



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

Michalek, J.: Methoden zur Messung des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft. In: Buchholz, H.E., Neander, E., Schrader, H.: Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft – Tendenzen, Auswirkungen, Beeinflussung. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 26, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (1990), S. 119-134.

METHODEN DER MESSUNG DES TECHNISCHEN FORTSCHRITTS IN DER LANDWIRTSCHAFT

von

J. MICHALEK, Amsterdam

Einleitung

Eine der gebräuchlichsten Definitionen des technischen Fortschritts (T.F.) beschreibt ihn als eine bestimmte Art von Wissen, die es möglich macht, aus einer gegebenen Menge von Ressourcen mehr oder qualitativ höherwertigen Output zu erzeugen.

Diese Definition des technischen Fortschritts wurde Gegenstand vehementer Kritik. BLAUG (1963) kommentierte: "Bisher ist es niemandem gelungen, den Stand technischen Wissens zu messen. Die neoklassische Vorstellung eines gegebenen Wissensstandes ist zugegebenermaßen abstrakt. Aber das Konzept einer gegebenen Änderungsrate des Wissens ist fast metaphysisch". Dennoch haben Ökonomen in den vergangenen 30 Jahren versucht, quantitative Maße für den Beitrag des technischen Fortschritts zum landwirtschaftlichen Wachstum zu entwickeln. Dabei traten sowohl methodologische als auch konzeptionelle Schwierigkeiten auf. Es ist nicht nur schwierig, den Beitrag des technischen Fortschritts von anderen Faktoren, wie z.B. economies of scale, Kapitalbildung, Ausbildung, Ressourcenallokation und Marktverbesserungen, zu trennen, sondern es gibt darüber hinaus bis jetzt keinen befriedigenden Weg, Qualitätsverbesserungen des landwirtschaftlichen Inputs, Input-Innovationen und Qualitätsveränderungen des Outputs in die Messung des landwirtschaftlichen Produktivitätszuwachses einzubeziehen. Derartige Veränderungen könnten die geschätzten Auswirkungen des technischen Fortschritts signifikant beeinflussen (vgl. GRILICHES, 1960; GRILICHES und JORGENSON, 1967).

Eine wichtige Frage bei der Messung des T.F. ist jedoch, ob dabei vollkommene Information, unbeschränkt rationales und optimierendes Verhalten sowie Marktgleichgewicht unterstellt werden können, oder ob diese Annahmen zugunsten anderer Hypothesen aufgegeben werden sollten (vgl. NELSON, WINTER, 1982).

1 Konzepte zur Messung des Technischen Fortschritts

Ausgehend vom Prinzip, daß jedes beobachtbare Phänomen auf zwei Wegen gemessen werden kann, nämlich direkt und indirekt, kann man vier Hauptkonzepte unterscheiden, anhand derer der T.F. in der Landwirtschaft analysiert werden kann.

Das erste Konzept erlaubt es, aufgrund der Kenntnis bestimmter technischer Beziehungen, technischer Informationen, physikalischer oder biologischer Naturgesetze etc., ein gegebenes Phänomen direkt auf rein deterministische Weise zu messen. Bei diesem Ansatz können alle Veränderungen eines gegebenen Phänomens durch Änderungen des bekannten Inputs vollständig erklärt werden. Daher läßt er keinen Platz für Residuen

oder unerklärten technischen Fortschritt, der als "Manna von Himmel" bzw. reine Metaphysik erscheinen würde. Es kann also beispielsweise jeder Zuwachs des Getreideertrages durch Veränderungen der Wasser- und Düngergaben oder anderer produktionstechnischer Bedingungen erklärt werden. In der Praxis besteht bei der Aufnahme des technischen Fortschritts in ökonomische Modelle immer noch die Tendenz, dessen obere Grenze entsprechend aktueller technischer Informationen festzulegen. Dementsprechend wird der T.F. vollkommen durch den Wissensstand und den Grad unentdeckter Möglichkeiten, von denen allerdings die obere Grenze bekannt ist determiniert (vgl. WIBE, 1985,a). Dieser Ansatz, der dem Konzept der unveränderlichen Frontierfunktionen entspricht, kann jedoch auf lange Sicht für die Messung technischen Fortschritts als ungeeignet angesehen werden. Darüber hinaus ist die ökonomische Bewertung, d.h. die Quantifizierung so gemessenen technischen Fortschritts auf Sektorniveau, kaum möglich, da das Ausmaß und die Rate der Kostenreduktion auf Branchenniveau, die durch die Annäherung an die blue print Frontierfunktion, normalerweise unbekannt ist (dies hängt vom Niveau der Diffusion neuer Techniken in der Landwirtschaft ab).

Das zweite Konzept geht von der Möglichkeit der indirekten Bewertung eines Phänomens mit Hilfe von Hilfsvariablen (proxy) aus. Hierfür kann der technische Fortschritt als eine Anzahl relevanter Ereignisse verstanden werden, die Maße technologischer und wissenschaftlicher Aktivitäten darstellen, wie z.B. die Anzahl der in bestimmten Agrarforschungsgebieten veröffentlichten Artikel, die Zahl der in der Landwirtschaft patentierten Erfindungen, die Höhe der F&E-Agrarausgaben etc.

