

Schriften des Vereins für Socialpolitik

Band 195/VII

Studien zur Evolutorischen Ökonomik VII

Von

**Thomas Brenner, Uwe Cantner, Georg Erdmann,
Dirk Fornahl, Horst Hanusch, Reiner Peter Hellbrück, Andreas Pyka,
Carsten Herrmann-Pillath, Paolo Saviotti, Adolf Wagner,
Rolf Walter, Wolfgang Weidlich**

Herausgegeben von

Kurt Dopfer



Duncker & Humblot · Berlin

Schriften des Vereins für Socialpolitik
Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Neue Folge Band 195/VII

SCHRIFTEN DES VEREINS FÜR SOCIALPOLITIK

Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Neue Folge Band 195/VII

Studien zur Evolutorischen Ökonomik VII



Duncker & Humblot · Berlin

Studien zur Evolutorischen Ökonomik VII

Evolutionäre Ökonomik – Methodologische,
ökonometrische und mathematische Grundlagen

Von

Thomas Brenner, Uwe Cantner, Georg Erdmann,
Dirk Fornahl, Horst Hanusch, Reiner Peter Hellbrück, Andreas Pyka,
Carsten Herrmann-Pillath, Paolo Saviotti, Adolf Wagner,
Rolf Walter, Wolfgang Weidlich

Herausgegeben von

Kurt Dopfer



Duncker & Humblot · Berlin

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in
der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen
Wiedergabe und der Übersetzung, für sämtliche Beiträge vorbehalten

© 2003 Duncker & Humblot GmbH, Berlin

Fremddatenübernahme und Druck:

Berliner Buchdruckerei Union GmbH, Berlin

Printed in Germany

ISSN 0505-2777

ISBN 3-428-11224-5

Gedruckt auf alterungsbeständigem (säurefreiem) Papier
entsprechend ISO 9706 ☹

Inhalt

Kapitel 1

Grundzüge der ökonometrischen und mathematischen Modellierung

Empirische Wirtschaftsforschung aus evolutionsökonomischer Perspektive

Von *Adolf Wagner*, Leipzig 31

Die Messung von technologischer Heterogenität und deren Veränderung. Ein Beitrag zur Empirischen Evolutionsökonomik

Von *Uwe Cantner*, Jena und *Horst Hanusch*, Augsburg 41

Das Modellierungskonzept der Soziodynamik

Von *Wolfgang Weidlich*, Stuttgart 67

Kapitel 2

Konzeptionelle Fundierung der Evolutorischen Ökonomik: Raum und Zeit

Der Raum als Kategorie der Evolutorischen Ökonomik

Von *Carsten Herrmann-Pillath*, Witten-Herdecke 79

Zum Verhältnis von Wirtschaftsgeschichte und evolutorischer Ökonomik

Von *Rolf Walter*, Jena 113

Theoretische Erkenntnisse zur Entstehung und Erzeugung branchenspezifischer Cluster

Von *Thomas Brenner* und *Dirk Fornahl*, Jena 133

Kapitel 3

Evolutorische empirische Modelle

Innovationsnetzwerke in der Biotechnologie

Von *Andreas Pyka*, Augsburg und *Paolo Saviotti*, Grenoble / Valbonne 165

Nutzen des evolutionsökonomischen Forschungsprogramms am Beispiel der Chlor-Alkali-Elektrolyse

Von *Georg Erdmann*, Berlin 197

Entstehung und Ausbreitung geschäftsschädigender Innovationen: ein Fallbeispiel

Von *Reiner Peter Hellbrück*, Würzburg/Schweinfurt 219

Innovationsnetzwerke in der Biotechnologie

Von *Andreas Pyka*, Augsburg und *Paolo Saviotti*, Grenoble / Valbonne

1. Einleitung

Innovationsnetzwerke stellen ein noch sehr junges Phänomen dar, deren häufige Entstehung und Verwendung im Organisationsprozeß der industriellen Forschungsanstrengungen im wesentlichen erst seit den frühen 1980er Jahren zu beobachten ist. Von ökonomischer Seite wurde nicht nur die zunehmende Verbreitung von Innovationsnetzwerken zunächst nicht erkannt, auch ihre bloße Existenz galt lange Zeit als eine Ausnahmeerscheinung. Nur die marktmäßige sowie die hierarchische Organisation in Unternehmen galten als stabile Organisationsformen. Netzwerke dagegen wurden als nur hybrides und vorübergehendes Phänomen betrachtet, welches allenfalls in eng begrenzten Nischen von Bestand sein kann. Wie es durchaus immer wieder geschieht, wurden die Wirtschaftswissenschaften auch hier von der Realität überrascht – die schiere Anzahl von inter-institutionellen kooperativen Arrangements hat beständig in den 1980ern und 1990ern zugenommen (EU Indicators Report, 1997). Daraus folgt letztendlich die Notwendigkeit einer Modifikation gegenwärtiger industrieökonomischer Ansätze, will man die Existenz und die Charakteristika von Innovationsnetzwerken erklären. Der Ausdruck *inter-institutionelle kooperative Arrangements* wird hierbei herangezogen, weil typischerweise nicht nur Unternehmen die Mitglieder von Innovationsnetzwerken darstellen. Daneben finden sich sehr häufig auch universitäre und sonstige öffentliche Forschungseinrichtungen als Teilnehmer.

In der gegenwärtigen Literatur finden sich üblicherweise zwei Begründungen für das Auftreten von Innovationsnetzwerken: Auf der einen Seite wird das erhöhte Innovationstempo angeführt, das auf der anderen Seite noch zusätzlich von einer Verkürzung der Produktlebenszyklen begleitet wird. Folglich sind es gerade die Mechanismen der Wissensentstehung und -verwendung, welche hier eine herausragende Rolle spielen. Netzwerke stellen einen wichtigen Baustein in der Herausbildung einer wissensbasierten Gesellschaft dar, in der Wissen den ausschlaggebenden Faktor für wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und Wachstum darstellt. In einer wissensbasierten Ökonomie wird somit nicht nur der Umfang des Wissens zunehmen, sondern es werden sich insbesondere auch die Mechanismen der Wissensentstehung und -verwendung verändern. *Gibbons et al.* (1994) sprechen in die-

sem Zusammenhang auch von einem *Modus 2* in der Wissensproduktion, der zusätzlich zum traditionellen *Modus 1* entstanden ist: Während im *Modus 1* die Schaffung und Verwendung von neuem technologischen Wissen institutionell und chronologisch klar voneinander getrennt sind, gibt es im *Modus 2* einen kontinuierlichen Interaktionsprozeß zwischen diesen beiden Stufen, wodurch auch neue institutionelle und organisatorische Regelungen notwendig werden. Netzwerke stellen in diesem Zusammenhang eine geeignete Organisationsform dar.

Betrachtet man nun die *Biotechnologie-basierten Industrien*¹, so kann man getrost feststellen, daß sie heute an der vordersten Front zur Herausbildung einer wissensbasierten Ökonomie stehen. Das mutet zunächst etwas verwunderlich an, weil gleichzeitig auch behauptet werden kann, daß biotechnologische Verfahren zu den ältesten von der Menschheit herangezogenen Technologien zählen. Das Brauen von Bier und die Herstellung von Joghurt sind zwei typische Beispiele. Die moderne Biotechnologie unterscheidet sich jedoch maßgeblich seit der Entstehung der Molekularbiologie, die in den 1930er Jahren mit dem Versuch der Übertragung physikalischer Methoden auf den Erkenntnisgegenstand der Biologie aufkam. In den 1970er Jahren hat sich die Biotechnologie durch zwei Entdeckungen – der DNS-Rekombination und den monoklonalen Antikörpern – schließlich von einer wissenschaftlichen Disziplin mit bedeutendem aber noch weit in der Zukunft liegendem Anwendungspotential, zu einem Hort industrieller Anwendungen entwickelt. Diese jüngsten Errungenschaften in der Biotechnologie werden von einigen Autoren auch als dritte Generation bezeichnet, um sie von der vollkommen auf Erfahrungswissen begründeten ersten Generation und der zweiten Generation, welche mit der Herstellung von Antibiotika begann, zu unterscheiden. Die zweite Generation greift dabei sehr wohl auf wissenschaftliche Grundlagen zurück, aber erst mit der dritten Generation wurde durch die Erkenntnisse der Molekularbiologie das Wissen verfügbar, welches es erlaubt, den genetischen Aufbau von Zellen und Organismen systematisch zu manipulieren.

Mitte der 1970er Jahre waren zunächst jedoch nur sehr wenige Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Molekularbiologie aktiv, wobei die meisten davon wiederum in den Vereinigten Staaten angesiedelt waren. Die industriellen Nutzer, welche prinzipiell für eine Anwendung des molekularbiologischen Wissens in Frage gekommen wären, waren zu diesem Zeitpunkt dazu noch nicht in der Lage, da ihnen die absorptiven Fähigkeiten dafür weitgehend fehlten. Ihre Kompetenzen bezogen sich auf die angestammten Felder der organischen Chemie und der Mikrobiologie. Tatsächlich hinderte das Fehlen der *absorptiven Fähigkeiten* industrielle Anwender zunächst an einer frühen Erschließung, der durch die Molekularbiologie eröffneten technologischen Möglichkeiten. So dauerte es in den Vereinigten Staa-

¹ Bei der Biotechnologie handelt es sich nicht um eine Branche sondern um eine wissenschaftliche Disziplin, die für eine Vielzahl von Industrien von Bedeutung ist, weshalb hier von den sogenannten *Biotechnologie-basierten Industrien* die Rede ist (vgl. Saviotti, P., P. (1998)). Besonders wichtige Beispiele stellen die pharmazeutische Industrie, die Agrarindustrie, Lebensmittel- und Umwelttechnologien dar.

ten bis zu den 1980er Jahren, in den europäischen Volkswirtschaften gar bis in die 1990er Jahre, bis sich ein spürbarer Einfluß der Biotechnologie in der industriellen Forschung bemerkbar machte.

Industrielle Anwendungen der biotechnologischen Verfahren sind heute im allgemeinen sehr abhängig von neuen wissenschaftlichen Entwicklungen, oft sogar aus dem unmittelbaren Grundlagenbereich. Auch wenn der Zeitabschnitt zwischen der wissenschaftlichen Entdeckung und dem ersten Auftauchen dieses Wissens in neuen kommerziellen Produkten sehr lang sein kann, ist die Zeitspanne zwischen der wissenschaftlichen Entdeckung und der ersten Anwendung des neuen Wissens in industriellen Forschungslabors in der Regel sehr kurz. Folglich beschränkt sich die Grundlagenforschung auch nicht auf öffentliche Forschungseinrichtungen, sondern nahezu alle Unternehmen, die sich in der Biotechnologie engagieren, unterhalten eigene Labors für die grundlagen-orientierte Forschung. Die Biotechnologie-basierten Industrien stellen somit sowohl bezüglich ihrer Wissensintensität als auch bezüglich der Mechanismen der Wissensentstehung und -verwertung ein Beispiel par excellence für eine wissensbasierte Ökonomie dar.

