

Rod W. Coombs

Die Verbreitung von Mechanisierungstechniken und Theorien der langen Wellen*

1. Einleitung

In jüngerer Vergangenheit haben Fortschritte auf Gebieten wie der Robotertechnik und computerisierter Kontrollsysteme erneute Aufmerksamkeit auf den Bereich der Automation gelenkt. Da diese Entwicklungen mit der gegenwärtig hohen Arbeitslosigkeit zusammenfallen, ist es nicht verwunderlich, daß auch die Diskussion über den Zusammenhang von technischem Wandel und Beschäftigung wieder entflammt ist. Die meisten Teilnehmer an dieser Diskussion sind sich einig, daß technischer Wandel im Prinzip sowohl zu Beschäftigungszunahme als auch zu Beschäftigungsabnahme führen kann; unterschiedliche Positionen beziehen sie jedoch in der Frage, ob es im Endeffekt notwendigerweise ein Gleichgewicht dieser beiden Tendenzen gebe (Cooper und Clark, 1982; Pasinetti, 1981). Analytische Studien dieser Art unterscheiden zwar zwischen verschiedenen möglichen Arten des technischen Wandels, doch sie stellen in der Regel keinen Zusammenhang zwischen diesen Kategorien und empirischen Daten über den technischen Fortschritt oder »laienhaften« Begriffen wie Automation her.

Andererseits heben einige neuere wirtschaftswissenschaftliche Veröffentlichungen die Bedeutung der Automation als einer spezifischen Form des technischen Wandels hervor und führen aus, sie spiele eine besondere Rolle in der ökonomischen Entwicklung des 20. Jahrhunderts. In dieser Literatur gibt es zwei Hauptrichtungen: Untersuchungen über den Arbeitsprozeß und die Theorie der »langen Wellen«. Seit der grundlegenden Arbeit von Braverman (1974) haben Studien des Arbeitsprozesses eine ganze Reihe interessanter Probleme bei der Analyse der Entwicklung der Produktionstechnik, ihrer Bedeutung für Konflikte über die Arbeitsinhalte und den Stellenwert einer möglichen »Umkehrbarkeit« des Taylorismus herausgearbeitet (Kelly, 1982; Littler, 1982). Dieser Ansatz hat sich mit konkreten Fällen von Automation, insbesondere numerisch gesteuerte Maschinen, befaßt und die Notwendigkeit verspürt, eine angemessenere Darstellung der Automation zu erarbeiten.

Die Arbeiten über die langen Wellen haben dagegen andere Aspekte in den Mittelpunkt der Automations-Debatte gerückt. Mandel (1975) argumentiert, jeder *Aufschwung* der Kondratieffschen langen Wellen umfasse eine »technologische Revolution« im Investitionsgütersektor, und in der Nachkriegszeit habe die »Automation« diese Revolution dargestellt. Freeman et al. (1982) gehen im Gegensatz dazu davon aus, die *Abschwünge* der langen Wellen seien durch zunehmende Rationalisierungsinvestitionen und folglich vermehrte Automation gekennzeichnet. Es ist offenkundig, daß diese wichtigen Diskussionen nicht zu Ende geführt werden können, ohne zunächst genauer zu klären, was mit Automation eigentlich gemeint ist: ob es sich dabei um technischen Wandel exogener oder induzierter Natur handelt; ob sie empirisch meßbar ist und ob sie im Laufe ihrer Entwicklung grundlegende historische Schwankungen aufweist.

* Die Übersetzung besorgten Ulf Dammann und Kurt Hübner. Freundliche Unterstützung leistete Alfred Kleinknecht.

Diesen Fragen ist dieser Aufsatz gewidmet. Im ersten Abschnitt wird der Begriff der Automation untersucht und als Kombination verschiedener Arten der Mechanisierung neu bestimmt. Diese verschiedenen Mechanisierungsformen werden als Bestandteile des Produktionsprozesses vorgestellt, die sich infolge bestimmter Anreize durch einen Prozeß induzierter Innovation entwickeln. Im zweiten Abschnitt werden Daten vorgestellt, die aufzeigen, daß sich die verschiedenen Arten der Mechanisierung in den letzten Jahrzehnten mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ausgebreitet haben. Im dritten Abschnitt wird diese Sichtweise der Ausbreitung der Mechanisierung im Zusammenhang mit Lange-Wellen-Theorien behandelt, wobei hauptsächlich die Arbeiten von Freeman et al. (1982) und Mandel (1975, 1980) herangezogen werden.

Das Hauptziel dieses Aufsatz besteht also im Versuch, eine Darstellung der Automation zu geben, die auf einer empirischen und historischen Analyse bestimmter Arten von Maschinen und den unterschiedlichen Geschwindigkeiten ihrer Ausbreitung beruht. Auf diese Weise wird die Rolle der Automation in den Theorien der langen Wellen verdeutlicht.

2. Über Automation

2.1 Die Arbeitsprozeß-Debatte

In diesem Teil werden wir ausführen, daß der Fortschritt der Automation nicht allein eine Kombination von technischer Weiterentwicklung und sich verändernder Faktorkosten gewesen ist, sondern das Ergebnis einer Reihe komplexer Induktionsprozesse. Vor allem Autoren, die sich mit dem Arbeitsprozeß befaßt haben, haben diesen Ansatz entwickelt.

Ihr Beitrag besteht darin, die Aufmerksamkeit auf das Zusammenwirken von zwei Motivationskomplexen gerichtet zu haben, die Manager veranlassen können, Produktionstechniken zu verändern. Einer davon betrifft die konventionelle Produktionskostenkalkulation. Der andere dreht sich um die relative Stärke der Arbeiter und des Managements bezüglich der Kontrolle über die Arbeitsorganisation und über das Arbeitstempo.

In der Literatur besteht eine Tendenz, das Problem auf zwei gegensätzliche Weisen zu interpretieren. Die eine Richtung, zu der Braverman selbst gehört, geht davon aus, daß der Kapitalismus seit dem Übergang von der formellen zur realen Subsumtion des Arbeitsprozesses eine innere Tendenz entwickelt hat, den Arbeitern die Kontrolle über ihre Arbeit zu entreißen. Dies wird als Notwendigkeit für die Aufrechterhaltung des Lohnverhältnisses in der Gesellschaft angesehen. Man argumentiert, daß diese Übernahme von Kontrollfunktionen durch die Manager dazu führe, daß die Entwicklung der Produktionstechniken eine Tendenz zur Dequalifizierung der Arbeit in sich trage. Diese Position ignoriert zwar nicht notwendigerweise die Kostenmotivation, betont jedoch sehr stark die Kontrollmotivation und sieht in ihr die Ursache zu erhöhter kapitalistischer Effizienz. Braverman sah die Automation in diesem Licht und erklärte einige Fälle technischen Wandels entsprechend der Wirkungsweise dieser Faktoren.

Die entgegengesetzte Position beruht auf jüngeren Feldstudien, vor allem in der Maschinenbauindustrie, und betont den flexiblen Charakter von Arbeitsplätzen und Fähigkeiten, die mit den jeweiligen Typen von Maschinerie verbunden sind (Jones, Wood, 1982). Identische numerisch gesteuerte Maschinen erfordern je nach Einsatz unterschiedliche Fähigkeiten des Bedienungspersonal, je nach den übrigen spezifischen Gegebenheiten in der betreffenden Fa-

brik. Dieser Ansatz stellt den starren Charakter der Dequalifizierung und ihre Implikationen für den technischen Wandel, wie Braverman sie beschreibt, in Frage.

Im übrigen hat es durchaus Umstände gegeben — und es mag sie auch noch immer geben —, in denen der Taylorismus tatsächlich »umgekehrt« wurde und fragmentierte Arbeitsvorgänge wieder zusammengefügt wurden, und zwar aufgrund spezifischen Drucks einiger oder aller Beteiligten an der historischen Evolution bestimmter Formen der Arbeitsorganisation. Zweitens, und um einiges wichtiger, ist überzeugend argumentiert worden, Fragmentierung und Rekombination von Arbeitsvorgängen seien *als Managementstrategien* nicht jene kohärenten, geplanten Strategien zur Übernahme der Kontrolle und der Produktionsoptimierung, zu denen die Arbeitsprozeß-Literatur sie gestempelt hat (Jones & Rose, 1984).

Die Teilnehmer an der Arbeitsprozeßdebatte sind sich im Prinzip uneinig über die *Gewichtung* der einzelnen Faktoren, die die Richtung der Entwicklung der Produktionstechnik beeinflussen. Allerdings stimmen sie alle darin überein, daß eine große Zahl von Faktoren eine Rolle spielt. Fruchtbar ist dieser Ansatz, weil er bemüht ist, bestimmte Punkte in der Geschichte einer Technik herauszuarbeiten, an denen alternative Entwicklungsmöglichkeiten auf der Grundlage von anderen Kriterien als allein dem Kostenfaktor erwogen worden sind.¹ Für eine Darstellung der historischen Entwicklung der Produktionstechnik müssen wir jedoch nicht nur die Veränderungen in den Motivationen und den Anreizen, sondern auch die der Technik selbst spezifizieren. Womit das Problem der Definition von Begriffen wie Automation und Mechanisierung aufgeworfen wird. Oft werden sie in eher umgangssprachlicher Manier gebraucht, so als bedeute Automation einfach nur die Abschaffung von Handarbeit und Mechanisierung die Abschaffung von Kopfarbeit. Die wahre Komplexität der Entwicklung der Produktionstechnik bleibt dabei weitgehend auf der Strecke. Es besteht die dringende Notwendigkeit, die Windungen und Wendungen dieser Geschichte gründlicher zu beschreiben und sie mit den technischen Möglichkeiten und Anreizmechanismen, die zu den Veränderungen beigetragen haben, in Beziehung zu setzen.

