

GEORG ERDMANN

# Elemente einer evolutorischen Innovationstheorie

*Die Einheit der  
Gesellschaftswissenschaften*

80

---

**Mohr Siebeck**

# Die Einheit der Gesellschaftswissenschaften

Studien in den Grenzbereichen der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Band 80

Begründet von

ERIK BOETTCHER

Unter der Mitwirkung von

HANS ALBERT · Gerd FLEISCHMANN · DIETER FREY  
CHRISTIAN KIRCHNER · ARNOLD PICOT · VICTOR VANBERG · CHRISTIAN WATRIN  
RUDOLF WILDENMANN · EBERHARD WITTE

herausgegeben von

KARL HOMANN



# Elemente einer evolutorischen Innovationstheorie

von

Georg Erdmann



J.C.B. Mohr (Paul Siebeck) Tübingen

*Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme*

*Erdmann, Georg*

Elemente einer evolutorischen Innovationstheorie / von Georg Erdmann. –  
Tübingen : Mohr, 1993

(Die Einheit der Gesellschaftswissenschaften ; Bd. 80)

ISBN 3-16-146049-9 / eISBN 978-3-16-162858-0 unveränderte eBook-Ausgabe 2024

NE: GT

© 1993 J.C.B. Mohr (Paul Siebeck) Tübingen.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Das Buch wurde gedruckt von der Druckerei Gulde in Tübingen auf archivfähigem Werkdruckpapier der Papierfabrik Gebr. Buhl in Ettlingen. Den Einband besorgte die Großbuchbinderei Heinr. Koch in Tübingen nach einem Entwurf von Alfred Krugmann in Stuttgart.

ISSN 0424-6985

## Vorwort

Die wirtschaftliche Entwicklung einer Volkswirtschaft wird entscheidend bestimmt durch dessen Innovationskraft. Innovationen legen nicht nur das erreichbare Wohlstandsniveau fest, sondern entscheiden auch darüber, ob es der Gesellschaft gelingt, Umwelt- und Ressourcenprobleme in den Griff zu bekommen und das mit dem neuen Schlagwort *sustainable growth* bezeichnete Ziel zu erreichen.

Innovationen fallen nicht einfach vom Himmel, sondern sind das Ergebnis von Handlungen findiger Pioniere und schöpferischer Unternehmen. Die Logik innovationsbezogener Handlungen ist damit Gegenstand der wissenschaftlichen Analyse. Manche denken hier zunächst an den Rückgriff auf das Konzept der Nutzenmaximierung sowie an die Anwendung der darauf aufbauenden ökonomischen Gleichgewichtstheorie. Doch während dieser Weg der wissenschaftlichen Analyse individueller Handlungen in vielen anderen Fällen eine theoretisch tragfähige und wirtschaftspolitisch brauchbare Mikrofundierung ökonomischer Vorgänge bietet, stellt er für den Bereich der Innovationstheorie nach Ansicht anderer Autoren kein theoretisch konsistentes Konzept dar, denn die Innovationsfolgen lassen sich typischerweise vom einzelnen Entscheidungsträger nicht in ihrer gesamten Breite überschauen, sind also keinem rationalen *Kosten/Nutzen-Kalkül* zugänglich.

Die vorliegende Untersuchung folgt diesem Urteil. Im Bemühen um den damit notwendigen Paradigmenwechsel plädiert sie für den Rekurs auf evolutionstheoretische Konzepte, die sich bei der Analyse des anderen komplexen Großsystems unseres Erfahrungsbereichs, der Biologie, so außerordentlich gut bewährt haben. Im Unterschied zu anderen Beiträgen in dieser Richtung widerspricht sie freilich der These, das von der Nutzenmaximierung her resultierende ökonomische Gleichgewichtskonzept total abzuschreiben. Vielmehr wird hier der Versuch unternommen, die Gleichgewichtsvorstellungen als einen Spezialfall in das neue Paradigma der *evolutionären Ökonomik* zu integrieren.

Diese Modifikation der theoretischen Perspektive hat weitreichende Implikationen für das Verständnis des Innovationswettbewerbs, seine inneren Strukturmuster und strategischen Handlungserfordernisse, seine makroökonomischen Zusammenhänge und wirtschaftspolitischen Empfehlungen. Einige davon werden in den nachfolgenden Kapiteln entwickelt. Ich wünsche mir, mit den Ausführ-

rungen nicht nur auf die Diskussion in den Wirtschaftswissenschaften einzuwirken, sondern auch Fachleute aus den betriebs- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen ansprechen zu können, die sich mit den ökonomischen Dimensionen und Implikationen ihrer Tätigkeit auseinandersetzen.

Zur Erarbeitung dieser Schrift – es handelt sich um die überarbeitete Fassung meiner an der Eidgenössischen Technischen Hochschule eingereichten Habilitationsschrift – durfte ich auf die Unterstützung vieler Kollegen und Freunde zählen. An erster Stelle zu nennen ist mein akademischer Lehrer und Freund, Herr Prof. Dr. Bruno Fritsch, dem ich für seine fachliche wie motivatorische Inspiration in hohem Maße verbunden bin. In Dankbarkeit erwähnen möchte ich ferner die Mitglieder des Ausschusses für Evolutorische Ökonomik, den Physiker Prof. Dr. Wolf Häfele, den Ingenieur Prof. Dr. Ulrich Suter sowie den Sozialwissenschaftler Prof. Dr. Rudolf Wildenmann. Auch meinen Kollegen am Institut für Wirtschaftsforschung, Prof. Dr. Rolf Kappel, Prof. Dr. Gebhard Kirchgässner, Dr. Knut Kübler, Prof. Dr. Richard Senti, Dr. Peter Staub, und Dr. Ralf Wiedenmann möchte ich hier für die unzähligen Anregungen und praktischen Hilfen danken. Mein Dank gilt schließlich Frau Marianne Macchi für ihre Unterstützung bei der Literaturbeschaffung sowie Frau Dr. Helga Höhle für ihre Durchsicht des Manuskripts, der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich für die Schaffung der materiellen Voraussetzungen der vorliegenden Arbeit sowie meiner Familie für ihre Geduld und ihr Verständnis.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
Inhaltsverzeichnis .....	VII
1. Einleitung .....	1
1.1. Stand und Aufgabe der ökonomischen Innovationstheorie .....	1
1.2. Konzept der evolutorischen Ökonomik .....	4
1.3. Warum formale Modelle? .....	8
1.4. Aufbau der Untersuchung .....	10
I. Evolutorische Ökonomik .....	15
2. Grundlagen .....	17
2.1. Die Analogie: Biologische Evolutionstheorie .....	17
2.2. Irreversibilität ökonomischer Entwicklungen .....	23
2.3. Zukunftsoffenheit als Charakteristikum der Evolution .....	25
2.4. Phasenübergänge als formales Abbild von Offenheit .....	27
2.5. Selbstorganisation von Vielkomponentensystemen (Synergetik) ..	31
2.6. Offene Entwicklungen <i>versus</i> offene Systeme .....	34
3. Fortentwicklung der Gleichgewichtsökonomik zu einer evolutorischen Ökonomik .....	39
3.1. Ökonomische Gleichgewichtstheorie .....	39
3.2. Das Modell der spontanen Ordnung .....	43
3.3. Lokale positive Feedbacks und ökonomische Phasenübergänge ..	48
3.4. Verhältnis zur neoklassischen Gleichgewichtstheorie .....	52
3.5. Exkurs: Deterministisches Chaos .....	59
3.6. Verhältnis zu Monetarismus und Keynesianismus .....	61
II. Innovationen in der ökonomischen Theorie .....	65
4. Neoklassisch orientierte Ansätze .....	67
4.1. Ansätze der neoklassischen Innovationstheorie .....	67

4.2. Das Modell des <i>Bertrand-Wettbewerbs</i> .....	74
4.3. Positive externe Effekte im Innovationsprozeß .....	78
4.4. Bündelung von Innovationen zu Innovationsketten .....	84
4.5. Richtung von Innovationsbemühungen .....	90
5. Heterogenität im Innovationsverhalten .....	97
5.1. Einwände und offene Fragen .....	97
5.2. Behavioristische Interpretation von Innovationsentscheidungen ..	100
5.3. Behavioristische Lösungen des Informationsproblems .....	103
5.4. Heterogenität als Folge der Risikoaversion .....	107
5.5. Technologiediffusion als Ausdruck transitorischer Heterogenität .....	111
5.6. Leistungsgefälle und individuelle Heterogenität .....	122
5.7. Individuelle Heterogenität als stochastischer Prozeß .....	128
III. Formalisierung des Innovationswettbewerbs .....	133
6. Konzept für ein stochastisches Innovationsmodell .....	135
6.1. Modellgegenstand .....	135
6.2. Dynamik der Mikroebene .....	137
6.3. Verbindung zwischen Mikro- und Makrostruktur .....	139
6.4. Stochastische Konvergenz gegen ein Gleichgewicht .....	145
6.5. Aussagefähigkeit der Mittelwerte des Innovationsmodells .....	149
7. Konkretisierungen .....	155
7.1. Heterogenes, nutzengeleitetes Handeln .....	155
7.2. Elementares Muster für die Offenheit des Innovationswettbewerbs .....	158
7.3. Modellerweiterungen .....	164
7.4. Erstes Zwischenresümee .....	173
IV. Interpretation .....	177
8. Wirkungszusammenhänge des Innovationswettbewerbs .....	179
8.1. Einfluß ökonomischer <i>Incentives</i> .....	179
8.2. Fallstudie: Innovationen in der Energiewirtschaft .....	183
8.3. Implikationen für eine umweltorientierte Innovationspolitik .....	186