Frühe Untersuchungen kooperativer Netzwerke deuteten zunächst auf die Möglichkeit hin, daß es sich hierbei nur um eine temporäre Organisationsform industrieller Innovationsprozesse handeln kann. Dieser temporäre Charakter wird zurückgeführt auf das Auftreten technologischer Diskontinuitäten, wie sie beispielsweise durch das Aufkommen eines neuen technologischen Paradigmas verursacht werden. Sogenannte große diversifizierte Unternehmen (abgekürzt im folgenden als LDFs für *large diversified firms*) sind im vorherrschenden technologischen Paradigma gefangen, in dem sie ihre gesamten hochentwickelten Kompetenzen gebündelt haben. Eine einfache Integration des neuen Wissens ist für sie nicht möglich. M.a.W. den LDFs fehlen die absorptiven Fähigkeiten für eine schnelle Integration des neuen Wissens und sie sind auch nicht in der Lage, entsprechende Fähigkeiten kurzfristig aufzubauen. Statt dessen entsteht eine neue Form industrieller Akteure – kleine technologie-orientierte Start-up-Unternehmen –, die diese Lücke zwischen öffentlichen Forschungseinrichtungen und den LDFs schließen sollen. Im Fall der Biotechnologie-basierten Industrien spricht man von sogenannten *Dedicated Biotechnology Firms* bzw. abgekürzt DBFs. Diesen DBFs wird die Rolle eines Wissensintermediärs zwischen der grundlagen-orientierten Forschung und der anwendungsbezogenen industriellen Forschung zugeordnet. Im folgenden wird diese Rolle der DBFs auch als *Übersetzer-Rolle* bezeichnet.

Im Lauf der Zeit ist jedoch zu erwarten, daß die LDFs durchaus in der Lage sein werden, sich über die Kooperation mit den DBFs eigene Kompetenzen und absorptive Fähigkeiten in der Biotechnologie aufzubauen. Ist dies erstmals erreicht, erübrigt sich die Zusammenarbeit mit den DBFs, deren *Übersetzer-Rolle* wird gleichsam redundant. Daher müßte die industrielle Organisation des Innovationsprozesses auch wieder zur traditionellen Dichotomie zwischen Märkten auf der einen Seite, und Hierarchien in Unternehmen auf der anderen Seite zurückkehren.

Innovationsnetzwerke dagegen müßten als Organisationsform des industriellen Innovationsprozesses wieder verschwinden.

Wie bereits erwähnt ist dies jedoch nicht der Fall. Ganz im Gegenteil hat die Häufigkeit der Entstehung der inter-institutionellen kooperativen Arrangements während der ganzen 1980er und 1990er Jahre noch zugenommen. Folglich haben entweder die LDFs das neue biotechnologische Paradigma immer noch nicht internalisiert, oder aber es hat sich eine neue Rolle für die DBFs herausgebildet. Wir schlagen vor, daß tatsächlich spätestens seit Ende der 1980er Jahre eine neue Rolle für die DBFs entstanden ist. Seit ungefähr dieser Zeit läßt sich nämlich beobachten, daß eine große Zahl der industriellen Akteure sehr wohl in der Lage waren, eigene biotechnologische Kompetenzen aufzubauen (siehe z. B. *Grabowski und Vernon, 1994*) und sich dennoch weiterhin in kooperative Forschungsanstrengungen mit den DBFs engagieren. Die neue Rolle der DBFs hängt sehr stark mit der beschleunigten Entstehung von technologischen Wissen zusammen. Auch wenn es den LDFs gelang entsprechende absorptive Fähigkeiten selbst aufzubauen sind sie dennoch nicht in der Lage, allein mit allen relevanten Entwicklungen Schritt zu halten. Daher greifen LDFs weiterhin auf Innovationsnetzwerke mit den DBFs zurück, da sie sich davon erwarten, Anschluß an die Forschungsfrontier zu erhalten und für sie relevante wissenschaftliche und technologische Entwicklungen bereits sehr früh auszumachen. Eine alternative Strategie für die LDFs wäre der Aufbau eigener Forschungslabors in allen als relevant erachteten Gebieten. Dies ist jedoch durch die schnelle Entwicklung und zunehmende Komplexität in der Molekularbiologie nicht nur sehr teuer, sondern nahezu unmöglich. F&E-Kooperationen mit den DBFs stellen eine im Vergleich dazu flexiblere Strategie dar, die zudem mit geringen Irreversibilitäten verbunden ist. Beobachtungen der Branche deuten darauf hin, daß die kooperative Strategie bezüglich der Aneignung biotechnologischer Verfahren bei den LDFs mit keinen qualitativen Unterschieden verbunden ist. Netzwerklösungen stellen statt dessen einen Versuch dar, den Zielkonflikt zwischen einer schnellen Reaktionsfähigkeit auf neueste technologische Entwicklungen und der Vermeidung von *sunk costs*, durch das eigene Engagement in sich dann als wenig erfolgversprechend herausstellende Technologien zu überwinden. Diese zweite Rolle der DBFs im industriellen Innovationsprozeß bezeichnen wir daher als *Explorer-Rolle*.

Im folgenden werden Innovationsnetzwerke in den Biotechnologie-basierten Industrien mit einem besonderen Fokus auf das Zusammenspiel von LDFs und DBFs analysiert. Wir vergleichen die Vor- und Nachteile unterschiedlicher unternehmerischer Strategien, insbesondere kooperativer und sog. *go-it-alone*-Strategien in einem numerischen Modell, wobei sich endogen verändernde umweltliche Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Die Entstehung und Entwicklung von Innovationsnetzwerken wird hierbei eine Dynamik aufweisen, die sich nach einer ersten Welle der Formation auch in einer Neuorganisation der jeweiligen Innovationsnetzwerke niederschlägt. Die Ergebnisse des Modells werden schließlich mit realen Entwicklungen im Sinne eines *history-friendly-models* verglichen.

2. Das Modell

Vor der Erläuterung der formalen Zusammenhänge des Modells² sind noch einige Bemerkungen über den von uns herangezogenen methodologischen Rahmen notwendig. Es handelt sich um ein sog. *history-friendly-model*, wie es erst vor kurzem von Nelson, Malerba, Orsenigo und Winter (1999) eingeführt wurde.

„History friendly models are designed to capture, in a stylized form, the mechanisms and factors affecting industry evolution, technological advance and institutional change detected by empirical scholars of industrial economics, technological change, business organization and strategy, and other social scientists. Thus history friendly models can be considered the natural extension to modeling of qualitative and appreciative theories“ (Nelson, Malerba, Orsenigo, Winter, 1989, S. 3).

Auch im evolutorisch-ökonomischen Rahmen muß ein Modell durch einen gewissen Abstraktionsgrad gekennzeichnet sein und kann die Realität nicht in ihrer ganzen Komplexität abbilden. Die Mechanismen eines formalen Modells müssen transparent bleiben und dem Wissenschaftler erlauben, Ursachen für die beobachteten Ergebnisse auszumachen. Deshalb sind in einem ersten Schritt der Modellentwicklung zur Komplexitätsreduktion des Forschungsobjekts, die relevanten Akteursgruppen zu identifizieren, Entwicklungen, die in die gleiche Richtung wirken sowie wichtige Handlungsgrößen und -alternativen zusammenzufassen. Dennoch erlaubt der evolutorische Ansatz im Gegensatz zu den herkömmlichen industrieökonomischen Ansätzen, auf die entscheidenden Größen des Innovationsprozesses abzustellen, die insbesondere in der nicht-linearen Dynamik, der notwendigen Heterogenität der Akteure und in der echten Unsicherheit ausgemacht werden.³

Im folgenden sollen die wesentlichen Komponenten des Modells vorgestellt werden, wobei vor allem die Repräsentation der Akteure, die Art und Weise wie der Innovationsprozeß modelliert wird und die Voraussetzungen und Folgen des Netzwerkprozesses im Vordergrund stehen.

2.1 Die Abbildung der Akteure

Eine explizite Berücksichtigung im Modell erfahren die großen diversifizierten Unternehmen (LDFs) und die *Dedicated Biotechnology Firms* (DBFs). Beide Akteurspopulationen werden dabei mit Hilfe ihrer Kompetenzen und Fähigkeiten beschrieben.

² Eine ausführliche Darstellung des Simulationsmodells findet sich unter: <http://www.unibielefeld.de/iwt/sein/paperno5.pdf>.

³ Vgl. Pyka, A. (1999), 121 – 147.

– *Kompetenzen*

Technologische Kompetenzen gelten als jene Komponenten in der Wissensbasis einer Unternehmung, welche für den Aufbau von spezifischen Fähigkeiten im Innovations- und Produktionsprozeß benötigt werden. Um also in der Lage zu sein, überhaupt erst die für die erfolgreiche Markteinführung neuer Produkte benötigten Fähigkeiten zu erwerben, müssen entsprechende technologische Kompetenzen (hier: biotechnologische Kompetenzen) aufgebaut werden. Zudem reichen technologische Kompetenzen allein für eine erfolgreiche Markteinführung nicht aus. Zusätzlich sind entsprechende ökonomische Kompetenzen für die Markteinführung und Produktion erforderlich. Beispielsweise können hierfür Erfahrungen bei der Durchführung klinischer Tests, ein funktionierendes Vertriebssystem usw. angeführt werden.

Sicherlich ist diese Darstellung etwas vereinfachend, da die Bandbreite der benötigten Kompetenzen sehr breit ist und sehr heterogene Komponenten aufweist. Vor dem empirischen Hintergrund, daß es gerade der Population der DBFs zu Beginn ihres Lebenszyklus an ökonomischen Kompetenzen mangelt, während die Population der LDFs in den 1980er Jahren vor allem durch das Fehlen von absorptiven Fähigkeiten für die neuen biotechnologischen Verfahren gekennzeichnet waren, erlaubt diese Charakterisierung der Akteure mittels ihrer Kompetenzen im Modell jedoch zumindest hinreichend zwischen den beiden Hauptakteursgruppen zu differenzieren. Desweiteren können die technologischen Kompetenzen auch als *core competencies* bzw. Kernkompetenzen (Pralhad, Hamel, 1990) betrachtet werden, während die ökonomischen Kompetenzen die *complementary assets* bzw. komplementären Ansätze (Teece, 1986) für eine ökonomische Verwertung darstellen.

Der Aufbau technologischer B_i^t und ökonomischer Kompetenzen EC_i^t wird durch die Gleichungen (1) bzw. (2) beschrieben:

$$(1) \quad B_i^t = \frac{1}{1 + \exp(const - NCOP_i^t \cdot t^{BIO})} ,$$

$$(2) \quad EC_i^t = \frac{1}{1 + \exp(const - NCOP_i^t \cdot t^{ECO})} .$$

B_i^t : = technologische Kompetenzen der Firma i zum Zeitpunkt t ,

EC_i^t : = ökonomische Kompetenzen der Firma i zum Zeitpunkt t ,

$NCOP_i^t$: = Anzahl (kumuliert) der Kooperationen einer Unternehmung i zum Zeitpunkt t ,

$t^{BIO/ECO}$: = Zeitdauer der jeweiligen Aktivitäten.

In der Abbildung 1 ist der funktionale Zusammenhang graphisch für den Fall der technologischen Kompetenzen dargestellt. Zunächst gestaltet sich der Aufbau einer technologischen Wissensbasis als ein durchaus schwieriger und langwieriger Prozeß, in dem sich erste Erfolge nur langsam abzeichnen. Nachdem jedoch bereits

eine erste Wissensbasis aufgebaut wurde, wird es zunehmend leichter, weitere Kompetenzen zu erwerben (Schwelleneffekt). Schließlich wird es mit dem Erreichen der Wissensfrontier wieder aufwendiger neue Kompetenzen aufzubauen. Der gewählte funktionale Zusammenhang gewährleistet variable Erträge beim Aufbau der Wissensbasis: Zunächst sehr niedrig, positiv und wachsend in mittleren Phasen und schließlich wieder abnehmende Zuwächse. Der Prozeß des Aufbaus biotechnologischer Kompetenzen wird dabei begleitet durch kooperative Engagements mit anderen Unternehmen, die vor allem für den ersten Aufbau der eigenen Wissensbasis eine unentbehrliche Rolle spielen⁴ – ein wichtiger Teil des Kompetenzaufbaus erfolgt somit als Wissenstransfer in Innovationsnetzwerken.