Bravermans Behandlung der Mechanisierung und Automation basiert auf der Arbeit von Bright (1956). Bright entwarf eine Hierarchie von 17 »Ebenen« der Automation, in der die von Maschinen ausgeführten Funktionen zunehmend komplexer werden und schrittweise menschliche Fähigkeiten ersetzen. Er argumentiert, daß auf den unteren Ebenen dieser Entwicklung von Stufe zu Stufe aufwärts gewöhnlich durchaus noch größere menschliche Geschicklichkeit nötig sein könne, daß auf den höheren Ebenen der Automationskala jedoch zunehmend weniger menschliche Fähigkeiten gebraucht würden. Dieser Ansatz ist ganz offensichtlich im Einklang mit Bravermans allgemeiner Einstellung zu den notwendigen handwerklichen Fähigkeiten von Arbeitern. Das Problem bei Brights Modell besteht darin, daß in ihm recht unterschiedliche Aspekte des Produktionsprozesses in einer einzigen Skala der Mechanisierung vermengt und dadurch die Möglichkeiten komplexer und ungleichmäßiger Entwicklungen der Mechanisierung verschleiert werden. Die spätere Arbeit von Bell (1972) ist ein besserer Bezugspunkt für die Untersuchung von Automation und Mechanisierung. Laut Bell bestehen Produktionsprozesse aus Kombinationen von drei unterschiedlichen, doch verwandten Funktionen, die jeweils Ansatzpunkt für unterschiedliche Ebenen der Mechanisierung sind. Diese drei Vorgänge sind die Transformation von Werkstücken, der Transfer von Werkstücken von einer Transformationsstätte zur nächsten und schließlich die Kontrolle der ersten beiden Vorgänge. Darin kann beispielsweise eine bestimmte Maschine oder Gruppe von Maschinen einen hohen Grad von Mechanisierung der Kontrolle, aber einen niedrigen Grad von Transfermechanisierung aufweisen, oder umgekehrt.

Bell gebrauchte diese Kategorien, um Maschinenbau-Produktionssysteme zu analysieren, und stellte fest, daß die drei Dimensionen der Mechanisierung »geichtet« und daß die verschiedenen Maschinentypen genau entsprechend dieser drei Produktionsfunktionen spezifiziert werden konnten. Darüber hinaus stellte er fest, daß neue Maschinen ebenfalls nach diesen drei Funktionen eingeordnet werden konnten, daß aber die Richtung der Entwicklung weder konstant noch vorbestimmt war. Er unternahm allerdings keine detaillierte Untersuchung der historischen Daten. Bells Arbeit war den Arbeitsprozeß-Studien voraus, denn er zeigte, diesen Rahmen benutzend, tatsächlich schon, daß die Auswirkungen neu eingeführter Maschinen auf den Grad der zu ihrer Bedienung notwendigen menschlichen Fertigkeiten davon abhängig sind, auf welche Weise die Aufgaben der neuen Maschinen kombiniert werden, um bestimmte Funktionen im Produktionsprozeß zu erfüllen. Diese Funktionen werden nicht einfach von der Technik selbst bestimmt, sondern sie sind durchaus auch Ergebnisse menschlicher Entscheidungsprozesse und von Verhandlungen.

Bells drei Dimensionen der Mechanisierung sind ein nützlicher Rahmen, um die Entwicklung des Arbeitsprozesses auf einer allgemeineren Ebene zu untersuchen. Sie sind im Einklang mit einer Betrachtungsweise des technischen Wandels, in der Produktionstechnologie und Arbeitsteilung sich wechselseitig bedingen, anstatt anzunehmen, daß das eine das andere determiniert. Im weiteren Teil dieses Abschnitts werden wir vorschlagen, daß die allgemeinen Begriffe Mechanisierung und Automation aufgegeben und ersetzt werden sollten durch die Kategorien primäre, sekundäre und tertiäre Mechanisierung, wobei primäre Mechanisierung stehen wird für Mechanisierung der Transformation, sekundäre für die Mechanisierung des Transfers und tertiäre für die Mechanisierung der Kontrolle. Dieser Vorschlag beruht auf einer Interpretation der Entwicklung der Produktionstechnik, in der diese drei Phasen der Mechanisierung als die aufeinanderfolgenden vorherrschenden Formen in der Zeit von der Mitte des 19. Jahrhunderts bis zur Gegenwart vorgestellt werden. Dabei soll versucht werden, die für den jeweiligen Übergang von einer Mechanisierungsphase zur nächsten verantwortlichen Faktoren herauszuarbeiten.

2.2. *Phasen der Mechanisierung in der Geschichte der Produktionstechnik**

Wir beginnen mit dem Übergang von der Manufaktur zur Machino-Faktur. Im dritten Viertel des 19. Jahrhunderts kennzeichnete vor allem der Einbruch der dampfbetriebenen Machino-Faktur in mehreren Bereichen der Industrie die Entwicklung der Produktionstechnik. Landes (1969) hat gezeigt, daß die schnelle Ausbreitung der Dampfmaschine in der Zeit von den vierziger zu den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts erfolgte. Aufgrund der damaligen weiten Verbreitung der Dampfmaschine in der Fabrikproduktion kann dieser Zeitraum als die Periode angesehen werden, in der die *primäre Mechanisierung* sich ausbreitete und gegenüber der sekundären und tertiären Mechanisierung vorherrschend war. Während dieser Periode und bis zur Jahrhundertwende verstärkten eine Reihe von Verbesserungsinnovationen die Leistungskraft und Effizienz der Dampfmaschine und der von ihr angetriebenen Maschinerie noch, dennoch war diese technische Entwicklungslinie letztendlich durch rückläufige Erträge charakterisiert. Die Jahrzehnte um die Jahrhundertwende waren die Periode, in der die Überlegenheit des Verbrennungsmotors und elektrisch betriebener Maschinen die Position der Dampfkraft unterminierten und sie in ihrer Funktion als führender Antriebskraft abgelöst zu werden begannen.²

* Dieser Abschnitt ist eine Zusammenfassung von Coombs' (1982) 4. Kapitel.

In dieser Periode der Ausbreitung der primären Mechanisierung versuchten die Ingenieure vor allem die *Geschwindigkeit und den Umfang der Transformation* durch die Maschinen zu verbessern. Erhöhte Antriebskraft wurde erzielt durch verbesserte Stahlqualitäten, bessere Schmierung, Kugellager und viele andere Innovationen (vgl. Landes, 1969, S. 293), doch offenbarten die größere Geschwindigkeit und der größere Umfang der Transformation – vorangetrieben durch ausländische wie inländische Konkurrenz – schließlich die zunehmenden Unzulänglichkeiten des *Transfersystems* zum Transport der Werkstücke von einem Transformationsvorgang zum nächsten. Diese Situation kann charakterisiert werden durch das Entstehen eines Engpasses in der Entwicklung von Produktionssystemen, das zu verstärkten erfinderischen und innovatorischen Lösungsversuchen führte.

Dieses Problem wird von Rosenberg (1976) ausführlich behandelt. Es gab damals zwei der von ihm so benannten »Anreiz- und Orientierungsmechanismen«: Ungleichgewichte zwischen interdependenten Abschnitten des Produktionsprozesses sowie Gruppen von Arbeitern, die eine gewisse Kontrolle über Produktionsprozesse ausübten, die für das Management dysfunktional war. Die Ungleichgewichte sind bereits erwähnt worden. In den deutschen Platzarbeitssystemen konnte es zum Beispiel vorkommen, daß mehr Zeit für den Transport der Werkstücke von einem Ort zum anderen aufgewandt werden mußte als für die Arbeit an den Maschinen. Der allgemeine Kontrollkonflikt ergab sich aus einer Kombination von zwei Bedingungen. Erstens: hochqualifizierte Facharbeiter hatten, wie Braverman ausführt, sehr weitgehende Autonomie in vielen Aspekten der Gestaltung ihrer Arbeit. Zweitens: diese Autonomie wurde noch verstärkt durch mangelhafte Austauschbarkeit von Einzelteilen in den meisten Industrien. Diese Situation schuf große Abhängigkeit von den Fähigkeiten des Monteurs (»fitter«), der in der Lage war, mit den Abweichungen der einzelnen Arbeitsstücke fertig zu werden. Dieses Problem wurde im Laufe der Zeit dann durch Erfindung einer Reihe verbesserter Maschinen und Werkzeuge (vgl. Landes, S. 305-315), die ausreichende Genauigkeit von austauschbaren Teilen ermöglichten, behoben.

Das Kontrollproblem wurde mit Hilfe des inzwischen gut dokumentierten Phänomens des systematischen Managements und des Taylorismus angegangen. Die Bedeutung dieser Entwicklung in den USA während dieser Periode wird von Littler (1982, S. 175) behandelt, der sie in Zusammenhang bringt mit »Problemen des Arbeitsflusses« (problems of work flow). Die Kombination von systematischer Arbeitsorganisation, von Austauschbarkeit von Teilen und der Entwicklung von Maschinen, die speziell für effizientere Transformation *und schnelleren Transport* entwickelt wurden, ist die Phase im Wandel des Produktionsprozesses, die als *sekundäre Mechanisierung* bezeichnet werden kann. Die bereits erwähnte, im selben Zeitraum stattfindende Ausbreitung der Elektrifizierung spielte dabei insofern eine Rolle, als mit der Elektrizität nun eine Energiequelle von großer Flexibilität und Mobilität zur Verfügung stand. Mehr Maschinen konnten aufgestellt und bei Bedarf leichter umgestellt werden, wodurch einige der vorherigen Beschränkungen bei der Umorganisation von Fabriken entfielen (Rosenberg, 1982, S. 100).