8.4. Die Berücksichtigung der Nachfrage .....	189
8.5. Konzept zur empirischen Validierung .....	197
9. Erweiterungen und Grenzen .....	201
9.1. Wiederaufblendung .....	201
9.2. Kaskadenfolgen von Phasenübergängen .....	202
9.3. Phasenübergänge und Handlungsfenster .....	206
9.4. Quantität <i>versus</i> Qualität .....	209
9.5. Innovationen als autokatalytischer Prozeß .....	210
9.6. Strategische und politische Implikationen .....	215
Literaturverzeichnis .....	221
Namensregister .....	231
Sachregister .....	235



# 1. Einleitung

## 1.1. Stand und Aufgabe der ökonomischen Innovationstheorie

Seit den Arbeiten von SCHUMPETER 1912 und SOLOW 1957 gibt es keinen Zweifel mehr daran, was die treibende Kraft der wirtschaftlichen Entwicklung ist und den Wohlstand von Nationen in erster Linie bestimmt. Es ist die Einführung neuer Technologien im engeren Sinne sowie die intelligente Nutzung von akkumuliertem Wissen in Form höherer Qualifikation der Arbeitskräfte und verbesserter Organisation der Produktion (z.B. Arbeitsteilung, Management etc.) – kurz all das, was mit dem Begriff des *technischen Fortschritts* bezeichnet wird. Im konkreten Einzelfall ist dieser Fortschritt an das Auftreten von Innovationen geknüpft. Sie sind ihrerseits das Ergebnis individueller Handlungen, die wegen der Unkalkulierbarkeit der Folgen von Innovationsentscheidungen schwer zum traditionellen Rationalwahlmodell passen. Hier liegt, kurz gesagt, der tiefere Grund für das von vielen Beobachtern konstatierte Defizit der ökonomischen Theorie bei der Erklärung von Innovationsvorgängen.

Im Bewußtsein dieser Theoriedefizite arbeitet die ökonomische Wachstumstheorie (als deren Begründer gilt der bereits erwähnte SOLOW) mit der Hilfsvorstellung, daß der technische Fortschritt und all das, was damit an unmittelbaren Voraussetzungen und Folgen verbunden ist, als unerklärbare Restgröße exogen vorgegeben ist. Natürlich ist auf diese Weise die Beantwortung zentraler Fragen wie etwa diejenige nach den grundlegenden Ursachen für allfällige Wachstumschwächen sowie für Wachstumsunterschiede zwischen Volkswirtschaften kaum erreichbar, denn dies beruht entscheidend auf der als exogen ausgeklammerten Fähigkeit, durch Innovationen den technischen Fortschritt zu mobilisieren.

Eine andere Forschungstradition bemüht sich um die Bestimmungsfaktoren für Innovationen (vgl. als Übersicht STONEMAN 1983 sowie Kapitel 4.). In Anlehnung an das neoklassische Forschungsparadigma wird dabei angenommen, daß Innovationsentscheidungen auf der Mikroebene aus einem *Kosten/Nutzen*-Kalkül heraus vorgenommen werden, wobei anstelle objektiver Kenntnisse von Innovationskosten und -nutzen das Konzept der subjektiven Erwartungen über entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilungen tritt. Durch den Übergang auf die Ebene des Gesamtmarktes lassen sich daraus Gleichgewichtslösungen ableiten, d.h.

Situationen, in denen die subjektiven Pläne und Erwartungen aller Akteure miteinander kompatibel sind. Von diesem mikroökonomischen Fundament aus untersucht die neoklassisch inspirierte Innovationstheorie die Wirkungen exogener Impulse – dazu gehören politische Eingriffe wie etwa die Forschungsförderung und der Technologietransfer – auf die individuellen Handlungsrestriktionen und/oder Erwartungen sowie die Lage der Gleichgewichte (resp. der Gleichgewichtstrajektorien im dynamischen Modell).<sup>1</sup> Innovationen und die von ihnen ausgelösten Veränderungen werden damit als ein reiner Anpassungsprozeß an veränderte Bedingungen interpretiert; eine endogene Innovationskraft ist in diesem Ansatz nicht vorgesehen. Darüber hinaus leidet dieses Konzept an der inhaltlichen Beliebigkeit und Unbestimmtheit subjektiver Wahrscheinlichkeiten in unkalkulierbaren Entscheidungssituationen.<sup>2</sup>

Daneben gibt es eine Reihe empirischer *Ursache/Wirkung*-Analysen von Innovationsprozessen (vgl. beispielsweise KAMIEN und SCHWARTZ 1975, 1982, KÖNIG und ZIMMERMANN 1986). Sie setzen ein genaues Hinsehen voraus, womit sich die entsprechenden Ansätze in ihrer Mehrzahl weg von einer rein makroökonomischen Betrachtung hin zur Industrieökonomik orientieren. Es zeigt sich dabei freilich immer wieder, wie schwierig es ist, aus gesamtwirtschaftlichen Statistiken oder über Branchenumfragen objektive Indikatoren zur Innovationstätigkeit abzuleiten. Als weiteres Handicap dieser Untersuchungen tritt die schwache mikroökonomische Begründung der empirisch zu testenden Zusammenhänge hinzu. Es überrascht daher kaum, wenn die Ergebnisse dieser Forschungsrichtung alles in allem eine geringe Signifikanz aufweisen.

Wieder andere Ansätze beruhen auf Fallstudien über den historischen Werdegang von Innovationen (vgl. beispielsweise DEVINE 1983, DAVID 1987, 1988, 1989, ROSENBERG 1983). Zwar gehen diese selten über die reine Deskription der Ursachen und Wirkungen von Innovationen hinaus, doch vermitteln sie gleichwohl als wichtiges Ergebnis ein Gefühl dafür, wie wenig sich Akteure zum entscheidenden Zeitpunkt über die von ihnen ausgelösten Innovationsfolgen im klaren sind. So war beispielsweise die von EDISON im Jahre 1878 vorgestellte elektrische Glühlampe ursprünglich zur Schiffsbeleuchtung vorgesehen, um dort die Brandgefahr zu verringern – ein lächerliches Unterfangen, vergleicht man dieses Innovationsziel mit der schon kurze Zeit später sichtbar werdenden Bedeutung der elektrischen Beleuchtung. Die elektronische Datenverarbeitung war zunächst zur Bewältigung großer Datenmengen und komplexer Berechnungen, nicht jedoch für

---

<sup>1</sup> Wie Kehoe 1988 skizziert, kann es bei solch einem Ansatz nur stetige Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung geben.

<sup>2</sup> Wolfgang Stegmüller hat das Konzept der subjektiven Wahrscheinlichkeiten in einem Vortrag in diesem Sinne als »metrisierten Glauben« charakterisiert.

die heute im Vordergrund stehende Textverarbeitung vorgesehen. Derartige Beispiele lassen sich praktisch endlos fortsetzen und machen die prinzipielle Nichtplanbarkeit von Innovationen deutlich: Die wesentlichen Innovationsfolgen werden von den maßgebenden Akteuren ursprünglich weder geplant noch systematisch vorhergesehen, sondern ergeben sich jenseits einer berechnenden Eigennutzlogik als ein unerwartetes Ergebnis anderweitig motivierter Handlungen, speziell dann, wenn sie den Anfang einer neuen Technologielinie (Basisinnovation) bedeuten. Der Innovationsprozeß muß daher als ein zukunftsöffener Vorgang angesehen werden.

Gerade Basisinnovationen, die mehr als nur kleinere Verbesserungen bringen, entziehen sich der Optimierungslogik des individuellen Erwartungsnutzenmodells. Solche Basisinnovationen treten auf, wenn einzelne Akteure sich die Freiheit, den Mut zum Risiko sowie die Durchsetzungsfähigkeit nehmen, neue, nicht durch ein streng rationales *Kosten/Nutzen*-Kalkül entscheidbare Lösungswege einzuschlagen. Bei vielen später erfolgreichen technischen Innovationen sind die naturwissenschaftlichen Grundlagen bereits jahrzehntelang bekannt, bevor solchen Akteuren eine technisch-wirtschaftliche Realisierung und Umsetzung in marktfähige Produkte gelingt.