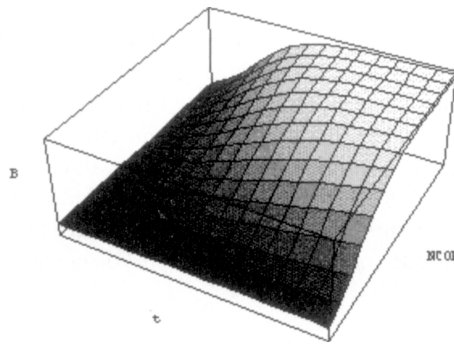


Abb. 1: Der Aufbau biotechnologischer Kompetenzen

– Die Unterscheidung zwischen LDFs und DBFs⁵

Die beiden in den Biotechnologie-basierten Branchen anzutreffenden Populationen können nun wie bereits angedeutet mit Hilfe ihrer relativen technologischen und ökonomischen Kompetenzen voneinander unterschieden werden. Betrachten wir zunächst die Population der LDFs, also beispielsweise von großen etablierten Unternehmen der pharmazeutischen Industrie. Bis zum Ende der 1970er Jahre war deren Forschung nahezu ausschließlich in das traditionelle Paradigma der organischen Chemie eingebettet. Das Aufkommen des neuen biotechnologischen Paradigmas stellte für sie einen sog. *Kompetenz-zerstörenden technischen Fortschritt*⁶ dar, da die meisten ihrer eigenen Kompetenzen durch die Biotechnologie Gefahr liefen, der Obsoleszenz anheimzufallen. In unserem Modell sind die LDFs in der Startverteilung dargestellt durch sehr ausgeprägte ökonomische Kompetenzen, aber mit mehr oder weniger fehlenden biotechnologischen Kompetenzen.

⁴ Vgl. Senker, J. und Sharp, M. (1997).

⁵ Siehe beispielsweise Acharya, R. (1999), S. 15 ff.

⁶ Tushman, M.L., Anderson, P. (1986).

In der zweiten Population finden wir dagegen die kleinen technologie-orientierten Start-up-Unternehmen, oft kommerzielle Universitäts-Spin-Offs mit einer ausgeprägten Spezialisierung in der Biotechnologie. Diese Gruppe von Unternehmen (DBFs) hat hochentwickelte biotechnologische, aber fast fehlende ökonomische Kompetenzen. Bei ihrer Gründung sind sie deswegen insbesondere abhängig von der Akquisition externer Mittel zur Durchführung ihrer Forschungsaktivitäten. In unserer Startverteilung werden die DBFs folglich mit ausgeprägten technologischen und fast fehlenden ökonomischen Kompetenzen dargestellt.

– *Venture Capital-Unternehmen und öffentliche Forschungseinrichtungen*

Neben den Unternehmen berücksichtigen wir zwei weitere Akteursgruppen im Modell: Öffentliche Forschungseinrichtungen und Risikokapitalunternehmen. Um das Modell jedoch so einfach wie möglich zu gestalten, wird deren Verhalten nicht explizit formalisiert. Statt dessen werden sie als wichtiger Bestandteil der Umwelt der Unternehmen interpretiert. Beispielsweise kann ein DBF, die für die Durchführung eigener Forschungsaktivitäten benötigten Mittel entweder über eine Kooperation mit einem LDF oder mit einem Risikokapitalunternehmen erwerben. Genauso kann ein LDF zum Aufbau eigener biotechnologischer Kompetenzen entweder mit einem DBF oder mit einer öffentlichen Forschungseinrichtung kooperieren usw.

– *Fähigkeiten*

Der Rückgriff auf die technologischen Kompetenzen erlaubt es den Unternehmen, kumulativ technologische Fähigkeiten (*capabilities*) zur Erforschung des technologischen Möglichkeitenraums zu erwerben. Die technologischen Fähigkeiten beschreiben dabei das für die Einführung einer spezifischen Neuerung erforderliche Wissen und werden in systematischen Forschungsanstrengungen aufgebaut. Die Unternehmen in unserem Modell agieren in einer Umwelt, welche sie kontinuierlich zur Einführung neuer Technologien bzw. Produkte veranlaßt. Über einen längeren Zeitraum nicht innovativ zu sein ist in den Biotechnologie-basierten Industrien gleichbedeutend mit einem Verlust an Wettbewerbsfähigkeit. Um daher die Wahrscheinlichkeit für eine Innovation zu vergrößern, akkumulieren die Unternehmen im Zeitablauf technologische Fähigkeiten entsprechend Gleichung (3):

$$(3) \quad C_i^t = \sum_t r_i^t .$$

C_i^t : = Fähigkeiten eines Unternehmens i zum Zeitpunkt t ,

r_i^t : = Netto-F&E-Ausgaben des Unternehmens i zum Zeitpunkt t .

Erst zusammen mit den technologischen Kompetenzen determinieren die technologischen Fähigkeiten die Innovationswahrscheinlichkeit Pr_i^t , ausgedrückt in Gleichung (4)

$$(4) \quad Pr_i^t = 1 - \exp(-B_i^t \cdot C_i^t) .$$

Pr_i^t : = Innovationswahrscheinlichkeit des Unternehmens i zum Zeitpunkt t .

Um die mit Innovationen untrennbar verbundene *echte* Unsicherheit zu berücksichtigen, wird diese unternehmerische Innovationswahrscheinlichkeit in jeder Periode mit einer *Poisson-verteilten* Zufallsvariablen verglichen, deren Erwartungswert von Pr_i^t asymptotisch erreicht wird. Eine Unternehmung ist nur dann erfolgreich in ihren Innovationsanstrengungen, wenn ihre Innovationswahrscheinlichkeit Pr_i^t größer als die Zufallszahl ist.⁷

Technologische Fähigkeiten allein sind für die erfolgreiche Einführung einer neuen Technologie bzw. eines neuen Produktes jedoch nicht ausreichend. Dafür muß ein Unternehmen auch die entsprechenden ökonomischen Fähigkeiten E_i^t sowie die ökonomischen Kompetenzen EC_i^t beispielsweise in der Produktion, der Zulassung von neuen Medikamenten, im Marketing und Vertrieb erwerben. In unserem Modell werden ökonomische Fähigkeiten auf die gleiche Weise wie die technologischen Fähigkeiten aufgebaut und sind für inkrementelle Verbesserungen auf den technologischen Trajektorien verantwortlich, welche zuvor durch neue Produkte eröffnet wurden.

– F&E-Entscheidungsregeln

Nachdem Innovationen, wie bereits erwähnt, grundsätzlich mit echter technologischer und ökonomischer Unsicherheit verbunden sind, lassen sich die F&E-Entscheidungen der Akteure nicht länger durch ein Optimierungskalkül darstellen. Anstelle dessen greifen die Unternehmen auf (Daumen-) Regeln zurück, wie beispielsweise: *Investiere x% deines Umsatzes in F&E, halte x% deiner Finanzzuflüsse zum Aufbau von Reserven zurück*, usw. In der gleichen Art regeln *routinisierte* Entscheidungsabläufe die Allokation des Budgets auf verschiedene Aktivitäten (z. B. auf den Aufbau technologischer oder ökonomischer Kompetenzen).

⁷ In diesem Zusammenhang zeigt sich ein entscheidender methodologischer Vorteil von Simulationsmodellen in der Abbildung von Innovationsprozessen: Während in herkömmlichen Optimierungsmodellen der Modellierer gleichsam in die Haut des modellierten Wirtschaftssubjektes schlüpft und somit keine Unterscheidung zwischen Modellierer und modelliertem Akteur mehr möglich ist, erlauben Simulationsmodelle die Programmierung von Zufallszahlen, deren statistische Verteilungen für die Akteure im Modell unbekannt bleiben (siehe Pyka, A., 1999, S. 132).

2.2 Netzwerke

Zur Ausgestaltung ihrer Innovationsprozesse können die Unternehmen auf zwei unterschiedliche Strategien zurückgreifen: Sie entscheiden sich entweder für eine *go-it-alone*-Strategie, was bedeutet, daß sie auf der einen Seite zwar auf den Rückgriff auf externe Wissensquellen verzichten, daß sie aber auf der anderen Seite auch ihr Know-how nicht mit potentiellen Wettbewerbern teilen müssen. Oder sie entscheiden sich für die *kooperative* Strategie und bauen zusammen mit anderen Akteuren kollektiv die neuen Fähigkeiten für Innovationen auf. Durch diese wechselseitigen Kooperationen entstehen Innovationsnetzwerke, welche die Informationskanäle für die Wissensflüsse zwischen den Netzwerkteilnehmern schaffen.

Im Modell wird der Entstehungsprozeß der Netzwerke auf drei verschiedenen Stufen abgebildet: (i) Den Umweltbedingungen, welche entweder das Wachstum oder die Verkleinerung von Netzwerken fördern bzw. verursachen, (ii) den individuellen Entscheidungen der Akteure zu kooperieren und (iii) einem *Matching-prozeß*, der die jeweils kooperationswilligen Akteure zusammenbringt. Die dabei entstehende Netzwerkdynamik wird also sowohl von den spezifischen Entscheidungen als auch von den Umweltbedingungen determiniert. Auf diese Weise können wir eine Netzwerkentstehungswahrscheinlichkeit (P'_B) und eine Netzwerkauflösungswahrscheinlichkeit (P'_D) bestimmen, welche zusammen die Wahrscheinlichkeit für Innovationsnetzwerke (P'_N) festlegen.

– Die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung eines Netzwerks

Die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Innovationsnetzwerken hängt von einigen Umweltfaktoren ab: Die zunehmenden Komplexität des Innovationsprozesses und ein hoher Grad an technologischer Unsicherheit spielen dabei sicherlich die wichtigste Rolle.

Jedesmal wenn eine Unternehmung erfolgreich eine Innovation einführt, wird für die Anzahl unterschiedlicher Wissensfelder $\#KB$ eine Zunahme angenommen. Aufgrund des *komplementären* und *kombinatorischen* Charakters⁸ der Biotechnologie, nimmt der technologische Möglichkeitenraum Ω' – definiert als die Anzahl möglicher Kombinationen von Wissensfeldern – somit in nicht-linearer Weise zu (Gleichung (5) und Abbildung 2).

$$(5) \quad \Omega = \frac{\#KB!}{2! \#(KB - 2)!}$$

Ω : = technologischer Möglichkeitenraum,

$\#KB$: = Anzahl verschiedener Wissensfelder.

⁸ Starapoli, C. (1998), S. 15.

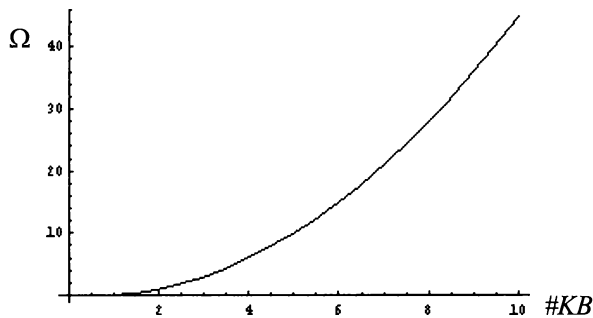


Abb. 2: Wachstum des technologischen Möglichkeitenraums

Insbesondere in den frühen Phasen des Technologielebenszyklus geht eine hohe technologische Komplexität mit einer ausgeprägten technologischen Unsicherheit einher, weil sich spezifische Forschungsheuristiken – beispielsweise wie mit dieser Komplexität umzugehen ist – noch nicht herausgebildet haben. Die jeweilige Phase des Technologielebenszyklus wird im Modell vereinfachend durch das durchschnittliche Alter der Produkte im Markt approximiert.

Zusätzlich hängt die Entstehung von Innovationsnetzwerken auch von der Zahl sog. zentraler Agenten (M_N) ab.⁹ In unserem Modell ist die Rolle der zentralen Agenten den LDFs zugedacht, da sie v.a. die finanziellen Ressourcen des Innovationsprozesses beisteuern.

