

Evangelisches Studienwerk e.V.



*Schriftenreihe des Promotionsschwerpunkts
Makroökonomische Diagnosen und Therapien der Arbeitslosigkeit*

Nr. 13/2000

**Implikationen der Technologiediffusion für technologische
Arbeitslosigkeit**

von

Bernhard Holwegler

Stuttgart-Hohenheim

ISSN 1436 - 1655

Implikationen der Technologiediffusion für technologische Arbeitslosigkeit

von

Bernhard Holwegler

Institut für VWL (520)
Universität Hohenheim
D-70593 Stuttgart
Tel.: +49 (711) 459-3113
holwegle@uni-hohenheim.de

Vortrag gehalten an der Universität Hohenheim, Stuttgart,
am 09. Februar 2000

1. Einleitung

Schon seit den Anfängen der klassischen Politischen Ökonomie in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts hat hohe und/oder persistente Arbeitslosigkeit bei rasch und anhaltend fortschreitendem technischen Fortschritt und Strukturwandel Debatten in der ökonomischen Literatur um *technologische Arbeitslosigkeit* provoziert. In diesem Begriff manifestiert sich die Befürchtung, daß die durch den technischen Fortschritt mit seinen Effizienz- und Produktivitätssteigerungen ausgelöste Freisetzung von Arbeitskräften zu tatsächlichen Entlassungen führen. Auf der anderen Seite zeigt die Wachstumstheorie, daß langfristig eben dieser technische Fortschritt einen zentralen Anteil am Wachstum der gesamtwirtschaftlichen Produktion und des Wohlstandes hat und so letztendlich auch mittelbar auf die Schaffung von Arbeitsplätzen einwirkt.

Zwei gegenläufige Wirkungen werden damit durch technischen Fortschritt ausgelöst, deren Nettoeffekt nicht ohne weiteres ermittelt werden kann. Einerseits betonen die *Freisetzungspessimisten*, daß Arbeitskräfte im Zuge der Produktivitätssteigerungen, die der technische Fortschritt v.a. in Form von Prozeßinnovationen auslöst, aus dem Produktionsprozeß freigesetzt und ihm nicht oder allenfalls nur ungenügend durch Ausweitung der Produktion oder Faktorsubstitution wieder zugeführt werden. Andererseits hoffen *Kompensationsoptimisten*, daß (endogene) Mechanismen die Volkswirtschaft in die Lage versetzen, solchermaßen freigesetzte Arbeitskräfte zu (re-) absorbieren.¹

In einer Systematisierung der einzelnen Wirkungszusammenhänge ist die Debatte auf sechs Kernargumente reduzierbar.² Der Freisetzung von Arbeitskräften durch technischen Fortschritt und dem Anstieg der (Arbeits-) Produktivität stehen fünf Kompensationsmechanismen gegenüber: Zum einen können Produkt-

¹ Eine knappe dogmenhistorische Diskussion liefern z.B. Hagemann/Kalmbach (1983) und Melzig-Thiel (2000). Ausführlicher zeichnet Mettelsiefen (1981) die zeitliche Abfolge der Kompensations- und Freisetzungsargumente nach.

² Vgl. Hagemann (1985 und 1995) und Vivarelli (1995).

innovationen, sofern sie additiven, nachfrageerweiternden Charakter besitzen, positive Beschäftigungseffekte aufgrund der Ausdehnung der effektiven Nachfrage auslösen. Dieser Effekt besteht gemäß dem Kaufkraftkompensationsargument auch bei Prozeßinnovationen, wenn die durch Effizienzsteigerungen ausgelösten Kostensenkungen in Preissenkungen, Lohnsteigerungen und/oder (investiv verwendeten) Gewinnerhöhungen weitergegeben werden.³ Im Maschinenherstellungsargument erfolgt die Kompensation freigesetzter Arbeitskräfte aufgrund einzelwirtschaftlich arbeitseinsparender Innovationen in der Konstruktions- und Herstellungsphase der die Innovationen verkörpernden Kapitalgüter. Die Argumentation der steigenden Exportnachfrage durch steigende internationale Wettbewerbsfähigkeit faßt die bisherigen Argumente in einen internationalen Kontext für offene Volkswirtschaften. Ein Anstieg der (Export-) Nachfrage, eine Senkung der Produktionskosten sowie die Maschinenherstellung können dann kompensatorisch wirken, wenn technischer Fortschritt im Verhältnis zum Ausland schnell umgesetzt wird. Schließlich sieht die in der heutigen Wirtschaftspolitik populäre Faktorsubstitutionshypothese aus der neoklassischen Orthodoxie eine hinreichende Kompensation der Arbeitsfreisetzung durch entsprechende Faktorpreisflexibilität, d.h. letztlich Lohnflexibilität insbesondere nach unten, gewährleistet.⁴

³ Die Unterteilung des technischen Fortschritts in Produkt- und Prozessinnovationen ist nicht einfach: Prozessinnovationen sind häufig gleichzeitig Produktinnovationen, da sie oft in einem Sektor hergestellt und in anderen nachgefragt werden (eine Ausnahme bilden z.B. Produktivitätsanstiege aufgrund organisatorischer Veränderungen). Vgl. auch König (1996), S. 158 und Schettkat/Wagner (1989), S. 1 und 5f.

⁴ Aufgrund des neoklassischen *mainstreams* stehen die Aspekte der technologischen Arbeitslosigkeit nicht mehr im Mittelpunkt des Forschungsinteresses und der Politikempfehlungen. So mahnte der Sachverständigenrat in seinen Gutachten zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung wiederholt eine produktivitätsorientierte Lohnpolitik an (zuletzt 1997 Tz. 368, 1998 Tz. 423ff und 1999 Tz. 332ff), um durch einen Lohnanstieg unter dem (Arbeits-) Produktivitätswachstum einen Rückgang der Arbeitslosigkeit zu bewirken. Technologische Arbeitslosigkeit wird mit dieser Argumentation wegdefiniert und auf einen einfachen Dreisatz zwischen Lohnhöhe, Produktivität und Beschäftigung reduziert. Die Neoklassik kennt sehr wohl das Phänomen der technologischen Arbeitslosigkeit als Arbeitslosigkeit dritten Grades (vgl. Giersch 1983, S. 10). Kromphardt weist in einer abweichenden Meinung im oben genannten Jahresgutachten (SVR, 1999 Tz. 366-373) und (1998) S. 16 darauf hin, daß die vom Sachverständigenrat vorgeschlagene Politik sinnvoll und notwendig ist, um das Entstehen von technologischer Arbeitslosigkeit zu verhindern. Sie ist aber nicht geeignet, eine solche Arbeitslosigkeit abzubauen.

Jedem dieser Einzelargumente steht eine Vielzahl fundierter Kritikpunkte gegenüber, die in der oben zitierten Literatur detailliert wiedergegeben werden. Ein besonderes Augenmerk soll in dieser Arbeit jedoch auf einen Umstand gelegt werden, der in den empirischen Arbeiten zur technologischen Arbeitslosigkeit eine zentrale Rolle spielt, jedoch durch die theoretische Literatur kaum analysiert, allenfalls angemerkt wird: Nach der Schumpeterschen Trilogie vollzieht sich technischer Fortschritt in sequentiellen Phasen der Invention, d.h. der Generierung von Ideen für neue oder verbesserte Produkte oder Prozesse, der Innovation als erstmalige wirtschaftliche Anwendung bzw. Verwertung einer Invention und der Diffusion als tatsächliche Nutzung und Verbreitung einer Innovation auf ihrem potentiellen Markt.⁵ Wird diese Unterscheidung übergangen, entsteht ein analytisches Problem. Entweder bewegt sich die Analyse der Beschäftigungswirkungen des technischen Fortschritts in einem langfristigen Blickwinkel, in dem die Diffusion neuer Technologien als nicht relevant betrachtet werden kann. Diese Vorgehensweise bietet aber aufgrund eben dieser Langfristigkeit eine denkbar schlechte Ausgangsbasis zur Diskussion technologischer Arbeitslosigkeit.⁶ Oder das Problem liegt in der Verwendung eines Modellrahmens, in dem nicht erst die tatsächliche Nutzung, sondern die Innovation schon Beschäftigungseffekte auslöst. Vor dem Hintergrund dieser methodischen Problematik betonen daher Kalmbach und Kurz (1990, S. 81), "daß die zu studierenden Beschäftigungseffekte sich aus der *Diffusion neuer Technologien* ergeben und nicht aus deren potentieller Verfügbarkeit. Erst mit der Diffusion einer neuen Technologie verändern sich die Bedingungen der Produktion und erst durch die Diffusion kommt es zu Freisetzungs- und Kompensationseffekten" (*Hervorhebungen im Original*). Dynamischen Input-Output-Analysen zur empirischen Erhebung von Freisetzungs- und Kompensationsmechanismen neuer Technologien ist dieser Aspekt nicht fremd, enthalten sie doch verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Diffusionsgeschwindigkeiten zur Abschätzung der Beschäftigungseffekte neuer Techno-

⁵ Diese Dreiteilung muß nicht notwendigerweise einen linear-rekursiven Prozeß darstellen, sondern kann durchaus auch mit gegenseitigen Interdependenzen verbunden sein. Vgl. Silberberg (1990), S. 177ff.

⁶ In den Worten Helmstädters (1998, S. 134) „[ist] langfristig (...) bisher noch jede technologische Arbeitslosigkeit überwunden worden“.

logien.⁷ Recht selten finden sich jedoch darüber hinaus theoretische Arbeiten, die die Themenkomplexe der Technologiediffusion und der technologischen Arbeitslosigkeit im Zusammenhang betrachten.

Ein erster Schritt, die Relevanz der Technologiediffusion in der Diskussion um technologische Arbeitslosigkeit zu berücksichtigen, ist die Analyse des Diffusionsprozesses und seiner Determinanten. Wie die Input-Output-Analyse gezeigt hat, ist insbesondere die Diffusionsgeschwindigkeit ein zentraler Faktor, der auf die technologische Arbeitslosigkeit einwirkt. Im anschließenden Abschnitt werden zunächst einige methodologische Grundlagen und empirische Fakten über die Technologiediffusion dargestellt. In den Abschnitten drei bis sechs folgt eine Diskussion der wichtigsten Diffusionsmodelle. Darüber hinaus werden die zentralen Determinanten der Technologiediffusion herausgearbeitet. Die Arbeit endet mit einem Ausblick über weitere und tiefergehende Möglichkeiten der theoretischen und empirischen Berücksichtigung der Technologiediffusion im Disput um die technologische Arbeitslosigkeit.

2 Methodologische Grundlagen und stilisierte Fakten der Technologiediffusion

Die Diffusion neuer Technologien ist als Teilprozeß der oben angesprochenen Dreiteilung des technologischen Wandels aufzufassen.⁸ In Bezug auf den Aggregationsgrad der Analyse der Technologiediffusion werden vier verschiedene Ebenen identifiziert:⁹

1. Die Ausbreitung von Innovationen innerhalb eines einzelnen Unternehmens (*intra-firm diffusion*).
2. Die Diffusion innerhalb eines Sektors oder einer Branche (*inter-firm diffusion* bzw. *intra-industry diffusion*).

⁷ Beispiele für solche Studien finden sich in Leontief/Duchin (1986), Kalmbach/Kurz (1990) oder Edler (1989 und 1990).

⁸ Vgl. z.B. Sarkar (1998, S. 131), Antonelli *et al.* (1992, S. 15), Silverberg (1990, S. 177) oder Stoneman (1983, S. 7f).

⁹ Vgl. Stoneman (1983), S. 67f.

3. Die Diffusion innerhalb einer Volkswirtschaft (*inter-industry diffusion* bzw. *economy wide diffusion*).
4. Die Diffusion zwischen verschiedenen Volkswirtschaften bzw. die internationale Diffusion (*international diffusion*).¹⁰

Jeder der Aggregationsebenen stellt eine Fokussierung auf unterschiedliche Aspekte der Technologiediffusion dar. Die Analyse unternehmensspezifischer Technologiediffusion wendet im allgemeinen zwei unterschiedliche Konzepte an. Entweder wird die Ausbreitung der Innovation im Zeitablauf durch das Verhältnis der mit der neuen Technologie hergestellten Produktion zum gesamten Output des Unternehmens dargestellt oder durch das Verhältnis des Kapitalbestandes, der die neue Technologie verkörpert, zum Gesamtkapitalbestand des Unternehmens. Mit zunehmendem Aggregationsgrad wird häufig ein weiteres Diffusionskonzept verwendet, bei dem der Diffusionsverlauf durch die Zahl der Anwender der Technologie im Verhältnis zur Zahl der potentiellen Anwender beschrieben wird. Problematisch ist die Tatsache, daß mit diesem Meßkonzept auf sektoraler, gesamtwirtschaftlicher und internationaler Ebene von der graduellen Diffusion innerhalb des einzelnen Unternehmens bzw. des einzelnen Haushalts abstrahiert wird. Einen Ausweg aus diesem Dilemma bieten *Vintage*-Ansätze, die auch auf makroökonomischer Ebene den Anteil des neuen Kapitalstocks, der die neue Technologie verkörpert, am Gesamtkapitalbestand berücksichtigen.¹¹

Der Verlauf des Diffusionsprozesses, d.h. die relativen Veränderungen des Outputs, des Kapitalstocks oder der Zahl der Innovationsanwender im Zeitablauf war und ist Gegenstand vieler empirischer Untersuchungen. Dabei finden unterschiedliche Meßkonzepte auf verschiedenen Aggregationsebenen Verwendung. Alle empirischen Analysen führen ungeachtet der unterschiedlichen theoretischen und empirischen Herangehensweisen zu überraschend gleichartigen Ergebnissen,

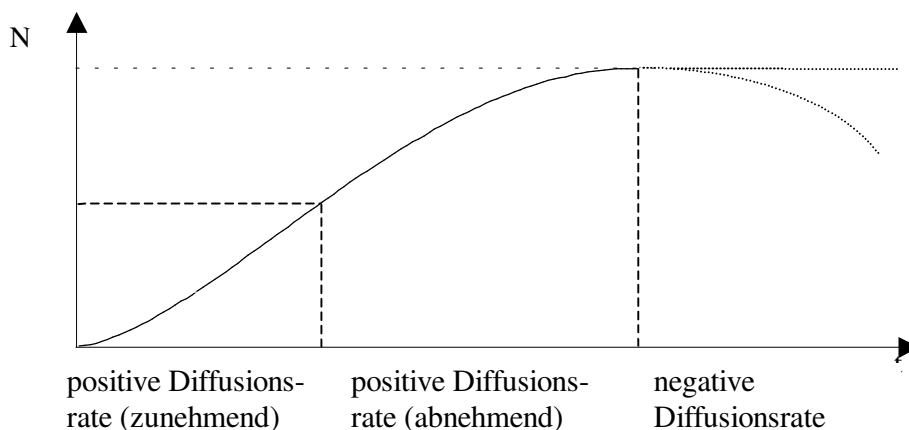
¹⁰ Die Typologie dieser Aufzählung zeigt die Tendenz der ökonomischen Literatur, sich eher auf Prozeß- denn auf Produktinnovationen zu beziehen. Durch den Austausch der ökonomischen Akteure (Haushalte statt Unternehmen) kann jedoch derselbe Ebenenaufbau auch für Produktinnovationen der Endnachfrage angewendet werden. Vgl. Karshenas/Stoneman (1995), S. 266. Soweit nicht angemerkt, bezieht sich technischer Fortschritt in dieser Arbeit auf Prozeßinnovationen.