Aus diesen Beobachtungen und Feststellungen wird von einigen Wissenschaftlern der Schluß gezogen, es sei überhaupt nicht möglich, innovationstheoretische Zusammenhänge in ähnlicher Form mittels formaler Methoden und Modelle darzustellen und zu quantifizieren, wie dies bei anderen ökonomischen Vorgängen der Fall ist. Von diesem Argument ausgehend liefern eine ganze Reihe von Autoren auf einer rein verbal argumentierenden Ebene wichtige Beiträge zu einer ökonomischen Innovationstheorie, stellen aber die Möglichkeit ihrer Komprimierung, Formalisierung und Quantifizierung schlichtweg in Abrede (vgl. u.a. WITT 1987 sowie den von DOSI, FREEMAN, NELSON, SILVERBERG und SOETE 1988 herausgegebenen Sammelband).

Es widerspräche freilich der Logik des wissenschaftlichen Fortschritts, würde man sich mit einer solchen Negativaussage einfach abfinden. Die Genesis neuer Erkenntnisse beruht immer auch auf der anfänglichen Infragestellung vordergründiger Plausibilitäten und eingeübter Paradigmen. Es gibt auch schon eine beträchtliche Zahl von Arbeiten, die eine formale, auch empirisch verifizierbare ökonomische Theorie der Innovation jenseits des neoklassischen Paradigmas der Nutzenmaximierung anstreben.<sup>3</sup> Um bei dieser Neuorientierung weitere Fortschritte zu erzielen, erscheint es aber erforderlich, die paradigmatischen Grundlagen der ökonomischen Theorie zu überdenken, um daraus ein tragfähiges theore-

---

<sup>3</sup> Eine eingehendere Diskussion erfolgt in Kapitel 5.5. Zu den bekannten gehören die Publikationen von Nelson 1968, Winter 1971, Nelson und Winter 1982 und Eliasson 1985.

tisches wie auch formal operationalisier- und quantifizierbares Konzept für den skizzierten Aspekt der Zukunftsoffenheit von Innovationsvorgängen zu entwickeln. Die vorliegende Untersuchung nimmt sich dieser Aufgabe an.

## 1.2. Konzept der evolutorischen Ökonomik

In Anknüpfung an GEORGESCU-ROEGEN 1971, BOULDING 1981, KÜHNE 1982, WITT 1987 und anderen liegt der Ansatzpunkt einer Rekonzeptionalisierung der ökonomischen Innovationstheorie zweifellos in der Kritik an der neoklassischen Ökonomik. MARSHALL, einer der Mitbegründer der klassischen Ökonomik, setzte als Leitmotiv an den Anfang seines einschlägigen Lehrbuchs das Motto: »*Natura non facit saltum.*« In entsprechender Weise soll auch die Ökonomie einem Stetigkeits- und Kontinuitätsprinzip unterworfen sein. Bekanntlich beruht das Leitmotiv auf einer Vorstellung, die von den Naturwissenschaften inzwischen als falsch, d.h. in der postulierten Allgemeinheit unzutreffend, erkannt worden ist. Die Natur kennt sehr wohl sprunghafte Entwicklungen, Evolutionssprünge.<sup>4</sup> Ähnliches passiert auch in der Ökonomie, wenn sich eine Innovation plötzlich am Markt durchzusetzen vermag (Innovations- oder Technologiesprung) und zu einem grundlegenden Wandel der Marktstrukturen führt.

Ausgehend von diesem Einwand wird in jüngster Zeit wieder vermehrt die Frage diskutiert, ob nicht ein auf evolutionstheoretischen Grundlagen aufbauendes Konzept – unter Anknüpfung an Vorstellungen aus der Thermodynamik, der Biologie und der Ökologie sowie der mathematischen Theorie komplexer, selbstorganisierender Systeme – ein besserer Ansatzpunkt für eine ökonomische Innovationstheorie sein könnte. Diese Diskussion hat bislang zu keinem abgeschlossenen Theoriegebäude geführt, doch zeichnet sich zumindest schon ein Oberbegriff ab, unter dem diese Bemühungen zusammengefaßt werden können: *Evolutorische Ökonomik*.

Dabei herrscht noch längst kein wissenschaftliches Einvernehmen unter den Ökonomen darüber, ob überhaupt – und wenn ja, bis zu welchem Maße – eine grundlegende Neuorientierung der ökonomischen Theorie unter weitgehender Aufgabe neoklassischer Vorstellungen betrieben werden soll. Ein Gegenargument beruht auf dem – meiner Ansicht nach berechtigten – Hinweis auf die Erfolgsgeschichte des neoklassischen Denkansatzes in der Ökonomie, dem es in der Vergangenheit gelungen ist, durchaus wichtige ökonomische Regelmäßigkeiten –

---

<sup>4</sup> Das wohlklingende und in den Sozialwissenschaften oft gebrauchte Wortspiel *Evolution statt Revolution* ist daher irreführend. Auch in der Ökonomik spricht man gelegentlich von industriellen Revolutionen und meint damit einen Teilaspekt der evolutionären Veränderung von Industriegesellschaften.

auch im Bereich von Innovationen – analytisch und in einer auch politisch verwertbaren Weise zu erfassen.<sup>5</sup> Darüber hinaus ist gelegentlich auch die Warnung zu hören, aus der Kritik an der neoklassischen Ökonomik eine Forschungsrichtung einzuschlagen, die eigentlich nicht mehr in den Bereich der Ökonomik fällt, sondern eher Gegenstand anderer Disziplinen wäre.

Die Ökonomen aus dem anderen Lager befürworten einen grundlegenden Paradigmenwechsel, gehen dabei aber nicht selten bis zur Behauptung, daß eine Innovationstheorie nur unter völliger Aufgabe des neoklassischen Forschungsprogramms erfolgreich entwickelt werden kann. Stein des Anstoßes ist das Gleichgewichtskonzept als Erkenntnisprinzip in der Ökonomischen Theorie. Es vermag der Logik vieler wirtschaftlicher Vorgänge, insbesondere im Bereich von Innovationsprozessen, nicht gerecht zu werden, denn das ihm zugrundeliegende Optimierungskalkül taugt nicht als Handlungsmodell für Situationen, wo es um grundsätzlich unberechenbare Entscheidungsfolgen geht, wie dies bei innovationsbezogenen Entscheidungen generell der Fall ist. Aus dieser Kritik heraus wurde bis heute eine Fülle von Vorschlägen für ein Konzept erarbeitet, welches an die Stelle der neoklassischen Gleichgewichtsvorstellung treten soll, doch zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist nicht absehbar, ob diese Vorstellungen – und gegebenenfalls welche – sich im wissenschaftlichen Wettbewerb durchsetzen.

Wenn die vorliegende Arbeit dem Postulat eines Paradigmenwechsels folgt, so plädiert sie gleichwohl für ein weniger radikales Vorgehen und sieht in dem neuen Paradigma der evolutorischen Ökonomik eine Erweiterung, nicht Ersetzung, des neoklassischen Gleichgewichtsprinzips.<sup>6</sup> Zur Motivation dieses Vorschlags seien zunächst eine Reihe von pragmatischen Gründen genannt:

- Zunächst sollte man meiner Ansicht nach bei der Erforschung der Ursachen und Wirkungen von Innovationen nicht auf die analytische Präzision und Stringenz verzichten, die mit dem Rückgriff auf ein Gleichgewichtskonzept verbunden sind, selbst wenn Gleichgewichte in der ökonomischen Realität nie wirklich erreicht werden.
- Ein zweites Argument gegen eine völlige Aufgabe der Gleichgewichtstheorie liegt in den dann möglichen Isomorphien zu evolutionstheoretischen Vorstellungen in anderen Disziplinen – ein Aspekt übrigens, der es meines Erachtens erst rechtfertigt, von einer *evolutorischen Ökonomik* zu sprechen. Dabei stehen aus verschiedenen Gründen die Biologie und die Ökologie im Vordergrund, wo sich evolutionäre Vorgänge aus dem Zusammenwirken von Mutation und Selektion oder, allgemeiner, von Zufall und Notwendigkeit bilden.

---

<sup>5</sup> Freilich überwiegend in einer komparativ-statischen, nicht wirklich dynamischen Form.

<sup>6</sup> Das Verhältnis zwischen der evolutorischen und der neoklassischen Ökonomik ist damit ähnlich demjenigen zwischen der Mechanik Einsteins und der klassischen Mechanik.

»Selektion« und »Notwendigkeit« ist hier der Hinweis auf ein mathematisches Gleichgewichtskonzept, das biologische resp. ökologische Gleichgewicht.

- Drittens hat eine Verknüpfung der evolutorischen Ökonomik mit der neoklassischen Gleichgewichtstheorie – so ganz nebenbei – den positiven Nebeneffekt, daß die zahllosen, von der Empirie her bestätigten Aussagen der neoklassischen Ökonomik ohne einen zusätzlichen Forschungsaufwand in ein evolutionsökonomisches Theoriegebäude übernommen werden können.

Die Zusammenfügung der evolutorischen Ökonomik mit der neoklassischen Gleichgewichtstheorie nimmt ihren Ausgangspunkt im Begriff der *spontanen Ordnung* (VON HAYEK). Er bringt den evolutorischen Charakter ökonomischer Gleichgewichte, in denen die individuellen Pläne dezentral handelnder Marktteilnehmer miteinander kompatibel sind, zum Ausdruck. Die neoklassische Ökonomik kümmert sich nicht um die spontane Herausbildung der Koordination von einem Ungleichgewicht her. Demgegenüber hat das evolutorische Konzept mit dem Hinweis auf Verhaltensmutation (das sind abweichende Handlungen auf der Individualebene) und Verhaltensselektion einen Zugang zu dieser Frage.