Die Anwendung dieser Methode für die Messung des T.F. in der Landwirtschaft ist jedoch fragwürdig: Einerseits repräsentiert der Innovationsindex eines Sektors lediglich die Anfangsstufe einer Technologie und nicht deren langfristige Entwicklung. Andererseits werden patentierte Erfindungen nicht immer kommerziell genutzt (vgl. KAMIEN, SCHWARTZ, 1982). Des weiteren fehlt die ökonomische Bewertung der Innovationen (dies resultiert auch aus der Unmöglichkeit, bei dieser Methode bedeutende von unbedeutenden Erfindungen zu unterscheiden).

Das dritte Konzept basiert auf der Tatsache, daß ein Phänomen durch eine Theorie beschrieben werden kann, die sich jedoch nicht notwendigerweise auf einen konsistenten Satz von Theoremen beziehen muß. Ein Beispiel dieses Ansatzes gibt das Systemkonzept der Technologie (vgl. SAHAL, 1981). Der zugrunde liegende Gedanke beruht auf der Annahme, daß eine Technologie am besten in Form ihrer Erscheinungsmerkmale faßbar ist ("The technology is as it does"). Ein Beispiel sei die Messung des T.F. anhand ausgewählter ökonomischer und technischer Indikatoren (z.B. Produktinnovationen, partielle Produktivitäten, neue Marktstrukturen etc.) oder die Messung innovativer Tätigkeiten, die nicht notwendigerweise an Optimierungsregeln gebunden sind wie z.B. spieltheoretische Modelle von Innovationen (vgl. DASGUPTA, 1988).

Die praktische Messung des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft mittels dieser Methode ist dennoch sehr schwer. Zum einen fehlen Zeitreihendaten über eine Veränderung der funktionalen Charakteristika der Technologie. Da sich der T.F. in der Landwirtschaft in verschiedenen Dimensionen vollzieht, stellt sich zum zweiten die wichtige Frage, wie die unterschiedlichen funktionalen Eigenschaften eines Systems angemessen

gewichtet und in einem zusammengesetzten Index kombiniert werden können (vgl. GRILICHES, 1971; SAHAL, 1981).

Das vierte Konzept basiert auf einer Reihe konsistenter Theoreme (primale und duale), die ein gegebenes Phänomen innerhalb eines vorab definierten Rahmens einer begrenzten Technologie charakterisieren. Das Produktionsfunktionskonzept ist nur eine der begrenzten Definitionen von Technologie in diesem Rahmen. Eine genauere formale Beschreibung der Technologie bei diesem Konzept wird in Anhang gegeben. Ein Technologiekonzept, das in eine konzeptionell einheitliche Reihe von Theoremen (primale und duale) eingeschlossen ist, erlaubt es, die wichtigsten Charakteristika einer gegebenen Produktionstechnologie (T.F., Substitutionselastizitäten, economies of scale) in einer angemessenen Form zu formulieren, und zwar durch ihre Parametrisierung.

In diesem Rahmen kann der T.F. als eine Verbesserung der Effizienz bei der Transformation der Funktionsvariablen unter gegebener Zielsetzung verstanden werden. Unter eingeschränkter Sichtweise kann dies mit der Verschiebung einer gegebenen Produktionsfunktion nach oben identisch sein. Die auf dem Produktionsfunktionskonzept basierende Messung des T.F. reicht bis zu den Arbeiten von SCHUMPETER (1934), ABRAMOVITZ (1956), SOLOW (1957), DENISON (1962), GRILICHES (1971) sowie HAYAMI und RUTTAN (1985). ABRAMOVITZ und SOLOW erkannten und quantifizierten die bedeutende Rolle des T.F. für das wirtschaftliche Wachstum. Die Originalität und Plausibilität ihrer Ergebnisse regte zu weiteren Studien an, die sich hauptsächlich auf mögliche Auswirkungen des T.F. auf das Produktionswachstum konzentrierten. Die Ergebnisse dieser Nachforschungen waren jedoch kontrovers. DENISON (1967), JORGENSEN und GRILICHES (1967) kritisierten SOLOW's Modell mit der Argumentation, daß das, was als T.F. bezeichnet werde, evtl. kein T.F. sein könne. Stattdessen könne es z.B. das Resultat der Substitution von Arbeit durch Kapital, von economies of scale, des Lernens durch Erfahrung, verbesserter Ausbildung, besserer Allokation der Ressourcen, organisatorischer Verbesserungen oder von Fehlern bei der Messung der Variablen sein.

Obwohl das Produktionsfunktionskonzept mehrfach von Ökonomen, die die neoklassische Sicht ablehnen und dessen Defizite herausstellen, kritisiert wurde (vgl. NELSON, WINTER, 1982), sprechen einige konzeptionelle Argumente dafür, diese Methode insbesondere in ihrer dualen Form als bestgeeignetste für die Messung des T.F. in der Landwirtschaft anzusehen.

