 9: *The Robot Scientist hypothesis-generation and experimentation loop*
 Quelle: *Nature*. 427(15.01.2004), S. 248.



mit hoher Exaktheit verschiedene experimentellen Einwirkungen auf Objekte ausüben und regeln. Sie können die Einhaltung der experimentellen Bedingungen sichern. Gleichzeitig vermögen sie eine Vielzahl von experimentellen Veränderungen in einem System zu registrieren. Mit Hilfe von Automaten können die Ergebnisse von Experimenten nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet und aufbereitet werden.⁵³ In den folgenden drei Jahrzehnten wurden eine Reihe von wissensbasierten Systeme in der experimentellen Forschung entwickelt,⁵⁴ die

52 Parthey, H., Struktur wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Integrität von Forschungssituationen. – In: Gesellschaftliche Integrität der Forschung: Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2005. Hrsg. v. Klaus Fischer u. Heinrich Parthey. Berlin: Gesellschaft für Wissenschaftsforschung 2006. S. 71 – 94.

53 Parthey, H. / Wahl, D., Die experimentelle Methode in Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften 1966. S. 229.

54 Langley, P. / Simon, H. A. / Bradshaw, G. L. / Zytkow, E. A., *Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Process*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press 1987; Zytkow, E. A. M. / Zhu, J. M. / Hussam, A., Automated discovery in a chemistry laboratory, – In: Proceedings of the 8th National Conference on Artificial Intelligence. Ed. by T. Dietterich and W. Swartout. Cambridge, Massachusetts: MIT Press 1990; King, R. D. / Muggleton, St. H. / Srinivasan, A. / Sternberg, M. J. E., Structure-activity relationships derived by machine learning: The use atoms and their bond connectivities to predict mutagenicity by inductive logic programming. – In: Proc. Nat Acad. Sci. USA 93 (1996), S. 438 – 442; Valdes-Perez, R. E., Discovery tools for science applications. – In: Commun. ACM 42 (1999), S. 37 – 41; Langley, P., The computational support of scientific discovery. – International Journal Human-Computer Studies. 53(2000)3, S. 393 – 410.

es gestatten, Selbstorganisation bei der Überprüfung von Hypothesen mittels automatisierter Technik des Experimentierens zu entwickeln. Ein Durchbruch in der Verwendung wissenbasierter Systeme in der experimentellen Forschung gelang britischen Ingenieuren im Jahre 2004 mit der Entwicklung einer weitgehend automatisch arbeitenden experimentellen Anordnung zur Entschlüsselung der Genfunktionen eines Hefepilzes (vgl. Abbildung 9).⁵⁵

Die Anlage von elektronischen Laborjournalen automatisierter Experimente erfolgt nun analog dazu, wie auch nach jeder Beendigung eines Experiments bekanntlich das Laborjournal vom Experimentator und einem Zeugen unterschrieben wird. Der Wissenschaftler beginnt seine Dokumentation mit dem Anlegen eines neuen Versuchs oder Projekts. Anschließend dokumentiert er die durchgeführten Arbeiten in Laborjournal-Einträgen, die an das Experiment angefügt werden. Sobald ein Arbeitsschritt automatisierter Experimente beendet ist, wird der jeweilige Eintrag abgeschlossen, ausgedruckt und von vom Experimentator und einem Zeugen unterschrieben. Die Unterschrift unter den Ausdruck sichert die Authentizität. Ein Benutzer kann institutsweit die elektronischen Laborjournale aller Mitarbeiter durchsuchen. Der Zugriff kann dabei individuell durch Sicherheitsrichtlinien angepasst werden. In einem zunehmend vernetzten Arbeitsumfeld ist der Austausch von Wissen eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg eines Forschungs- oder Entwicklungsprojektes. Erst die umfassende Dokumentation von Experimenten bietet die Grundlage für diesen Wissenstransfer. Die Dokumentation stellt dabei einen wichtigen Schritt zum Schutz des geistigen Eigentums in Form von Patenten dar. Die Verknüpfung aller Datei-Anhänge mit dem jeweiligen Laborjournal-Eintrag gewährleisten, dass die Dokumentation eines Experimentes und die zugehörigen Anhänge jederzeit verknüpft bleiben und ihre Verwaltung zentral im jeweiligen Forschungsinstitut erfolgt.

Von besonderem Interesse ist nun, wie sich die Sicherung der Authentizität von Laborjournalen im Zuge der Automatisierung der experimentellen Forschung entwickelt, einem Wandel wissenschaftlichen Arbeitens im digitalen Zeitalter, der zusammen mit dem der elektronischen Medien nicht nur technisch neue Möglichkeiten der Wissensvermittlung erschließen, sondern die Wissensproduktion selbst verändern wird.

55 King, R. D. / Whelan, K. E. / Jones, F. M. / Reiser, Ph. G. K. / Bryant, Ch. H. / Muggleton, St. H. / Kell, D. B. / Oliver, St. G.; Functional genomic hypothesis generation and experimentation by a robot scientist. – In: Nature. 427(2004)15. Januar 2004, S. 247 – 251.