Interessanter werden die Wirkungen von Mutation und Selektion, wenn es zu einem gegebenen Zeitpunkt mehr als nur eine einzige Konfiguration gibt, in der die dezentralen Handlungen der beteiligten Akteure miteinander konsistent sind. Die sog. *neue Wachstumstheorie* (vgl. ROMER 1986, 1989, LUCAS JR. 1988) sowie eine Reihe anderer Theorieansätze (vgl. als Übersicht dazu DAVID 1988) beschäftigen sich mit der Frage, wann und unter welchen Umständen derartige Mehrfachgleichgewichte existieren. Wenn aber der Wettbewerb unter bestimmten Bedingungen mehrere mögliche spontane Ordnungsstrukturen zuläßt, muß es sich in der dynamischen Entwicklung der Märkte irgendwann einmal entscheiden, welchem dieser Gleichgewichte die Marktentwicklung folgt. Dies ist aus einer reinen Gleichgewichtsbetrachtung allein nicht mehr darstellbar.

In Erweiterung dieser Überlegung muß darüber hinaus auch mit der Möglichkeit spontaner Wechsel zwischen den verschiedenen Gleichgewichten gerechnet werden. Dieser Vorgang besteht aus zwei Teilen: Zunächst wird das Attraktionsgebiet des bestehenden Gleichgewichts verlassen, was im einfachsten Fall die Überwindung einer Potentialschwelle bedeutet. Daran schließt sich die Konvergenz gegen ein neues Koordinationsgleichgewicht an. Derartige endogene Strukturbrüche stellen einen zukunfts offenen Vorgang dar, denn die Zukunftsentwicklung ist nicht einmal im Groben aus der Vergangenheitsentwicklung und den daraus abgeleiteten Kenntnissen über die zugrundeliegenden Verhaltensmuster (sprich rationales Verhalten der Akteure plus Mutationen) prognostizierbar. In einer innovationstheoretischen Interpretation wird dieser Gesamtkomplex auch als Entdeckung einer Marktnische bezeichnet.

Für eine dynamische Analyse hat man schließlich die Nichtstationarität der Rahmenbedingungen des Wettbewerbs zu berücksichtigen. Dadurch wird sich hin und wieder die Zahl der Koordinationsgleichgewichte (resp. verallgemeinernd die geometrische Struktur der entsprechenden Attraktoren) ändern. Derartige Situationen werden in der mathematischen Systemtheorie als *Phasenübergang* bezeichnet. Ein Spezialfall eines Phasenübergangs liegt vor, wenn dabei das gerade bestehende Gleichgewicht instabil (im mathematischen Sinn) wird. In diesem Fall reichen marginale Impulse (mathematisch: Fluktuationen) aus, um in das Attraktionsgebiet eines anderen Gleichgewichts einzutreten, woraufhin der Prozeß der Selbstorganisation den Markt im neuen Gleichgewicht weit entfernt von der bisher eingenommenen Konfiguration koordiniert. Wenn durch Fluktuationen die Attraktionsgebiete mehrerer Gleichgewichte erreichbar sind, liegt eine Kontingenz vor – man spricht auch von Verzweigung oder Bifurkation –, und auch dies ist eine typisch zukunfts offene Konstellation: Die Zukunft offenbart sich erst, nachdem über Fluktuationen ein sog. Symmetriebruch zwischen den Attraktoren resp. den zugehörigen ökonomischen Szenarien eingetreten ist.

Multiple Koordinationslösungen im Wettbewerb, Potentialschwellen zwischen ihnen, Phasenübergänge, Bifurkationen und Symmetriebrüche sind also die neuen Elemente für ein evolutionstheoretisches Paradigma resp. für dessen Umsetzung in formale Modellansätze. Die vorliegende Schrift präsentiert Vorschläge zur Einführung dieser zunächst nur mathematisch definierten Elemente in die ökonomische Theorie und skizziert die damit verbundenen Implikationen für den Fall der ökonomischen Innovationstheorie.

Entsprechend dem Grundgedanken, die evolutorische Ökonomik als Ergänzung neoklassischer Denkmuster punktuell und gezielt dort einzusetzen, wo sie sich als untaugliches Instrument zur theoretischen Erfassung ökonomischer Vorgänge erwiesen haben, wird die ausschließliche Konzentration auf Marktgleichgewichte erweitert um die Vorstellung selbstorganisierender Koordinationsvorgänge. Speziell der Innovationswettbewerb muß als ein selbstorganisierendes System miteinander (nichtlinear) vernetzter Akteure aufgefaßt werden, in dem die maßgeblichen Entwicklungen ein Ergebnis von unbeabsichtigten (sozialen) Rückwirkungen absichtlicher menschlicher Handlungen (POPPER 1945) sind. Deren Analyse ist nach POPPER die Hauptaufgabe aller Sozialwissenschaften, und von VON HAYEK formulierte dieses Forschungsprogramm einmal folgendermaßen:

»If social phenomena showed no order except in so far as they were consciously designed, there would be no room for theoretical sciences of society [...]. It is only in so far as some order arises as a result of individual action but without being designed by any individual that a problem is raised which demands a theoretical explanation« (VON HAYEK 1942: 60).

### 1.3. Warum formale Modelle?

Die vorliegende Studie bleibt nicht bei der verbalen Analyse innovationstheoretischer Beobachtungen und Feststellungen stehen, sondern unternimmt den Versuch, zukunfts offene Vorgänge in der Ökonomie in formale Modelle zu kleiden. Abgesehen davon, dadurch auch Hinweise für die Weiterentwicklung der Modellbildung in den Wirtschaftswissenschaften zu gewinnen, gibt es in meinen Augen eine Reihe grundsätzlicher Überlegungen, die für ein solches Vorgehen sprechen. Darauf sei hier kurz eingegangen.

Ein erster Vorteil formaler Modelle liegt darin, Analogien zu Ende zu denken. Jedes systematische Handeln beruht auf einem Modell, d.h. auf einem Isomorphieschluß zwischen der Realität und einem Abbild, welches nur noch die für wesentlich gehaltenen Zusammenhänge und Konturen enthält und damit gegenüber der Realität vereinfacht ist. Man mag sich der Komplexitätsreduktion bewußt sein oder auch nicht, das dabei gewählte Vorgehen mag richtig oder falsch sein, das resultierende Modell mag in operativ-quantitativer Form vorliegen oder rein qualitativ sein: Immer ist systematisches Handeln an die Voraussetzung gebunden, daß modellhafte Vorstellungen über Handlungskonsequenzen gebildet werden, die gegenüber der Realität wesentlich vereinfacht sind (vgl. CHOW 1975: 211f, RAPPOPORT 1981: 106f). Das formale Modell hat den Vorteil, diese Vorstellungen transparent zu machen sowie Experimente der eigenen Theorie zu ermöglichen, die in der Realität undurchführbar sind.

Natürlich ist nicht jeder Sachverhalt in Form eines formalen Modells darstellbar, weil dies an die Voraussetzung gebunden ist, daß die für relevant gehaltenen Vorstellungen über die Realität in Form quantitativer Variablen und Variablenbeziehungen formuliert werden können. Hier soll also keineswegs dogmatisch zugunsten einer absolut erforderlichen Formalisierung ökonomischer Theorien plädiert werden. Der aufmerksame Leser wird feststellen, daß auch in der vorliegenden Schrift manche Überlegungen und Argumente rein verbal diskutiert werden. Dies geschieht nicht nur dort, wo die Voraussetzungen zur Formalisierung fehlen, sondern auch in all jenen Situationen, wo sich aus einer Formalisierung kein zusätzlicher Erkenntnisgewinn erzielen läßt oder wo die Formalisierung vom Aufwand her nicht zu vertreten wäre.

Ein weiterer Vorteil formaler Modelle beruht auf der außerordentlichen Klarheit und Exaktheit der mathematischen Sprache. Im Unterschied zur verbalen Sprache ist die Mathematik weitgehend unbelastet von wertenden Assoziationen und Vorurteilen. Ein mathematisches Modell ist in weitaus geringerem Umfange Mißverständnissen und Interpretationsproblemen ausgesetzt als eine rein verbale Analyse. Die Mathematisierung einer theoretischen Idee fördert damit dessen Präzisierung. Dies erscheint besonders in bezug auf die Innovationstheorie als ein

höchst willkommener Gesichtspunkt: Die Formalisierung läßt hier erkennen, welche nachvollziehbare Bedeutung die neuen Begriffe der evolutorischen Ökonomik für eine darauf aufbauende Innovationstheorie besitzen. Man erkennt, welche Begriffe wirklich notwendig und welche überflüssig sind und teilweise nur die Funktion verbaler Nebelkerzen haben. Mit der Formalisierung der evolutorischen Ökonomik wird somit auch ein Beitrag zu einer präzisen Terminologie geleistet.