Die drei genannten Größen beeinflussen die Entstehungswahrscheinlichkeit von Innovationsnetzwerken P_t^B , die in Gleichung (6) beschrieben wird. Die funktionale Form impliziert einen sigmoiden Verlauf und ist dargestellt in der Abbildung 3.

$$(6) \quad P_t^B = \frac{1}{1 + \exp(\text{const} - \frac{1}{TL} \cdot \frac{M_N^t}{N_N^t} \cdot \Omega)}$$

P_t^B : = Entstehungswahrscheinlichkeit für Innovationsnetzwerke,

TL : = Alter des Technologielebenszyklus,

M_N^t : = Anzahl zentraler Agenten,

N_N^t : = Anzahl von Unternehmen in Netzwerken.

M.a.W., die Wahrscheinlichkeit für Innovationsnetzwerke wächst mit der Komplexität des technologischen Möglichkeitenraums und der Anzahl der zentralen Agenten. Sie sinkt dagegen mit einer zunehmenden Reife des Technologielebenszyklus.

⁹ Saviotti, P. (1996), S. 36–37.

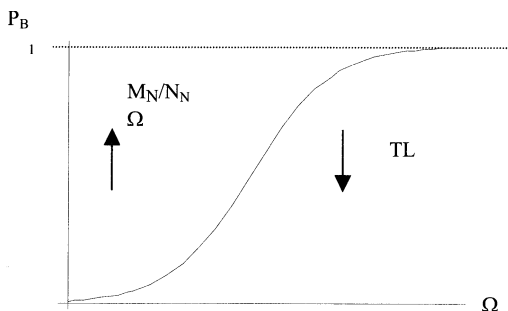


Abb. 3: Entstehungswahrscheinlichkeit für Innovationsnetzwerke

– Die Wahrscheinlichkeit für die Auflösung von Innovationsnetzwerken

Neben den Netzwerk-fördernden Einflüssen gibt es Netzwerk-hemmende Umweltbedingungen, welche die Wahrscheinlichkeit für Innovationsnetzwerke verkleinern. Zunächst ist in diesem Zusammenhang die Wettbewerbsintensität entscheidend. Der ökonomische Rahmen des Modells wird von einem heterogenen Oligopol (siehe unten) gestellt. Um die Wettbewerbsintensität in diesem heterogenen Oligopol zu messen, können wir den Grad der Substituierbarkeit, der von den Unternehmen angebotenen Produkte heranziehen. Zur Operationalisierung wird die Varianz σ_a^t der Variablen a_{ij}^t herangezogen, welche die relative Produktqualität eines Produktes j von Unternehmen i beschreibt: Je höher die entsprechende Varianz ausfällt, desto geringerer Wettbewerbsdruck herrscht in dem heterogenen Oligopol vor, da die einzelnen Unternehmen sehr unterschiedliche Produkte anbieten. Desweiteren können wir davon ausgehen, daß von einer gesättigten Nachfrage ein negativer Einfluß auf die Kooperationswilligkeit der Akteure ausgeht. In dieser späten Phase eines Technologielebenszyklus können bereits kleinere technologische Verbesserungen mit deutlichen Verbesserungen der relativen Marktposition eines Unternehmens einhergehen, was die Bereitschaft Know-how mit anderen Unternehmen auszutauschen, verringert. Schließlich soll auch die technologische Performance der Unternehmen, die sich in Netzwerken engagieren im Vergleich zur Performance aller Unternehmen als Größe herangezogen werden. Falls dieser Vergleich negativ ausfällt wird die Wahrscheinlichkeit für Innovationsnetzwerke ebenfalls vermindert. Die technologische Performance wird wieder mit Hilfe der jeweiligen relativen Produktqualitäten approximiert. Diese Faktoren werden in der Wahrscheinlichkeit für die Auflösung von Innovationsnetzwerken zusammengefaßt (Gleichung 7):

$$(7) \quad P'_D = \alpha_1 \cdot \left(\bar{a}^t - \frac{1}{k} \sum_k a_k^t \right) \cdot \frac{1}{\sigma_a^t} \cdot TL ,$$

P'_D : = Wahrscheinlichkeit für die Auflösung von Innovationsnetzwerken,

$\bar{a}^t$: = durchschnittliche Qualität zum Zeitpunkt t ,

- $\frac{1}{k} \sum_k a_k^t$: = durchschnittliche Qualität der k kooperierenden Unternehmen,
 σ_a^t : = Heterogenität auf den Output-Märkten,
 α_1 : = Gewichtungssparameter.

Die Netto-Wahrscheinlichkeit für Innovationsnetzwerke P_N^t wird nun zu jedem Zeitpunkt aus den Wahrscheinlichkeiten für die Entstehung und die Auflösung von Netzwerken generiert. Die Höhe dieser Wahrscheinlichkeit beeinflusst dabei die Entscheidung der Unternehmen sich auf neue Kooperationen einzulassen, oder nicht:

$$(8) \quad P_N^t = \frac{1 + P_B^t - P_D^t}{2} ;$$

P_N^t : = Netto-Wahrscheinlichkeit für Innovationsnetzwerke.

In den Fällen, in denen P_N^t kleiner als 0.5 ist, werden $2 \cdot (0.5 - P_N^t) \cdot 100\%$ jener Unternehmen die bislang in Netzwerken engagiert sind, ihre kooperativen Beziehungen auflösen. Falls die Wahrscheinlichkeit P_N^t dagegen größer oder gleich 0.5 wird, werden $2 \cdot (P_N^t - 0.5) \cdot 100\%$ der Unternehmen neue kooperative Beziehungen planen. Folglich determiniert die Wahrscheinlichkeit P_N^t die Anzahl der Unternehmen, die in der Periode bereit sind zu kooperieren.

– Netzwerkentscheidungen

Als nächstes müssen die Unternehmen entscheiden, ob sie neue Kooperationen anstreben. Dabei stehen ihnen prinzipiell zwei Kooperationsformen zur Verfügung:

- a) Kooperationen im Hinblick auf komplementäre Ansätze (*complementary assets*), d. h. die Unternehmen möchten über eine Kooperation entweder technologische oder ökonomische Kompetenzen aufbauen, die sie bislang selbst noch nicht bzw. nur in ungenügendem Ausmaß selbst besitzen, die sie jedoch als bedeutsam für ihren technologischen und wirtschaftlichen Erfolg einschätzen.
- b) Kooperationen zur Erschließung von technologischen Fähigkeiten, um Synergieeffekte zu realisieren. Hier geht es insbesondere um die Erschließung sog. *extensiver technologischer Möglichkeiten* aus der gegenseitigen Befruchtung (*cross-fertilization*) unterschiedlicher und zunächst unverbundener technologischer Ansätze. In diesem Fall können sich die Kompetenzen und Fähigkeiten der Kooperationspartner durchaus überschneiden. Beispielsweise ist es denkbar, daß sich die beteiligten Unternehmen auf eine Arbeitsteilung im Forschungs- und Entwicklungsprozeß einigen und ihre technologischen Fähigkeiten bündeln, um gemeinsam das Innovationstempo zu erhöhen.

In der Unterscheidung zwischen diesen beiden Kooperationsformen finden wir die beiden Rollen wieder, welche die DBFs einnehmen können: Während sie in der Kooperationsform a) die Rolle von *Übersetzern* spielen, kommt ihnen in der Kooperationsform b) eindeutig die *Explorer-Rolle* zu. Die spezifische Entscheidung für eine Kooperation in der einen oder anderen Ausprägung hängt nun von den jeweiligen Kompetenzen und Fähigkeiten ab, welche die Unternehmen bislang bereits akkumuliert haben. Beispielsweise ist ein neu gegründetes Start-up-Unternehmen kaum in der Lage, die für die Innovationsaktivitäten benötigten Mittel selbst aufzubringen und muß daher nach einem Partner zur Finanzierung der Forschung suchen. Genauso benötigt ein etabliertes LDF, welches den Einstieg in die Biotechnologie plant, bei fehlenden eigenen technologischen Kompetenzen einen kompetenten Partner, welcher es beim Aufbau des entsprechenden Wissensstocks unterstützt. Auf der anderen Seite wird vermutlich ein Unternehmen mit bereits hochentwickelten Fähigkeiten von einer Kooperation Abstand halten, da es hier Gefahr läuft, einen potentiellen Konkurrenten mit entsprechendem Know-how zu versorgen.

– Der Matchingprozeß

Nachdem nun die Anzahl der kooperationswilligen Unternehmen bestimmt wurde und deren Präferenz für die spezifische Ausgestaltung der Kooperation festgestellt wurde, sind in einem nächsten Schritt noch die entsprechenden Unternehmen zusammenzubringen. Grundsätzlich sind hier verschiedene Mechanismen vorstellbar, mit denen dieser *Matchingprozeß* ausgestaltet werden kann. Im Modell haben wir uns für einen Mechanismus entschieden, der dem Prinzip des *success-breeds-success*¹⁰ folgt, was bedeutet, daß immer die Unternehmen in neuen Kooperationen zusammenkommen, die sich durch die jeweils höchsten technologischen Fähigkeiten auszeichnen und eine reziproke Entscheidung bezüglich der Kooperationsform gewählt haben. Auf diese Weise nehmen wir an, daß die Unternehmen in der Lage sind, mit ihrem technologischen Know-how auf der Partnersuche zu werben. Diese Annahme erscheint auch durchaus in Einklang mit der Realität, da in den Biotechnologie-basierten Industrien die Unternehmen einer Art *Ranking* ihrer technologischen Performance unterliegen, welches u. a. in Zeitungsanzeigen veröffentlicht wird. Hierbei herangezogene Indikatoren beziehen sich auf die angemeldeten Patente, die Anzahl von Veröffentlichungen in Fachzeitschriften sowie die Zusammensetzung des wissenschaftlichen Beratungsgremiums und spiegeln die Wissensbasis eines Unternehmens sehr gut wider.

¹⁰ Phillips, A. (1971).

2.3 Netzwerkkonsequenzen

Nachdem nun dargestellt wurde auf welche Weise Innovationsnetzwerke entstehen und wie Unternehmen in diesen Netzwerken zusammenkommen, sollen in diesem Abschnitt die Folgen der Netzwerkorganisation diskutiert werden. Zunächst einmal ist es offensichtlich, daß die Unternehmen durch ihre Entscheidung an einem Netzwerk teilzunehmen, miteinander technologisches Wissen austauschen.

– Absorptive Fähigkeiten

Das Ausmaß in dem ein Unternehmen von externem Wissen profitieren kann hängt entscheidend von seinen *absorptiven Fähigkeiten*¹¹ ab. In unserem Zusammenhang erscheint es durchaus plausibel, daß das Ausmaß der absorptiven Fähigkeiten von der Erfahrung der Unternehmen bestimmt wird, welche in bisherigen Kooperationen angesammelt werden konnte. Im Modell wird dies durch die Variable δ_i^t beschrieben, welche den Anteil des externen Wissens erfaßt, welches das Unternehmen erfolgreich in den eigenen Wissensstock integrieren kann – δ_i^t steht somit für die absorptiven Fähigkeiten im Netzwerkprozeß. M.a.W. externes Wissen kann nicht in jedem Fall in den eigenen Wissensstock integriert werden, sondern es müssen bestimmte Bedingungen erfüllt sein und ein Mindestmaß an Erfahrung dafür vorliegen. Damit geht gleichzeitig einher, daß das Ausmaß des Wissens, welches in Netzwerken diffundiert, notwendigerweise deutlichen Beschränkungen unterliegt. Der Aufbau der absorptiven Fähigkeiten ist in Gleichung (9) beschrieben, wobei wir auf die Erfahrung in Kooperationsprozessen zurückgreifen:

$$(9) \quad \delta_i^t = \alpha_2 \cdot NCOP_i^t,$$

δ_i^t : = absorptive Fähigkeiten des Unternehmens i zum Zeitpunkt t ,

α_2 : = Gewichtungparameter,

$NCOP_i^t$: = Anzahl bisheriger Kooperationen des Unternehmens i .