An dieser Stelle der Argumentation sollte darauf hingewiesen werden, daß diese Interpretation sich von der konventionellen Auffassung über die »zweite industrielle Revolution« in dieser Periode unterscheidet. Die technischen und organisatorischen Veränderungen waren nicht einfach das Ergebnis der »Einführung« besseren Stahls, der Elektrizität usw. Sie waren ebenso sehr das Ergebnis ihrer Anwendung zur Überwindung bestimmter »Nadelöhre« und Ungleichgewichte. Und diese waren wiederum Folge der vorhergehenden Evolution von Produktionsprozessen und der ihnen zugrundeliegenden Techniken gewesen.

Die beiden klassischen Formen der sekundären Mechanisierung waren das Prinzip des »kontinuierlichen Flusses« ('continuous flow' principle) und das Montagebandsystem, die beide zwischen den Weltkriegen in den USA weite Verbreitung fanden. In Europa stieß ihre Anwendung auf größere Widerstände, doch ihre Bedeutung war, vor allem in neueren Industrien, auch hier offenkundig. Das Auftauchen des Marktes für in Massenproduktion hergestellte dauerhafte Verbrauchsgüter und damit im Zusammenhang stehende Produkte waren wichtige Stimuli in diesem Prozeß (vgl. Aglietta, 1979). Ebenso eindeutig ist der große Schub, den die weitere Entwicklung und Ausbreitung der sekundären Mechanisierung durch den 2. Weltkrieg bekam. Zur selben Zeit wurden jedoch auch die spezifischen Grenzen der sekundären Mechanisierung deutlich. In Produktionsprozessen, wo die Transformation und der Transfer zu einem gewissen Grade mechanisiert sind, wird die Aufmerksamkeit der Ingenieure unweigerlich darauf gelenkt, auf welche Weise diese Maschinen kontrolliert werden. Dies ist die dritte der Hauptdimensionen des Produktionsprozesses, die mechanisiert werden können — ja, es ist sogar nur schwer vorstellbar, daß ein mechanisiertes Transfersystem nicht auch zu einem bestimmten Grad mechanisch kontrolliert wird, obwohl natürlich die allererste Version von Fords Fließband mit einem erheblichen Maß menschlicher Kontrolle auskommen mußte. Generell hängen die Effektivität des Transfer- und Transformationssystems und die Möglichkeit zur Steigerung des Arbeitstempos, der Zuverlässigkeit und der Koordination von der Anwendung ausgeklügelterer Kontrollapparaturen ab. Die Aktivierung einer Maschine durch einen Schalter, der durch das herangeführte Werkstück umgelegt wird, ist ein frühes repräsentatives Beispiel für die Entwicklung auf dem Gebiet der Kontrollmechanisierung. Es handelt sich dabei um eine verbreitete Möglichkeit, die Abfolge von Transformationsvorgängen in einer Transfervorrichtung im Maschinenbau zu kontrollieren.

Diese Art der Kontrollmechanisierung für die die früheren Ausstattungen von Chemiefabriken ein weiteres Beispiel sind, markieren den Beginn der dritten Phase der Mechanisierung, die wir tertiäre Mechanisierung nennen wollen. In dieser Phase wurde der Bedarf an menschlicher Arbeit auch in den Abschnitten des Arbeitsprozesses weiter eingeschränkt, in denen sie noch immer eine wichtige Rolle spielte. Hier ist es wichtig zu betonen, daß es sich dabei nicht um eine Veränderung der Funktionsabläufe handelte. In jedem Maschinensystem gibt es mehrere Ebenen der Kontrollmechanisierung (die im Falle von Werkzeugmaschinen von Bell dokumentiert worden sind), und es findet eine fortwährende Veränderung der Relation von maschineller und menschlicher Arbeit bei den Kontrollvorgängen statt. Diese tertiäre Mechanisierung erfuhr durch die Anwendung des mathematischen Prinzips des feedback, erstmals gründlich durchdacht in den dreißiger Jahren, und durch die Entwicklung zunehmend zuverlässigerer elektronischer Komponenten in den ersten Jahren der Nachkriegszeit einen beachtlichen Schub. Es ist wichtig anzumerken, daß die tertiäre Mechanisierung weitgehend unflexibel war, da sie nicht darauf eingestellt werden konnte, mit einer großen Produktvielfalt fertig zu werden. (Dieses Problem ist zu einem neuen »Nadelöhr« geworden, das im Abschnitt »Schlußfolgerungen« noch behandelt werden wird.)

Diese Abfolge von Veränderungen im Zuge des Mechanisierungsprozesses gilt allerdings nur auf der allgemeinsten Ebene. In bestimmten Industrien zu bestimmten Zeiten und in bestimmten Ländern ist die Entwicklung der Mechanisierungsdimensionen natürlich von besonderen Umständen beeinflusst worden. Der offenkundigste Fall ist der von neuen Industrien, die bei ihrer Entstehung viele der Erfahrungen, die in älteren Branchen gemacht worden sind, bereits in ihren Produktionsprozeß aufgenommen haben. Doch als Indikator für die »Vorhut« des Wandels im Produktionsprozeß mit allen Implikationen für die Struktur des Warenangebots in den

Investitionsgüterindustrien, bietet die obige Analyse doch einen nützlichen Interpretationsrahmen.

Die Argumentation kann bis zu diesem Punkt folgendermaßen zusammengefaßt werden. Es gab drei hauptsächliche »Regime« oder »Entwicklungslinien« in der Evolution des Produktionsprozesses, die wir als primäre, sekundäre und tertiäre Mechanisierung bezeichnen. In der ersten Phase, die am Ende des 19. Jahrhunderts ihren Höhepunkt erreichte, bestand die Hauptrichtung des Wandels in der Anwendung von Maschinen in den Transformationsfunktionen. In der zweiten Phase, die bis zum zweiten Weltkrieg dominierte, verlagerte sich der Schwerpunkt der Veränderungen auf die Einführung von Maschinen und von organisatorischen Neuerungen im Bereich der Transferfunktionen. In der dritten Phase, die noch immer anhält, hat sich das Augenmerk auf die Mechanisierung der Kontrolle³ gerichtet, die selbst wiederum in einer Reihe verschiedener Schritte durchgesetzt wird. Die Chronologie dieser Regime ist im Folgenden aufgelistet.

	primäre Mechanisierung	sekundäre Mechanisierung	tertiäre Mechanisierung
1850	Anfang		
1875			
1900	Ausweitung auf die Sektoren und technische Ausreifung	Anfang	
1925		substantielle Aus- dehnung in einigen Sektoren, zuneh- mende technische Ausreifung	
1950	dauert an, fällt jedoch zunehmend zusammen mit se- kundärer oder ter- tiärer Mechanisie- rung	generelle Einfüh- rung in einer Viel- zahl von Indu- strien	beginnt in einigen Industrien und wird langsam flexi- bler
1975			Flexibilität nimmt zu

Diese Regime sind sowohl für die Innovation als auch für die Verbreitung von Investitionsgütern von Bedeutung. Aus Gründen der Darstellung ist es sinnvoller, zunächst mit der Verbreitung zu beginnen. Das vorliegende qualitative Material — ebenso wie die quantitativen Daten, die für die früheren Perioden vorliegen — deutet darauf hin, daß (ungefähr) die erste Hälfte eines jeden Regimes von dem Anstieg der Ausbreitungskurve jeder Mechanisierungsart geprägt ist. In der zweiten Hälfte jedes Regimes finden wir dann ein stark verlangsamtes Wachstum. Da die Regime überlappen, beginnt jede neue Form der Mechanisierung ihren Verbreitungsprozeß parallel zur jetzt verlangsamten Ausbreitung (und Evolution) des vor-

herigen Regimes. Dieses Phänomen wird durch Daten aus der Nachkriegszeit im dritten Teil dieses Aufsatzes illustriert. Das Verhältnis zwischen den Regimen und der Richtung der Innovation scheint folgendermaßen zu sein: Während der ersten, schnellen Phase des Ausbreitungsprozesses sind die Innovationsbemühungen auf die Verbesserung der mit der jeweiligen Art der Mechanisierung verbundenen Techniken gerichtet. So wurde die Leistungskraft von Dampfmaschinen zwischen den 50er und den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts erheblich erhöht. Diese Innovation führte zu besseren Ergebnissen bei der Anwendung der betreffenden Techniken in den jeweiligen Mechanisierungsfunktionen. Im späteren Teil jedes Regimes kommt es jedoch zu einer zweifachen Reduktion bei der Steigerung der Leistungskraft. Erstens erreichen die Techniken selbst ihre Grenzen bei den Versuchen, sie weiter zu verbessern. Das ist ein Beispiel für das Wolfsche Gesetz, das die (Ingenieuren) bekannte Tatsache beschreibt, daß jede Technik gewisse natürliche Leistungsgrenzen hat, die früher oder später unweigerlich erreicht werden. Zweitens resultiert die Anwendung der Technik in nur einer Dimension der Mechanisierung selbst schon in letztlich abnehmenden Ertragsraten, da sich irgendwann wirkungsvollere Wege zur Produktivitätssteigerung auftun, indem man sich den beiden anderen Dimensionen des Produktionsprozesses zuwendet. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß sich bei Einsetzen verringerter Leistungszuwächse die Innovationsbemühungen auf neue Ziele richten werden, zu denen auch neue Dimensionen der Mechanisierung gehören können.⁴ In diesem Sinne ist weiter oben der Übergang von einem zum anderen Regime als Erreichen und Überwinden eines »Nadelöhrs« in der Evolution von Produktionssystemen beschrieben worden.