Ein wissenschaftlicher Erkenntnisfortschritt entsteht daraus jedoch zunächst nur mittelbar: Die mit der Theoriebildung vorgenommene Komplexitätsreduktion eines unübersichtlichen Sachverhalts wird dank mathematischer Isomorphien leichter nachvollziehbar und interpretierbar, als dies im Rahmen einer verbalen Darstellung möglich ist. In hohem Maße haben die Naturwissenschaften wie auch die neoklassische Ökonomik davon profitiert, daß sie ihre Erkenntnisfortschritte auf dem Umweg über mathematische Modelle kommuniziert haben. Dies dürfte in Zukunft auch für die evolutorische Ökonomik gelten.

Der eigentliche Erkenntnisfortschritt ergibt sich erst bei der Rückübersetzung der aus den formalen Modellen abgeleiteten, zunächst rein mathematischen Modellimplikationen in die Sprache der jeweiligen Fachdisziplin. Im Fall der Ökonomik erfolgt diese Modellauswertung häufig über Sensitivitätsanalysen, Prognosen, Politikempfehlungen und ähnliche Anwendungen. In den meisten Fällen ist allerdings der in diesem Sinne verstandene Realitätsgehalt ökonomischer Modellaussagen zunächst stark eingeschränkt. Soweit nämlich beim Modellbildungsprozeß die komplexen sozialwissenschaftlichen Zusammenhänge reduziert wurden, um sie in das Korsett eines mathematischen Gerüsts zu zwingen, müssen vorgängig der Interpretation der Modellergebnisse die Vereinfachungen wieder rückgängig gemacht werden, bevor wirklich relevante Modellaussagen abgeleitet werden können. FRITSCH und HÄFELE sprechen hier von Wiederaufblendung:

»Die Quantifikation ermöglicht zunächst die Abbildung einer Wirklichkeit in einem Modellraum, und nachdem im Modellraum eine Aussage zustande gekommen ist, geht es um die Rückabbildung aus dem Modellraum in den Raum der in Rede stehenden Wirklichkeit – die Requalifikation. Und schließlich sind die Abblendungen zu reflektieren, die bei der Erstellung des Modells hatten vollzogen werden müssen. [...] Erst diese Wiederaufblendung läßt den Gesamtkomplex sichtbar werden« (FRITSCH und HÄFELE 1990: 611-612).

Aber auch die Wiederaufblendung ist nicht unproblematisch, denn nicht selten muß man dabei die erarbeiteten Schlußfolgerungen so weit relativieren, daß keine praktischen Empfehlungen gezogen werden können. Aber immerhin ist damit auch etwas erreicht: Insofern das Modell die Denkmuster und Analogieschlüsse der Entscheidungsträger korrekt widerspiegelt, macht es den Unterschied zwischen vermeintlichem und tatsächlichem Wissen deutlich.

Nun ist der Gegenstand der evolutorischen Ökonomik die Analyse zukunfts-offener Entwicklungen, die sich definitionsgemäß nicht antizipativ, *ex ante* berechnen lassen. Deshalb findet sich in der Literatur nicht selten die Behauptung, man könne eine evolutorische Ökonomik prinzipiell nicht mittels formaler Modelle betreiben. So heißt es beispielsweise bei WITT (1987: 27): »Eine sinnvolle formale Darstellung des Gesamtprozesses kann sich unter diesen Bedingungen nur auf das endliche Zeitintervall bis zum Eintritt einer Neuerung beziehen.« Die vorliegende Untersuchung versucht mit der Diskussion in den Kapiteln 6. bis 8. den Nachweis zu erbringen, daß es sich hierbei um ein Mißverständnis bezüglich der Leistungsfähigkeit formaler Modelle handelt. Nach meiner Meinung muß zwischen der Berechenbarkeit (in einem deterministisch verstandenen Sinn) und der Formalisierbarkeit eines Sachverhalts unterschieden werden (vgl. dazu auch Kapitel 6.5.).

Zur Vorbeugung von Mißverständnissen soll hier noch einmal klargestellt werden: Die Untersuchung des ökonomischen Neuerungs- und Innovationsverhaltens muß nicht zwingend und ausschließlich auf der Basis formaler Modelle erfolgen. Ob die formale oder verbale Analyse bevorzugt wird, hängt vom Verhältnis zwischen dem damit verbundenen Aufwand und dem zu erwartenden Ertrag ab. Angesichts der heute bereits umfangreichen rein verbal argumentierenden Literatur sowie angesichts der – dank elektronischer Datenverarbeitung – stürmischen Fortschritte bei der Behandlung formaler Modelle dürfte sich jedoch das *Kosten/Nutzen*-Verhältnis zugunsten der erstgenannten Ansätze verschoben haben. Es scheint daher an der Zeit, die klassischen Beiträge von SCHUMPETER und anderen Innovationstheoretikern vermehrt zum Ausgangspunkt von Untersuchungen mittels formaler Modelle zu machen.

#### 1.4. Aufbau der Untersuchung

Da mit dem Stichwort »evolutorische Ökonomik« bislang noch kein theoretisches Paradigma angesprochen wird, über welches eine größere Zahl von Wirtschaftswissenschaftlern gemeinsame Vorstellungen hegt, steht in Kapitel 2. zunächst die Frage im Vordergrund, was evolutorische Ökonomik sein soll und was nicht. In Übereinstimmung mit anderen Autoren wird hier die Analyse zukunfts-offener Systeme als Aufgabenbereich der Evolutionsökonomik gesehen. Doch um dies genauer und präziser zu fassen, kann man auf die Sprache der Mathematik zurückgreifen. Dabei werden zukunfts-offene Systeme durch das gelegentliche Auftreten von Situationen gekennzeichnet, die man als Phasenübergänge bezeichnet. Sie stellen ein konstituierendes Prinzip für die evolutorische Analyse von Innovationsvorgängen dar. Damit ist natürlich zunächst nicht viel mehr als ein höherer Grad intellektueller Integration der Vorstellungen über das Wesen von Neuerungen und zukunfts-offenen Vorgängen gewonnen.

# Namensregister

- Arnold, L., 147  
Arrow, K.J., 40, 42, 46, 48, 84  
Arthur, W.B., 31, 51, 79, 126, 185  
Ash, S.E., 106  
Atkinson, A.B., 80
- Barro, R.J., 40  
Baumol, W.J., 61, 127  
Begg, D.K., 41  
Benhabib, J., 61  
Binswanger, H.P., 90, 93  
Boltzmann, L., 17, 147  
Boulding, K.E., 4, 21  
Braun, M., 189  
Burmeister, E., 91
- Cambel, A.B., 21  
Chow, G., 8  
Cohen, J., 148  
Cohen, W.N., 73  
Coleman, J., 26  
Cournot, A., 69  
Crusoe, R., 69
- Darwin, C., 17  
Dasgupta, P., 69—74, 170  
David, P.A., 2, 6, 48, 79, 90, 146, 183, 207, 208  
Davies, S., 112  
Day, R.H., 61  
Debreu, G., 40  
Dendrinis, D., 197  
Denison, E., 67  
Devine, W.D. Jr., 2, 183  
Dobell, R., 91  
Domenich, T., 156
- Dosi, G., 3, 88, 90, 94, 95, 97, 131
- Edison, T., 2  
Eichenberger, R.E., 26  
Eigen, M., 19  
Einstein, A., 5  
Eliasson, G., 3  
Erdmann, G., 185, 197, 198, 199  
Esser, H., 106
- Flemmig, J., 99  
Forrester, J.W., 118  
Fraumeni, B.M., 90  
Freeman, C., 3  
Frey, B.S., 26  
Fritsch, B., 9, 21, 49, 106, 189, 197, 198  
Fuldenberg, D., 47
- Georgescu-Roegen, N., 4, 18, 21, 23, 24  
Gödel, K., 152  
Goodwin, R.M., 204  
Gordon, R.J., 62  
Grossman, H.J., 40
- Haag, G., 12, 28, 32, 136—137, 147, 149, 155, 189—197  
Häfele, W., 9, 112, 215  
Hahn, F., 48  
Haken, H., 12, 21, 31, 32, 42, 44, 59, 102, 106, 147, 209  
Hayek, F.A. von, 6, 7, 43, 98  
Helmstädter, E., 26, 42, 54, 124  
Helpman, E., 88  
Heri, E.W., 46  
Heuss, E., 111  
Hicks, J.R., 90  
Hirsch, M.W., 36