¹¹ *Vintage*-Ansätze, zurückgehend auf die Analysen von Johansen (1959), Solow (1962) und Phelps (1963), wurden insbesondere von Salter (1960) für die Diffusionstheorie erschlossen. Vgl. für einen umfassenden Überblick Meijers (1994).

die als stilisierte Fakten der Technologie- bzw. Innovationsdiffusion bezeichnet werden. Die wichtigsten wiederkehrenden Grundstrukturen sind:¹²

1. *Die Diffusion neuer Technologien benötigt Zeit.* Diese wichtigste Erkenntnis über den Verlauf der Ausbreitung neuer Technologien hat für alle Aggregatenebenen Gültigkeit. Sowohl innerhalb der einzelnen Unternehmung als auch auf sektoraler, gesamtwirtschaftlicher und internationaler Ebene ist die Diffusion eine steigende Funktion in der Zeit.
2. Die Diffusionskurve besitzt typischerweise einen *s-förmigen, sigmoiden* Verlauf, wie er in *Abbildung 1* dargestellt ist. In einem ersten, konvexen Teil nutzen nur einigen wenige Anwender die neue Technologie, der relative Anteil der Innovation am Output, am Kapitalstock bzw. an der Zahl der Anwender wächst jedoch mit zunehmender Geschwindigkeit. Ein Wendepunkt markiert die maximale Diffusionsrate. In anschließenden konkaven Kurvenabschnitt nimmt zwar die Nutzung der neuen Technologie weiter zu, die Rate der Übernahme nimmt jedoch immer mehr ab, so daß sich die Diffusionskurve asymptotisch ihrer Sättigungsgrenze nähert.¹³

Abb. 1: Verlauf der Technologiediffusion als symmetrische Funktion



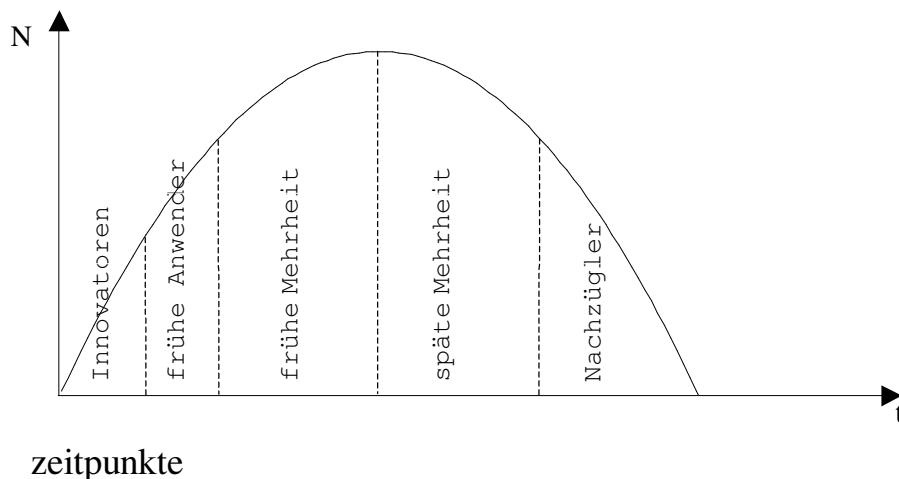
Quelle: eigene Darstellung

¹² Vgl. Karshenas/Stoneman (1995, S. 266 und 269), Sarkar (1998, S. 134f) oder Bhattacharya et al. (1986, S. 224).

¹³ Im weiteren Zeitverlauf ist es durchaus möglich, daß die Steigung der Diffusionskurve negativ wird und die Nutzung der Technologie zurückgeht. Im allgemeinen wird dies jedoch auf das Auftreten und die Ausbreitung einer neuen Technologie zurückzuführen sein. Das Phänomen des Rückgangs der Technologienutzung wird daher meist nicht mehr dem Diffusionsprozeß der betrachteten Innovation, sondern der nächsten nachfolgenden Innovation zugerechnet. Vgl. Cabe (1991).

3. Der Wendepunkt der Diffusionskurve wird im allgemeinen erreicht, bevor die Hälfte der potentiellen Anwender die Technologie nutzen.¹⁴ Die Diffusionskurve ist somit im Gegensatz zu *Abbildung 1* meist nicht symmetrisch, sondern rechtsschief.¹⁵ Dies kann durch das Übernahmeverhalten der potentiellen Anwender verursacht sein. Die Technologieanwender lassen sich entsprechend ihrer Übernahmezeitpunkte in fünf Gruppen der Innovatoren, frühen Anwender (Meinungsführer), frühen Mehrheit, späten Mehrheit und der Nachzügler zusammenfassen, wie *Abbildung 2* zeigt.¹⁶ Dort ist die zur Diffusionskurve aus *Abbildung 1* gehörende symmetrische Dichtefunktion dargestellt. Überproportional viele frühe Anwender und eine große frühe Mehrheit verursachen die rechtsschiefe Asymmetrie.

Abb. 2: Symmetrische Dichtefunktion der Anwender und ihrer Übernahme-



zeitpunkte
Quelle: Stoneman (1983), S. 96.

4. Die Diffusionsgeschwindigkeit, also der Zeitraum von der ersten Anwendung einer Innovation bis zur asymptotischen Annäherung an den Sättigungsgrad, hängt einerseits von den Eigenschaften der Innovation ab, die in ihrer Profita-

¹⁴ Selbstverständlich kann dieses Faktum auch mit den anderen Meßkonzepten statt der Zahl der Anwender ausgedrückt werden.

¹⁵ Einige Innovationen weisen einen so frühen Wendepunkt auf, daß sie den Anschein erwecken, ihre Diffusionskurve besäße ausschließlich den konkaven Kurvenverlauf. Vgl. Jensen (1982), S. 182.

¹⁶ Vgl. Mahler/Stoetzer (1995), S. 14.

bilität subsumierbar sind. Andererseits beeinflussen die spezifischen Charakteristika einzelner Unternehmen, Sektoren und Volkswirtschaften den Diffusionsprozeß. Zudem unterscheiden sich jeweils die Zeitpunkte der ersten Übernahme als auch die Sättigungsgrade.¹⁷

Eine ökonomische Theorie der Technologiediffusion sollte einerseits diese in empirischen Analysen gewonnen stilisierten Fakten berücksichtigen. Andererseits ist ihr eigentliches Ziel eine Erklärung für diese Fakten zu geben und die Determinanten zu bestimmen, die den Diffusionsverlauf prägen.¹⁸ Es existiert keine allumfassende Synthese einzelner Theorien der Technologiediffusion, vielmehr konkurrieren bzw. ergänzen sich mehrere Erklärungsansätze. Die Mehrzahl der Diffusionsmodelle sind nachfrageorientiert, d.h. sie vernachlässigen das Technologieangebot und gehen von der besonderen Relevanz der Konsum- und Investitionsgüternachfrage für den Diffusionsprozeß aus. Eine zusammenfassende Einteilung der wichtigsten Ansätze gelingt Dosi (1991) mit einem "taxonomischen Führer", der in vereinfachter Form in *Tabelle 1* wiedergegeben ist.

Tab. 1: Methodologische Klassifizierung nachfrageseitiger Diffusionsmodelle

		Mikroverhalten	
		<i>Optimierungsverhalten</i>	<i>Institutionalisiertes Verhalten</i>
Makroebene	Gleichgewicht: <i>Steady States</i>	Neoklassische Modelle: 1. <i>Probit-Ansatz</i> 2. <i>Spieltheoretische Modelle</i>	Traditionelle Modelle mit Anpassungsverzögerungen: <i>Epidemische Ansätze</i>
	Ungleichgewicht: <i>Traversen und selbstorganisierende Prozesse</i>	Modelle mit steigenden Erträgen, Netzwerk-externalitäten und Pfadabhängigkeiten	Evolutorische Modelle und Selbstorganisationsmodelle

Quelle: nach Dosi (1991), S. 193.

¹⁷ Dieses vierte stilisierte Faktum zeigt die Gefahren einer allgemeinen (Über-) Generalisierung auf (vgl. Gold 1981, S. 257): Trotz aller Gemeinsamkeiten unterscheiden sich Diffusionskurven nach Innovationen, Unternehmen, Sektoren und Volkswirtschaften.

¹⁸ Vgl. Hall (1994), S. 267.

Nach dieser zweifachen Unterteilung bezüglich des mikroökonomischen (Nachfrage-) Verhaltens der Anwender neuer Technologien und bezüglich makroökonomischer (Un-) Gleichgewichtsprozesse können vier Kategorien nachfrageseitiger Diffusionsmodelle eröffnet werden. *Traditionelle* Modelle, insbesondere der *epidemische* bzw. *informationsbasierte* Ansatz, geht von einem gleichgewichtigen Diffusionsprozeß aus, bei dem den Wirtschaftsakteuren ein insitutionalisiertes und nicht immer dem Optimierungskalkül unterworfenen Verhalten unterstellt wird.¹⁹ *Neoklassisch* sind diejenigen Modellansätze, die das typische Optimierungsverhalten einzelner Wirtschaftsakteure mit dem Paradigma des gleichgewichtigen Wirtschaftsprozesses verbinden. Hier sind vor allem die Probit- bzw. differenzenbasierten Ansätze sowie die spieltheoretischen Ansätze hervorzuheben. Im Gegensatz zu diesen beiden Konzepten sind auch *ungleichgewichtige* Diffusionsprozesse denkbar. Es müssen Modelle, die die Idee steigender Erträge der Übernahme bzw. der Pfadabhängigkeit²⁰ anwenden, von evolutiven Ansätzen und Selbstorganisationsmodellen unterschieden werden.

Jeder dieser Theorieansätze stellt einen spezifischen Aspekt der Technologiediffusion in den Vordergrund des Untersuchungsinteresses und trägt einen Teil zum Puzzle der Diffusionserklärung bei. In den folgenden Abschnitten wird genauer auf einzelne Modelle der grob eingeteilten Kategorien eingegangen, um die jeweiligen Determinanten der Diffusion herauszuschälen. Denn erst mit der Diskussion der Variablen, die einen entscheidenden Einfluß auf die Technologiediffusion besitzen, ist eine Würdigung der Bedeutung der Diffusion für die technologische Arbeitslosigkeit möglich.

¹⁹ "Traditionell" können diese Ansätze deswegen bezeichnet werden, weil sie theoriegeschichtlich am Anfang der Modellierungsversuche von Diffusionsprozessen stehen. Vgl. Karshenan/Stoneman (1995), S. 270.

²⁰ Vgl. für einen Überblick über das Konzept der steigenden Erträge aus der Übernahme Arthur (1994) sowie für das Konzept der Pfadabhängigkeit David (1985, 1994).

3 Traditionelle Diffusionsmodelle: Epidemische bzw. informationsbasierte Ansätze

Informationen über die neue Technologie sind unabdingbare Voraussetzung für ihre Anwendung. Ohne Kenntnis der Existenz und der Eigenschaften einer Innovation kann keine Diffusion stattfinden.²¹ Im einfachsten Grundmodell resultiert der Diffusionsprozeß einer Innovation in Anlehnung an die biologische Ausbreitung einer Krankheit aus der Ausbreitung von Informationen über die Technologie. Annahmegemäß existieren diese Informationen ausschließlich innerhalb der Population potentieller Anwender der Technologie. Potentielle Käufer erwerben eine Innovation immer dann, wenn sie Informationen über ihre *Existenz* erhalten.²² Diese Information breitet sich durch persönlichen Kontakt der Individuen innerhalb der Population aus. Damit kann die Analogie zur Seuchenlehre gezogen werden, wo die Diffusionsrate von der Größe der Bevölkerung (Zahl der potentiellen Anwender), der Zahl infizierter Personen (Zahl der aktuellen Anwender) und dem Infektionsrisiko bei Kontakt mit einem Erkrankten (Wahrscheinlichkeit der Technologieübernahme bei Kontakt zu einem Anwender) abhängt. Eine mathematische Lösung dieses Problems führt zu einer typischen s-förmigen, logistischen (und damit symmetrischen) Diffusionskurve.

Am Haupteinwand, daß in der Realität mangelnde Informationen über die *Existenz* allein nicht der ausschlaggebende *bottleneck* verzögerter Ausbreitung sein dürften, sondern vielmehr mangelnde Informationen über die *Eigenschaften* der Innovation entscheidend sind, orientiert sich das zum epidemischen Standardmodell avancierte Modell von Mansfield (1961, 1963, 1968a, 1968b). Mansfield postuliert eine Hypothese, nach der die Diffusionsrate durch drei zentrale Variablen gesteuert wird: durch die Zahl der Unternehmen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt die neue Technologie nutzen, durch die Profitabilität der Innovation (positiver Zusammenhang) und durch das zur Übernahme nötige Inve-

²¹ Rogers (1995, S. 5) definiert die Technologiediffusion daher als einen Prozeß, durch den eine Innovation "(...) is communicated through certain channels over time among the members of a social system".

²² Diese Kenntnis der Existenz ist damit der stimulierende Reiz der Technologieübernahme. Vgl. Stoneman (1986), S. 171.

stitutionsvolumen (negativer Zusammenhang).²³ Neben dem epidemischen Kern der Informationsübertragung gewinnen nun Eigenschaften der Technologie an Bedeutung.

Eine Erweiterung erfährt das epidemische Grundmodell durch Lekvall und Wahlbin (1973). Sie bauen in die ausschließlich innerhalb der Population generierte Informationsübertragung auch externe, außerhalb der Population bestehende Informationsquellen ein.²⁴ Damit leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Realitätsnähe des epidemischen Ansatzes. Sie zeigen auf, daß bei ausschließlich interner Informationsübertragung eine symmetrische Diffusionskurve entsteht, während bei rein externen Informationsquellen eine völlig konkave Diffusionskurve resultiert. Im Fall unterschiedlicher Gewichtung beider Informationsübertragungsformen entstehen entsprechende rechtsschiefe Kurven.²⁵

Zusammenfassend verdankt der epidemische Ansatz seinen Charme weniger der theoretischen Fundierung der Technologiediffusion als vielmehr der Anwendbarkeit im empirischen Bereich.²⁶ Die Modelle erlauben die Ableitung symmetrischer logistischer, aber auch rechtsschiefer Diffusionskurven. Der epidemische Ansatz eignet sich besonders zur Analyse makroökonomischer Diffusionsphänomene.²⁷ Die Schwächen des Modells liegen in der theoretischen Fundierung, so daß auch mikroökonomische epidemische Ansätze nicht überzeugen.²⁸ Insbesondere ist zu kritisieren, daß die Entscheidungslogik der Technologieübernahme des einzelnen Anwenders nicht konkretisiert wird. Vielmehr wird eine

²³ Bei Unsicherheit über die tatsächliche Profitabilität der Innovation kann die Zahl der Anwender als approximiertes Signal für die Vorteilhaftigkeit dienen.