Damit ist die Analyse der Mechanisierung in diesem Abschnitt abgeschlossen. Ein wichtiger Sachverhalt ist bisher allerdings noch nicht behandelt worden: die weitgehende zeitliche Übereinstimmung zwischen den Mechanisierungsphasen und den Kondratieffschen langen Wellen, die von Mandel und anderen diskutiert worden sind. Im ersten Teil wurde die Aufmerksamkeit auf die Behandlung des technischen Wandels in Theorien der langen Wellen gelenkt. Dieses Thema soll im vierten Teil im Licht der obigen Analyse erneut untersucht werden.

3. Die Verbreitung von Mechanisierungstechniken seit dem zweiten Weltkrieg

Ein Hauptproblem bei früheren Abhandlungen der Mechanisierung war die Schwierigkeit, ihr Ausmaß zu messen. Auf einen Aspekt des Problems wurde bereits eingegangen: befriedigende Definitionen zu erarbeiten. Die Aufteilung in primäre, sekundäre und tertiäre Mechanisierung, die in diesem Aufsatz vorgeschlagen wird, bietet eine mögliche Lösung des Problems. Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, daß Mechanisierung in verschiedenen Industrien, in denen unterschiedliche Techniken angewandt werden, Verschiedenerlei bedeutet. Doch auch hier leistet die Unterscheidung in die allgemeinen Prozesse der Transformation, des Transfers und der Kontrolle nützliche Dienste. Die hier präsentierten Daten beziehen sich auf die sekundäre und tertiäre Mechanisierung in Großbritannien und den USA in der Nachkriegszeit. Die Zahlen wurden gewonnen, indem die Maschineriestatistiken des Census of Production auf der detailliertesten Ebene ausgewertet wurden und indem dann jeder Maschinentyp unter eine der drei Kategorien eingeordnet wurde. Die Daten geben also ein Bild der Veränderungen über einen gewissen Zeitraum für die gesamte Investitionsgüterproduktion in jeder der drei Kategorien.

TABLE 1. RE-AGGREGATION OF UK DATA

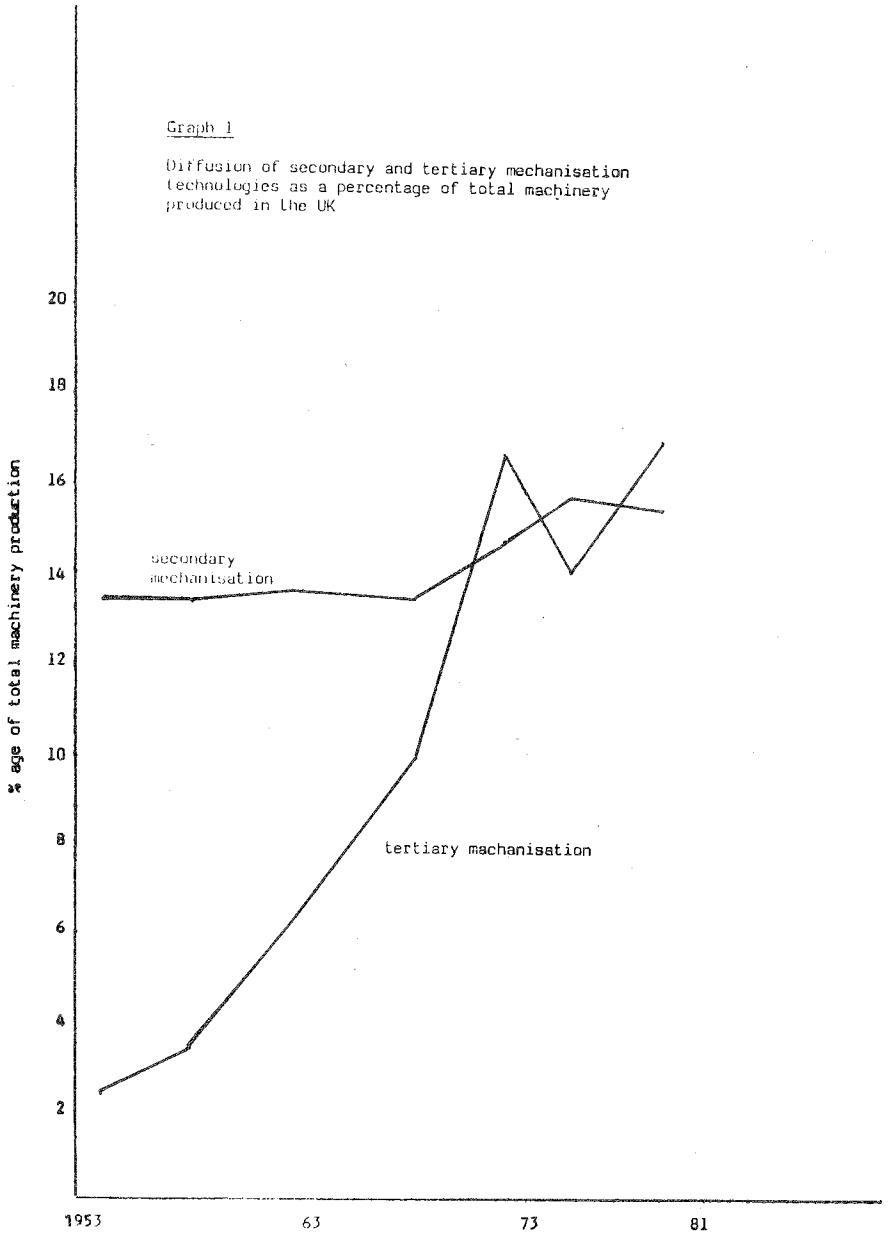
	1954	1958	1963	1968	1972	1975	1979
1. Total Machinery Production (£m)	1401.9	1894.0	2214.5	3247.6	4242.6	7686.7	12977.6
2. Hard Automation : value : % of total	25.5 1.8	36.7 1.9	55.2 2.5	87.3 2.7	108.5 2.6	202.5 2.6	367.3 2.8
3. Mechanical Handling : value : % of total	41.0 2.9	62.9 3.3	113.7 5.1	187.0 5.8	291.5 6.9	619.9 8.1	1088.9 8.4
4. Continuous Flow : value : % of total	147.2 10.5	190.5 10.1	188.3 8.5	247.5 7.6	332.9 7.8	580.7 7.6	903.4 7.0
5. Control : value : % of total	9.5 0.7	30.9 1.6	91.6 4.1	234.9 7.2	593.7 14.0	868.6 11.4	1829.4 14.1
6. 3 + 4 as % of 1	13.4	13.4	13.6	13.4	14.7	15.7	15.4
7. 2 + 5 as % of 1	2.5	3.5	6.6	9.9	16.6	14.0	16.89

TABLE 2. RE-AGGREGATION OF USA DATA

	1947	1954	1958	1963	1967	1972
1. Total Machinery production (M \$)	10019.7	14784.9	20339.2	26969.1	42677.1	53645.5
2. Hard Automation : value : % of total	58.3 0.6	114.8 0.8	120.0 0.6	458.1 1.7	940.9 2.2	1293.7 2.4
3. Mechanical Handling : value : as of Total	356.8 3.6	418.6 2.8	1176.0 5.8	1590.5 5.9	2519.9 5.9	3289.4 6.1
4. Continuous Flow : value : as % of total	659.5 6.6	1046.7 7.1	1414.7 6.9	1954.9 7.2	3132.3 7.3	3703.0 6.9
5. Control : value : as % of total	340.2 3.4	617.8 4.2	856.1 4.2	3751.1 13.9	6301.1 14.8	8708.3 16.2
6. 3 + 4 as % of 1	10.2	9.9	12.7	13.1	13.2	13.0
7. 2 + 5 as % of 1	4.0	5.0	4.8	15.6	18.0	18.6

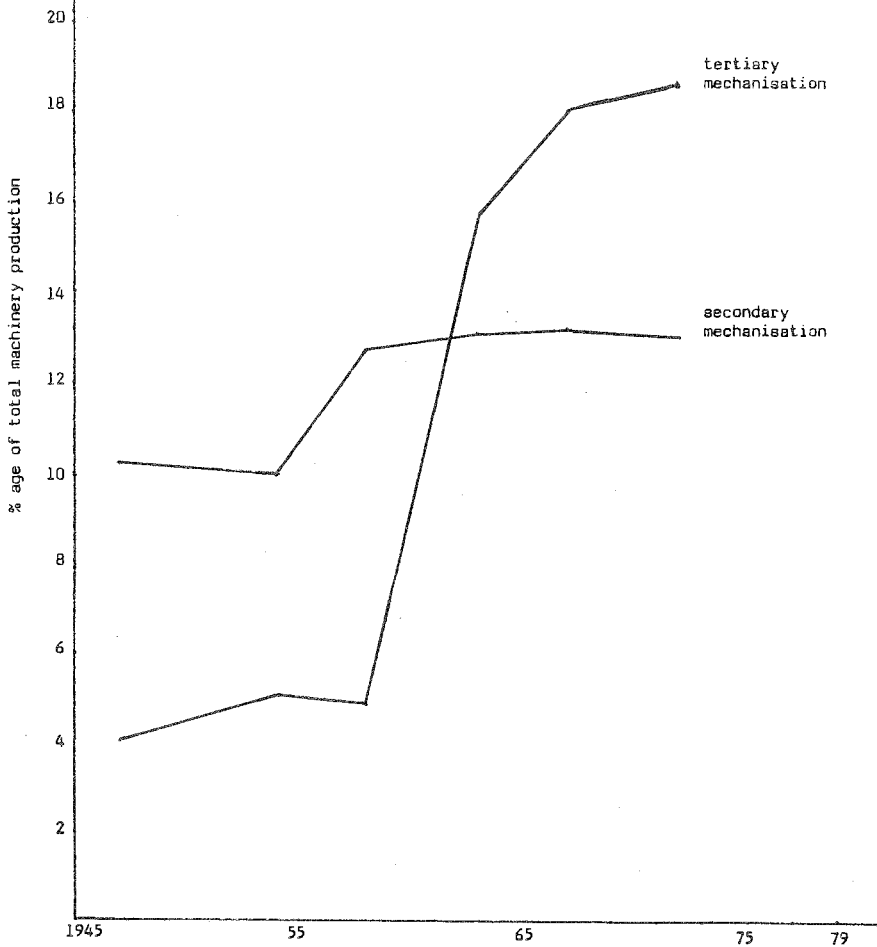
Graph 1

Diffusion of secondary and tertiary mechanisation technologies as a percentage of total machinery produced in the UK



Graph 2

The diffusion of secondary and tertiary mechanisation technologies as a percentage of total machinery produced in the USA.