- Hofstätter, P., 106  
Hogarth, R.M., 26  
Hotelling, H., 48, 74, 106
- Jorgenson, D.W., 90
- Kahnemann, D., 101  
Kamien, M.I., 2, 72  
Kehoe, T.J., 2, 49, 55  
Keller, J.U., 21  
Kennedy, C., 90  
Kirzner, I.M., 12, 45, 51, 100  
Kondratieff, N.D., 204  
König, H., 2, 72  
Krelle, W., 204  
Krugman, P.R., 88  
Kühne, K., 4, 23
- Leontief, W., 113, 121  
Levin, R.C., 72, 73, 81—84  
Lind, R.C., 109  
Lorenz, N., 59  
Lucas, R.E. Jr., 6, 41, 48, 50, 84, 85—90, 148, 209
- Malinvaud, E., 40  
Mansfield, E., 112  
Marchetti, C., 112  
Marshall, A., 4, 23, 48  
May, R.M., 19  
McFadden, D., 156  
Menger, C., 24  
Mensch, G.O., 28, 67, 204  
Morgenstern, O., 98
- Nelson, R., 3, 46, 67, 89, 113—122, 130, 136  
Neumann, J. von, 98  
Neumann, M., 205  
Nicolis, G., 21, 24, 147  
Nordhaus, W.D., 93  
Nydegger, A., 67
- Olson, M., 26
- Opp, K.D., 26, 105  
Oppenländer, K.H., 67
- Popper, K.R., 7  
Prigogine, I., 21, 24, 147
- Ramser, H.J., 79  
Rapoport, A., 8, 147  
Reder, M.W., 26  
Reiss, P.C., 72, 81—84  
Renn, O., 101  
Ricardo, D., 86  
Rogers, E.M., 111  
Romer, P.M., 6, 48, 50, 209  
Rose, H., 204  
Rosenberg, N., 2, 183  
Ross, D., 73
- Sah, R.K., 75—78, 136  
Scherer, F.M., 73  
Schmidtchen, D., 43, 47  
Schmoller, G., 24  
Schmookler, J., 13, 189  
Schnabl, H., 106  
Schneeweiß, H., 108  
Schumpeter, J., 1, 10, 12, 63, 67, 71, 72—73, 74, 82—83, 90, 100, 111, 175, 204, 208, 210  
Schurr, S.H., 18  
Schuster, H.G., 19, 42, 59, 61  
Schwartz, N.L., 2, 72  
Shannon, C.E., 152  
Sharpe, W.F., 108  
Siebert, H., 185  
Silverberg, G., 3, 21  
Simon, H.A., 100—103, 123  
Sinn, H.W., 108  
Slovic, P., 101  
Smale, S., 36  
Smith, A., 17, 44  
Soete, L., 3  
Solow, R.M., 1, 67  
Sonnenblum, S., 18  
Stalder, M., 61  
Staub, P., 114  
Stegmüller, W., 2

- Sterman, J.D., 204  
Stiglitz, J.E., 40, 48, 69—74, 75—78, 79,  
80, 110, 127, 136, 170  
Stoneman, P., 1, 69, 72, 93, 110, 111, 115  
Stroebe, W., 26  
  
Thom, R., 28  
Tietzel, M., 38  
Tirole, J., 47  
Troitzsch, K., 59, 145  
Tversky, A., 101  
  
Uzawa, H., 84, 204  
  
Wald, A., 40  
Wallace, A.R., 17  
Weaver, W., 152  
Weidlich, W., 12, 28, 32, 136—137, 144,  
147—148, 149, 155, 158, 189—197  
Weizsäcker, C.C. von, 90, 93, 183  
Winter, S., 3, 46, 89, 113—122, 130, 136  
Witt, U., 3, 4, 10, 12, 22, 25, 26, 27, 97, 152,  
156  
Wood, D., 18  
  
Zimmerli, W.C., 98  
Zimmermann, K.F., 2, 72



## Sachregister

- Abschreibung, 94, 111  
*American dream*, 212  
Analogie, 8, 21  
*anchoring effect*, 101  
Anfangswert, 167, 192—197  
Angebot, 137, 189—197  
--, Energie-, 18  
--, Überschuß-, 40  
Angebotsfunktion, 44, 53  
Anomalie, 46, 101, 182  
Anpassung, 119—122, 184  
Arbeitseinsatz, 85  
Arbeitslosigkeit, 46  
Arbeitsteilung, 88—89  
Arbitrage, 45  
Artenvielfalt, 20  
Attraktionsgebiet, 27—28  
Attraktor, 60  
--, Lorenz-, 59  
--, seltsamer, 42, 60  
--, stochastischer, 145  
Autokatalyse, 211—215  
*availability effect*, 101
- Barone-Kurve*, 124—128  
Befristung, 186  
Behaviorismus, 26, 34, 46, 100—103  
Berechenbarkeit, 10  
Betriebswirtschaft, 216  
Bifurkation, 7, 28, 151  
--, *Hopf*-, 60  
Bildungssystem, 217  
Biologie, 5, 17—23  
Budgetrestriktion, 109
- certainty effect*, 101  
*Cobweb-Theorem*, 45
- contestable market*, 127  
*Cournot-Spiel*, 47
- Darwinismus, 19  
Deregulierung, 188  
detaillierte Bilanz, 147—148  
deterministisches Chaos, 42, 59—61, 151, 173  
Devisenmarkt, 45  
Dezentralisierung, 217  
Dichtefunktion, 150, 162, 182  
Dienstleistung, 105  
--, Energie-, 213  
Differentialgleichung, 24, 36  
--, erster Ordnung, 146  
--, für Mittelwerte, 149  
--, nichtlineare, 28, 47, 118, 150  
--, stochastische, 142, 190  
Differentialtopologie, 49  
Diffusion, 90, 111—122  
Diskontierungsfaktor, 185  
Dissipation, 23  
Diversifikation, 42, 79, 107—111, 167  
Dumping, 125  
Durchsetzungsfähigkeit, 26
- Effizienz  
--, Energie-, 93  
--, Evolutions-, 187—188, 206  
--, komparativ-statische, 127, 187—189  
--, Nutzenergie-, 183  
Eigentumsrecht, 188  
Elastizität  
--, F&E-, 71, 73, 82  
--, Nachfrage-, 70, 127, 180, 190  
--, Substitutions-, 87, 92  
Elektrizität, 116, 184, 213  
Elite-Theorie, 208  
Emission, 183

- Empirie, 197  
 Energie, 17—23, 34  
 --, leitungsgebundene, 50  
 --, psychische, 30, 203  
 --, Wirkungsgrad, 183  
 Energiekrise, 36, 93  
 Energiesystem  
 --, biologisches, 18  
 --, technisches, 114, 212—215  
 Energiewirtschaft, 183—189, 212, 215  
 Entdeckung, 51, 52  
 --, einer Marktische, 6, 56—57  
*entrepreneurship*, 204  
 Entropie, 17  
 Entscheidung  
 --, Impulsiv-, 104  
 --, Innovations-, 25, 97, 100—103  
 --, Investitions-, 121  
 --, probabilistische, 104  
 Entscheidungseinheit, 144  
 Entscheidungsirrtum, 45  
 Entwicklung, 68  
 Epidemie, 112  
 Erfindung, 57, 67, 188, 204  
 Ergodizität, 147, 148  
 Erwartung, 45, 48, 93, 179  
 --, Gewinn-, 76  
 --, rationale, 41, 76  
 --, subjektive, 1—2  
 Evolution, 4  
 --, biologische, 17—23, 131  
 --, ökonomische, 6—7  
 Evolutionssprung, 4, 203  
*ex ante*, 10, 49  
*ex post*, 54  
 Experte, 105  
 externer Effekt, 40, 216  
 --, Lern-, 95, 184  
 --, negativer, 185—189  
 --, Netzwerk-, 79, 184, 187  
 --, positiver, 78—84, 158, 184  
 --, *Spillover*-, 40, 72, 79—84, 86  
  
 F&E-Ausgaben, 69, 75, 81—84, 179  
 F&E-Paradigma, 88, 211  
 --, Distanz zwischen, 155  
 --, energiebezogene, 183  
 F&E-Politik, 186—189  
  
 F&E-Richtung, 85—86, 90  
 F&E-Struktur, 136—137  
 F&E-Trajektorie, 89  
 Feedback, 35  
 --, interpersonelle, 105  
 --, Konsumenten-, 190  
 --, positiver, 48—52, 186  
 Finanzmarkt, 45  
 Findigkeit, 51  
 --, Theorie der, 26, 102, 202  
 Fixkostenintensität, 50  
 Fixpunkt, 60  
 Fluktuation, 7, 30, 51, 58  
*Fokker-Planck*-Gleichung, 143  
 Formalisierbarkeit, 10  
 Forschung, 68, 79—80  
 --, Doppel-, 77  
 --, Groß-, 218  
 --, Grundlagen-, 71, 80, 218  
 Forschungsförderung, 2, 83, 186, 217—219  
*framing effect*, 101  
*free rider*, 82  
*free-rider*-Paradox, 83  
 Freiheit, 217  
 Freiheitsgrad, 26, 130, 138  
 Frequenzverdopplung, 60, 173  
 Fusionskontrolle, 72  
  