– Koordinationskosten

Mit den F&E-Kooperationen gehen auch Kosten einher, wodurch das Budget, welches für unmittelbare F&E-Anstrengungen zur Verfügung steht, verringert wird. Zudem würde ohne Berücksichtigung dieser Koordinationskosten die unrealistische Situation wahrscheinlich, daß alle Unternehmen miteinander in Verbindung treten. Die Koordinationskosten cr_i^t determinieren folglich zusammen mit den Umweltbedingungen für Netzwerke die potentielle Anzahl von F&E-Kooperationen. Für die Koordinationskosten nehmen wir an, daß sie für jede eingegangene Kooperation gleich sind und in konstanter Höhe anfallen. Formal verringern

¹¹ Vgl. Cohen/Levinthal (1989) und Cantner/Pyka (1998).

die Koordinationskosten also das Netto-F&E-Budget r_i^t (Gleichung (10)) und stehen für den *Trade-off* zwischen dem Aufbau von internem und der Aneignung von externem Wissen.

$$(10) \quad R_i^t = r_i^t + COP_i^t \cdot cr_i^t ;$$

R_i^t : = Brutto F&E-Budget der Firma i zum Zeitpunkt t ,

cr_i^t : = Koordinationskosten,

COP_i^t : = Anzahl der laufenden Kooperationen des Unternehmens i .

Folglich werden die Koordinationskosten in die unternehmerische Entscheidung eingehen, sich in kooperative F&E-Anstrengungen zu engagieren. Für ein Unternehmen i , welches bereits mehrere kooperative Beziehungen unterhält, belaufen sich die Koordinationskosten auf $COP_i^t \cdot cr_i^t$. Sie sollten dabei einen gewissen Prozentsatz η des Brutto-F&E-Budgets R_i^t nicht überschreiten. Für ihre Kooperationsentscheidung wird von den Unternehmen zusätzlich folgende Entscheidungsregel (11) berücksichtigt:

$$(11) \quad \begin{array}{ll} \text{if } COP_i^t \cdot cr_i^t \geq \eta \cdot R_i^t & \text{then no further cooperation is intended} \\ \text{else } COP_i^t \cdot cr_i^t < \eta \cdot R_i^t & \text{then new cooperations are possible} \end{array}$$

– Geldströme

Start-up DBFs mit fehlenden ökonomischen Kompetenzen können ihre F&E-Kosten allein nicht finanzieren und sind daher auf einen Kooperationspartner angewiesen, der ihnen die finanziellen Mittel zur Verfügung stellt. Kooperiert ein DBF in dieser Situation mit einem LDF, wird angenommen, daß dieses die entsprechenden Mittel zur Verfügung stellt. Ein DBF i behält dabei einen gewissen Prozentsatz κ des vom LDF j zur Verfügung gestellten Geldes als Gewinn ein und kann auf diese Weise im Zeitablauf einen Kapitalstock aufbauen, der es ihm erlaubt auch unabhängig Forschungen durchzuführen. Im Fall einer erfolgreichen Innovation gehen in einer solchen Situation die intellektuellen Eigentumsrechte an das LDF j , welches anschließend mit der Vermarktung des neuen Produktes beginnt.

Eine weitere Möglichkeit F&E-Mittel zu erhalten, stellen für DBFs Kooperationen mit Risikokapitalunternehmen dar. Im Modell nehmen wir hier ein exogen festgelegtes Angebot an Risikokapital VC^t an, welches pro Periode mit einer konstanten Rate wächst. Pro Periode werden maximal $n_{VC}^t = \frac{VC^t}{\bar{R}}$ ($\bar{R}$: = konstanter Betrag der pro Periode zur Verfügung gestellt wird) DBFs ihre Forschung über Risikokapital finanzieren können. Desweiteren nehmen wir eine konstante Zeitspanne t^{VC} an, in der einem Unternehmen Risikokapital zur Verfügung gestellt wird. Der Zugang zum Risikokapital ist in einem kompetitiven Prozeß geregelt:

Nur die Unternehmen mit den vergleichsweise höchsten technologischen Fähigkeiten sowie mit der größten Anzahl früherer Kooperationen erhalten eine Finanzierung.

– Wissensflüsse

Der sicherlich wichtigste Vorteil der Teilnahme in einem Innovationsnetzwerk stellt den Zugang zu externem Wissen dar. Das externe Wissen wirkt sich dabei in Abhängigkeit von den absorptiven Fähigkeiten eines Unternehmens auf dessen Innovationswahrscheinlichkeit aus. Die Innovationswahrscheinlichkeit einer Unternehmung die mit k anderen Unternehmen in kooperativen Beziehungen steht, beläuft sich auf:

$$(12) \quad Pr_i^t = 1 - \exp\left[-(B_i^t \cdot C_i^t + \delta_i^t \cdot \sum_k C_k^t)\right],$$

$\sum_k C_k^t$: = Fähigkeiten der k Kooperationspartner.

Die Teilnahme an einem Innovationsnetzwerk hat somit einen dreifachen Einfluß: Erstens wird das F&E-Budget durch die entstehenden Koordinationskosten verringert. Zweitens werden absorptive Fähigkeiten über eine Zunahme der Erfahrung in kooperativen Forschungsprojekten aufgebaut. Drittens wird schließlich über die Wissensflüsse in einem Innovationsnetzwerk externes Wissen verfügbar.

2.4 Wettbewerbsprozesse

Die Innovationsaktivitäten der Unternehmen finden in einer ökonomischen Umwelt statt, die neben den kooperativen Beziehungen in den Netzwerken natürlich auch durch Wettbewerb charakterisiert ist: Die Unternehmen stehen miteinander im Wettbewerb um die Nachfrage der Konsumenten. Auch die Unternehmen, deren Ziel zunächst nur das Angebot von neuem technologischen Wissen ist, stehen mit anderen Unternehmen im Wettbewerb um die im Innovationsprozeß benötigten F&E-Ressourcen. Schließlich stehen auch die Unternehmen, welche an dem Erwerb des externen Wissens interessiert sind, miteinander im Wettbewerb um die attraktivsten Kooperationspartner.

Der so skizzierte Wettbewerb findet also auf zwei verschiedenen Märkten statt: Dem Markt für die Endprodukte und dem Markt für Wissen. Der Markt für Wissen ist dabei aufgrund des besonderen ökonomischen Charakters von Wissen sicherlich durch einige Unvollkommenheiten gekennzeichnet. Dennoch deutet die bloße Existenz der DBFs mit ihrem Angebot an Forschungsdienstleistungen auf die Existenz dieses Marktes hin. Tatsächlich bestehen Kooperationen oft gerade zwischen Unternehmen, die auf unterschiedlichen Märkten (Güter und Wissen) zu Hause sind, so daß man hier von komplementären Beziehungen reden kann. Den-

noch ist auch eine Kooperation zwischen Unternehmen möglich, die auf dem selben Markt tätig sind.

Auf den Endproduktmärkten stehen die Unternehmen miteinander sowohl im Preis- als auch im Qualitätswettbewerb, wobei letzterer in dynamischer Perspektive über ihren jeweiligen Innovationserfolg determiniert wird. Ganz allgemein darf angenommen werden, daß ein erfolgreich innovierendes Unternehmen Nachfrage auf sich ziehen kann. Diese Substitutionseffekte gehen auf Preis- und Qualitätsveränderungen zurück, die von folgenden Aktionen und Reaktionen der Unternehmen ausgehen:

Die Einführung eines neuen Produkts mit nachfrageseitig höher eingeschätzten Qualitätseigenschaften schafft zusätzliche Nachfrage und erlaubt es, dem Innovator höhere Preise zu verlangen. Falls das neue Produkt von zwei oder mehreren kooperierenden Unternehmen eingeführt wird, wird der Nachfragezuwachs auf die Unternehmen aufgeteilt.

Als Reaktion auf diesen qualitätsinduzierten Substitutionseffekt können die anderen Unternehmen in benachbarten Märkten mit Preissenkungen reagieren, um den Nachfrageverlust so gering wie möglich ausfallen zu lassen.

Die Ausbeutung der technologischen Möglichkeiten, welche durch eine Neuerung verfügbar werden, erlauben es dem Innovator seine Produktionskosten zu senken, wodurch er wiederum über niedrigere Preise zusätzlich Nachfrage an sich ziehen kann.

Die nicht innovierenden Unternehmen können als Reaktion hierauf wiederum ebenfalls ihre Preise senken, verschlechtern dadurch allerdings ihre Preis-Kosten-Marge.

Eine weitere Wettbewerbskomponente findet sich im *Matchingprozeß* der potentiellen Kooperationspartner, der ja mit einem *success-breeds-success* Mechanismus modelliert wird (siehe oben). Unternehmen mit den jeweils höchsten ökonomischen und/oder technologischen Fähigkeiten werden hier zusammengebracht.

Mit der Wahl eines heterogenen *Mehr-Produkt-Oligopols*¹² werden die oben angeführten wettbewerblichen Beziehungen in das Modell implementiert. Die Unternehmen bieten heterogene Produkte an, wobei die Marktanteile bisher existierender Produkte durch das Auftreten von Neuerungen erodiert werden. Auf diese Weise entsteht endogen die Motivation zur Innovationstätigkeit, da die Unternehmen nicht davon ausgehen können, sich dauerhaft mit ihren gegenwärtigen Produkten auf den Märkten zu behaupten.

¹² Siehe Kuenne (1992) und Pyka (1999) für die Anwendung des Oligopols in einem Simulationsmodell.

3. Simulationsergebnisse

Die ersten numerischen Experimente dienen zunächst ausschließlich der Darstellung der grundlegenden Abläufe im Modell. Um die Ergebnisse übersichtlich zu gestalten, gehen wir von vergleichsweise kleinen Firmenpopulationen aus (8 DBFs und 4 LDFs). Im darauffolgenden Abschnitt 4 werden dann im Sinne eines *History-Friendly-Models* die Ergebnisse der numerischen Experimente mit den empirischen Entwicklungen verglichen.

Noch vor der Analyse der eigentlichen Netzwerkstruktur sollen die Entwicklung der Umweltbedingungen dargestellt werden, da sie für den Verlauf der Netzwerkdynamik einen entscheidenden Einfluß ausüben. In Abbildung 4 findet sich die erfolgreiche Einführung von Innovationen im Zeitablauf.

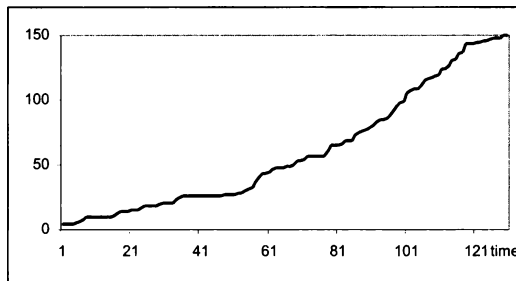


Abb. 4: Anzahl der Innovationen

Die ersten 50 Perioden sind durch eine vergleichsweise langsame Einführung von Neuerungen gekennzeichnet. Während dieser Zeit sind die meisten Akteure noch damit beschäftigt, eigene biotechnologische Kompetenzen aufzubauen. Erst ab ca. der Periode 45 findet eine gewisse Beschleunigung im Innovationstempo statt. Mittlerweile haben die ersten Akteure ausreichend Kompetenzen und absorptive Fähigkeiten aufgebaut. Nach der Periode 55 erhöht sich das Innovationstempo nun endgültig und nahezu jede zweite Periode kommt eine Neuerung auf den Markt.

Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der Reife des Industrielbenszyklus, gemessen am Durchschnittsalter der im Markt befindlichen Produkte. Aufgrund der nur langsamen Einführung von Neuerungen in den frühen Perioden, steigt das Durchschnittsalter der Produkte nahezu linear an. Nach der ersten Beschleunigung des Innovationstempos beginnt das Durchschnittsalter jedoch um den Wert 40 zu oszillieren. Der Alterungsprozeß und mit ihm die negativen Auswirkungen auf die Formation neuer Netzwerke wird reduziert. In späteren Perioden (ab ca. Periode 165) nimmt das Durchschnittsalter wieder zu, was auf eine Koexistenz verschiedener Produktgenerationen schließen läßt.

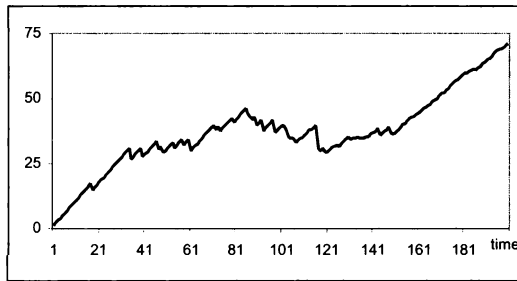


Abb. 5: Reife des Industrielbenszyklus

Sowohl die Anzahl der Neuerungen als auch die Reife des Industrielbenszyklus determinieren die Umweltbedingungen für die Netzwerkentstehung, die in der Abbildung 6 dargestellt sind. Während der ersten 40 Perioden führt die Kombination aus einem niedrigen Innovationstempo und einem zunehmenden Alter des Industrielbenszyklus zu einer Verschlechterung der Umweltbedingungen für die Netzwerkentstehung. Nach der Periode 60 begünstigt die Zunahme des Innovationstempes und die damit einhergehende Vergrößerung des technologischen Möglichkeitenraums jedoch die Entstehung neuer Netzwerkbeziehungen. Dieser Effekt überkompensiert sogar die spätere erneute Zunahme des Reifegrads des Industrielbenszyklus.

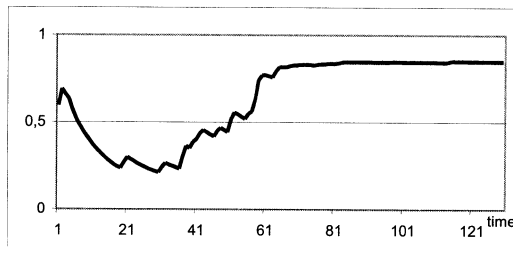


Abb. 6: Umweltbedingungen für die Entstehung von Netzwerken

In der Abbildung 7 ist die damit einhergehende Entwicklung der Netzwerkdichte (gemessen als das Verhältnis der Anzahl realisierter und potentiell möglicher Netzwerkbeziehungen) dargestellt. Nach einer ersten Zunahme der Netzwerkdichte stellt sich ab der Periode 10 eine deutliche Verlangsamung bzw. sogar eine leichte Abnahme ein, die bis zur Periode 45 andauert. Nach diesem Zeitraum nimmt die Netzwerkdichte jedoch wieder zu und beginnt um einen Wert zu oszillieren, der

ungefähr doppelt so hoch ist wie zu Beginn der Simulation. Das kann bereits als ein erster Hinweis für die veränderte Rolle der DBFs im Zeitablauf interpretiert werden. Die temporären Kooperationen in den ersten Perioden zwischen DBFs und LDFs sind im wesentlichen darauf gerichtet, die Lücke zwischen den neu aufkommenden Biotechnologien und den Kompetenzen der etablierten Industrie zu überbrücken. Später werden die DBFs jedoch mehr und mehr zu einer Art verlängerten Werkbank in den F&E-Aktivitäten, wodurch es den LDFs erlaubt wird, einen größeren technologischen Möglichkeitenraum zu untersuchen. Aus diesem Grund nehmen Häufigkeit und Dauer der Kooperationsbeziehungen in fortgeschrittenen Stadien der Industrieentwicklung zu.

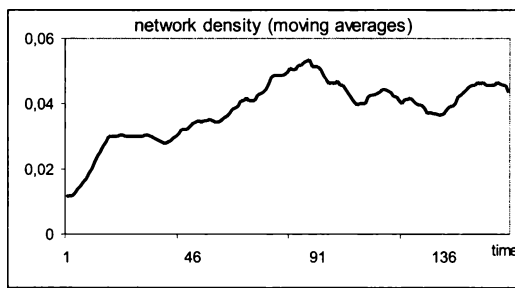


Abb. 7: Netzwerkdichte

Die folgenden Ausführungen sollen einen tieferen Einblick in das veränderte Kooperationsverhalten liefern. Im zweiten Abschnitt wurde ja argumentiert, daß die Dauerhaftigkeit der Netzwerkorganisation der Innovationsprozesse in den Biotechnologie-basierten Industrien nicht befriedigend erklärt werden kann, solange man den DBFs nur eine Rolle zugesteht. Während in den frühen Perioden die kleinen technologie-orientierten Start-ups eine *Übersetzer-Rolle* spielen, welche es den LDFs ermöglicht, den Aufbau eigener Kompetenzen zu erleichtern, stellt sich deren Rolle in späteren Perioden ganz anders dar. Nun haben sie sich als Kooperationspartner soweit emanzipiert, daß sie nicht länger nur eine Art von Transfer-einrichtung zwischen universitärer und industrieller Forschung darstellen. Sie nehmen mittlerweile eine *Explorer-Rolle* ein und erforschen gemeinsam mit den LDFs den immer komplexer werdenden technologischen Möglichkeitenraum. Diese endogen vermittelte Rollenänderung kann nun auch unmittelbar in der Simulation verfolgt werden. Abbildung 8 zeigt dafür die spezifische Zusammensetzung der verschiedenen Kooperationen im Zeitablauf.

Im ersten Abschnitt kommt es nur zu Kooperationen zwischen den LDFs und den DBFs: Die DBFs sind hier den LDFs beim Aufbau biotechnologischer Kompetenzen behilflich; als Kompensation dafür erhalten sie von den LDFs die Mittel, die es ihnen erlauben, ihre Forschungen durchzuführen. Sobald jedoch einige

DBFs in der Lage sind, über eigene Produkte Geld zu verdienen, beginnen sie sofort selbst neue Kooperationen zu initiieren, in der sie nun die *Explorer-Rolle* übernehmen. In der Simulation zeigt sich deutlich, daß diese Art von Kooperationen zwischen den DBFs im zweiten Abschnitt von zunehmender Bedeutung sind. Die kooperativen Forschungsvorhaben zielen jetzt auf die Bündelung der Fähigkeiten und auf die gemeinsame Ausschöpfung der technologischen Möglichkeiten. Am Ende des betrachteten Zeitraums entspricht die Anzahl der Kooperationen zwischen DBFs weitgehend der zwischen DBFs und LDFs.

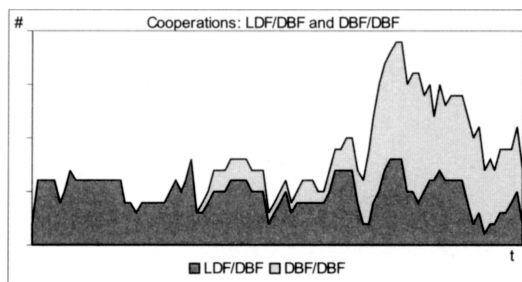


Abb. 8: Zusammensetzung der Kooperationen

Die veränderte Rolle der DBFs spiegelt sich auch in den Kooperationsentscheidungen der Unternehmen wieder. Im Modell lassen sich insgesamt drei Strategien unterscheiden: (i) Die *go-it-alone* Strategie, welche von Unternehmen gewählt wird, die sich an der technologischen Frontier wännen und die fürchten durch Kooperationen potentielle Wettbewerber zu unterstützen. Die *go-it-alone* Strategie wird aber auch von den Unternehmen gewählt, die sich bereits in mehreren Kooperationen befinden und die ihre Koordinationskosten nicht weiter wachsen lassen können. (ii) Die zweite Strategie beabsichtigt die Akquisition von F&E-Ressourcen; hier handelt es sich um die von den DBFs zu Beginn ihrer Karriere gewählte Strategieform, da sie zu diesem Zeitpunkt zwar ausgebildete technologische aber nur rudimentäre bzw. keine ökonomischen Kompetenzen besitzen. (ii) Die dritte Strategie schließlich zielt auf den gemeinsamen Aufbau technologischer Fähigkeiten in einem Netzwerk, um schneller Neuerungen einzuführen.

Abbildung 9 zeigt die Anteile, welche die einzelnen Strategien im Zeitablauf einnehmen. Diese Entscheidung ist selbstverständlich immer von der jeweiligen Position abhängig, in der sich ein Unternehmen befindet, insbesondere ob das Unternehmen bereits mehrere Kooperationen unterhält, oder nicht. Aus diesem Grund muß die weiße Fläche, die den Anteil der Unternehmen widerspiegelt, die nicht länger bereit sind, neue Kooperationen einzugehen, im Zeitablauf mit einer zunehmenden Netzwerkdichte ebenfalls zunehmen. Zu Beginn der Simulation streben nahezu alle Unternehmen Kooperationen in der Form des *Übersetzer-Typs* an

(schwarz schraffierte Fläche). Mit der zunehmenden Diffusion der biotechnologischen Kompetenzen innerhalb der Population der LDFs und der Entwicklung einiger DBFs hin zu vertikal integrierten Produzenten, verändert sich das Entscheidungsverhalten nahezu vollständig zu Kooperationsentscheidungen entsprechend dem *Explorer-Typ* (grau schraffierte Fläche). Damit geht einher, daß zu späteren Zeitpunkten eingegangene Kooperationen nahezu ausschließlich dem *Explorer-Typ* entsprechen, was auch durch die Ergebnisse der Abbildung 8 bestätigt wird.

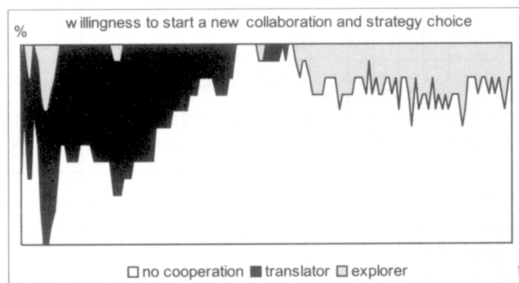


Abb. 9: Strategiewahl

4. Der Vergleich von artifiziellen und realen Netzwerken

Ziel der vorliegenden Arbeit im Rahmen eines *history-friendly-models* ist es, die Ergebnisse der theoretischen Analyse mit den Entwicklungen der Realität zu konfrontieren. Um einen ersten Eindruck der simulierten Daten zu erhalten, sehen wir in der Abbildung 10 für vier ausgewählte Perioden die Kooperationsbeziehungen unserer Simulation.

Ad 10a) In den Eröffnungsperioden (Periode 3) zielen Kooperationen auf die Akquisition komplementärer Ansätze, d. h. die DBFs suchen nach finanzkräftigen Partnern, während die LDFs nach technologisch interessanten Partnern mit Kernkompetenzen in der Biotechnologie Ausschau halten. In dieser Situation sind wir in einem Zustand, in dem alle Unternehmen aus der Population der LDFs mit einem oder mehreren Partnern aus der Population der DBFs kooperieren.