(Anmerkungen der Übersetzer: Auf die Dokumentation der den Tabellen 1 und 2 zugrundeliegenden Datenreihen wurde verzichtet. Das Verständnis der aggregierten Daten von Tabelle 1 und 2 wird dadurch nicht beeinträchtigt.)

Einige der Angaben sind mit einer der folgenden Bezeichnungen versehen worden:

MH = Mechanical Handling Technologies (Mechanische Verarbeitungstechniken)

CF = Continuous Flow Technologies (Fließbandtechniken)

H = 'Hard' Automation (für die Massenproduktion bestimmte Techniken)

C = Control Technologies (Kontrolltechniken)

Die Einteilung in diese Kategorien beruht auf einer Reihe komplexer Einschätzungen auf der Grundlage von Literatur, die die Produktionstechniken aller Industrien, in denen sie möglicherweise Anwendung finden können, beschreiben, und sie erfolgte auf einer Ebene der Aufschlüsselung, die um mehrere Stufen detaillierter ist, als hier dargestellt. Die Berechtigung dieser Einschätzungen kann anhand von Coombs (1982), 5. Kapitel, überprüft werden. In den Grafiken (1 und 2) sind MH und CF verbunden, um die Kurve der sekundären Mechanisierung darstellen zu können, und C und H wurden zur Kurve für die tertiäre Mechanisierung zusammengefaßt.

Das Zahlenmaterial zeigt, daß in beiden Ländern Sekundärmechanisierungs-Techniken direkt nach dem Krieg bereits einen beachtlichen Anteil (10-15 %) der Investitionsgüterproduktion ausmachten und daß der Zuwachs während des wirtschaftlichen Aufschwungs in den Nachkriegsjahren nur mäßig war. Im Gegensatz dazu steigt die Kurve der tertiären Mechanisierung in kurzer Zeit von null auf einen Stand nahe dem der sekundären Mechanisierung. Zusammengefaßt weisen sekundäre und tertiäre Mechanisierung einen Anstieg auf 30 % und mehr der Investitionsgüterproduktion auf.

Diese Zahlen legen also eine ziemlich andere Diagnose der Nachkriegsautomation nahe, als Mandel (1975) sie anbietet. Er sieht Fließband, mechanischen Transfer und elektronische Kontrolle als eine komplette »technologische Revolution« in seiner Abfolge von langen Wellen an. Tatsächlich aber repräsentieren diese Techniken den Fortschritt zweier unterschiedlicher Formen der Mechanisierung während dieser Zeit. Bereits etablierte Transfertechniken wurden in einer größeren Zahl von Industrien und Prozessen eingeführt. Und gleichzeitig wurden in einer kleineren Zahl von Industrien und Produktionsprozessen Kontrolltechniken neu entwickelt und verbreitet.

Beide Verbreitungskurven zeigen in den 70er Jahren Stagnationstendenzen. Es lohnt außerdem, darauf hinzuweisen, daß der Anstieg der tertiären Mechanisierung in den USA früher erfolgte als in Großbritannien. Die Daten lassen eine Analyse nur für diesen begrenzten Zeitraum aus der historischen Periode zu, die in dem vorhergehenden Abschnitt behandelt wurde. Aber sie sind dennoch konsistent mit der These aufeinanderfolgender Phasen der Mechanisierung. Sie zeigen außerdem, daß die Umstrukturierung der Produktion im Investitionsgütersektor im Frühstadium eines neuen Regimes in sehr großem Maßstab vollzogen wird, wobei innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums ein großer Teil der Produktion zu den neuen Techniken umgelenkt wird. Sobald die Techniken einen »Gleichgewichts-Anteil« der Investitionsgüterproduktion erreicht haben, werden sie offenkundig auch weiterhin einen wichtigen Effekt auf die Produktivität jener Industrien haben, die sie anwenden.

4. Nachkriegs-Mechanisierung und lange Wellen

In diesem Abschnitt werden die Analyse und die Daten des dritten Abschnitts angewendet, um die Rolle der Mechanisierung in Theorien der langen Wellen zu untersuchen. Die Zahlen zeigen, daß während der Nachkriegskonjunktur eine erhebliche Verbreitung von Transfer- und Kontrolltechniken stattgefunden hat. Eine Version dieses Phänomens wird von Mandel (1975) beschrieben, ohne allerdings substantielle Daten zu benutzen, und stellt einen zentralen Teil seiner Darstellung des Nachkriegsaufschwungs der langen Welle dar. Auch Freeman et al. (1982) schreiben dem technischen Wandel eine zentrale Rolle zu, doch unterscheidet sich ihre Interpretation erheblich von der Mandels. Die beiden Autoren haben die ausführlichsten Darstellungen von langen Wellen geliefert, doch bleiben in beiden Theorien einige Probleme offen. In diesem Abschnitt werden beide Theorien vorgestellt. Ferner soll die oben entwickelte Auffassung von Automation benutzt werden, um beide Positionen zu erweitern und eine teilweise Synthese vorzuschlagen.

Freeman et al. (1982) beginnen ihre Beschreibung der langen Welle mit einer Ablehnung der Hypothese von Mensch (1975), daß sich in der Lange-Wellen-Depression radikale Innovationen häufen. Sie argumentieren, daß diese Häufungshypothese theoretisch inplausibel sei, da in Zeiten von Wirtschaftskrisen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten und Investitionen reduziert würden. Ferner werde Mensch's These von seinen eigenen Zahlen nicht gestützt. Im Gegensatz dazu ist ihre Auffassung von Innovationen und des unteren Wendepunktes der langen Welle weitgehend schumpeterianisch. Die Innovationen selbst halten sie für eine Zufallserscheinung, entscheidend sei das Anschwellen der Investitionen und die beschleunigte *Ausbreitung* von Innovationen. Sie meinen, der Aufschwung der langen Welle sei gekennzeichnet durch die Verbreitung einer Reihe technisch verwandter neuer Produkte mit den dazugehörigen neuen Firmen oder Tochterfirmen. Sie nennen das ein »neues Techniksystem«. Doch bleibt der Mechanismus des unteren Wendepunktes unerklärt.

Nach Freemans Meinung haben die neuen Wirtschaftssektoren die Fähigkeit, das makroökonomische System auf einen expansiven Wachstumspfad mit Vollbeschäftigung zu bringen, wobei sich Produktivitäts- und Nachfragewachstum gegenseitig fördern. Sekundäre »Booms« im Bereich langlebiger Konsumgüter heizen den einmal in Gang gekommenen Prozeß noch weiter an. Diese Rolle wird der ganzen Vielfalt von Sektoren im Bereich Elektronik und synthetische Materialien für die Zeit des Nachkriegsaufschwungs der langen Welle zugeordnet. Irgendwann werde der Schwung jedoch zwangsläufig nachlassen. Dafür sind eine Reihe von Faktoren verantwortlich. Das Wachstum des Marktes in neuen Sektoren stößt irgendwann an Grenzen. Monopolprofite fallen der Konkurrenz zum Opfer, Kapital- und Arbeitsmarktzwänge schaffen auf lange Sicht Inflation und institutionelle Reaktionen führen zu nachlassendem Wachstum.

Ohne ein zweites »neues Techniksystem« führt die Kombination von fallenden Wachstumsraten und zunehmender Inflation zu Stagflation und schließlich zu Rezession. Während dieses ganzen Prozesses werden laut Freeman et al. der zunehmende Kostendruck und die wachsende Breite der neuen Sektoren dem technischen Wandel die Tendenz geben, den Einsatz menschlicher Arbeitskraft zu reduzieren. Sie sehen die Mechanisierung deshalb als ein Phänomen, das durch die Rezession intensiviert wird, doch spezifizieren sie nicht, welche technische Gestalt sie annehmen könnte oder ob es eine Verbindung gibt zwischen Mechanisierung, Investitionsgüter-Innovationen und dem neuen Techniksystem im Lange-Welle-Mechanismus.