 Gedächtnis, 146  
 Genehmigungsverfahren, 57, 184  
 Genotyp, 22  
 Gesellschaft  
 --, Dienstleistungs-, 213  
 --, Freizeit-, 25  
 --, Informations-, 213  
 Gewinn, 45, 69, 75  
 --, Differential-, 124  
 --, Innovations-, 74—78, 116, 179, 214  
 --, Monopol-, 74, 127, 188  
 --, Spekulations-, 46  
 --, Spezialisierungs-, 86—90  
 Gewinngefälle, 124—128  
*Giffin*-Paradox, 48  
 Gleichgewicht, 5—7, 27  
 --, biologisches, 6, 19  
 --, Erwartungs-, 42  
 --, evolutorisches, 47, 174  
 --, Innovations-, 69, 160, 193, 196—197  
 --, instabiles, 30

- , Koordinations-, 6, 40—41, 57, 138, 196
- , langfristiges, 126
- , multiples, 39, 49, 73, 89, 151, 159—164
- , *Nash*-, 47, 69, 75
- , stationäres, 99, 145—148
- , stochastisches, 37, 145, 147—148
- , symmetrisches, 70, 73—74, 75, 81
- , thermodynamisches, 34
- Gleichgewichtstheorie, 1, 39—42
- Gradientenfeld, 28
- Größeneffekt, 47, 137
- Gruppendruck, 106
  
- H-Theorem, 147
- habit formation*, 101
- habit persistence*, 101
- Handel
  - , internationaler, 48
  - , Liberalisierung, 127
- Heterogenität, 107—111, 113, 131—132, 217
  - , behavioristische, 102
  - , biologische, 20
  - , individuelle, 39, 122
  - , Innovations-, 157
  - , transitorische, 112—122
- homo oeconomicus, 26, 68
- human capital, 84—90
- Hysterese, 57, 173
  
- Ideologie, 38
- Imitation, 57, 67, 106
- Indifferenz, 104
- Indifferenzkurve, 40, 103
- individual probability transition rate*, 139
- induced-bias*-Hypothese, 91
- Industrieökonomik, 2
- Industriepolitik, 50, 83, 217
- Information, 77, 103—107, 152
  - , asymmetrische, 48
  - , unvollständige, 26
  - , Verarbeitungsfähigkeit, 102
  - , verzerrte, 105
  - , vollständige, 40
  - , Zugänglichkeit zu, 179, 217
  - , Zugewinn an, 31
- Informationsparadox, 208
  
- Innovation, 22, 67
  - , Basis-, 3, 67, 204, 209
  - , individuelle, 54
  - , marktinduzierte, 91
  - , Produkt-, 67, 72
  - , Prozeß-, 67, 68—74, 91
  - , Rationalisierungs-, 67, 204
- innovation possibility frontier, 91
- Innovationserfahrung, 156
- Innovationskette, 84, 89, 151
- Innovationskraft, 71—74, 83, 217—219
- Innovationsmarketing, 209
- Innovationsmöglichkeitskurve, 91—92
- Innovationsparadigma, 88—90, 136—137
- Innovationspolitik, 63, 127, 186—189, 215—218
- Innovationstheorie, 1—4, 84, 97
  - , behavioristische, 103
  - , Mikro-, 69, 129—131
  - , neoklassische, 67—68, 90
- Instabilität, 51, 62—63, 167—173, 203, 208
- Institution, 22, 105
- Interdisziplinarität, 21
- Interessengruppe, 219
- International Energy Agency*, 185
- Interventionismus, 62
- invention*, 57, 67
- Investition, 73, 113—114, 119—120
  - , Hemmnis, 219
  - , Markt-, 58
- IPF*-Kurve, 91
- Irreversibilität, 23—24, 51, 89, 99, 186—189
- Isomorphie, 8, 22
- Isoquante, 80
  
- Jacobi*-Matrix, 37
  
- Kapital
  - , Human-, 84—90
  - , *user cost*, 90
- Kapitalausstattung, 84
- Kapitalintensität, 81
- Kapitalrendite, 113, 124
- Kartellverbot, 72
- kategorischer Imperativ, 98
- Keynesianismus, 61
- Know-how, 48, 75, 84—90
  - , kumuliertes, 88, 184

- , Vorsprung, 86
- Know-how-Transfer, 79
- Koexistenz, 19
- Komplexität, 21, 32, 138
  - , des Innovationswettbewerbs, 211—215
  - , Reduktion der, 8, 33, 146, 174
- Konjunkturschwankung, 204
- Konkurs, 218
- Kontingenz, 7, 29, 152
- Konvergenz, 44
  - , deterministische, 172
  - , stochastische, 145—148, 161
- Konzentrationsgrad, 71, 82
- Kooperation, 32, 47, 48
- Koordination, 6, 43—47, 189, 195
- Koordinationsinstrument, 40
- Korrelationskoeffizient, 109
- Kosten, 118
  - , Anpassungs-, 109—111, 112, 155
  - , Durchschnitts-, 124
  - , externe, 185, 216
  - , Fix-, 75, 121
  - , Grenz-, 48, 54, 68, 110, 124, 188
  - , Informations-, 48, 105
  - , Innovations-, 93
  - , Opportunitäts-, 18, 54, 85
  - , soziale, 208
  - , Transaktions-, 33, 40—41, 55—56
- Kostendegression, 48
- Kostenfunktion, 48, 69
- Kostenreduktion, 69, 81, 91
  - , maximale, 92
- Kostenvorteil, 50, 115, 187
- Kreativität, 26
- Kronecker*-Symbol, 139, 140, 142
- Kurzsichtigkeit, 185, 205
  
- Laserphysik, 21
- learning by doing*, 85
- learning by using*, 85
- Leistungsgefälle, 54, 124—128
- lineare Programmierung, 114
- lineares Denken, 204
- local search*, 120
- lock-in*, 31, 185
- Logit-Modell, 155, 157, 198
- Lohnverhandlungen, 116
  
- Magnetismus, 21
- Makroebene, 27, 136, 139—144
  - , benachbarter Zustand der, 142
- Marketing, 137
- Markow*-Modell, 121, 145—148
  - , nichtstationäres, 146, 150
- Marktanteil, 82, 125
- Marktforschung, 58, 137
- Marktmacht, 41, 50, 180
- Marktnische, 6, 27, 119
- Marktpenetration, 185, 187
- Markträumung, 40
- Markttest, 53, 58
- Marktversagen, 50, 185, 214
- Marktzutritt, 57, 72, 125—128, 139
- Mastergleichung, 141—144, 149, 190
  - , der Mittelwerte, 149
- Maximin-Kriterium, 98
- Maximum
  - , Gewinn-, 185
  - , globales, 196
  - , lokales, 148, 151, 159—164, 169—170
  - , Nutzen, 3
- Methodenstreit, 24
- Mikroebene, 26, 137—139
- Minimax-Kriterium, 98
- Mode, 33, 190
- Monetarismus, 61
- Monopol
  - , natürliches, 50
  - , temporäres, 77
  - , zeitliches, 188
- Monopolisierungsgrad, 71
- multi criteria decision analysis*, 103
- Mutation, 19, 22
  - , Verhaltens-, 6
- Mythologie, 38
  
- Nachfrage, 189—197
  - , Überschuß-, 40
- Nachfragefunktion, 44, 53, 124
- Neuerung, 10, 25, 67, 97
  - , individuelle, 27
  - , makroökonomische, 27
- Nichtkonvexität, 48
- Normalisierung, 138, 140
- Normalverteilung, 107, 108
- Not macht erfinderisch, 93, 156

- Notwendigkeit, 131  
 Nutzen, 82, 156  
 --, Erwartungs-, 68, 101, 156  
 --, Grenz-, 54, 68, 107, 188, 213  
 Nutzenfunktion, 47, 48  
 --, CES-, 86
- Offenheit  
 --, als System, 33, 34—38  
 --, in der Zeit, 6, 25—27, 34—38, 57, 58, 152
- öffentliches Gut, 72, 218  
 Ökologie, 5, 36  
 ökologische Sackgasse, 208  
 Ökonometrie, 43, 197  
 Ökonomik  
 --, evolutorische, 4—7, 23, 25—27, 39, 50—52  
 --, institutionelle, 48  
 --, neoklassische, 50, 52, 63, 173  
 --, Umwelt-, 188  
 --, Ungleichgewichts-, 40, 43  
 Oligopol, 48, 69, 72, 74—78  
*on the job training*, 85  
 Optimum, 68, 101, 108  
 --, ökologisches, 19  
 --, Pareto-, 40, 52—53, 208  
 --, soziales, 40, 185
- Ordnung  
 --, Rechts-, 33  
 --, spontane, 6—7, 39, 43—47, 51, 103, 143, 174  
 --, Wirtschafts-, 22  
 Ordnungspolitik, 188, 217  
 Organismus, 22  
 Outputkoeffizient, 113
- Patentrecht, 68, 188, 218  
*path dependence*, 51, 146  
*pattern recognition*, 102—103  
 Phänotyp, 22  
*phase-locking*, 31, 185  
 Phasenportrait, 36  
 Phasenübergang, 7, 27—31, 39, 48—52, 162—164, 170—173, 183  
 --, Kaskadenfolge, 206—208  
 Pilotprojekt, 218  
 Pionier, 79, 100, 111
- Planbarkeit, 3, 214  
 Politikwissenschaft, 26, 208  
*Polya-Prozeß*, 148  
 Portefeuille, 48, 107  
 --, F&E-, 136  
 Portfolio-Theorie, 108  
 Potential  
 --, Energie-, 18  
 --, Innovations-, 86, 89, 213—215  
 Potentialfunktion, 28—30, 53, 122  
 Potentialschwelle, 6, 29—30, 56, 89, 128, 184—189  
 Präferenz, 105  
 --, autonome, 179, 190  
 Präferenzfunktion, 156, 157, 168—173, 179, 189  
 Preis, 22, 40  
 --, Anschaffungs-, 68  
 --, Energie-, 93, 115, 185  
 --, Faktor-, 90, 92, 116  
 --, Gleichgewichts-, 44  
 --, relativer, 87  
*prisoner's dilemma*, 83  
 Problemanalyse, 101  
 Problemdruck, 93—94, 100, 183  
 Produktionsfaktor, 90, 113  
 Produktionsfunktion, 40, 86, 91  
 --, limitationale, 91  
 Produktivität, 137  
 --, Arbeits-, 84, 113, 213  
 --, Grenz-, 168  
 Produktivitätsfortschritt, 67, 95, 115  
 Prognose, 58, 97  
 --, Grenzen der, 28, 170  
 --, Innovations-, 215  
 --, selbsterfüllende, 41  
 Prozeßrationalität, 100—101  
 Psychologie, 202
- Qualifikationsniveau, 84
- random utility model*, 156  
*random walk*, 51, 99  
 Reallohn, 90, 115, 125  
*rent seeking*, 125  
 Rente  
 --, Differential-, 74, 126—127  
 --, Innovations-, 74—84  
 --, Konsumenten-, 213