²⁴ Insbesondere Werbung durch den Innovationsanbieter (besonders bei Produktinnovationen), Journale, Kongresse, Fachmessen (für Prozeßinnovationen), aber auch staatliche Technologiepolitik sind unter solchen externen Informationsquellen subsumierbar.

²⁵ Damit können Lekvall und Wahlbin die in der Realität häufig beobachtbaren rechtsschiefen Diffusionskurven beschreiben.

²⁶ Er ermöglicht die einfache Generierung der beobachteten s-förmigen Diffusionsverläufe. Epidemische Modelle finden sich in der ökonomischen Empirie (z.B. Griliches 1957 oder Mansfield 1968a, b) ebenso wie in der Marketing- und betriebswirtschaftlichen Forschung (z.B. Mahajan/Peterson 1985 oder Mahajan/Muller/Bass 1990).

²⁷ Vgl. hierzu die Beiträge im Sammelband von Nasbeth/Ray (1974).

²⁸ Mansfield (1968b) liefert ein prominentes Beispiel für solche Modelle, die zu recht als psychologische Ansätze bezeichnet werden, da analog zur Psychologie die Geschwindigkeit, mit der ein Wirtschaftsakteur auf einen Stimulus, hier eine Innovation, reagiert, in direkter Beziehung zum Ausmaß des Reizes steht, hier Profitabilität und Investitionsvolumen. Vgl. Stoneman (1983), S. 95.

Innovation übernommen, wenn Informationen über ihre Existenz bzw. über ihre Eigenschaften gewonnen werden. Entsprechend der Zuordnung dieser Modelle zur Kategorie des institutionalisierten Verhaltens sind die Wirtschaftssubjekte eher als passive Informationsempfänger denn als aktive, rationale Informationssammler zu charakterisieren.²⁹ Daneben läßt sich weiter als Kritik anführen, daß die Population der potentiellen Anwender aus identischen Individuen besteht, daß nur eine einzige Innovation untersucht wird und daher Interdependenzen ausgeblendet werden, und daß Technologien während ihrer Diffusion als konstant und unveränderlich angesehen werden.³⁰

Das Verdienst des informationsbasierten Ansatzes bleibt jedoch die Betonung der Relevanz der Information und der Informationsübertragung bzw. die Bedeutung der mangelnden Information und damit der Unsicherheit für den Diffusionsprozeß. Damit ist eine der zentralen Determinanten der Technologiediffusion benannt, jedoch nicht ausreichend erklärt. Für die Debatte um technologische Arbeitslosigkeit bietet der Ansatz daher kaum neue Einsichten. Allenfalls der empirische Nachweis der zeitintensiven Ausbreitung neuer Technologien vermag als Startpunkt für die Verknüpfung von Technologiediffusion und technologischer Arbeitslosigkeit zu dienen.

4 Neoklassische Diffusionsmodelle: *Probit*- bzw. differenzenbasierte Ansätze und spieltheoretische Modellstrukturen

Die schwache theoretische Fundierung der individuellen Entscheidung zur Technologieübernahme im epidemischen Ansatz provozierte die Entstehung von Diffusionstheorien neoklassischer Prägung. Diese widmen sich die der Frage, warum rational handelnde, dem Optimierungskalkül unterworfenen Individuen eine neue Technologie zu verschiedenen Zeitpunkten übernehmen und auf diese Weise einen zeitintensiven Diffusionsprozeß auslösen. Im neoklassischen Rationalitätsparadigma findet der informationsbasierte Übernahmereflex als Grund für eine zeitintensive Informationsausbreitung keinen Platz.

²⁹ Vgl. Karshenas/Stoneman (1995), S. 273.

³⁰ Vgl. für eine zusammenfassende Kritik z.B. Sarkar (1998), S. 135.

Der differenzenbasierte Ansatz, eines von zwei zentralen Modellen der neoklassischen Diffusionstheorie, geht von perfekter Information aus.³¹ Die potentiellen Anwender verhalten sich vollkommen rational, zu jedem Zeitpunkt stimmt der subjektiv wahrgenommene mit dem objektiv vorhandenen Nutzen der Übernahme überein.³² Eine zeitgleiche Übernahme wird durch eine inhomogene Population verhindert. Hinsichtlich einer noch näher zu definierenden Schlüsselvariablen z differieren die (potentiellen) Anwender, deren Verteilung in der Population durch die Dichtefunktion $f(z)$ und die Verteilungsfunktion $F(z)$ bestimmt ist.³³ Ein potentieller Anwender i wird die Innovation dann übernehmen, wenn die Ausprägung der Schlüsselvariablen z_i einen bestimmten kritischen Schwellenwert z_i^* übersteigt. Die typische zeitintensive Technologieausbreitung ergibt sich immer dann, wenn *ceteris paribus* entweder z_i^* im Zeitablauf sinkt oder sich $f(z)$ im Zeitablauf verschiebt. *Abbildung 2* verdeutlicht graphisch diese zwei Möglichkeiten des Diffusionsprozesses. Der differenzenbasierte Ansatz kann das stilisierte Faktum der zeitintensiven Diffusionskurve sehr gut erklären. Der typische s-förmige Diffusionsverlauf aus der Empirie hängt dagegen im theoretischen Modell von der geeigneten Definition der Verteilungsfunktion $f(z)$ ab.³⁴

³¹ Vgl. Stoneman (1986), S. 166.

³² Vgl. Antonelli *et al.* (1992), S. 35 und Metcalfe (1988), S. 563.

³³ Als Schlüsselmerkmal wird überwiegend die Unternehmensgröße der potentiellen Anwender einer Prozeßinnovation angewendet. Daher wird der differenzenbasierte Ansatz auch hier mit dieser Standardvariablen dargestellt. Selbstverständlich ist eine Vielzahl weiterer Schlüsselvariablen denkbar, die eine zeitverzögerte Übernahme neuer Technologien verursachen: Lage, Transportkosten, regionale Lohnniveaus, Informationskosten und insbesondere *Einschätzungen* der Profitabilität einer Übernahme sind plausible Differenzierungsmerkmale. Davies (1979) gelingt die Einführung von Unsicherheit und *Erwartungen* in den differenzenbasierten Ansatz. Da sich das Prinzip des Modellaufbaus nicht gravierend verändert, erübrigt sich eine tiefergehende Diskussion dieses Ansatzes.

³⁴ Eine sigmoide Diffusionskurve entsteht z.B. beim Absinken des Schwellenwerts im Zeitablauf durch eine stetige Gleichverteilung der Schlüsselvariablen und einem exponentiellen Zeitpfad des Schwellenwertes oder aber durch einen linearen Zeitpfad des Schwellenwertes bei einer glockenförmigen Dichtefunktion für die Schlüsselvariable.

Abb. 2: Diffusionsprozesse im differenzenbasierten Ansatz

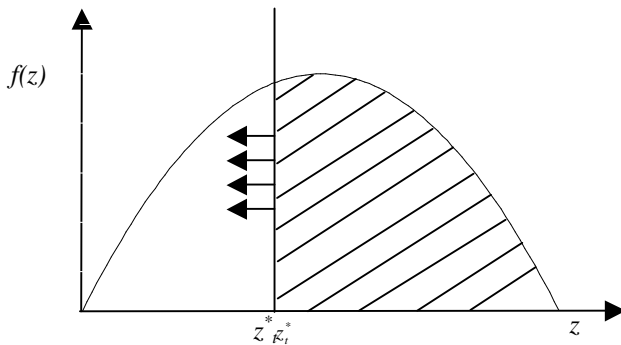


Abb. 2a: Diffusionsprozeß aufgrund des Absinkens des Schwellenwertes.

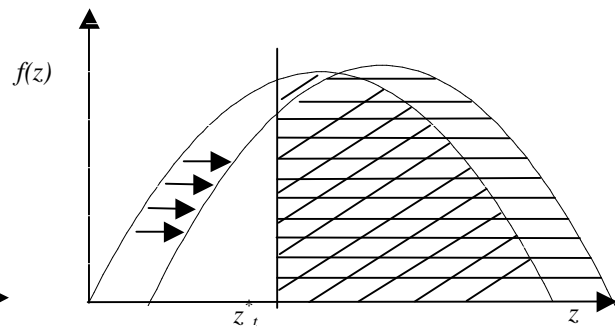


Abb. 2b: Diffusionsprozeß aufgrund der Verschiebung der Verteilungsfunktion.

Quelle: nach Cabe (1991), S. 268f.

Die Unternehmensgröße ist bei Prozeßinnovationen in den weitaus meisten Modellen die entscheidende Schlüsselvariable. Diese Version des differenzenbasierten Ansatzes geht auf David (1969) zurück. Er geht von einer im Zeitablauf konstanten logarithmischen Normalverteilung der Unternehmensgröße in einem Sektor aus. Das ursprüngliche Gleichgewicht wird durch das Auftreten einer Prozeßinnovation gestört. Sie ist in einer Maschine verkörpert und repräsentiert arbeitssparenden technischen Fortschritt und besitzt daher höhere fixe, jedoch geringere variable Kosten als die alte Produktionstechnik. Es existiert zu jedem Zeitpunkt t ein Schwellenwert in Form einer bestimmten Produktionsmenge und damit einer bestimmten Unternehmensgröße, ab der die höheren Kapitalkosten der Innovation durch die Kosteneinsparungen aus geringerem Arbeitseinsatz kompensiert werden und daher eine Übernahme der Innovation rentabel ist. Der Diffusionspfad ergibt sich nun aus dem Absinken des Schwellenwertes im Zeitablauf, wodurch immer mehr (immer kleinere) Unternehmen die Übernahme als rational empfinden. Im Modell von David wird die Veränderung des Schwellenwertes durch einen Anstieg der Lohnkosten relativ zu den Kapitalkosten im Zeitablauf generiert, so daß die relativen Faktorkosten einem exogenen exponentiellen Zeitpfad folgen. Die Exogenität der für die Diffusion notwendigen Veränderung (entweder des Schwellenwertes oder der Verteilung der Schlüsselvariable) kann als einer der wichtigsten Kritikpunkte am differenzenbasierten Ansatz angeführt werden.

Eine weitere Theorierichtung mit neoklassischen Modellparametern stellt der spieltheoretische Ansatz dar. Hier wird, ebenso wie im *Probit*-Ansatz, von vollkommenen Informationen und rationalem Verhalten ausgegangen. Aus dem epidemischen Ansatz wird die Annahme der Homogenität der potentiellen Anwender einer Innovation übernommen. Ein zeitintensiver Diffusionsverlauf rührt nun von der strategischen Bedeutung der Technologieübernahme her. Im spieltheoretischen Standardmodell der Technologiediffusion von Reinganum (1981a, 1981b) ist die Übernahme einer Maschine, die eine kostenreduzierende Prozeßinnovation verkörpert, einerseits von den abgezinsten Übernahmekosten und –nutzen, andererseits aber auch von der Entscheidung der Konkurrenten abhängig.³⁵ In einem Szenario mit zwei Spielern verdeutlicht Reinganum, daß zwei Gleichgewichte möglich sind, in denen jeweils zuerst ein Spieler, dann der andere Spieler die neue Technologie übernimmt, wenn beim erstmaligen Auftreten der Innovation die Übernahmezeitpunkte festgelegt werden müssen (*pre-commitment*).³⁶ Ohne bestimmen zu können, welches Gleichgewicht eintritt, läßt sich auf diese Weise zeigen, daß strategisches Verhalten eine zeitintensive Diffusion induziert. Für n Spieler existieren entsprechend n multiple Gleichgewichte.

Ein Vergleich der hier diskutierten neoklassisch geprägten Ansätze bietet sich anhand zweier weiterer Modelle von Jensen (1982) und Bhattacharya *et al.* (1986) an, die explizit auf die Entscheidungslogik eines einzelnen Unternehmens zur Übernahme einer Prozeßinnovation zugeschnitten sind und daraus für die gesamte Population gültige Entscheidungsregeln ableiten. Darüber hinaus analysieren sie die für technischen Wandel wichtigen Aspekte der Erwartungen und des Lernens. Aufgrund der jeweiligen Annahmen kann das Modell von Jensen dem differenzbasierten Ansatz zugerechnet werden (homogene Anwender), während Bhattacharya *et al.* dem spieltheoretischen Aufbau entsprechen (heterogene

³⁵ Das Unternehmen sieht sich einem *trade-off* gegenüber: auf der einen Seite sind Übernahmekosten um so geringer, je später die Innovation eingesetzt wird, da Lerneffekte und inkrementale Verbesserungen auftreten können. Auf der anderen Seite sind Extraprofite zu Lasten der Konkurrenten möglich, wenn die Innovation vor den Wettbewerbern eingesetzt werden kann (*rent-grabbing effect*). Vgl. Beath *et al.* (1995), S. 167.

³⁶ Fudenberg/Tirole (1985) entwickeln ein Szenario ohne *precommitment* mit der Möglichkeit der präventiven Übernahme einer Technologie zur Nutzung von *rent-grabbing* Effekten. Daraus resultieren schnellere Diffusionsraten. Vgl. Hall (1994), S. 270.

Anwender), ohne jedoch den strategische Gehalt der Entscheidungsfindung zu betonen.³⁷ Beiden Modellen gelingt es, die neoklassischen Annahmen des rationalen Optimierungsverhaltens mit dem epidemischen Kern der zeitintensiven Informationsverbreitung zu verknüpfen. Entscheidendes Element beider Ansätze ist die Unsicherheit der potentiellen Anwender hinsichtlich der zukünftigen Profitabilität von Innovationen. Aus einzelwirtschaftlicher Sicht müssen die Akteure ein Entscheidungsproblem unter Unsicherheit mit der Möglichkeit des Lernens lösen.³⁸ Dieser Unsicherheit begegnen Unternehmen beim Auftreten von Prozeßinnovationen durch systematisches (bayesianisches) Lernen, indem die anfänglichen Einschätzungen ähnlich adaptiven Erwartungen durch periodische Informationen zugunsten oder zu Ungunsten der Innovation ergänzt und angepasst werden.³⁹

Neben diesen Gemeinsamkeiten bestehen die zentralen Unterschiede der Modelle in der anfänglichen Beurteilung der Profitabilität der Innovation und in der Art der Informationssammlung. Jensen stellt gemäß dem differenzenbasierten Ansatz die Hypothese inhomogener potentieller Anwender auf, die sich hinsichtlich der anfänglichen Erwartungen über die Profitabilität der Innovation unterscheiden. Diese Heterogenität ist entscheidend für die zeitintensive Diffusion.⁴⁰ Übernehmen Unternehmen in einer Periode die Innovation nicht, erhalten sie ein kostenloses, für alle verfügbares Signal, das mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit für bzw. gegen die Innovation spricht.⁴¹ Daraufhin wird die Beurteilung

³⁷ Die Vernachlässigung des strategischen Handels bei gleichzeitiger Zugrundelegung der spieltheoretischen Grundannahmen ermöglicht erst den Vergleich mit dem differenzenbasierten Ansatz.