Es gibt zwei Verbindungen zwischen Freemans Arbeit und den Mechanisierungsphasen der Produktion, die in diesem Aufsatz vorgestellt werden. Erstens: Es gibt große Übereinstimmungen zwischen dem Charakter des oberen Wendepunkts in Freemans Modell und der Vorstellung eines Übergangs zu einer Periode, in der Konflikte im Arbeitsprozeß wegen sinkender Profitabilität weiterer Verbesserungsanstrengungen intensiver werden könnten. Zweitens: Die Frage des unteren Wendepunkts ist um einiges komplexer. Freemans Kritik an der These, daß Depressionen den technischen Wandel anstacheln, wird durch die Position abgeschwächt, die (ohne dies näher zu untersuchen) von einer sozio-politischen Dimension beim unteren Wendepunkt ausgeht. Unsere eigene Analyse deutet darauf hin, daß bei anhaltender Depression begonnen wird, die Bemühungen um technische Weiterentwicklungen auf die Erzielung radikalerer Änderungen in der Produktion und einen Übergang zu einem neuen Produktionsregime zu lenken. Das könnte eindeutig mehr sein, als nur ein technologisches Phänomen. Dies würde auch Veränderungen bei der Arbeitsteilung und folglich in der Stärke der Arbeiter und Gewerkschaften beinhalten. Diese Konfliktquelle würde vermischt mit allgemeineren Antagonismen, die durch die Auswirkung einer Wirtschaftskrise auf die Arbeitslosigkeit und das Lohnniveau entstehen. Das könnten die »sozio-politischen Faktoren« sein, die von Freeman et al. in ihrer Darstellung nicht herausgearbeitet werden.⁵ Es ist klar, daß in Krisenzeiten die Barrieren gegen radikale Veränderungen aller Art durch den Wunsch gesenkt werden können, den ökonomischen Stillstand auf einer sozialen und politischen Ebene zu überwinden. Dieses Szenario entspricht durchaus den Bedingungen, die nötig sind, um Experimente mit größeren Veränderungen in Produktionssystemen zu forcieren. Allerdings ist die Rolle des Zweiten Weltkrieges am unteren Wendepunkt der letzten langen Welle so eindeutig dominierend, daß Freeman et al. aus gutem Grund keine mechanistische oder rein ökonomische Struktur des Wendepunkts in die Diskussion einbringen. Der Einfluß der Wiederbewaffnung war Mitte der 30er Jahre wichtig. Angesichts eines so überwältigenden sozio-politischen und unberechenbaren Moments wie ein Weltkrieg bedürfte es schon eines tollkühnen Theoretikers, um auf dem Primat einer zugrundeliegenden ökonomischen Bewegung zur Erklärung von zwei Jahrzehnten der Entwicklung von Depression zum Wohlstand zu bestehen. Dennoch ist der Krieg natürlich mit den allgemeineren Umständen verknüpft, die Freeman als mögliche Komponenten eines »indirekten Stachels« (»indirect depression trigger effect«) der Krise für den technischen Wandel anführt. Es gab eine direkte, wenn auch komplexe Verbindung zwischen den politischen Trends, die bei Ausbruch des Krieges eine wichtige Rolle spielten, und den Klassenkonflikten, die aus den ökonomischen Verhältnissen der 20er und 30er Jahre resultierten. Daß diese Konflikte eine Komponente hatten, die um die Leitung der Produktion kreiste, scheint ebenfalls plausibel.

Das einer Interpretation zugrundeliegende Problem liegt hier in der Starrheit oder der Unsicherheit (»contingency«) des Lange-Wellen-Ansatzes. Das eine Extrem wird von der Ansicht gebildet, es gebe irgendeine natürliche Notwendigkeit für das Phänomen. Andererseits ist es aber auch möglich, ein Bild zu entwerfen, in dem die sozio-politischen Dimensionen der Depression jede ökonomische oder technische Beziehung so sehr überdecken, daß wir uns mitten auf dem Feld eher unsicherer historischer Analyse befinden. Und eben dies war der Konflikt, der von Beginn an im Mittelpunkt der Debatten über die Kondratieffschen Wellen stand. Die Auseinandersetzung zwischen Kondratieff und Trotsky, die später von Mandel (1975) und Day (1976) wieder aufgenommen wurde, drehte sich um diesen Punkt. Verlaufen die langen Wellen in *Zyklen* oder als sukzessive Perioden, die so stark unterschiedliche Cha-

rakteristika haben, daß man sie unmöglich als Zyklen begreifen kann? Die hier vertretene Auffassung bevorzugt den zweiten Ansatz.

Mandels Analyse unterscheidet sich ziemlich von der Freemans. Sie ist vom Ansatz her marxistisch, und ein grundlegender Teil des Theorieentwurfs besteht aus einem Reinvestitionszyklus, der demjenigen entspricht, den Marx für den kurzen Zyklus vorgeschlagen hat. Mandel meint jedoch, größere technologische Revolutionen in der Investitionsgüterindustrie wiederholten sich periodisch und sie könnten nicht in den Ablauf eines kurzen Zyklus eingepaßt werden. Deshalb, so argumentiert er, baue sich im Laufe einiger kurzer Zyklen ein »historischer Reservefonds« an Kapital auf, der schließlich einen der Antriebe für einen Aufschwung der langen Welle bilde. Hauptantrieb sei allerdings die Aussicht, daß die langfristigen Profitraten durch Veränderungen der sozio-politischen Bedingungen positiv beeinflusst würden. Deshalb ist auch bei Mandel der untere Wendepunkt der Welle historisch zufällig, doch bettet er ihn ausdrücklich in einen klassenpolitischen Analyserahmen ein. Seine Auffassung vom technischen Gehalt der drei Aufschwünge der langen Wellen stellt die dampfbetriebene Produktion von dampfbetriebenen Maschinen (1850/76), die Elektrifizierung und den Verbrennungsmotor (1896/1914) und schließlich die »Automation« in den Mittelpunkt.

Seltsamerweise aber nimmt er freudig Menschens Erklärung einer durch die Depression verursachten Häufung allerlei Typen von Innovationen auf, ungeachtet der harschen Kritik an Menschens Analyse durch Freeman et al. Trotzdem betont er, daß die Innovationen nicht den nächsten Aufschwung verursachen — sie hätten bestenfalls unterstützende Wirkung. Da Mensch und Mandel jedoch recht ungleiche Gruppen von Innovationen behandeln, scheint es nicht gerechtfertigt, daß Mandel sich zur Belegung seiner Auffassung auf Mensch stützt. Mandel erwähnt in seiner Analyse kurz Veränderungen im Arbeitsprozeß, die in der langen Welle auftreten könnten. Als Teil seiner Betonung der relativen Autonomie des Klassenkampfes und seiner Bedeutung für die Unwägbarkeiten bei der Überwindung der Krise, stellt er fest, daß die Depressionen Perioden des Klassenkonflikts über die »Methode der Organisation der Arbeit« sind.

»Was wir hier betonen wollen, sind nicht so sehr die Folgen als vielmehr die *Ursachen* der revolutionären Veränderungen im Arbeitsprozeß. Unserer Meinung nach beruhen sie auf Versuchen des Kapitals, wachsende Hindernisse gegenüber einem weiteren Ansteigen der Mehrwertate in der vorangegangenen Periode aus dem Weg zu räumen. Dadurch wird wiederum eine direkte Verbindung mit der rhythmischen langfristigen Bewegung der Kapitalakkumulation und dem wachsenden (oder fallenden) Anreiz nach *grundlegenden* Veränderungen in der Arbeitsorganisation hergestellt.« (Mandel, 1980, p. 43-44; deutsch: Mandel, 1983, S. 45)

Er führt weiterhin aus, der Taylorismus sei eine Reaktion auf die von den Facharbeitern über den Arbeitsprozeß ausgeübte Kontrolle gewesen, und er sieht in der »dritten technologischen Revolution« (Automation) eine Antwort auf die Fähigkeit von Arbeitern, eine gewisse Kontrolle über das Fließbandssystem zu gewinnen, das sich seit der Periode zwischen den Weltkriegen stark ausbreitete.

Im Licht des Zahlenmaterials und der Argumentation in den Abschnitten 2 und 3 wird deutlich, daß Mandel allzu leichtfertig angenommen hat, seine »technologischen Revolutionen« und seine knappen Urteile über die Geschichte des Arbeitsprozesses paßten so problemlos zusammen, wie von ihm ausgeführt. Während der Nachkriegsperiode bildeten die Techniken, die Mandel als »Automation« und Teil der »dritten technologischen Revolution« bezeichnet, keineswegs einen kohärenten Trend. Noch entspringen sie ausschließlich den Versuchen, die Kontrollmöglichkeiten der Arbeiter in taylorisierten, post-handwerklichen Prozessen zu un-

terminieren. In Wahrheit beinhaltet diese Häufung von »Automations«-Techniken zwei Komponenten. Eine Komponente ist die fortgeschrittene Verbreitungsphase der Sekundärmechanisierungs-Techniken des *Transfert*typs. Die andere Komponente ist die anfängliche schnelle Wachstumsphase der Verbreitung von Techniken der tertiären Mechanisierung, die der *Kontrolle* im engen technischen Sinn dienen. Dieses Überlappen zweier Arten von Verbreitungsprozessen ist der eigentliche Kern der Expansion der Investitionsgüterindustrie, der den Aufschwung charakterisiert.

Fassen wir zusammen, was zu den Theorien der langen Welle durch die Analyse von Mechanisierungsphasen beigetragen werden kann. Die hier entwickelte Auffassung fügt den Auffassungen von Mandel und Freeman et al. über die Möglichkeit eines »indirekten Auslösemechanismus« in der Krise eine neue Komponente hinzu. Die gegenwärtige Analyse geht davon aus, daß die Depression unter den Bedingungen rückläufiger Erträge und sich verändernder Opportunitätskosten einen Übergang von einem alten zu einem neuen Produktionssystem fördert. Allerdings nimmt sie nur eine Veränderung bei den relativen Anreizen und Kosten radikaler Innovationen im Produktionsprozeß an, statt von der *notwendigen* Aufeinanderfolge solcher Innovationen auszugehen. Es ist wichtig zu erkennen, daß die konkreten Lösungen der technischen Probleme, die in einer Depression besonders beleuchtet werden, nicht genau vorhersehbar sind und eher zufällig gefunden werden.⁶

In diesem Zusammenhang sollten einige grundlegende ökonomische Indikatoren des Investitionsgütersektors im Zeitraum vor und nach dem unteren Wendepunkt der langen Welle in die Betrachtung einbezogen werden. Zahlen über die Profitraten und die Wertschöpfung in der Investitionsgüterindustrie haben gezeigt, daß ein Aufschwung der Geschäftserwartungen in diesem Sektor durchaus ein führender Indikator (leading indicator) für den Aufschwung der langen Welle sein kann (Coombs, 1981).