- , Produzenten-, 125
- Repeller, 37
- repräsentativer Akteur, 11, 100, 122, 129
- representativeness effect*, 101
- Ressourcen, 183—189, 212
- Revolution, 4
- , industrielle, 212
- , neolithische, 212
- Rezession, 116
- Risiko
- , Innovations-, 69, 98, 123, 179
- , Mut zum, 111
- , unkorreliertes, 109
- Risikoaversion, 98, 107—111, 204
- Risikovorsorge, 218
- risk pooling*, 48
- Routine, 46, 57, 89, 114, 186, 192—193
  
- Sachverständigenrat, 126
- satisfying principle*, 19, 102, 123
- Sattelpunkt, 37, 161, 167
- Sättigung, 168—173, 204
- Say'sches Theorem, 192
- Schock, 31—34, 210
- schöpferische Zerstörung, 63, 90
- Selbstorganisation, 7, 31—34, 43, 49, 73
- Selbstverstärkung, 184
- Selektion, 5, 22, 50, 88
- , Gruppen-, 98
- Selektionsdruck, 18—19, 215
- Simulation, 26, 115, 191
- , deterministische, 164—173
- , *Monte-Carlo*-, 147
- , stochastische, 121, 161—164, 181—183
- Skalenertrag, 40, 48—52, 113
- slaving principle*, 32
- Smog, 212
- soziales Netzwerk, 49, 190
- Sozialpartner, 116
- Sozialpsychologie, 26
- Soziologie, 26, 49
- Spekulation, 45
- Spezialisierung, 86—90, 167
- Spieltheorie, 31, 39, 47, 98
- Stabilität, 62—63, 171, 199, 203
- Stationarität, 145
- steady state*, 42
- Stetigkeitsprinzip, 4, 55
- Stirling'sche Formel*, 159
- strange attractor*, 42
- Strukturbruch, 31
- , endogener, 6, 51, 174
- Substitution, 86—90
- , Grenzrate der, 87
- , im Energiebereich, 183
- Suchaktivität, 20, 121, 183
- Suchhorizont, 120, 123, 156
- , aggregierter, 131
- sunk cost*, 40, 110—111
- survival of the fittest*, 19, 74
- Symbiose, 19
- Symmetriebruch, 7, 30, 51, 77, 105, 162, 214
- Synergetik, 12, 31—34
- system dynamics*, 118
- Systemtheorie, 22, 32, 143
- Szenarium, 7, 116
  
- tâtonnement*, 44
- Taylor-Entwicklung*, 139, 141
- Technikakzeptanz, 204
- technischer Fortschritt, 1, 67, 69
- , faktorvermehrender, 91
- technological opportunity*, 131, 213
- Technologie
- , benachbarte, 80—81, 120
- , *End-of-pipe*-, 183
- , Energiespar-, 184—185
- , *Leontief*-, 113
- Technologiefolgenabschätzung, 216
- Technologiemix, 107
- Technologienorm, 79
- Technologiesprung, 4, 203
- Technologietransfer, 2, 217
- technologisches Paradigma, 88
- technology assessment*, 95, 216
- the winner takes all*, 76
- Thermodynamik, 21
- , zweiter Hauptsatz, 17, 24, 34, 147
- threshold*, 31
- Torus, 42, 60
- Trajektorie, 99
- , des Mittelwertes, 150
- , Gleichgewichts-, 2, 41, 51, 89

- , stochastische, 42, 145—148, 149, 162
- trial and error*, 122, 187, 207
- Trittbrettfahrer, 82
  
- Umwelt, 183—189, 212
- Umweltabgabe, 186
- Umweltnorm, 186, 187
- Umweltpolitik, 185—189
- , evolutionseffiziente, 187—189
- Umweltverträglichkeitsprüfung, 216
- Unabhängigkeit
  - , statistische, 143—144
  - , vom Anfangswert, 164—173
  - , von irrelevanten Alternativen, 157
- Ungleichgewicht, 6, 21, 27, 43
- Ungleichgewichtsimpuls, 122
- Unmöglichkeitstheorem, 152
- unsichtbare Hand, 44
- Unternehmen, 58
  - , Arbitrage-, 45
  - , innovatives, 84
  - , schöpferisches, 100, 111, 208
  - , verbundene, 143
- Ursache-Wirkung, 2, 57, 122
  
- Varianz, 108, 131, 149, 217
- Vereinfachung, 8
- Verhalten
  - , abweichendes, 99—100, 194
  - , Assimilations-, 106
  - , *Cournot*-, 69, 72
  - , heterogenes, 128—131
  - , homogenes, 11, 99
  - , Imitations-, 106, 158
  - , Innovations-, 82—83, 98, 156
  - , Routine-, 114
  - , strategisches, 76, 83, 116
  - , synergetisches, 106
- Verhaltensforschung, 26, 103—107, 202
- Vernetzung, 33
- Versicherung, 109
- Verzweigung, 7
- Vintage*-Modell, 112
  
- Wachstum
  - , Bevölkerungs-, 212
  - , logistisches, 111, 115
  - , Wirtschafts-, 204
- Wachstumsschub, 204, 219
- Wachstumstheorie
  - , neoklassische, 1
  - , neue, 6, 209
- Wagnis, 123
- Wahrscheinlichkeit, 26—27
  - , bedingte, 138, 140, 145—146
  - , des Innovationserfolgs, 75
  - , Mittelwert, 149—154
  - , stationäre, 145—148, 165—173
  - , subjektive, 1—2, 97—98, 130
  - , zusammengesetzte, 140
- Wahrscheinlichkeitsfluß
  - , individueller, 139, 155—158
  - , makroskopischer, 142
- Wahrscheinlichkeitsübergang, 121, 139
- Weiterbildung, 85
- Weltwirtschaft, 50
- Wertewandel, 36, 204
- Wettbewerb, 22
  - , als Entmachtungsinstrument, 48
  - , Arbitrage-, 53—59
  - , *Bertrand*-, 74—79
  - , dynamischer, 50, 100
  - , Imitations-, 125—128
  - , Innovations-, 7, 51, 72, 73—74, 82, 106
  - , internationaler, 49
  - , interner, 218
  - , monopolistischer, 48, 125
  - , Preis-, 52—59, 126—128, 210
  - , Standort-, 48, 50
  - , strategischer, 83
  - , unvollkommener, 39, 41, 124
  - , vollkommener, 40
- Wettbewerbspolitik, 72, 127, 217
- Wiederaufblendung, 9, 201
- Wirtschaftspolitik, 52, 215—217
  - , antizyklische, 62
  - , evolutionseffiziente, 187—189
- Wirtschaftswachstum, 67
- Wissen
  - , Beschränktheit, 58, 187, 207
  - , dezentrales, 43
  - , Insider-, 46
  - , Produktionsfaktor, 86
  - , Schleier des, 215
- Wissenschaft, 79—80, 98, 105
  - , Paradigmen der, 88
- Wohlfahrtstheorie, 52
  
- Zeitgeist, 190

Zeitkontinuum, 139, 141  
Zeitstrategie, 207  
Zeitumkehr, 24  
Zensur, 217  
Zentralisierung, 217  
Zins, 40, 41  
Zufall, 20, 26—27, 104

Zufallsprozeß, 119, 131  
Zustand, benachbarter, 144  
Zyklus  
—, Grenz-, 42, 60, 173  
—, Hyper-, 19  
—, *Kondratieff*-, 204  
—, Produkt-, 204