³⁸ Damit sind die Anwender nicht mehr passive Informationsempfänger wie im epidemischen Ansatz, sondern aktive, rationale Informationssammler.

³⁹ Der Vergleich mit adaptiven Erwartungen hinkt dahingehend, daß bei bayesianischem Lernen die Informationen zufallsgesteuert sind und durchaus auch falsche Signale aussenden können.

⁴⁰ Mit der Wahl einer geeigneten Verteilungsfunktion für die ursprünglichen individuellen Erwartungen bezüglich der unsicheren Profitabilität der Innovation ist eine sigmoide Diffusionskurve generierbar.

⁴¹ Formal kann dies als Bernoulli-Zufallsvariable modelliert werden. Ökonomisch sind solche Signale als Informationen aus externen Quellen zu deuten, die allen potentiellen Übernehmern zur Verfügung stehen, wie z.B. von Zulieferern, (Fach-) Zeitschriften, Grundlagenforschung etc. Im epidemischen Modell von Lekvall und Wahlbin (1973) entstand aus einer solchen ausschließlich externen Informationsquelle eine konkave Diffusionskurve, hier hingegen wird ein s-förmiger Diffusionsverlauf generiert.

der Innovation angepasst. Geht man von der Diffusion einer profitablen Innovation aus, über die letztlich in der Mehrzahl positive Signale gewonnen werden, wird nach einer bestimmten Zahl von Perioden jedes Unternehmen die Innovation übernommen haben. Je nach ihrer ursprünglichen Einschätzung ergeben sich jedoch unterschiedliche Übernahmezeitpunkte.

Das Modell von Bhattacharya *et al.* hingegen legt die für den spieltheoretischen Modellaufbau typische Homogenität der Unternehmen zugrunde. Alle potentiellen Anwender hegen damit identische Erwartungen hinsichtlich der (unsicheren) Profitabilität einer Innovation. Auch hier haben solche Unternehmen, denen die Übernahme der Innovation unprofitabel erscheint, die Möglichkeit, periodisch Informationen zu sammeln. Im Gegensatz zum Modell von Jensen erhalten sie jedoch keine externen Signale, vielmehr unternehmen sie eigene Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen in Form eines Experimentes in jeder Periode. Deren Ausgang, ein mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten verknüpft positives bzw. negatives Signal zur Profitabilität, führt wiederum zu einer Anpassung der Erwartungen. Auch hier werden alle Unternehmen letztendlich eine profitable Technologie übernehmen, da mehrheitlich positive Experimente gemacht werden; auch hier liegen unterschiedliche Übernahmezeitpunkte vor. Sie resultieren allerdings aus den unterschiedlichen Erfahrungen der Unternehmen aus ihren eigenen Experimenten. Die Unternehmen unterliegen sozusagen *ex-post* einer Heterogenität, obwohl sie *ex-ante* homogen waren. *Tabelle 2* faßt in einer Gegenüberstellung die zentralen Merkmale beider Modelle zusammen.

Tab. 2: Vergleich der Modelle von Jensen und Bhattacharya *et al.*

Jensen (1982)	Bhattacharya <i>et al.</i> (1985)
<ul style="list-style-type: none"> • Differenzenbasiertes Modell <ul style="list-style-type: none"> - <i>ex-ante</i> Heterogenität der Unternehmen - unterschiedliche anfängliche Beurteilung der Profitabilität der Innovation 	<ul style="list-style-type: none"> • Spieltheoretischer Modellrahmen <ul style="list-style-type: none"> - <i>ex-ante</i> Homogenität der Unternehmen - identische anfängliche Beurteilung der Profitabilität der Innovation
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Externer</i>, für alle identischer Informationsfluß durch FuE 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Interner</i>, privater Informationsfluß durch FuE
<ul style="list-style-type: none"> • Diffusion / unterschiedliche Übernahmezeitpunkte wegen <ul style="list-style-type: none"> - Heterogener Erwartungen - identischer Lernerfahrungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Diffusion / unterschiedliche Übernahmezeitpunkte wegen <ul style="list-style-type: none"> - Identischer Erwartungen - heterogener Lernerfahrungen
<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>Ex-ante</i> Heterogenität ➔ Spill-overs, Externalitäten 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>Ex-post</i> Heterogenität

Auffallend bei diesem Vergleich ist das Auftreten von Heterogenitäten auch bei identischen Erwartungen, wenn die Unsicherheit über den technischen Wandel explizit formalisiert und Lernen berücksichtigt wird. Entsprechend der neoklassischen Logik rationaler Wirtschaftssubjekte existieren unabhängig von anderen Eigenschaften unterschiedliche Übernahmezeitpunkte neuer Technologien aufgrund unterschiedlicher Erwartungsbildung. Unter (rationalem) Lernen, d.h. bei Anpassung der Erwartungen an periodische Informationen, können heterogene Einschätzungen auf die zwei oben diskutierten Arten erzeugt werden: identische Informationen führen zu einem unterschiedlich schnellen Erreichen eines kritischen Überschwellenwertes, weil die Unternehmen differierende Erwartungen beim ersten Auftreten der Innovation besaßen. Oder aber jeweils unterschiedliche Informationen für jedes Unternehmen führen zu unterschiedlich schneller Überschreitung des Schwellenwertes, weil zwar alle Unternehmen dieselben anfängliche Erwartungen hatten, jedoch durch eigene Forschungsanstrengungen unterschiedliche Signale erhalten haben.

Bemerkenswert ist die Ähnlichkeit des ersten Ansatzes mit Überlegungen der Neuen Wachstumstheorie, wo ebenso Wissens-*spill-overs* und Externalitäten

eine zentrale Bedeutung einnehmen.⁴² In der Diffusionstheorie geht es jedoch nicht wie in der Neuen Wachstumstheorie um die Endogenisierung von Innovationen und Innovationen. Vielmehr steht die Diffusion bereits bekannter Innovationen im Mittelpunkt, für deren Übernahme sich die Wirtschaftssubjekte ihrer Profitabilität versichern müssen.⁴³

Die beiden entscheidungslogischen Modelle umfassen als Extrempunkte ein Kontinuum von Aktivitäten der potentiellen Anwender einer Innovation zur Überwindung der spezifischen *Unsicherheit über die zukünftige Profitabilität*, in dem Lernen eine zentrale Rolle spielt. In diesen Eckpunkten sind die Informationen aus den Lernaktivitäten entweder ausschließlich privater oder aber rein öffentlicher Natur. Die Arten des Lernens hingegen können in beiden Extrema in Kategorien wie *learning-by-doing*, *learning-by-using*, aktive F&E-Anstrengungen, die Beobachtung erfolgreicher Konkurrenten etc. gefaßt werden.

Die hier angesprochene Unsicherheit betrifft ausschließlich die zur Disposition stehende Innovation. Die Entscheidung bezüglich eines Übernahmepunktes einer neuen Technologie ist jedoch auch davon abhängig, welche Erwartungen die Wirtschaftssubjekte hinsichtlich der zukünftigen technologischen Entwicklung hegen.⁴⁴ Wird das Übernahmeverhalten von Unternehmen im Lichte dieser technologischen Erwartungen unter Abstraktion der Unsicherheit über den aktuellen Stand der Technologie untersucht, zeigt sich, daß der Diffusionsverlauf entscheidend beeinflußt werden kann. Ähnlich den bisher diskutierten neoklassisch geprägten Modellen wird ein Schwellenwert aus Übernahmeprofittabilität und Erwartungen identifiziert, ab dem Unternehmen die Technologieübernahme verschieben, da sie zukünftig rasche weitere Verbesserungen erwarten und eine Innovation überspringen wollen. Auf diese Weise verlangsamt sich der Diffusi-

⁴² Vgl. grundlegend zur Neuen Wachstumstheorie Aghion/Howitt (1998) oder Seiter (1997).

⁴³ Diese Unterscheidung treffen auch Balcer/Lippman (1984), S. 292.

⁴⁴ Schon Schumpeter (1993, S. 161) erkannte diesen Zusammenhang, den Rosenberg (1976, S. 524) als *technologische Erwartung* bezeichnet: "Ein neuer Maschinentyp ist im allgemeinen nur ein Glied in einer Kette von Verbesserungen und kann bald veralten. In einem solchen Fall wäre es offensichtlich nicht rationell, der Kette Glied um Glied zu folgen, ohne Rücksicht auf die jedesmal zu erleidenden Kapitalverluste. Die eigentliche Frage ist daher, bei welchem Glied der Konzern tätig werden soll. Die Antwort muß eine Art von Kompromiß (...) darstellen (...). Aber sie wird in der Regel eine gewisse Wartezeit bedingen, damit man sehen kann, wie die Kette verläuft".

onsproß. Treten erwartete Innovations sprünge nicht ein, besteht die Möglichkeit, daß sich der Diffusionsprozeß der fraglichen Innovation jedoch auch beschleunigen. Periodische Informationen über zukünftige Innovationen können den Schwellenwert ebenso beeinflussen und den Diffusionsverlauf verändern.⁴⁵

Tab. 3: Taxonomie der nachfrageseitigen Gleichgewichtsmodelle der Technologiediffusion

		Schlüsselcharakteristik der potentiellen Anwender	
		<i>heterogen</i>	<i>homogen</i>
Art der Diffusionsdynamik	<i>exogen</i>	Diffusion vorangetrieben durch: - Wachstum der Endnachfrage ^{a)} - Veränderung der Unternehmens- bzw. Produktionsgröße ^{b)} - Veränderung der Inputpreise ^{b)}	Diffusion vorangetrieben durch: - Informationsausbreitung durch (persönlichen) Kontakt ^{e)} Interdependente potentielle Anwender mit: - <i>precommitment</i> (Reinganum '81) ^{f)} - strategische Interaktion (Fudenberg und Tirol '85) ^{f)}
	<i>endogen</i>	Diffusion vorangetrieben durch: - Lerneffekte im Angebot der Innovation (<i>learning-by-doing</i>) ^{c)} - Lerneffekte in der Nutzung der Innovation (<i>learning-by-using</i>) ^{c)} - Lernen durch F&E (Jensen '82) ^{d)} - Spillover-Effekte, Externalitäten	Diffusion vorangetrieben durch: - Lerneffekte im Angebot der Innovation (<i>learning-by-doing</i>) ^{c)} - Lerneffekte in der Nutzung der Innovation (<i>learning-by-using</i>) ^{c)} - Lernen durch F&E (Bhattacharay <i>et al.</i> '86) ^{d)}

- a) Dies betrifft insbesondere Produktinnovationen, aber auch Prozeßinnovationen, wenn die Nachfrage nach dem Endprodukt steigt.
- b) "Klassisches" Szenario des *Probit*-Modells.
- c) Lerneffekte in diesem Sinn führen zu einer Reduktion der Produktionskosten bzw. einer Erhöhung der Qualität der Innovation.
- d) Lernen als geplante Anstrengung zur Erfassung unsicherer (Profitabilitäts-) Eigenschaften der Innovation.
- e) Typisches epidemisches Diffusionsmodell.
- f) "Klassisches" Szenario des spieltheoretischen Ansatzes.

Quelle: in Anlehnung an Dosi (1991), S. 197

⁴⁵ Vgl. Balcer/Lippman (1984). Der hier angesprochene Aspekt kann bei schnellem Generationenwechsel innerhalb einer Innovation beobachtet werden. Ein gutes Beispiel ist die Entwicklung des *Personal Computers*, wo die individuelle Kaufentscheidung in starkem Maße von Erwartungen über die Geschwindigkeit der weiteren Entwicklung abhängt.

Tabelle 3 systematisiert, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, die Varianten der neoklassischen Diffusionsmodelle, die sich zusammen mit den epidemischen Ansätzen als Gleichgewichtsmodelle der Technologiediffusion bezeichnen lassen. Es kann einerseits zwischen der Heterogenität und Homogenität der potentiellen Anwender unterschieden werden, andererseits zwischen der exogenen oder endogenen Steuerung der Diffusionsdynamik. Der Kombination von exogenen Variablen und heterogenen Anwendern sind die Standardmodelle des differenzbasierten bzw. *Probit*-Ansatzes zuzurechnen. Eine weitere Möglichkeit exogener Diffusionsdynamik stellt jedoch auch das exogene Wachstum der Endnachfrage dar, das zu einer Diffusion von Prozeß- als auch von Produktinnovationen führt. Endogene Diffusionsmechanismen bei Heterogenität der potentiellen Anwender sind in Form von Lerneffekten identifizierbar (vgl. *Tabelle 2*). Entscheidende Gemeinsamkeit dieser Lerneffekte ist ihr Charakter als öffentliches Gut. Sie lösen *spill-over*-Effekte und Externalitäten aus, die den Diffusionsprozeß steuern (Jensen 1982). Bei der Annahme homogener Anwender entfallen diese Externalitäten. Lerneffekte führen in diesen Modellen wegen ihres privaten Charakters zu einer *ex-post* Heterogenität (Bhattacharya *et al.* 1985). Homogenität der Anwender und exogene Diffusionssteuerung sind in den epidemischen und spieltheoretischen Ansätzen vereint.

Die dargestellten gleichgewichtigen, nachfrageorientierten Diffusionsmodelle neuer Technologien sind überwiegend mikroökonomischer Natur. Gleichwohl weisen sie auf zwei makroökonomische Dimensionen möglicher technologischer Arbeitslosigkeit hin. Zum einen ist das quantitative und qualitative Ausmaß der primären und sekundären Freisetzung und Kompensation zu erfassen und zu erklären. Dies leistet die Literatur über technologische Arbeitslosigkeit. Zum anderen ist für den Nettoeffekt neuer Technologien die zeitliche Verteilung der Beschäftigungseffekte zu analysieren. Hier können die Diffusionstheorien zusätzlichen Einblick bieten. Die Diffusionsgeschwindigkeit hat zentralen Einfluß auf den Zeitpunkt bzw. Zeitraum, in dem technologische Beschäftigungseffekte auftreten. *Tabelle 3* wiederum systematisiert einige der Determinanten der Diffusionsrate. Unter den exogenen Variablen sind neben dem Wachstum der (End-) Nachfrage vor allem Veränderungen spezifischer marktlicher, regionaler oder Unternehmenscharakteristika (wie Unternehmens- bzw. Produktionsgröße

und andere in Fn. 33 aufgezählten Eigenschaften) und Veränderungen der Inputpreise hervorzuheben. Aber auch die Wege der Informationsausbreitung spielen eine wichtige Rolle. Sie kann bei der Diffusion traditioneller Innovationen nachgewiesen werden und gewinnt durch die zunehmende Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in allen Bereichen der Wirtschaft eine besondere Bedeutung. Auch strategische Verhaltensweisen sind in der Lage die Diffusion neuer Technologien zu beeinflussen.⁴⁶

Mindestens ebenso wichtig sind endogene Determinanten der Diffusion, die vor allem in Lerneffekten, seien es *learning-by-doing*, *learning-by-using* oder F&E-Anstrengungen. Häufig lösen sie Externalitäten aus, die den Diffusionsverlauf nicht unerheblich beeinflussen können. Schließlich bleibt ein grundlegendes Charakteristikum der Technologiediffusion zu nennen, die jeder Innovation inhärente Unsicherheit. Zeitintensive Diffusion entsteht häufig wegen der Unsicherheit über die Eigenschaften neuer Technologie. Je schneller potentielle Anwender Sicherheit darüber erhalten, desto schneller können sie Entscheidungen über die Anwendung treffen. Das zeitliche Verteilung technologischer Arbeitslosigkeit hängt demnach also entscheidend von den Eigenschaften der Technologie als auch der potentiellen Anwender ab.