Es muß hervorgehoben werden, daß die Verbreitung der neuen Techniken *und* einige der verwandten sekundären Innovationen im nachfolgenden Aufschwung konzentriert sind, obwohl die Bedingungen, die eine Veränderung der Produktionsmethoden stimulieren, in der Krise heranreifen. Die Zahlen im dritten Abschnitt illustrieren diesen Sachverhalt. Die Ausbreitung neuer Produktionsmethoden erfolgte während des Nachkriegsaufschwungs sehr schnell. Ferner zeigen sie, daß einige Innovationen, vor allem die der tertiären Mechanisierung, ihre Verbreitung in den späten 50er und 60er Jahren fast bei Null begannen, was darauf hindeutet, daß einige dieser Innovationen selbst erst in der Nachkriegszeit entwickelt worden waren.

Der Kern der Argumentation ist also, daß die politischen und institutionellen Veränderungen, die von vielen als der Schlüssel zur Erklärung des unteren Wendepunktes der langen Welle angesehen werden, ein Element der Veränderung beinhalten, das mit der Durchführung und Leitung der Produktion zusammenhängt. Dies umfaßt sowohl die technischen als auch die organisatorischen Aspekte der Produktion, doch werden die technischen Aspekte durch die relativ unabhängige Evolution der Produktionstechniken in Phasen der Mechanisierung strukturiert.

5. Schlußfolgerungen

Sowohl die Lange-Wellen-Theorien als auch die Arbeitsprozeßuntersuchungen haben stark die Rolle der Automation betont, jedoch weist die Bewertung der Automation in beiden Fäl-

len ernsthafte Mängel auf. Neben dem Fehlen problemadäquater Definitionen gab es vor allem Verwirrung, was die Anreize zur Innovation von Mechanisierungstechnologien und deren Diffusion anbelangt. Insbesondere herrschte eine Tendenz vor, Prozessinnovationen weitgehend als Reflexe der Dynamik neuer Industrien oder Produktzyklen einzustufen. Freemans Analyse enthält die Möglichkeit, daß der makroökonomische Einfluß eines inflationären Drucks vermittelt über den Arbeitsmarkt arbeitssparenden technischen Fortschritt induziert; aber diese theoretische Möglichkeit wird von ihm nicht für die ganze Welle, sondern nur für den oberen und unteren Wendepunkt untersucht. Mandel wiederum erklärt Prozessinnovationen zum wichtigen Träger einer langen Welle, aber gibt in seiner Theorie weder eine konsistente Begründung für eine Veränderung der *Nachfrage* nach Prozessinnovationen, noch gibt er eine klare Auskunft darüber, welchen Typs diese Innovationen überhaupt sind.

In diesem Aufsatz wurde das Interesse auf die Entwicklung des Produktionsprozesses und deren Einfluß auf die potentielle Nachfrage nach grundlegenden Prozessinnovationen gelegt. Dabei wurde ein Vorschlag zur Lösung der Probleme früherer Ansätze unterbreitet. Prozessinnovationen und deren Diffusionsperioden sind nicht alternativ *entweder* als sekundäre Aspekte einer Prosperitätsphase *oder* als historisch zufällige Wachstumskanäle der Investitionsgüterindustrie zu sehen. Tatsächlich sind dies zwei sich gegenseitig verstärkende Aspekte eines komplexeren Prozesses. Entwicklungen in der Produktionstechnologie erfolgten in einer Reihe von Phasen, die zum Teil durch technikimmanente Momente bestimmt waren, aber sich auch lose im Lange-Wellen-Mechanismus artikulierten. Diese Artikulation ist in der Wachstumsdynamik einzelner Sektoren ebenso gegenwärtig wie in den nationalen, regionalen oder anderen Arbeitsmärkten oder in den Management-Lohnarbeiter-Konflikten. Die hier vorgestellte Modifikation des Modells hat nicht die Absicht verfolgt, die theoretische Struktur der langen Wellen präziser zu fassen oder Elemente von »Zyklizität« oder natürlicher »Notwendigkeit« in der Theorie Langer Wellen zu verstärken. Eher benennt diese Interpretation einige weitere interaktive Faktoren, die den unteren Wendepunkt als historisch »offen« erscheinen lassen und die ihn damit von den besonderen historischen Umständen einer jeden Langer Welle und eines jeden Landes abhängig machen⁷.

Es wird deshalb hier vorgeschlagen, einem gewissen Teil der technischen Veränderungen der Produktionsprozesse einen *induzierten* Charakter zuzuschreiben, der eine Anstoßwirkung für einen Aufschwung in Gang setzt. Dies weicht von Freemans Sichtweise ab, der solche Schmoklerschen Nachfragewirkungen auf Innovationen auf die Aufschwungphase begrenzen will, und demgegenüber darauf beharrt, daß Innovationen während der Depression von Schumpeterschen Prozessen dominiert werden. Und unsere Sichtweise unterscheidet sich auch von der Mandels, der die Ursprünge der »technologischen Revolutionen« nicht problematisiert, und durch dieses Versäumnis in diesem Punkt schumpeterianisch argumentiert. Aus unterschiedlichen Gründen betonen beide Autoren das historisch zufällige Element (entweder im wissenschaftlich-technischen oder im politischen Bereich) am unteren Wendepunkt. Unsere Analyse steht dazu zwar nicht prinzipiell im Gegensatz, weicht aber im Grad der Betonung ab. Mögen Produktinnovationen durchaus schumpeterianischen Charakters sein, so sind demgegenüber Prozessinnovationen während depressiver Phasen langer Wellen *nicht* vollständig Zufallsereignisse, sondern Teil einer offensichtlichen Phasensequenz der Mechanisierung, von der die Kontrolle die jüngste Phase darstellt⁸. Das neue Nadelöhr der Produktionstechnologie, das in der gegenwärtigen Rezession erscheint, ist der Mangel an Flexibilität der gegenwärtigen Technologien zur Mechanisierung der Kontrolle. Dies schafft an-

gesichts von Märkten, die durch Produktdifferenzierung und das Experimentieren mit neuen Produkten gekennzeichnet sind, Schwierigkeiten. Ein großer Teil der Versuche mit flexiblen Produktionssystemen, Robotern und ähnlichen Technologien kann zusammen mit den verwandten Bemühungen, die Flexibilität der Arbeitskräfte selbst zu erhöhen, in diesem Licht gesehen werden.

Der gegenwärtige Mangel an Flexibilität wird in dem Maße problematischer, in dem »reife Industrien« sich bemühen, ihren Grad an Produktdifferenzierung zu erweitern und in dem der Schwerpunkt und das Ausmaß der Mechanisierung sich auf Industrien und Aktivitäten erstreckt, die bislang infolge ihrer ureigenen Variabilitäten schwierig zu mechanisieren waren (wie z.B. Kleinserienfertigung, Büroarbeit, Dienstleistungssektoren). Mit ihrer Betonung der Reprogrammierbarkeit bietet die Informationstechnologie das Potential für eine neue flexible Mechanisierung der Kontrollfunktionen in der Fertigung und Fertigungsplanung, die zu dramatischen Verbesserungen des Niveaus der Produktivität führen und kapitalintensive Technologien in Industrien einführen kann, die bislang für ihre langsamen technischen und organisatorischen Veränderungen berüchtigt waren. Zweifelsohne gibt es in den Feldern, in denen diese Technologien eingesetzt werden, einen beträchtlichen Spielraum für Veränderungen der Arbeitsprozesse und der Arbeitsteilung. Jedoch wäre es vorschnell, genau bestimmen zu wollen, wie diese Veränderungen tatsächlich aussehen werden. Lassen sich doch auf diesem Gebiet beträchtliche Unterschiede und auch Ungewißheiten über die Strategien des Managements feststellen, und fallen doch auch die Reaktionen der Arbeiter äußerst unterschiedlich aus.

Auch muß an den kapitalverbilligenden Charakter der Informationstechnologie erinnert werden. Soete und Dosi (1983) haben darauf verwiesen, daß einige Sektoren der elektronischen Industrie, die mit der Informationstechnologie verbunden sind, die einzigen industriellen Sektoren sind, die in jüngster Zeit beträchtliche Verbesserungen der Kapitalproduktivität aufweisen können. Aus der Sicht dieser Autoren ist dies das Ergebnis technischer Leistungsverbesserungen zusammen mit einer raschen Senkung der Stückkosten. Diese Reduzierung der Kosten resultiert aus Prozessen des »learning by doing« ebenso wie aus dem Wirken von »economies of scale« und der Ausweitung der Märkte. Dieser kapitalsparende und verbilligende Charakter der Informationstechnologie kann zu einem mächtigen Stimulus der langfristigen Profiterwartungen werden, die, wie wir gesehen haben, eine entscheidende Determinante der Bewegung hin zu einem neuen Langen-Wellen-Boom darstellt. Die Flexibilität der Informationstechnologie kann ein weiterer Grund für die Kapitalverbilligung sein, die von Soete und Dosi beschrieben wird. Ihre Anwendung auf bislang unterkapitalisierte Tätigkeiten könnte die Kapitalproduktivität weiter erhöhen.