Ad 10b) In diesem Abschnitt (Periode 48) werden die meisten der frühen Kooperationen wieder beendet, wofür im wesentlichen zwei Ursachen auszumachen sind: Eine durch den zunehmenden Reifegrad des Industrielbenszyklus verringerte Netzwerkwahrscheinlichkeit führt zu der Auflösung weniger erfolgreicher Kooperationen. Gleichzeitig werden Kooperationen nach einer durchgeführten Innovation automatisch aufgelöst. In der nun weniger netzwerkfreundlichen Umwelt kommt es dann zu keiner Neu-

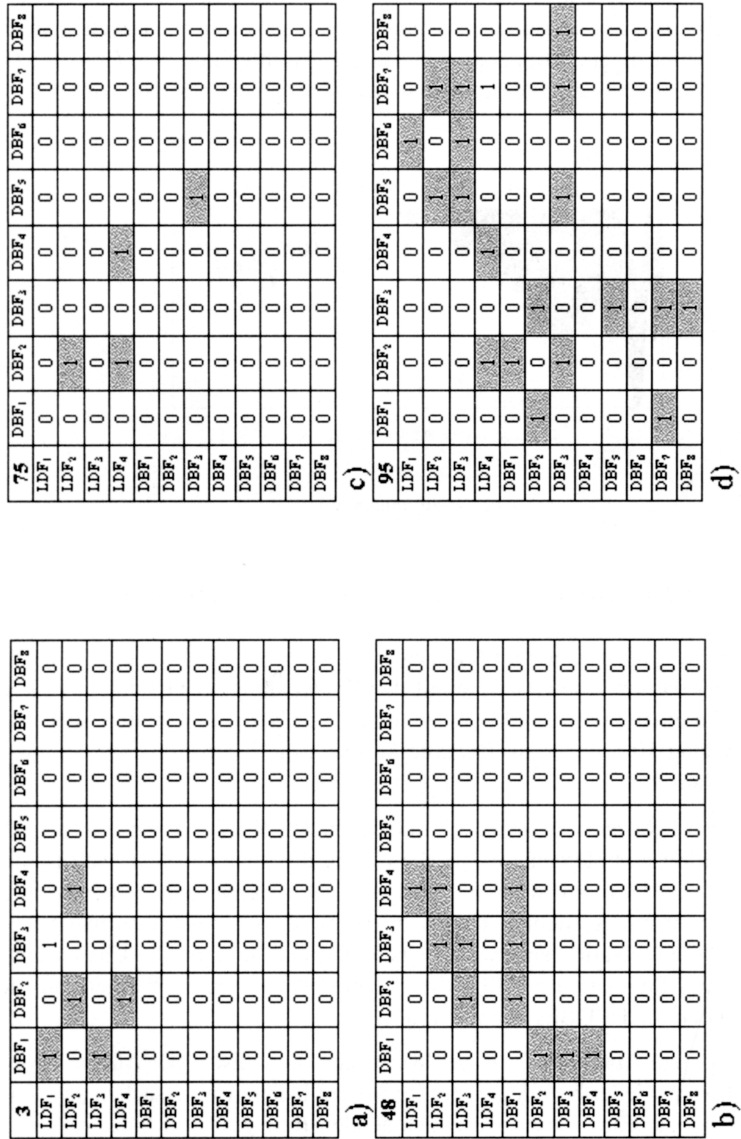


Abb. 10: Netzwerkstruktur in ausgewählten Perioden. Die grauen Flächen stehen für Kooperationen der jeweiligen Unternehmen in den Zeilen und Spalten

auflage der Zusammenarbeit. Nachdem es allerdings auch eine Reihe neuer kooperativer Beziehungen gibt, muß bereits eine Umorientierung bei der Partnerwahl stattgefunden haben. Das LDF₂ kooperiert immer noch mit zwei DBFs in einem Netzwerk und auch das LDF₃ arbeitet mittlerweile mit zwei DBFs zusammen. Die auffälligste Änderung hat beim DBF₁ stattgefunden: Diesem Unternehmen ist offensichtlich die Entwicklung zu einem vertikal integrierten Unternehmen gelungen, da es mittlerweile nicht mehr auf Kooperationen mit LDFs zurückgreifen muß. Statt dessen hat das DBF₁ mittlerweile ein Netzwerk mit drei anderen DBFs (DBF₂, DBF₃, DBF₄) aufgebaut.

Ad10c) Ein Blick auf das Netzwerktableau der Periode 75 zeigt erneut eine veränderte Situation. Zu diesem Zeitpunkt gibt es gerade mal vier Kooperationen, wobei keine der früheren Kooperationen noch aufrechterhalten wird. Diese Änderungen gehen hauptsächlich auf erfolgreiche Innovationen und der damit einhergehenden Auflösung einer Kooperation zurück. Da wir immer noch in einer Situation vergleichsweise schlechter Rahmenbedingungen für die Neugründungen von Netzwerken sind, werden neue Kooperationen noch zögerlich angegangen.

Ad 10d) In einem späteren Entwicklungsstadium (Periode 95) unterstützen fast alle Indikatoren den Aufbau neuer Innovationsnetzwerke. Jetzt finden wir wieder ein dichtes Netzwerk sowohl zwischen den LDFs und den DBFs als auch zwischen den DBFs, denen es gelungen ist, zu einem vertikal integrierten Unternehmen zu werden (DBF₁, DBF₂, DBF₃). Desweiteren sind die vier LDFs insgesamt in acht kooperativen Beziehungen engagiert. Dadurch wird unsere Hypothese bekräftigt, daß sich die Rolle der DBFs von *Übersetzern* zu *Explorern* verändert hat; die Innovationsnetzwerke sind zu einem dauerhaften Phänomen geworden.

Die Netzwerkdynamik der Simulation unserer artifiziellen Biotechnologie-basierten Industrie ist auf den ersten Blick nur schwer mit den empirischen Daten realer Industrien vergleichbar. In der Abbildung 11 sehen wir für das Jahr 1998 einen kleinen Ausschnitt der Kooperationen zwischen LDFs und DBFs. Mit Hilfe von Indikatoren aus der Graphentheorie lassen sich jedoch verschiedene Netzwerke auf strukturelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede untersuchen.¹³ Diese Maßzahlen beschreiben beispielsweise die Adjazenz, die Erreichbarkeit sowie den Grad der Konnektivität eines Netzwerks sowie die Zentralität einzelner Akteure.¹⁴ Der Vergleich dieser Maßzahlen zwischen den artifiziellen und den empirischen Netzwerken soll nun einen ersten Eindruck davon vermitteln, ob in unserem Modell die Mechanismen implementiert wurden, die auch in der Realität eine maßgebliche Rolle spielen.

¹³ Vgl. bspw. Burt, R.S. (1980).

¹⁴ Eine interessante Anwendung der Graphentheorie auf Netzwerke in den Biotechnologie-basierten Industrien findet sich auch in: Pammolli, F., Riccaboni, M. (2001).

LDF/ DBF	AHP	Bayer	Boeh. Ingel.	Dupont Merck	Eli Lilly	Glaxo Wellc.	Hoechst	Ro- che	Merck &Co	Novar- tis	Pfi- zer	SKB	Wam. Lamb.	Ze- neca
Affymax	2					1	1		1	2				
Affymetrix	1							2			1			
ArQule	2							1						
Britisch Biotech.	1					2				1	1	2		
Celltech			1						2					2
Chiron							1	1		1			1	
CoCensys	1									1			1	
Human Genom Sci.								1				3		
Incyte Pharma.		1			1		1			1	1	1		1
Millenium Bio Therap.	1				2			1						
Neurogen	1										3			
Onyx		1			1								2	
Repligen					1	1			2	1	2			
Scios				1	1		1	1			1			
Sequana Therap.			1			1		1					1	
SIBIA					1	1				1				
Xenova														2

Abb. 11: Kooperationen in den Biotechnologie-basierten Industrien¹⁵ (eigene Datenquellen)

Im folgenden werden drei graphentheoretische Indikatoren jeweils für die artifi-
ziellen und die empirischen Netzwerke ermittelt: Es handelt sich dabei um die
durchschnittliche Distanz, einen Netzwerkzentralisationsindex und den Grad der
Zentralität. Die Berechnungen wurden mit UCINET¹⁶, einem Softwaretool für die
Netzwerkanalyse durchgeführt.

In der Abbildung 12 finden wir den Verlauf der durchschnittlichen Distanz für
die artifiziiellen und realen Netzwerke. Die durchschnittliche Distanz ist ein Indi-
kator, der das arithmetische Mittel des kürzesten Wegs zwischen jeweils zwei Kno-
tenpunkten eines Graphen bestimmt. Üblicherweise wird dieser Indikator als eine
Maßzahl für die Diffusion von Information in einem Netzwerk interpretiert.

Zunächst einmal ist auffällig, daß die Skalierung dieses Indikators bei den realen
Netzwerken deutlich größer ausfällt als bei den simulierten Netzwerken. Die
durchschnittliche Distanz ist ein absoluter Indikator und hängt daher auch von der
Größe des jeweiligen Netzwerks ab. Aus diesem Grund kann die unterschiedliche
Skalierung hauptsächlich auf die unterschiedlichen Netzwerkgrößen in der Simu-
lation und in der Realität zurückgeführt werden. Dennoch zeigen beide Verläufe
wenigstens in der Abfolge von drei Gipfeln strukturelle Gemeinsamkeiten, die auf
eine qualitative Veränderung der Netzwerkstruktur im Zeitablauf hindeuten. Wäh-
rend jedoch in den realen Netzwerken eine deutliche Zunahme der Gipfelhöhe im
Zeitablauf zu beobachten ist, fällt diese in den artifiziiellen Daten weitaus geringer

¹⁵ Insgesamt handelt es sich hier um eine 113×704 Matrix, die für die Jahre 1977 bis
1999 vorliegt.

¹⁶ Bogatti, S.P. et al. (1999).

aus. Schließlich ist beim Verlauf der empirischen Zeitreihe der zweite Gipfel unimodal, während wir bei den simulierten Daten einen bimodalen zweiten Gipfel vorfinden.

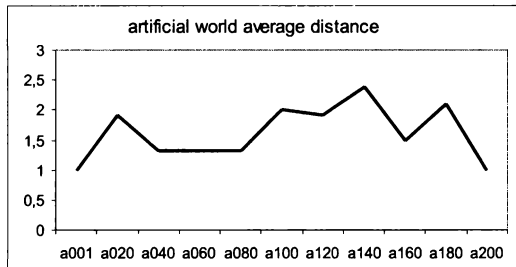


Abb. 12a: Durchschnittliche Distanz der simulierten Netzwerke

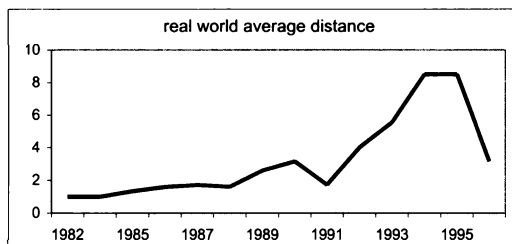


Abb. 12b: Durchschnittliche Distanz der realen Netzwerke

Zur Ausschaltung des Größeneffekts beim Vergleich von Netzwerken unterschiedlicher Teilnehmerzahl existieren indizierte Maßzahlen. In der Abbildung 13 finden wir beispielsweise den Netzwerkzentralisationsindex, der auch als Maßzahl zur Messung des Einflusses sog. zentraler Akteure verwendet wird. In unserem Modell stellen die LDFs zumindest in der Eröffnungsphase diese zentralen Akteure dar, da die finanziellen Ressourcen der LDFs eine *conditio sine qua non* für den Beginn der Netzwerkevolution darstellen. Wieder finden wir sowohl für die simulierten als auch für die empirischen Daten eine Sequenz von drei Gipfeln, die nun bei den simulierten Netzwerken von der Größenordnung her etwas stärker ausgeprägt sind. Dieser Unterschied kann jedoch darauf zurückgeführt werden, daß in der Simulation die Population der LDFs nur aus vier Unternehmen besteht, für die eine sehr große Wahrscheinlichkeit besteht, die Rolle von zentralen Akteuren zu spielen. Ihr Einfluß ist in einer Population von insgesamt zwölf Unternehmen im Vergleich zu der realen Population von ca. 1000 Unternehmen sicherlich höher.