Die unterschiedliche Ausprägung dieser Faktoren wiederum erklärt die unterschiedlich schnelle Diffusion von Innovationen in verschiedenen Industrien, Sektoren und Volkswirtschaften. Damit lassen sich die Ursachen unterschiedlich starker Freisetzung- und Kompensationseffekte in verschiedenen Sektoren und Volkswirtschaften analysieren.

5 Ungleichgewichtsmodelle der Technologiediffusion

Neben den bisher diskutierten nachfrageorientierten Gleichgewichtsmodellen⁴⁷ existieren nach *Tabelle 1* auch Ungleichgewichtsmodelle, die vor allem

⁴⁶ Die jüngst beendete Auktion neuer UMTS-Lizenzen für die mobile Telekommunikation sind hierfür ein anschauliches Beispiel.

⁴⁷ Die hier verwendete Definition umfaßt Modelle, die sich entweder ständig im Gleichgewicht befinden bzw. durch eine Sequenz sich verschiebender statischer Gleichgewichte geprägt sind (z.B. neoklassische Modelle) oder die zumindest einem wohldefinierten neue Gleichgewichtswert zustreben (wie der epidemische Ansatz).

durch Netzwerkexternalitäten und evolutorische Prozesse gekennzeichnet sind. Wurde in den obigen Modellen eine einzelne Innovation analysiert, rückt beim Konzept der Netzwerkexternalitäten bzw. der Pfadabhängigkeit das (Substitutiv- oder Komplementaritäts-) Verhältnis zwischen mehreren Technologien in den Vordergrund.⁴⁸ Grundlage dieser Theorierichtung bildet die Analyse steigender Erträge der (Technologie-) Übernahme.⁴⁹ In diesen Modellen treten multiple, auch ineffiziente, Gleichgewichte und *lock-ins* zu Tage, wenn sequentiell auftretende Anwender zwischen zwei Technologien wählen, deren Nutzen für den einzelnen von der Zahl anderer Anwender abhängt.⁵⁰ Solche Situationen existieren einerseits bei Kommunikationsnetzen, die direkten Netzwerkexternalitäten unterliegen. Andererseits sind alle Arten von Lerneffekten oder komplementären Produkten (System-, Netzwerküter)⁵¹ in der Lage indirekte Netzwerkexternalitäten auslösen. Ein einfaches Modell zur Darstellung dieses Zusammenhangs bietet Arthur (1988 und 1989). In einer ersten Version wählen Akteure mit homogenen Präferenzen sequentiell zwischen zwei exogen gegebenen Innovationen *A* und *B* mit unterschiedlich hohem Basisnutzen (Basisnutzen von *A* > Basisnutzen von *B*)⁵² und verschieden großen Netzwerkexternalitäten (Externalitäten von *A* < Externalitäten von *B*). Der erste Anwender orientiert sich ausschließlich am Basisnutzen, er wird sich demnach für Technologie *A* entscheiden. Alle nachfolgenden Anwender wählen ebenfalls Technologie *A*, da hier der Gesamtertrag aus Basisnutzen und Netzwerkexternalität immer höher als bei Technologie *B* sein wird. Technologie *B* hätte bei derselben Anwenderzahl unter Umständen wegen der höheren Externalitäten einen höheren Gesamtnutzen, erhält jedoch keine Chance

⁴⁸ Diese sehr viel realitätsnähere Annahme kann sich auf die Wahl zwischen alter und neuer Technologie oder zwischen mehreren neuen Innovationen beziehen. Vgl. Antonelli *et al.* (1992), S. 42.

⁴⁹ Vgl. Arthur (1994).

⁵⁰ Die im folgenden diskutierten Modelle haben nicht mehr wie die bisher vorgestellten Ansätze das Erklärungsziel der zeitintensiven, s-förmigen Diffusion und der zugrundeliegenden mikroökonomischen Entscheidungslogik. Vielmehr setzen sie diese Annahme unterschiedlicher Übernahmezeitpunkte voraus, um die Diffusion als *Technologie- bzw. Technikwahl* darzustellen.

⁵¹ Vgl. zu einer Abgrenzung dieser beiden Begriffe Weiber (1995), S. 44. Der Autor leistet in diesem Beitrag auch die Herleitung einer mehrgipfligen Diffusionskurve für solche Technologien.

zu einem Start. Das Gleichgewicht der Technologiewahl ist deshalb möglicherweise inferior. Ein Wechsel zu Technologie *B* kann nicht stattfinden, daher spricht man von einer *lock-in* Situation. Einzelwirtschaftlich ist die Wahl der Technologie *A* für alle Anwender rational, gesamtwirtschaftlich wäre ab einer gewissen Zahl der Anwender die Nutzung der Technologie *B* sinnvoller.

In einer Modifikation wird die Annahme homogener Individuen aufgehoben und statt dessen von unterschiedlichen Präferenzen der potentiellen Anwendern ausgegangen. Hierbei bevorzugen R-Typen die Technologie *A*. Sie erfahren (a_r) als Basisnutzen der Technologie *A* und (b_r) als Basisnutzen der Technologie *B*. Es gilt daher (a_r) > (b_r). S-Typen präferieren die Technologie *B*. Für solche Anwender bietet die Technologie *A* den Basisnutzen (a_s) und die Technologie *B* den Nutzen (b_s), es gilt annahmegemäß (a_s) < (b_s). Die direkten Netzwerkexternalitäten aus der Größe der Anwenderzahl (n) beträgt für R-Typen rn_A bzw. rn_B für Technologie *A* bzw. Technologie *B*. Analog erfahren S-Typen bei der jeweiligen Technologie Netzwerkexternalitäten in Höhe von sn_A bzw. sn_B . Wenn angenommen wird, daß r und $s > 0$ sind, werden so steigende Skalenerträge der Übernahme modelliert.⁵³ Der Ertrag aus der Übernahme einer der beiden Technologien wird in *Tabelle 4* für die einzelnen Präferenztypen zusammengefaßt.

Tab. 4: Ertrag der Übernahme der Technologien *A* und *B* für eine gegebene Anzahl vorhandener Anwender

	<i>Technologie A</i>	<i>Technologie B</i>
<i>R-Typen</i>	$U_{R(A)} = [a_r + rn_A]$	$U_{R(B)} = [b_r + rn_A]$
<i>S-Typen</i>	$U_{S(A)} = [a_s + sn_A]$	$U_{S(B)} = [b_s + sn_B]$

Quelle: Arthur (1988), S. 594.

Abhängig von der zufälligen Verteilung der persönlichen Präferenzen können beide Technologien nebeneinander existieren oder eine der beiden ein vollständiges Monopol ausfüllen. Es existieren multiple Gleichgewichte. Ein Mono-

⁵² Der Basisnutzen ist definiert als derjenige Nutzen, den die Innovation unabhängig von ihrer Anwenderzahl stiftet.

⁵³ Für $r, s = 0$ und $r, s < 0$ können konstante bzw. sinkende Skalenerträge abgebildet werden.

pol der Technologie A entsteht z.B. dann, wenn nicht nur R-Typen, sondern auch S-Typen trotz ihrer Präferenz für Technologie B ebenfalls Technologie A übernehmen. Dies ist genau dann der Fall, wenn der Nutzen aus der Netzwerkexternalität aufgrund der Anwenderzahl der Technologie A den Nutzenentgang aus Übernahme der nicht präferierten Technologie (über-) kompensiert ($U_{S(A)} \geq U_{S(B)}$). Es ist dann die kritische Masse erreicht, die ein Monopol der Technologie A ermöglicht. Neben dem Phänomen des *lock-ins* und der Pfadabhängigkeit erscheint hier der historische Zufall als weitere Variable der Diffusion, der über das sequentielle Auftreten von R- oder S-Typen entscheidet.

Statt zweier neu auftretenden, konkurrierenden Technologien analysieren Farrell und Saloner (1986 und 1987) das Problem, wenn eine Innovation gegenüber einer alten, etablierten Technologie in Erscheinung tritt. Formal entspricht dies weitgehend dem Grundmodell von Arthur, wobei eine der beiden Technologien einen zeitlichen Vorsprung erzielt hat. Diese Situation ist für die meisten Innovationen typisch. Besitzen die Technologien Netzwerkexternalitäten, ist ein *lock-in* in die alte Technologie schon aufgrund ihrer realisierten Anwenderzahl wahrscheinlicher als ein Wechsel zur neuen. Dennoch existieren auch hier in Abhängigkeit der kritischen Massen multiple Gleichgewichte, wie Monopole der alten oder der neuen Technologie oder die Koexistenz beider Produkte oder Prozesse in unterschiedlichem Verhältnis. In einem zweiten Modell untersuchen Farrell und Saloner die auch hier wichtige Rolle von *Erwartungen*. Dafür verwenden sie einen Ansatz, in dem alle Akteure zunächst eine gegebene, etablierte Technologie nutzen. Tritt eine inkompatible Innovation auf, haben sie die Wahl die alte Technologie weiterhin zu nutzen oder im Rahmen einer Ersatzinvestition zur neuen zu wechseln.⁵⁴ Die ersten Anwender stehen vor dem Problem, die künftige Anwenderzahl der neuen Technologie und damit den zukünftigen Gesamtnutzen abschätzen zu müssen. Ein Technologiewechsel kommt nur dann in Frage, wenn

⁵⁴ Gemäß dem Diffusionsparadigma wählen die Akteure sequentiell. Es steht zu einem gegebenen Zeitpunkt jeweils nur ein einziger Akteur vor der Technologiewahl. Der Zeitpunkt der Entscheidung bestimmt sich für jeden einzelnen Anwender insbesondere bei Prozeßinnovationen jedoch nicht exogen, sondern durch Outputwachstum, Abschreibung und technischen Fortschritt, da in Bezugnahme auf die Investitionstheorie ein Technologiewechsel nur dann in Frage kommt, wenn Erweiterungs- oder Ersatzinvestitionen anstehen (vgl. Farrell/Saloner 1986, S. 943 und 1987, S. 13).

so viele weitere Anwender erwartet werden, daß der zukünftige Nutzen der Innovation den Nutzen der alten Technologie übersteigt. In diesem Szenario ist es möglich, daß die neue Technologie einerseits einer sehr schnellen Diffusionskurve (*excess momentum*) unterliegt kann, wenn das Wissen um die Superiorität der Innovation Allgemeinwissen darstellt, das alle Individuen kennen. Andererseits ist eine sehr langsame Diffusion (*excess inertia*) möglich, wenn die Akteure nicht sicher sein können, daß die Information der Überlegenheit der Innovation allen bekannt ist. Dann entscheiden sich die Anwender für die alte Technologie undbürden die unsichere Entscheidung zu wechseln den nachfolgenden Unternehmen auf.⁵⁵ Eine weitere Ursache für die verzögerte Ausbreitung der neuen Technologie ist die temporäre Inkompatibilität der ersten Anwender, bis das neue Netzwerk durch sequentiellen Technologiewechsel aufgebaut ist. Einzelne Anwender sind versucht, diese Pionierleistung ändern aufzubürden und den Technologiewechsel erst bei ihrem nächsten Investitionsintervall durchzuführen.⁵⁶

Die zweite Kategorie des Ungleichgewichtsansatzes, die evolutorischen Diffusionsmodelle, zeichnen sich entsprechend der Konzeption der Evolutorik neben der Betonung multipler Gleichgewichte und der Pfadabhängigkeit zusätzlich durch die Abkehr von der Annahme des rationalen Verhaltens aus.⁵⁷ Das einzelwirtschaftliche Entscheidungskalkül kann eher durch *zufriedenstellendes*⁵⁸ bzw. *institutionalisiertes* (vgl. in *Tabelle 1*) Verhalten beschrieben werden, wie es im Konzept der *bounded rationality*⁵⁹ zum Ausdruck kommt. Nicht das Gewinnmaximierungskalkül bestimmt das Verhalten der Unternehmen, sondern vielmehr Verhaltensroutinen und Daumenregeln, die einen befriedigenden Gewinn, Marktanteil o.ä. garantieren. Sie werden nur dann geändert, wenn die befriedigenden Zielgrößen nicht mehr erfüllt werden. Aus dieser Sichtweise folgt das Phänomen der Vielfalt unterschiedlicher Unternehmen und Sektoren, die nicht durch reprä-

⁵⁵ Farrell/Saloner (1986, Fn. 9) bezeichnen dieses Phänomen treffend als Pinguin-Effekt, da Pinguine oft notwendige Aufenthalte im Wasser verzögern, da sie gefährliche Raubtiere fürchten und daher anderen die Rolle des Versuchskaninchens überlassen wollen.

⁵⁶ Vgl. Farrell/Saloner (1986), S. 954.

⁵⁷ Für einen Überblick über das Forschungsprogramm der evolutorischen Ökonomik vgl. Witt (1995), Nelson (1995).

⁵⁸ Vgl. Antonelli *et al.* (1992), Kap. 2.6.