Wir sehen also, daß die Saat einer neuen technologischen Infrastruktur zu keimen beginnt. Dadurch werden nicht nur, wie Freeman betont, die neuen Produktaktivitäten angeregt, sondern auch die Verschiebung des Schwerpunktes der Mechanisierung, die in diesem Aufsatz als dringende Notwendigkeit industriellen Wachstums herausgearbeitet wurde. Die technischen Bedingungen für einen Langen-Wellen-Aufschwung mögen nun nahezu geschaffen sein, aber sie sind nicht hinreichend. Die notwendigen und hinreichenden Bedingungen für einen Aufschwung sind technologischer *und* politischer sowie institutioneller Wandel (vgl. Perez 1983). Die letztgenannten Veränderungen erfolgen aber langsamer, und ihre Richtung ist heute keineswegs eindeutig.

Anmerkungen

- 1 Vgl. z.B. Noble (1977) über numerisch gesteuerte Maschinen. In einem anderen Papier (Coombs, 1984) habe ich den Arbeitsprozeß-Ansatz bei der Untersuchung des technischen Wandels ausführlicher behandelt und eine Möglichkeit aufgezeigt, wie der Widerspruch zwischen der Dequalifizierungs-Hypothese von Braverman und der feststellbaren Vielfalt der Veränderungen im Arbeitsprozeß überwunden werden kann.
- 2 Die Gründe, warum die Elektrizität dem Verbrennungsmotor so bald den Rang abließ, sind zu komplex, um hier ausgeführt zu werden.
- 3 Kontrolle wird hier im technischen Sinne, wie bei Bell verwendet. Der Begriff ist zwar verwandt mit dem Sinn, in dem die Arbeitsprozeß-Autoren den Begriff gebrauchen, doch nicht damit identisch. Diese Autoren verstehen unter Kontrolle auch die Kontrolle über die Arbeiter sowie über Handlungen. Es ist angemessen, von jetzt an diese Bedeutungen genauer zu unterscheiden. Kontrolle (man könnte das englische »control« auch mit Steuerung übersetzen — d.Ü.) bedeutet die Richtung eines Ablaufes, wie z.B. die Fortbewegung eines Werkstückes. Es kann sich dabei um einen Vorgang handeln, der ausschließlich zwischen zwei Maschinen stattfindet, aber auch menschliche Beteiligung einschließt. Die »Kontrolle« darüber, wie ein Arbeiter eine Aufgabe erfüllt und Entscheidungen trifft, kann besser mit dem Begriff »constraint« (Zwang oder Überwachung) beschrieben werden.
- 4 In Verbindung mit diesen Argumenten vgl. die Arbeiten von Dosi (1982) über »technologische Paradigmen« und von Nelson und Winter (1977) über »natural trajectories«. Es darf nicht unbeachtet bleiben, daß neue Mechanisierungsstrategien nicht die einzigen Reaktionsmöglichkeiten sind, die Managern offenstehen, die sich mit ausgereiften Produktionssystemen konfrontiert sehen. Es ist auch möglich, die Teilung der Arbeit, die Natur der Beschäftigungsverhältnisse, den Ort oder die Produktstruktur der Produktion und so weiter zu verändern. Diese Fragen werden bei Coombs (1984) detaillierter untersucht.
- 5 Für eine Analyse langer Wellen, die den sozialen und politischen Innovationen am unteren Wendepunkt mehr Bedeutung beimißt vgl. Gordon, Reich und Edwards (1982).
- 6 Es ist dennoch äußerst interessant, daß die mathematischen und analytischen Grundlagen der Kontrolltheorie, die von so fundamentaler Bedeutung waren für die spätere Entwicklung praktikabler elektronischer Steuerungsapparaturen, in den frühen 30er Jahren durch Nyquist und Hazen entscheidend vorangebracht wurden. Es gibt kaum Informationen (wenn überhaupt) über die Motivation, die hinter ihrer Arbeit über Regelkreise geschlossener Systeme (frequency response of the closed loop system) stand. Heutige Kontrolltheoretiker betrachten ihre Ergebnisse als entscheidend für den Übergang von der, wie sie es bezeichnen, »sequenzgesteuerter Mechanisierung« (sequence controlled mechanisation) zu »echter Automation« (genuine automation) (Healey, 1975, 1. Kapitel). Diese Unterscheidung entspricht der Terminologie von der sekundären Mechanisierung im Gegensatz zu Kontrolle oder tertiärer Mechanisierung, die in diesem Papier gebraucht wird.
- 7 Insbesondere sollte hier festgehalten werden, daß es aus der hier dargelegten Perspektive keine *notwendige* Verbindung zwischen dem technologischen Prinzip der Arbeitsprozeßinnovationen, wie sie in einer Welle vorhanden sind, und den technologischen Prinzipien gibt, wie sie in den Produktinnovationen vorhanden sind, die wichtige Wachstumszentren eines Aufschwungs verkörpern können. Jedoch ist die empirische Beobachtung interessant, daß es bis zu einem gewissen Grad eine Überlappung dieser Technologien gibt. Man denke beispielsweise nur an die doppelte Bedeutung der Elektronik als Produkt- und als Prozeßinnovation in der gegenwärtigen langen Welle. Dieser Punkt scheint das Beharren Freemans auf der Wichtigkeit *neuer technologischer Systeme* (im Gegensatz zu einzelnen Innovationen) bei der Hervorbringung eines Aufschwungs zu untermauern.
- 8 Es ist natürlich wichtig, die nationalen Unterschiede sowohl bei der Evolution von Produktionsprozessen als auch hinsichtlich des Verlaufs langer Wellen festzuhalten, die aus der ungleichen Industrialisierung der Welt und den Verschiebungen der ökonomischen und technologischen Führungsrolle zwischen den Ländern resultieren. Die Abweichung einzelner Länder gegenüber dem

Langen-Wellen-Muster ist ein zu komplexes Problem, um an dieser Stelle darauf eingehen zu können, und stellt die Argumente zur Erklärung der Nachkriegsentwicklung keineswegs infrage. Zum Problem der Veränderung der technologischen Vorherrschaft vgl. Freeman et al. (1982), Kapitel 9.

Literatur

- Aglietta, M. (1979): *A Theory of Capitalist Regulation*, NLB.
- Bell, M. (1972): *Changing Technology and Manpower Requirements in the Engineering Industry*, EITB in association with Sussex University Press.
- Braverman, H. (1974): *Labour and Monopoly Capital*, Monthly Review Press (deutsch: Die Arbeit im modernen Produktionsprozess, Frankfurt, 1977).
- Bright, J. (1956): *Automation and Management*, Harvard.
- Coombs, R. (1981): »Innovation, Automation and the Long-Wave Theory«, *Futures*, 13(5), pp 360-371.
- Coombs, R. (1982): *Automation and Long Wave Theories* Ph.D. Thesis, University of Manchester.
- Coombs, R. (1984): »Automation, Management Strategies and Labour-Process Change« in: D. Knights (ed.) *Job Re-design*, Heinemann 1984.
- Cooper, C.M. and Clark, J. (1982): *Employment, Economics and Technology*. Wheatsheaf.
- Freeman, C., Clarke, J. & Soete, L. (1982): *Unemployment and Technological Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development*. Frances Pinter.
- Gordon, E., Edwards, R. & Reich, M. (1982): *Segmented Work, Divided Workers*. C.U.P.
- Healey, M. (1975): *Principles of Automation Control*, English University Press.
- Jones, B. (1982): »Destruction or re-distribution of engineering skills? The case of numerical control« in: *The Degradation of Work* edited by S. Wood, Hutchinson, 1982.
- Jones, B. and Rose, M. (1983): *Managerial Strategy and Trade-Union Response in Plant Level Re-organisation of Work*, Paper to 1983 Aston-UMIST Conference on the Labour-Process.
- Kelly, J.E. (1982): *Scientific Management, Job Redesign and Work Performance*. Academic Press.
- Landes, D. (1969): *The Unbound Prometheus*. Cambridge University Press (deutsch: Der entfesselte Prometheus, Köln 1973).
- Littler, C. (1982): *The Development of the Labour-Process in Capitalist Societies*. Heinemann Educational Books.
- Mandel, E. (1975): *Late Capitalism*, NLB (deutsch: Der Spätkapitalismus, Frankfurt 1972).
- Mandel, E. (1980): *Long Waves in the History of Capitalist Development*, Cambridge University Press (deutsch: Die Langen Wellen im Kapitalismus, Frankfurt 1983; gekürzte Ausgabe).
- Mensch, G. (1979): *The Technological Stalemate*, Ballinger (deutsch: Das technologische Patt, Frankfurt 1975).
- Nelson, R. & Winter, S. (1977): »In search of a useful theory of innovation«, *Research Policy*, 6, pp 35-76.
- Noble, D. (1977): *America by Design*, Knopf, New York.
- Pasinetti, L. (1982): *Structural Change and Economic Growth*, C.U.P.
- Perez, C. (1983): Structural changes and the assimilation of new technologies in the economic and social systems. *Futures*, October 1983.
- Rosenberg, N. (1976): *Perspective on Technology*, Cambridge University Press.
- Rosenberg, N. (1982): *Inside the Black Box*, Cambridge University Press.
- Soete, L. und Dosi, G. (1983): *Technology and Employment in the Electronics Industry*, Frances Pinter Publishers 1983.
- Wood, S. (ed., 1982): *The Degradation of Work*, Hutchinson.