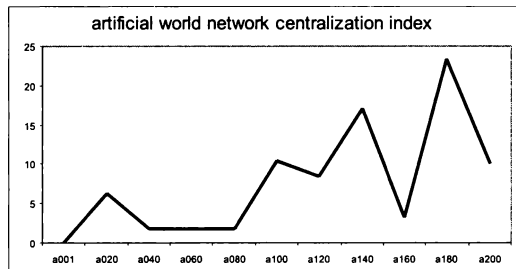


Abb. 13a: Netzwerkzentralisationsindex in den simulierten Netzwerken

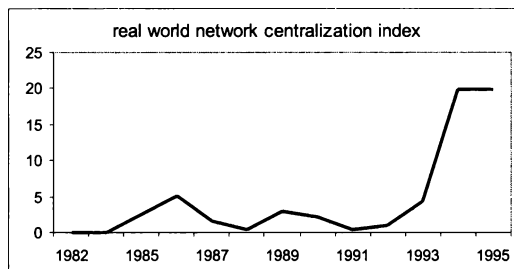


Abb. 13b: Netzwerkzentralisationsindex in den realen Netzwerken

Schließlich vergleichen wir noch den Grad der Netzwerkzentralität für beide Welten. Der Grad der Netzwerkzentralität mißt die Unterschiedlichkeit der Rollen, welche die verschiedenen Teilnehmer in einem Netzwerk einnehmen und ist in der Abbildung 14 dargestellt.

Auch in diesem Aspekt der Netzwerkdynamik zeigen sich deutliche qualitative Übereinstimmungen in den Verläufen der artifiziellen und der empirischen Entwicklung. Die Sequenz von drei Gipfeln kann interpretiert werden als Folge der sich verändernden Rolle innerhalb der Population der DBFs in den Netzwerken. Der erste Gipfel wird verursacht durch DBFs in ihrer *Übersetzer-Rolle*, in der sie den LDFs helfen, ihr dominante Wissensorientierung zu überwinden und eine biotechnologische Wissensbasis aufzubauen. Der zweite Gipfel kann als eine Zwischenphase interpretiert werden: Einigen DBFs ist es gelungen, selbst zu vertikal integrierten Unternehmen zu werden; gleichzeitig ist ein Teil der LDFs immer noch mit dem Aufbau eigener biotechnologischer Kompetenzen beschäftigt. Die dritte Welle der Netzwerkdynamik ist auf den enorm angewachsenen technologischen Möglichkeitenraum zurückzuführen. Die Teilnahme an Innovationsnetzwerken wird jetzt als eine Strategie interpretiert, die es erlaubt, mit der zunehmenden Komplexität und der erhöhten Geschwindigkeit des Innovationsprozesses Schritt zu halten. Jetzt nehmen die DBFs die *Explorer-Rolle* ein und erforschen gemeinsam mit den LDFs eine größere Bandbreite biotechnologischer Trajektorien.

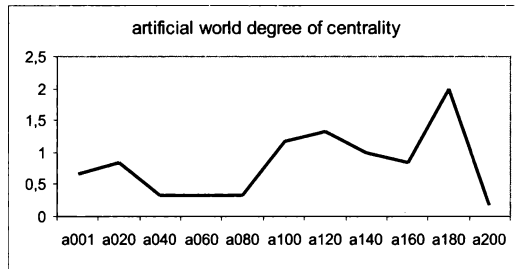


Abb. 14a: Grad der Netzwerkzentralität in den simulierten Netzwerken

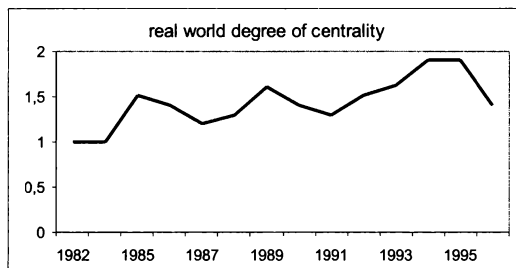


Abb. 14b: Grad der Netzwerkzentralität in den realen Netzwerken

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In der vorgestellten Arbeit geht es um ein numerisches Modell zur Beschreibung der Evolution von Innovationsnetzwerken in den Biotechnologie-basierten Industrien. Da es sich um eine *angewandte Simulation*¹⁷ handelt wird in der Arbeit ein besonderes Schwergewicht auf die in diesen Industrien vorherrschenden spezifischen Gegebenheiten gelegt. Eine Implementierung des Modells im Sinne eines *history-friendly-models* stellt dabei keine einfache Aufgabe dar, weshalb in einem ersten Schritt zunächst die wesentlichen Mechanismen und Interaktionen des Modells isoliert, d. h. ohne Rückgriff auf empirische Daten vorgestellt werden.

In einem zweiten Schritt werden die durch die Simulation generierten Entwicklungen mit empirischen Zeitreihen verglichen. Im einzelnen wird hierfür auf Maßzahlen aus der Graphentheorie zurückgegriffen, die einen Vergleich der Dynamiken unterschiedlicher Netzwerke erlauben. Obwohl es zwischen den in den Simulationen generierten Verläufen und den empirischen Entwicklungen noch einige deutliche Unterschiede gibt, zeigt sich, daß das Modell zumindest in einem qualitativen Sinn in der Lage ist, wichtige in der Realität zu beobachtende Entwicklungen zu reproduzieren.

¹⁷ Vgl. Pyka, A. (2001).

Aufgrund der stochastischen Komponenten im Modell ist noch eine Bemerkung zur Stabilität der Simulationsergebnisse notwendig: Die Wiederholung der Simulationsexperimente zeigt durchaus einen kritischen Einfluß beispielsweise der Poisson-verteilten Zufallszahl auf die mikroökonomische Entwicklung einzelner Unternehmen und damit auch auf die Zusammensetzung einzelner Netzwerke. M.a.W. eine einfache Reproduktion bestimmter Kooperationspfade einzelner Unternehmen ist in diesem Modell nicht möglich. Doch auch wenn es in unterschiedlichen Simulationsläufen zu unterschiedlichen Kooperationsbeziehungen einzelner Unternehmen kommt, ist davon die Netzwerkdynamik insgesamt nicht betroffen. Dies zeigt sich in einer im Sinne von Monte-Carlo-Simulationen durchgeführten Wiederholung der Simulationsexperimente.

Eine die Bandbreite der Parameterwerte untersuchende Sensitivitätsanalyse kann im Rahmen dieser *history-friendly-Experimente* interessante Einsichten im Sinne von Szenarien-Analysen eröffnen.¹⁸ Gerade die Variation solcher Parameterwerte, die auch als Ansatzpunkte für eine Forschungs- und Technologiepolitik identifiziert werden können, lassen Rückschlüsse auf alternative Entwicklungen¹⁹ zu und erlauben eine Beurteilung verschiedener wirtschaftspolitischer Maßnahmen.

Um die Arbeit nochmals zusammenzufassen: Ausgangspunkt stellt die Auswertung der reichen empirischen Literatur und der Fallstudien der Biotechnologie-basierten Industrien dar, um daraus ein formales Modell der Evolution von Innovationsnetzwerken in diesen Industrien zu entwickeln. Dieses Modell ist trotz seiner notwendigen Abstraktion von der Realität in der Lage, wichtige in der Empirie zu beobachtende Faktoren der Netzwerkdynamik abzubilden. Ziel der Arbeit ist daher die Verbesserung unseres Verständnisses jener Interaktionen und Mechanismen, die hinter den Entwicklungen in den Biotechnologie-basierten Industrien stehen, um damit auch einer befriedigenden Erklärung des Phänomens dauerhafter Netzwerke ein Stück näher zu kommen.

Literatur

- Acharya, R. (1999): The Emergence and Growth Of Biotechnology, Experiences in Industrialised and Developing Countries, E. Elgar, Cheltenham, UK.
- Bogatti, S. P./Everett, M. G./Freeman, L. C. (1999): Ucinet 5 for Windows: Software for Social Network Analysis, Natick: Analytic Technologies.
- Burt, R. S. (1980): Models of Network Structure, Annual Review of Sociology, Vol. 6, 79–141.
- Cantner, U./Pyka, A. (1998): Absorbing Technological Spillovers: Simulations in an Evolutionary Framework, Industrial and Corporate Change, Vol. 7, pp. 369–397.

¹⁸ Vgl. Gilbert, N., Pyka, A. und Ahrweiler, P. (2001).

¹⁹ Malerba et al. (1999) sprechen in diesem Zusammenhang auch von *history-divergent simulation runs* (S. 35).

- Cohen, W. M. / Levinthal, D.* (1989): Innovation and Learning: The Two Faces of R&D, *The Economic Journal*, Vol. 99, 569 – 596.
- European Commission* (December 1997): Second European Report on S&T Indicators, Brussels.
- Freeman, L.C.* (1979), Centrality in Social Networks, Conceptual Clarification, *Social Networks*, Vol. 1, 215 – 239.
- Gibbons, M. / Limoges, C. / Nowotny, H. / Schwartzman, S. / Scott, P. / Trow, M.*, (1994): *The new Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, London, Sage Publications.
- Gilbert, N. / Pyka, A. / Ahrweiler, P.* (2001): Innovation Networks – A Simulation Approach, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 4, Issue 3.
- Grabowski, H. / Vernon, J.* (1994): Innovation and structural change in pharmaceuticals and biotechnology, *Industrial and Corporate Change*, Vol. 3, 435 – 49.
- Kuenne, R.E.* (1992): *The Economics of Oligopolistic Competition*, Blackwell Publishers, Cambridge, Mass.
- Malerba, F. / Nelson, R. R. / Orsenigo, L. / Winter, S. G.* (1999): History Friendly Models of Industry Evolution: The Computer Industry, *Industrial and Corporate Change*, Vol. 8, pp. 3 – 40.
- Nelson, R. R. / Winter, S. G.* (1982): *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Mass., Cambridge University Press.
- Pammolli, F. / Ricaboni, M.* (2001): Technological Change and Network Dynamics, The case of the Bio-Pharmaceutical Industry, *Proceedings of EMAEE Conference*, Edward Elgar, Cheltenham, erscheint demnächst.
- Prahalad, C.K. / Hamel, G.* (1990): The core competencies of the corporation, *Harvard Business Review*, May – June, 79 – 91.
- Pyka, A.* (1999): Der kollektive Innovationsprozeß – Eine theoretische Analyse absorptiver Fähigkeiten und informeller Netzwerke, Duncker & Humblot, Berlin.
- Pyka, A.* (2001): Applied Simulation Analysis, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 4, Issue 3.
- Saviotti, P., P.* (1998): Industrial Structure and the Dynamics of Knowledge Generation in Biotechnology, in: J. Senker (ed.): *Biotechnology and Competitive Advantage: Europe's Firms and the US Challenge*, Edward Elgar, Cheltenham, U.K.
- Senker, J. / Sharp, M.* (1997): Organisational Learning in Cooperative Alliances: Some Case-Studies in Biotechnology, *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol. 9, 35 – 51.
- Starpoli, C.* (1998): Cooperation in R&D in the Pharmaceutical Industry, *Technovation*, Vol. 18, pp. 13 – 24.
- Teece, D.*, (1986): Profiting from technological innovation, *Research Policy*, Vol. 15, 285 – 305.
- Tushman, M. L. / Anderson, P.* (1986): Technological Discontinuities and Organizational Environments, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 31, 439 – 465.