⁵⁹ Vgl. hierzu das Werk von Simon, z.B. 1959.

sentative Unternehmen erfaßt werden können. Die evolutorische Ökonomik versucht den wirtschaftlichen und technologischen Wandel sowie wirtschaftliches Wachstum endogen zu erklären. Insbesondere zwei Modellansätze von Silverberg *et al.* (1988) und Iwai (1984a, b) können als Beispiel für die Vielzahl evolutorischer Diffusionsmodelle dienen.⁶⁰

Silverberg *et al.* sind in der Lage, einerseits die Spielarten des differenzbasierten Ansatzes wiederzugeben, andererseits das strategische Verhalten in ihrem Modell zu inkorporieren.⁶¹ Schwerpunkt des Modells ist allerdings auf der einen Seite im mikroökonomischen Verhalten der Akteure die Betonung von Unsicherheit bei gebundener Rationalität, Lerneffekten sowie kumulativen Prozessen bei der Übernahme, auf der anderen Seite die Modellierung des technischen Fortschritts in Form des *Vintage*-Ansatzes, in dem der Kapitalstock verschiedene Technologien als auch verschiedene Jahrgänge einer Technologie verkörpert.⁶² Neben der typischen s-förmigen Diffusion neuer Technologien sowohl für den Anteil der Firmen als auch für den Anteil des Kapitalstocks und der Produktionskapazität sind die Entwicklungen der Marktanteile einzelner Firmen nachvollziehbar. Dieses Szenario kann nicht nur für eine einzelne Innovation, sondern auch für mehrere konkurrierende Technologien und Trajektorien entwickelt werden. Ein weiteres wichtiges Ergebnis stellt die *ex-post* erkennbare Ordnung und Regelmäßigkeit des Diffusionsprozesses dar, die *ex-ante* nicht ohne weiteres ableitbar ist.⁶³

Der Ausgangspunkt des Modells von Iwai ist die Beobachtung einer breiten Verteilung verschieden effizienter Unternehmen mit unterschiedlichen Produktionstechniken in vielen Sektoren und Branchen. Iwai kann durch sein Modell erklären, daß diese Heterogenität Ergebnis der dynamischen Interaktion zweier gegensätzlicher Prozesse darstellt. Auf der einen Seite versuchen weniger profitable Unternehmen die jeweils effizienteren Produktionsmethoden zu imitieren, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Dieser Imitations- bzw. Diffusionsprozeß, in

⁶⁰ Für einen Überblick vgl. Sarkar (1998) oder Freeman (1994).

⁶¹ Differenzen zwischen potentiellen Anwendern sehen Silverberg *et al.* (1988, S. 1034) weniger in Variablen wie der Unternehmensgröße, sondern vielmehr in technologischen Lücken sowie Verhaltens- und technologischer Vielfalt.

⁶² Vgl. Silverberg (1990), S. 184ff.

⁶³ Vgl. Dosi (1991), S. 200.

Form logistischer Diffusionskurven, führt asymptotisch zu einem typisch neoklassischen statischen Gleichgewicht oder *steady state*, in dem alle Unternehmen mit der effizientesten Technologie produzieren.⁶⁴ Gleichzeitig existiert ein Innovationsprozeß, durch den Unternehmen neue Technologien in den Produktionsprozeß einführen. Er wird durch eine systematische Komponente (F&E) und eine zufallsabhängige Komponente gesteuert. Dadurch wird die Tendenz zum statischen Gleichgewicht gestört; der Innovationsprozeß entpuppt sich als Ungleichgewichtsmoment. Der Stand der Technologie in einer Branche bzw. in einem Sektor ist so als Ergebnis der Interaktion von Innovation und Imitation (Diffusion) in historischer Zeit zu deuten.⁶⁵

Die ungleichgewichtigen Diffusionsmodelle, die multiple Gleichgewichte und Pfadabhängigkeiten in den Mittelpunkt ihrer Analyse stellen, liefern wichtige Erkenntnisse zur Beurteilung und Erklärung technologischer Arbeitslosigkeit. Das Phänomen der Netzwerkexternalitäten deutet darauf hin, daß über den Zusammenhang der Nachfrageelastizitäten im Kaufkraftkompensationsargument hinaus Interdependenzen und Externalitäten zwischen Sektoren, aber auch zwischen einzelnen Technologien, für die Beschäftigung relevant sind. Technologiesysteme, Systemgüter, technologische Trajektorien und Paradigmen, Basisinnovationen und Koevolution sind Schlagworte, unter denen solche dynamischen Interdependenzen beschrieben werden.

Darüber hinaus führt das Modell von Iwai zur Erkenntnis, daß die Technologiediffusion zwar zu einem langfristigen neoklassisch geprägten Gleichgewicht führt, das auch mit Vollbeschäftigung der Produktionsfaktoren kompatibel ist. Jedoch wird diese Tendenz zu einem Gleichgewicht permanent durch den Innovationsprozeß gestört. Technischer Wandel muß dann als ungleichgewichtiger Prozeß verstanden werden, in dem die Beschäftigungsneutralität des technischen Fortschritts rein zufällig wäre. Das neoklassische Argument der Faktorsubstitution, das auf statisch-komparativen Annahmen aufbaut und letztlich nur für die lange Frist gilt, erreicht in einer solchen dynamischen Welt keine Gültigkeit, da ein Gleichgewicht nicht erreicht werden kann.

⁶⁴ Vgl. Iwai (1984a), S. 168f, S. 187.

⁶⁵ Vgl. Iwai (1984a), S. 175.

6 Diffusion und Technologieangebot

Die bisher diskutierten Modelle erfassen die wichtigsten Determinanten des Diffusionsverlaufs und der –geschwindigkeit, die durch die Übernahmeentscheidung des (potentiellen) Anwenders geprägt sind. Damit wird jedoch nur eine Marktseite, nämlich die Nachfrage nach Innovationen, in die Erklärung der Technologiediffusion eingebunden.⁶⁶ Ebenso relevante Faktoren der Diffusion neuer Technologien sind aber auch auf der Angebotsseite durch die Entscheidung der Technologie- bzw. Innovationsproduktion, auszumachen.

Die Vernachlässigung des Angebots neuer Technologien bei der Analyse von Diffusionsprozessen betrifft alle oben vorgestellten Modelle und Ansätze gleichermaßen. Prinzipiell ist es daher möglich, jeden der Ansätze um angebotsseitige Determinanten der Technologiediffusion zu erweitern. Stoneman und Ireland (1983) inkorporieren die Angebotsseite in ein differenzenbasiertes Diffusionsmodell. Es zeigt sich, daß nun nicht mehr allein aus den Annahmen zur Verteilungsfunktion von Schlüsselvariablen und deren Schwellenwert auf der Nachfrageseite eine s-förmige Diffusionskurve resultiert, sondern daß auch zugleich auf der Angebotsseite steigende Erträge, z.B. in Form von *learning-by-doing* vorliegen müssen. Während im Modell von David (1969) die entscheidende Dynamik vom (exogen gegebenen) relativen Anstieg der Lohnkosten gegenüber den Kapitalkosten geprägt ist, muß in der angebotsseitigen Erweiterung dieses Modelltyps ebenfalls ein Rückgang der Kapitalkosten des Technologieangebots (wie sie z.B. durch Lerneffekte ausgelöst werden) vorliegen, damit die typische sigmoide Diffusionskurve generiert wird.

Metcalf (1981) ergänzt ein epidemisches Diffusionsmodell um das Technologieangebot mit Hilfe eines Preismechanismus. Die Grundüberlegung ist, daß im Gleichgewicht die Nachfrage und das Angebot der neuen Technologie übereinstimmen müssen. Metcalf stellt nicht nur die Nachfrage (Übernahme) als logistische Kurve dar, die sich asymptotisch an eine Sättigungsgrenze annähert, sondern auch das Angebot (die Produktionskapazität) der neuen Technologie nä-

⁶⁶ Vgl. Freeman (1994), S. 481 oder Metcalf (1981), S. 348.

hert sich asymptotisch einer solchen Sättigungsgrenze.⁶⁷ Mit fallendem Preis der Technologie wird *ceteris paribus* die Übernahme profitabler; die Nachfrage steigt. Es fällt jedoch die Profitabilität des Technologieangebots, daher sinkt die angebotene Menge und *vice versa*. Metcalfe zeigt, daß der Diffusionsprozeß zwar einem s-förmigen Verlauf folgt, daß er jedoch ebenso sehr von der Angebotsseite wie von der Nachfrageseite abhängt.⁶⁸

Schließlich berücksichtigen Katz und Shapiro (1985 und 1986) im Konzept der *Netzwerkexternalitäten* den Einfluß des Technologieangebotes. Grundlage ist das Technologiesponsoring, nach dem die Anbieter neuer Technologien durch Niedrigpreispolitik und der Schaffung von (In-) Kompatibilitäten zu Konkurrenztechnologien bestehende *lock-ins* durchbrechen und neue erzeugen wollen. Umgekehrt sind die Produzenten etablierter Technologien am Ausbau und der Sicherung entstandener Technologiemonopole interessiert. Die Technologieanbieter verhalten sich strategisch, um durch Preissetzung bzw. (In-) Kompatibilitätsentscheidungen Vorteile für spätere Perioden zu erzielen.⁶⁹ Im Vordergrund steht dabei immer die Steuerung des pfadabhängigen Ergebnisses durch die Beeinflussung des Übernahmeverhaltens.⁷⁰

Die Determinanten des Technologieangebots, so zeigen die drei um das Angebot erweiterten Standardmodelle verschiedener Diffusionsansätze, spielen eine wichtige Rolle der Technologiediffusion. Dies gilt sowohl im Hinblick auf die Diffusionsgeschwindigkeit als auch in Bezug auf den Diffusionsverlauf. Im Gegensatz zur Analyse der Diffusion halten Angebot und Produktion von Innovationen in die Analyse der technologischen Arbeitslosigkeit direkten Einzug, wie z.B. das Maschinenherstellungsargument zeigt. Bei der Diskussion der Diffusion geht es vor allem um die Interaktionen zwischen Angebot und Nachfrage nach

⁶⁷ Im Gegensatz zum epidemischen Ansatz geht Metcalfe nicht von einer absoluten Sättigungsgrenze der Übernahme in Form der Zahl der potentiellen Anwender aus, sondern von einer relativen Sättigungsgrenze, die wie die Wachstumsrate der Nachfrage selbst, abhängig vom Marktpreis der Innovation ist. Ebenso ist die Entwicklung der Produktionskapazität und ihre Sättigungsgrenze vom Preis der Technologie abhängig.

⁶⁸ Vgl. Metcalfe (1981), S. 355.

⁶⁹ Im Bereich der Computersoftware sind solche Verhaltensweisen häufig zu beobachten, wie die Auseinandersetzungen um den *Internetbrowser* von Microsoft verdeutlichen.

⁷⁰ Für eine Aufzählung möglicher strategischer Einflußnahmen durch die Hersteller von Kapital- bzw. Konsumgütern, die ein neue Technologie repräsentieren, siehe Katz/Shapiro (1994).

neuen Technologien, die die Diffusion entscheidend steuern und das Ausmaß und die zeitliche Verteilung der *tatsächlichen Nutzung* von Innovationen bestimmen, die als eigentliche Auslöser von Beschäftigungseffekten identifiziert werden konnte.

7 Zusammenfassung und Fazit

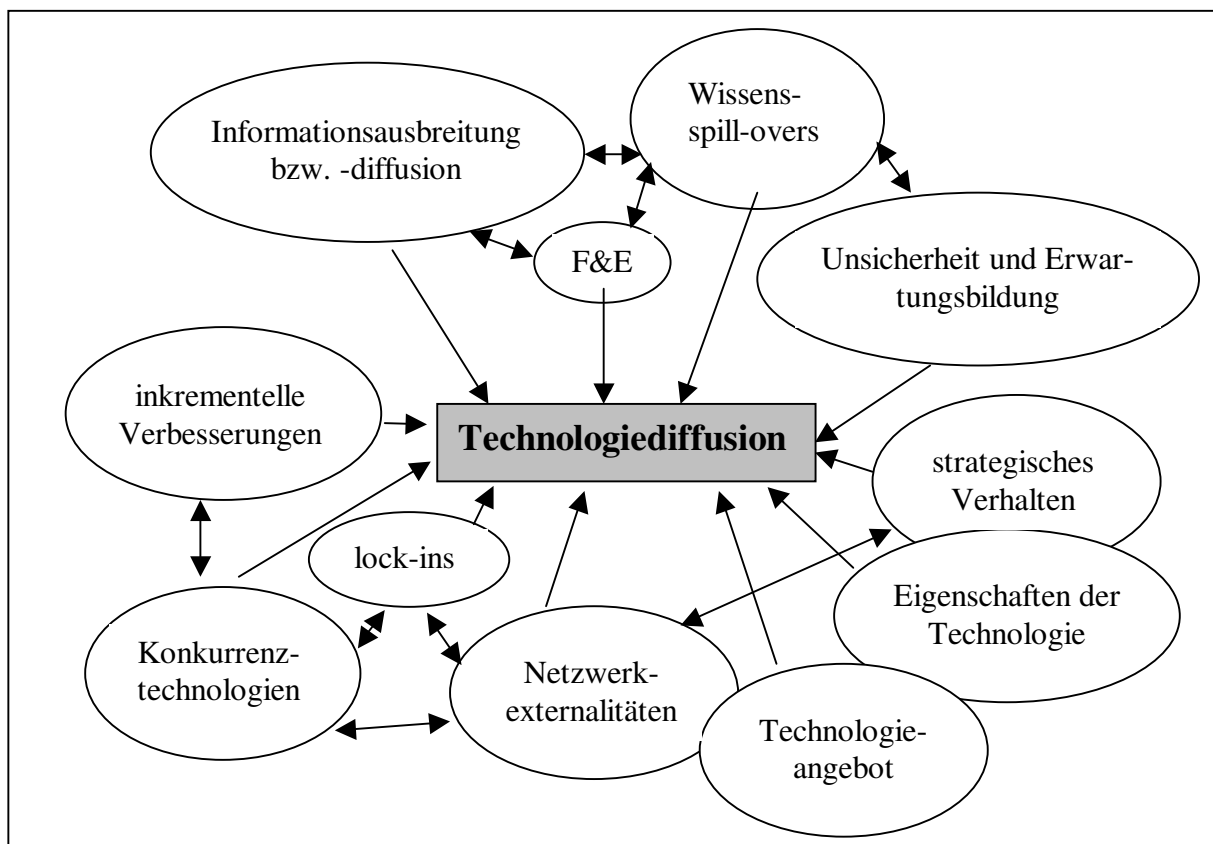
Die erörterten ökonomischen Theorien weisen darauf hin, daß Beschäftigungseffekte neuer Technologien in einem kurz- bis mittelfristigen Horizont analysiert werden müssen. Weder die Entdeckung (Invention) noch die erste Anwendung (Innovation), sondern erst die Verbreitung neuer Technologien und die tatsächliche vielfältige Anwendung (Diffusion) entfalten ökonomische Signifikanz und beeinflussen damit die Beschäftigung. Eine Analyse der technologischen Arbeitslosigkeit im Lichte der Diffusionstheorie ist daher unumgänglich.

Die Diskussion der Diffusionstheorie aus Sicht der Freisetzungs- und Kompensationsdebatte zeigt die zentralen Determinanten der Technologiediffusion auf. Erst mit der Kenntnis derjenigen Variablen, die Einfluß auf Verlauf und Geschwindigkeit der Diffusion ausüben, kann geklärt werden, in welchem Maße die Ausbreitung der Technologie auf die Beschäftigung wirkt. *Abbildung 4* faßt nochmals die wichtigsten Faktoren zusammen, die den relevanten Ansätzen zugrunde liegen. Im epidemischen Ansatz waren dies vor allem Informationen und deren Verbreitung. Relevant sind hierbei weniger Informationen über die Existenz als vielmehr über die Eigenschaften der Innovation. Einem solchen Ansatz ist die Annahme inhärent, daß potentielle Anwender Erwartungen bilden müssen über die unsicheren Eigenschaften neuer Technologien. Im differenzbasierten Ansatz wurden die Unterschiede zwischen den Anwendern von Innovationen, z.B. die Größe von Unternehmen, hervorgehoben. Wie sich gezeigt hat, können sich diese Unterschiede auch auf die Erwartungen bezüglich der Technologie beziehen. Zugleich wird deutlich, daß der Abbau dieser Unsicherheit durch systematisches Lernen eine zentrale Rolle spielt. Die Charaktereigenschaften dieser Informationen sind einerseits als öffentliches Gut (Externalitäten, *spill-overs*), andererseits als privates Gut definiert. Im spieltheoretischen Ansatz kann hingegen die Relevanz des strategischen Verhaltens analysiert werden. Schließlich muß ebenfalls der System- und Netzwerkcharakter von Technologien hervorge-

hoben werden, da Pfadabhängigkeiten zu *lock-ins* führen können. Evolutorische Diffusionsmodelle zeigen zusätzlich zu den hier angesprochenen Variablen das Phänomen der inkrementellen Verbesserungen⁷¹ von Technologien im Rahmen von Trajektorien und Paradigmen auf.

Ebenso wichtig sind jedoch die aufgezeigten auch auf der Angebotsseite. Denn nicht nur die Übernahme von, d.h. die Nachfrage nach Innovationen, sondern ebenso auch das Angebot, d.h. die Produktion der Technologie, wirkt auf den Diffusionsprozeß.

Abb. 4: Determinanten der Technologiediffusion



Die Inkorporation dieser Erkenntnisse aus der Diffusionstheorie in die Diskussion um die Beschäftigungswirkungen des technologischen Wandels ist nicht einfach. Im empirischen Bereich lassen sich durch die Berücksichtigung der Dif-

⁷¹ Damit sind postinnovative Verbesserungen gemeint, die während des Diffusionsprozesses auftreten und den Diffusionsverlauf entscheidend beeinflussen, insbesondere hinsichtlich des Kurvenverlaufs, der Diffusionsgeschwindigkeit und der Zahl der potentiellen Anwender. Vgl. hierzu auch Davies (1979) und Coombs *et al.* (1987), S. 130f.

fusionstheorie die Ergebnisse von Studien verbessern. In den dynamischen Input-Output-Analysen können zu erwartende Diffusionsverläufe eingegrenzt und Szenarien mit wahrscheinlich eintretenden Diffusionsgeschwindigkeiten entwickelt werden. In der theoretischen Literatur finden sich dagegen kaum Ansätze zur Verknüpfung der Diffusionstheorie mit Beschäftigungseffekten des technischen Fortschritts. So wurde der Königsweg der theoretischen Modellierung von Beschäftigungseffekten der Technologiediffusion bisher nur in beschränktem Maße beschrritten.⁷²

Das Bindeglied zwischen den meist mikroökonomischen Ursachen und Faktoren der Technologiediffusion und den makroökonomischen Effekten auf die Beschäftigung ist einerseits im (End-) Nachfrageverhalten der Haushalte (für Produktinnovationen) und im Investitionsverhalten der Unternehmen (für Prozeßinnovationen) und andererseits in den Veränderungen der aggregierten Produktionsfunktion zu sehen. Der erste Aspekt kann in einer keynesianischen makroökonomischen Gütermarktgleichung zusammengefaßt werden:

$$Y = C + I + G + Ex - Im$$

Beschäftigungswirkungen ergeben sich aus den Veränderungen des privaten (C), staatlichen (G) und ausländischen ($Ex-Im$) Konsums von Produktinnovationen, den Veränderungen des privaten (I), staatlichen (G) und ausländischen ($Ex-Im$) Investitionen in Prozeß- und organisatorische Innovationen. Der Außenbeitrag ist zusätzlich von der relativen Entwicklung der (unter anderem technologischen) Wettbewerbsfähigkeit abhängig.

Die zweite Seite der Beschäftigungsmedaille, das Angebot, erfaßt die Produktivitätswirkungen während der Diffusion neuer Technologien, wie sie z.B. im *Vintage*-Ansatz von Salter (1960) dargestellt sind. Die Verschiebungen der gesamtwirtschaftlichen Produktionsfunktion sind jedoch ebenfalls abhängig vom Investitionsverhalten der Unternehmen. Eine Investitionstheorie wiederum kann

⁷² Stoneman (1983 und 1987) entwickelt z.B. ein solches Modell, in dem das Freisetzungsbzw. Kompensationsausmaß des technischen Fortschritts von der Nachfrageelastizität abhängt, die wiederum entscheidend vom Diffusionsverlauf gesteuert wird Vgl. Vivarelli (1995), S. 53f.

aus Sicht der Diffusionstheorie jedoch nicht ohne die hier dargestellten Faktoren bestehen.

Ein erster Schritt der geforderten Verknüpfung ist durch die Neubewertung der bekannten, „traditionellen“ Freisetzungs- und Kompensationsargumente möglich. Das Ergebnis einer solchen Vorgehensweise ist in einer anderen Gewichtung der Mechanismen zu erwarten, die insbesondere für einzelne Technologien stark variieren kann. So wird im Kompensationsargument der Produktinnovationen im allgemeinen zwischen additiven und substitutiven Produktinnovationen unterschieden. Langfristig ist es sicherlich richtig nur additiven Innovationen eine Kompensation freigesetzter Arbeitskräfte zuzuschreiben.⁷³ In kurz- bis mittelfristiger Sicht jedoch legt die Diffusionstheorie eher eine Unterscheidung zwischen schnell und langsam diffundierenden Innovationen nahe, da sich langsam ausbreitende *substitutive* Produktinnovationen temporär durchaus additiven Charakter aufweisen können. Darüber hinaus kann über den additiven oder substitutiven Charakter von Innovationen häufig erst *ex-post* entschieden werden.⁷⁴

In der traditionellen Kritik am Maschinenherstellungsargument wird darauf hingewiesen, daß ein Fristigkeitsproblem bestehe, da die Kompensation in der Herstellungs- und Konstruktionsphase, Freisetzung jedoch während der Nutzungsphase, also zu einem späteren Zeitpunkt und über sehr viel mehr Perioden hinweg, auftrete.⁷⁵ Wird jedoch in Betracht gezogen, daß die Diffusion von Prozeßinnovationen eher in Jahrzehnten als in Jahren zu messen ist, also oft in ähnlich langen Zeiträumen wie die ökonomische Nutzung solcher Maschinen anzusiedeln ist⁷⁶, verliert dieser Einwand an argumentativer Kraft. Denn nun scheint es durchaus plausibel, daß eine länger anhaltende Kompensation aus der Maschinenherstellung auftritt, da sich die letzten Neuanschaffungen der Nachzügler mit

⁷³ Langfristig existiert jedoch auch keine technologische Arbeitslosigkeit.

⁷⁴ Die seit einiger Zeit zu beobachtende Diffusion der Mobiltelefone scheint additiven Charakter zu besitzen. Es ist jedoch durchaus plausibel anzunehmen, daß nach vollendeter Diffusion die Mobiltelefone das bisherige Festnetz ersetzen werden. In Finnland z.B. existieren inzwischen mehr Mobiltelefonverträge als Festnetzanschlüsse.

⁷⁵ Neisser (1942, S. 70) leitet aus der kurzfristigen Kompensation und langfristigen Freisetzung ein "offenes Wettrennen" ab zwischen der Freisetzung aus technischem Fortschritt und der Kompensation aus der Kapitalakkumulation bzw. Investitionstätigkeit, die mit steigender Rate wachsen muß. Vgl. Hagemann (1985, S. 305).

⁷⁶ Vgl. Stoneman (1987), S. 9 und Mansfield (1968 a, b).

den ersten Ersatzinvestitionen überschneiden. Die langsame Diffusion vieler (Basis-) Innovationen ist ebenfalls eine der Ursachen des Produktivitätsparadoxons. Meßbare Produktivitätsfortschritte als Zeichen der ökonomische Signifikanz von Innovationen sind erst dann feststellbar, wenn sie hinreichend diffundiert sind.⁷⁷

Das Kompensationsargument der steigenden Exportnachfrage aufgrund steigender internationaler Wettbewerbsfähigkeit stellt darauf ab, daß durch schnelleren technischen Fortschritt als im Ausland Vorteile gegenüber anderen Volkswirtschaften erzielbar sind und daher eine hohe Rate technischen Fortschritts erstrebenswert ist. Es wird jedoch deutlich, daß dieser Argumentationskette ein *Diffusionsproblem* und kein *Innovationsproblem* zugrunde liegt. Diejenigen Volkswirtschaften, die technischen Fortschritt schnell umsetzen, können sich relative (Wettbewerbs-) Vorteile schaffen bzw. relative Nachteile abbauen. Damit ist aber die Frage der internationalen Diffusion und Imitation angesprochen und nicht der Invention oder Innovation.⁷⁸

Schließlich muß aus Sicht der Diffusionstheorie auch die Faktorsubstitutionshypothese neu bewertet werden. Die neoklassische Idee der Faktorsubstitution als endogener Mechanismus, um nach technischem Fortschritt Vollbeschäftigung der Produktionsfaktoren zu erreichen, kann nur in einem langfristigen (neoklassischen) Gleichgewicht greifen. Einem solchen Gleichgewicht nähert sich eine Volkswirtschaft bzw. ein Sektor durch die Diffusion von Innovationen asymptotisch, wie das Modell von Iwai aufzeigt. Bevor dieses Gleichgewicht erreicht wird, kann es durch das Auftreten einer weiteren, nachfolgenden Innovation obsolet werden. Die neue Technologie bestimmt dann einen neuen Gleichgewichtspunkt, dem das System aufgrund der zunehmenden Ausbreitung der Innovation zustrebt. Diese Sichtweise läßt sich als Analogie zur Kritik von Kaldor an der neoklassischen Wachstumstheorie auffassen, nach der durch die Anpassung an ein neues Gleichgewicht die Bedingungen für dieses Gleichgewicht und damit

⁷⁷ Vgl. David (1991).

⁷⁸ Ein eindrucksvolles Beispiel ist die Ausbreitung von Videorecordern in den 70er Jahren. Ursprünglich war das Prinzip die Innovation eines amerikanischen Unternehmens. Es waren jedoch japanische Unternehmen, die das Videosystem imitierten und sowohl das unterlegene Betamax (Sony) als auch das erfolgreiche VHS (JVC) zur Marktreife entwickelten. Auch die europäische Entwicklung von Philips blieb erfolglos. Vgl. Liebowitz/Margolis (1995).

der Gleichgewichtsloкус selbst verändert werden.⁷⁹ Im ständigen Ungleichgewicht aufgrund des fortwährend voranschreitenden technischen Wandels ist es jedoch zweifelhaft, ob die Freisetzung von Arbeitskräften durch technischen Fortschritt allein durch Faktorpreisflexibilität und Faktorsubstitution kompensiert werden kann.

Die Vielfalt derjenigen Faktoren, die auf den Ausbreitungsverlauf und die Diffusionsgeschwindigkeit neuer Technologien wirken, sowie die Kritik an den Freisetzungs- und Kompensationsargumenten zeigen, daß eine eingehende Analyse der Technologiediffusion und ihre Implikationen für technologische Arbeitslosigkeit durchaus notwendig und sinnvoll ist.

⁷⁹ Vgl. Kaldor (1979), S. 280f. Dem Einwand, daß bei der Kritik von Kaldor an der neoklassischen Wachstumstheorie endogene Kräfte wirken, bei der Interpretation der Diffusion als Gleichgewichts- und der Innovation als Ungleichgewichtsprozeß jedoch exogene Innovationen auftreten, kann durch Verweis auf die endogene Modellierung des technischen Fortschritts in der Neuen Wachstumstheorie begegnet werden. Vgl. Aghion/Howitt (1998) oder Seiter (1997).

Literaturverzeichnis

- Aghion, P. und Howitt, P. (1998): *Endogenous Growth Theory*. Cambridge/Mass. und London.
- Antonelli, C.; Petit, P. und Tahar, G. (1992): *The Economics of Industrial Modernization*. London.
- Arthur, W.B. (1988): Competing Technologies: An Overview. In: Dosi, G. *et al.* (Hrsg.): *Technical Change and Economic Theory*. London, S. 590-607.
- Arthur, W.B. (1989): Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events. *Economic Journal*, Bd. 99, S. 116-131.
- Arthur, W.B. (1994): *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*. Ann Arbor.
- Balcer, Y. und Lippman, S.A. (1984): Technological Expectations and Adoption of Improved Technology. *Journal of Economic Theory*, Bd. 34, S. 292-318.
- Beath, J.; Katsoulacos, Y. und Ulph, D. (1995): Game-Theoretic Approaches to the Modelling of Technological Change. In: Stoneman, P. (Hrsg.): *Handbook of the Economics of Innovation and Technical Change*. Oxford, S. 132-180.
- Bhattacharya, K.C.; Chatterjee, K. und Samuelson, L. (1986): Sequential Research and the Adoption of Innovations. *Oxford Economic Papers*, Bd. 38 Supplement, S. 219-243.
- Cabe, R. (1991): Equilibrium Diffusion of Technological Change through Multiple Processes. *Technological Forecasting and Social Change*, Bd. 39, S. 265-290.
- Coombs, R.; Saviotti, P. und Walsh, V. (1987): *Economics and Technological Change*. Basingstoke.
- David, P.A. (1969): *A Contribution to the Theory of Diffusion*. Memorandum No. 71, Research Center of Economic Growth, Stanford University.
- David, P.A. (1985): CLIO and the Economics of QWERTY. *American Economic Review*, Bd. 75, S. 332-337.

- David, P.A. (1991): Computer and Dynamo. The Modern Productivity Paradox in a not-too distant Mirror. In: OECD (Hrsg.): *Technology and Productivity. The Challenge for Economic Policy*. Paris, S. 315-337.
- David, P.A. (1994): Why are Institutions the 'Carrier of History'?: Path Dependence and the Evolution of Conventions, Organisations and Institutions. *Structural Change and Economic Dynamics*, Bd. 5, S. 205-220.
- Davies, S. (1979): *The Diffusion of Process Innovations*. Cambridge et al.
- Dosi, G. (1991): The Research on Innovation Diffusion: An Assessment. In: Naticenovic, N. und Grübler, A. (Hrsg.): *Diffusion, Technologies and Social Behaviour*. Berlin, S. 179-208.
- Edler, D. (1989): Beschäftigungswirkungen des Einsatzes von Industrierobotern bis zum Jahre 1995 – Modellrechnung auf der Basis eines dynamischen Input-Output-Ansatzes. In: Meyer-Krahmer, F. (Hrsg.): *Sektorale und gesamtwirtschaftliche Beschäftigungswirkungen moderner Technologien*. Berlin und New York, S. 111-163.
- Edler, D. (1990): *Ein dynamisches Input-Output-Modell zur Abschätzung der Auswirkungen ausgewählter neuer Technologien auf die Beschäftigung in der Bundesrepublik Deutschland*. Berlin.
- Farrell, S. und Saloner, G. (1986): Installed Base and Compatibility: Innovation Product Preannouncements and Prediation. *American Economic Review*, Bd. 76(5), S. 940-955.
- Farrell, S. und Saloner, G. (1987): Competition, Compatibility and Standards: The Economics of Horses, Penguins and Lemmings. In: Gabel, H.L. (Hrsg.): *Product Standardization and Competitive Strategy*. Amsterdam et al., S. 1-21.
- Freeman, C. (1994): The Economics of Technical Change. *Cambridge Journal of Economics*, Bd. 18, S. 463-514.
- Fudenberg, D. und Tirole, J. (1985): Preemption and Rent Equalization in the Adoption of New Technology. *Review of Economic Studies*, Bd. 52, S. 383-40.
- Giersch, H. (1983): Arbeit, Lohn und Produktivität. *Weltwirtschaftliches Archiv*, Bd. 119, S. 1-18.

- Gold, B. (1981): Technological Diffusion in Industry: Research Needs and Shortcomings. *Journal of Industrial Economics*, Bd. 29, Nr. 3, S. 247-269.
- Griliches, Z. (1957): Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technical Change. *Econometrica*, Bd. 25, S. 501-523.
- Hagemann, H. (1985): Freisetzungs- und Kompensationseffekte neuer Technologien: Zur Gefahr einer technologischen Arbeitslosigkeit. In: Buttler, F. *et al.* (Hrsg.): *Angebots- und Nachfragepolitik in Theorie und Praxis*. Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Bd. 88, Nürnberg, S. 291-335.
- Hagemann, H. (1995): Technological Unemployment. In: Arestis, P. und Marshall, M. (Hrsg.): *The Political Economy of Full Employment*. Aldershot, S. 36-53.
- Hagemann, H. und Kalmbach, P. (1983): Technischer Fortschritt und Arbeitslosigkeit: Einführung. In: Hagemann, H. und Kalmbach, P. (Hrsg.): *Technischer Fortschritt und Arbeitslosigkeit*, Frankfurt/M. und New York, S. 7-32.
- Hall, P. (1994): *Innovation, Economics and Evolution*. New York.
- Helmstädter, E. (1998): Technologische Arbeitslosigkeit heute? In: Hesse, H. und Wetzels, P. (Hrsg.): *Wirtschaftspolitik zwischen gesellschaftlichen Ansprüchen und ökonomischen Grenzen*. Göttingen.
- Iwai, K. (1984a): Schumpeterian Dynamics. An Evolutionary Model of Innovation and Imitation. *Journal of Economic Behaviour and Organization*, Bd. 5, S. 159-190.
- Iwai, K. (1984b): Schumpeterian Dynamics, Part II. Technological Progress, Firm Growth and 'Economic Selection'. *Journal of Economic Behaviour and Organization*, Bd. 5, S. 321-351.
- Jensen, R. (1982): Adoption and Diffusion of an Innovation of Uncertain Profitability. *Journal of Economic Theory*, Bd. 27, S. 182-193.
- Johansen, L. (1959): Substitution versus Fixed Production Coefficients in the Theory of Economic Growth: A Synthesis. *Econometrica*, Bd. 27, S. 157-176.
- Kaldor, N. (1979): Equilibrium Theory and Growth Theory. In: Boskin, M.J. (Hrsg.): *Economics and Human Welfare: Essays in Honor of Tibor Scitovsky*. New York, S. 273-291.

- Kalmbach, P. und Kurz, H.D. (1990): Diffusion programmgesteuerter Arbeitsmittel und Beschäftigung: Eine dynamische Input-Output-Studie für die Bundesrepublik Deutschland. *Wirtschaft und Gesellschaft*, Bd. 16, S. 79-100.
- Karshenas, M. und Stoneman, P. (1995): Technological Diffusion. In: Stoneman, P. (Hrsg.): *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*. Oxford, S. 265-297.
- Katz, M.L. und Shapiro, C. (1985): Networkexternalities, Competition and Compatibility. *American Economic Review*, Bd. 75, 424-440.
- Katz, M.L. und Shapiro, C. (1986): Technology Adoption in the Presence of Network Externalities. *Journal of Political Economy*, Bd. 94, S. 822-841.
- Katz, M.L. und Shapiro, C. (1994): Systems Competition and Network Effects. *Journal of Economic Perspectives*, Bd. 8, S. 93-115.
- König, H. (1996): Innovation und Beschäftigung. In: Vosgerau, H.-J. (Hrsg.): *Zentrum und Peripherie – Zur Entwicklung der Arbeitsteilung in Europa*. Berlin, S. 149-176.
- Kromphardt, J. (1998): *Lohnbildung und Beschäftigung*. Schriftenreihe des Promotionsschwerpunkts Makroökonomische Diagnosen und Therapien der Arbeitslosigkeit, Nr. 6/1998. Universität Hohenheim, Stuttgart.
- Kromphardt, J. (1999): Abweichende Meinung im Jahresgutachten 1999/2000: "Wirtschaftspolitik unter Reformdruck" des SVR, Tz. 366-373, Stuttgart.
- Lekvall, P. und Wahlbin, C. (1973): A Study of Some Assumptions underlying Innovation Diffusion Functions. *Swedish Journal of Economics*, Bd. 75, S. 362-377.
- Leontief, W. und Duchin, F. (1986): *The Future Impact of Automation on Workers*. New York und Oxford.
- Liebowitz, S.J. und Margolis, S.E. (1995): Path Dependence, Lock-in and History. *Journal of Law, Economics and Organization*, Bd. 11, S. 205-226.
- Mahajan, V. und Peterson, P.A. (1985): *Models for Innovation Diffusion*. Beverly Hills *et al.*
- Mahajan, V.; Muller, E. und Bass, F.M. (1990): New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research. *Journal of Marketing*, Bd. 54, S. 1-26 (wiederabgedruckt in: Nakicenovic, N. und Grübler, A.

- (Hrsg.): *Diffusion of Technologies and Social Behaviour*. Berlin et al., 1991, S. 125-177).
- Mahler, A. und Stoetzer, M.-W.: Einführung: Die Diffusion von Innovationen in der Telekommunikation und Überblick des Buches. In: Stoetzer, M.-W. und Mahler, A. (Hrsg.): *Die Diffusion von Innovationen in der Telekommunikation*. Berlin, S. 1-24.
- Mansfield, E. (1961): Technical Change and the Rate of Imitation. *Econometrica*, Bd. 29, S. 741-766.
- Mansfield, E. (1963): The Speed of Response of Firms to New Techniques. *Quarterly Journal of Economics*, Bd. 77, S. 291-311.
- Mansfield, E. (1968a): *The Economics of Technological Change*. New York.
- Mansfield, E. (1968b): *Industrial Research and Technological Innovation. An Econometric Analysis*. New York.
- Meijers, H. (1994): *On the Diffusion of Technologies in a Vintage Framework: Theoretical Considerations and Empirical Results*. Maastricht.
- Melzig-Thiel, B. (2000): *Arbeit in der Informationsgesellschaft. Chancen und Risiken neuer Informations- und Kommunikationstechnologien für die Beschäftigung*. Frankfurt/M. et al.
- Metcalf, J.S. (1981): Impulse and Diffusion in the Study of Technical Change. *Futures*, Bd. 13, S. 347-359 (wiederabgedruckt in Freeman, C. (Hrsg.): *Long Waves in the World Economy*, London, 1984, S. 102-114).
- Metcalf, J.S. (1988): The Diffusion of Innovation: An Interpretative Survey. In: Dosi, G. et al. (Hrsg.): *Technical Change and Economic Theory*. London, S. 560-589.
- Mettelsiefen, B. (1981): *Technischer Wandel und Beschäftigung. Rekonstruktion der Freisetzungs- und Kompensationsdebatten*. Frankfurt/M. und New York.
- Nasbeth, L. und Ray, G.F. (Hrsg.) (1974): *The Diffusion of New Industrial Processes. An International Study*. Cambridge.
- Neisser, H. (1942): 'Permanent' Technological Unemployment. *American Economic Review*, Bd. 32, S. 50-71.
- Nelson, R.R. (1995): Recent Evolutionary Theorizing about Economic Change. *Journal of Economic Literature*, Bd. 33, S. 48-90.

- Phelps, E.S. (1963): Substitution, Fixed Proportions, Growth and Distribution. *International Economic Review*, Bd. 4, S. 265-288.
- Reinganum, J.F. (1981a): On the Diffusion of New Technology: A Game Theoretic Approach. *Review of Economic Studies*, Bd. 48, S. 395-405.
- Reinganum, J.F. (1981b): Market Structure and the Diffusion of New Technology. *Bell Journal of Economics*, Bd. 12, S. 618-624.
- Rogers, E.M. (1995): *Diffusion of Innovations*. 4. Aufl., New York et al.
- Rosenberg, N. (1976): On Technological Expectations. *Economic Journal*, Bd. 86, S. 523-535.
- Salter, W.G. (1960): *Productivity and Technical Change*. Cambridge.
- Sarkar, J. (1998): Technological Diffusion: Alternative Theories and Historical Evidence. *Journal of Economic Surveys*, Bd. 12, S. 131-176.
- Schettkat, R. und Wagner, M. (1989): Beschäftigungswirkungen neuer Technologien. Vielfältige Befunde und Ansätze zu einer analytischen Integration. In: Schettkat, R. und Wagner, M. (Hrsg.): *Beschäftigungswirkungen neuer Technologien. Bd. 1: Technologischer Wandel und Beschäftigung: Fakten, Analysen, Trends*. Berlin und New York, S. 1-24.
- Schumpeter, J.A. (1993): *Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie*. 7., erweiterte Auflage, Tübingen und Basel (erste Auflage 1950).
- Seiter, S. (1997): *Der Beitrag Nicholas Kaldors zur Neuen Wachstumstheorie. Eine vergleichende Studie vor dem Hintergrund der Debatte über den Verdoorn-Zusammenhang*. Frankfurt et al.
- Silverberg, G. (1990): Adoption and Diffusion of Technology as a Collective Evolutionary Process. In: Freeman, C. und Soete, L. (Hrsg.): *New Explorations in the Economics of Technical Change*. London und New York, S. 177-192.
- Silverberg, G.; Dosi, G. und Orsenigo, L. (1988): Innovation, Diversity and Diffusion: A Self-Organisation Model. *Economic Journal*, Bd. 98, S. 1032-1054.
- Simon, H.A. (1959): Theories of Decision-Making in Economics and Behavioral Science. *American Economic Review*, Bd. 49, S. 253-283.
- Solow, R.M. (1962): Substitution and Fixed Proportions in the Theory of Capital. *Review of Economic Studies*, Bd. 29, S. 207-218.

- Stoneman, P. (1983): *The Economic Analysis of Technological Change*. Oxford.
- Stoneman, P. (1986): Technological Diffusion: The Viewpoint of Economic Theory. *Ricerche Economiche*, Bd. 4, S. 585-606 (Wiederabgedruckt und zitiert in: Mathias, P. und Davies, J.A. (Hrsg.): *Innovation and Technology in Europe*. Oxford, 1991, S. 162-184).
- Stoneman, P. (1987): *The Economic Analysis of Technology Policy*. Oxford.
- Stoneman, P. und Ireland, N.J.(1983): The Role of Supply Factors in the Diffusion of New Process Technology. *Economic Journal*, Bd. 93, Supplement, S. 65-77.
- SVR [Sachverständigenrat für die Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung]: Diverse Jahresgutachten. Stuttgart.
- Vivarelli, M. (1995): *The Economics of Technology and Employment. Theory and Empirical Evidence*. Aldershot.
- Weiber, R. (1995): Systemgüter und klassische Diffusionstheorie – Elemente einer Diffusionstheorie für kritische Masse-Systeme. In: Stoetzer, M.-W. und Mahler, A. (Hrsg.): *Die Diffusion von Innovationen in der Telekommunikation*. Berlin, S. 39-70.
- Witt, U. (1995): Evolutorische Ökonomik – Umriss eines neuen Forschungsprogramms. In: Seifert, E.K. und Priddat, B.P. (Hrsg.): *Neuorientierungen in der ökonomischen Theorie*. Marburg, S. 153-179.

SCHRIFTENREIHE DES
PROMOTIONSSCHWERPUNKTS
MAKROÖKONOMISCHE DIAGNOSEN UND THERAPIEN
DER ARBEITSLOSIGKEIT

- Nr. 1/1998 Bernhard Holwegler und Hans-Michael Trautwein, *Beschäftigungswirkungen der Internationalisierung, eine Studie aus- und einfließender Direktinvestitionen der Metall- und Elektroindustrie im Raum Stuttgart*
- Nr. 2/1998 Heinz-Peter Spahn, *Heterogeneous Labour, the Unemployment Equilibrium, and the Natural Rate*
- Nr. 3/1998 Philip Arestis, Iris Biefang-Frisancho Mariscal and Harald Hagemann, *Capital Shortage Unemployment in Germany and the UK*
- Nr. 4/1999 Theo Schewe, *Full Employment in the Age of Globalisation? Political-Economic Analysis of Effective Employment Policies in the Nineties. The Case of Norway.*
- Nr. 5/1999 Hagen Krämer, *Dienstleistungen: Motor für Wachstum und Beschäftigung in Deutschland?*
- Nr. 6/1999 Jürgen Kromphardt, *Lohnbildung und Beschäftigung*
- Nr. 7/1999 Ewald Walterskirchen, *Beschäftigungspolitik in Österreich*
- Nr. 8/1999 Reiner Franke, *Lohnzurückhaltung, Beschäftigung und (zu) einfache empirische Zusammenhänge*
- Nr. 9/1999 Peter Kalmbach, *Implications of Integration for Wage Formation and Employment*

- Nr. 10/2000 Arne Heise, *Theoretische Grundlagen einer Verhaltensabstimmung der makroökonomischen Politikträger*
- Nr. 11/2000 Eckhard Hein und Carsten Ochsen, *Monetary Interest Rates, Income Shares, and Investment: Theory and Empirical Evidence for France, Germany, the UK, and the USA*
- Nr. 12/2000 Guntram R. M. Hepperle, *Airbus – ein gelungenes Beispiel für beschäftigungsorientierte Industriepolitik?*
- Nr. 13/2000 Bernhard Holwegler, *Implikationen der Technologiediffusion für technologische Arbeitslosigkeit*
- Nr. 14/2000 Markus Schreyer, *Wachstum und Beschäftigung vor dem Hintergrund des Solowschen Produktivitätsparadoxons*
- Nr. 15/2000 Mauro Boianovsky, *Some Cambridge Reactions to The General Theory: David Champernowne and Joan Robinson on Full Employment*