2 Vorzüge des neoklassischen Konzepts zur Messung des T.F.

Nach (der Tradition von) SCHUMPETER kann man unter T.F. folgendes verstehen: a) Prozessinnovationen, b) Produktinnovationen.

Einige Innovationen treten abhängig vom Nachfragedruck und den technischen Möglichkeiten kontinuierlich auf ("incremental innovations"). Sie können auch aus Initiativen und Vorschlägen der Landwirte resultieren (learnig by doing, learning by using) (ROSENBERG, 1976). Daneben gibt es radikale Innovationen; dabei handelt es sich um

diskontinuierliche Ereignisse, die in letzter Zeit zumeist Ergebnis gezielter Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten waren. Kombinationen von kontinuierlichen, radikalen, organisatorischen und Managementinnovationen können Veränderungen des Technologiesystems verursachen (die letztendlich zu technischen Revolutionen führen können) (vgl. FREEMAN, PEREZ, 1988). Betrachtet man die Gesamteffekte des T.F. in der Landwirtschaft, so ist die Messung des T.F. auf der Basis ausgewählter Innovationen kaum möglich: Einerseits liegen meist nur aggregierte Daten vor und so ist der Großteil der kontinuierlichen Innovationen nicht direkt meßbar. Andererseits sind a) die Gesamtkosten der Leistungen meist unbekannt und b) wird ihre Aufnahme in den Produktionsprozeß meist mit dem "normalen" Einsatz der anderen unveränderten Faktoren kombiniert.

Damit der T.F. ökonomische Bedeutung erlangt, ist es notwendig, nicht nur die Anzahl der Innovationen oder der von einer bestimmten Innovation besetzten Zellen der Input-Output-Tabellen zu analysieren, sondern auch zu untersuchen, um wieviel diese Innovation die Kosten gegenüber der substituierten Technologie senkt (vgl. ROSENBERG, 1982). Eine Bestätigung der Ansicht, die aus einer Innovation resultierende Kostensenkung könne als grundlegender Maßstab für den T.F. in der Landwirtschaft angesehen werden, ist die bekannte Tatsache, daß, solange Kostenüberlegungen irrelevant sind, eine Reihe technisch durchführbarer Alternativen zur Verbesserung bestimmter technologischer Eigenschaften denkbar ist. Wie sich jedoch schon häufiger erwiesen hat, ist die technische Durchführbarkeit für das wirtschaftliche Wachstum eine notwendige Bedingung, nicht aber eine hinreichende für die Schaffung sozialen Nutzens (vgl. ROSENBERG, 1976).

Trotz dieser Anforderungen hat es Bemühungen gegeben, den T.F. in der Landwirtschaft mit dem Konzept der einzelnen Innovationen zu identifizieren. Eine der gebräuchlichsten Methoden war die Berechnung der gesamten Konsumentenrente, die aus der Einführung einer ausgewählten radikalen Innovation in die Landwirtschaft resultiert haben könnte. Als Beispiel für diese Methode sei die bekannte Studie von GRILICHES (1958) genannt, der den sozialen Nutzen der Ertragssteigerung nach der Einführung von Hybridmais in die Landwirtschaft schätzte, sowie die Studie von PINSTRUP-ANDERSEN (1982), der einige Untersuchungen analysierte, die zur Bestimmung des wirtschaftlichen Nutzens ausgewählter landwirtschaftlicher Forschungsprogramme (z.B. verbesserte Reis- und Weizensorten) in Entwicklungsländern durchgeführt wurden. Die beiden Analysen zugrunde liegende Annahme, beim Fehlen jeglicher anderer Information wirkte der T.F. in der Landwirtschaft in etwa wie eine prozentuale Ertragszunahme, muß jedoch als sehr vereinfachend gesehen werden.

Gleichzeitig mit diesen Entwicklungen gab es allgemein die Tendenz, den T.F. in der Landwirtschaft im Sinne eines Anstiegs der partiellen Produktivitäten einzelner Produktionsfaktoren zu definieren und ihn quantitativ in Form des Anstiegs der Arbeitsproduktivität, des Getreideertrages oder tierischer Leistungen zu messen. Bei dieser Methode, die nur scheinbar auf dem Produktionsfunktionskonzept beruht, kann jedoch nicht zwischen dem Anstieg des Output, der aus einer Bewegung auf einer gegebenen Produktionsfunktion resultiert, und dem Output, der durch deren Verschiebung entsteht, unterschieden werden (in der Produktionstheorie wird nur letzteres als T.F. angesehen).

Abgesehen von den methodologischen Inkonsequenzen, die sich aus dem Einsatz der ausgewählten partiellen Produktivitätsindizes als Maßstab für den T.F. ergeben, sind alle weiteren Schwächen dieser Methode dem Problem von Indexzahlen zuzurechnen.

3 Methoden der Schätzung des T.F. in der Landwirtschaft, die auf dem Produktionsfunktionskonzept beruhen

Die Schätzung des technischen Fortschritts anhand des Produktionsfunktionskonzeptes (oder seiner dualen Form) hat einige wichtige Vorteile:

- 1.) Das Ausmaß und die Rate des T.F., ausgedrückt durch die Senkung der Einzelkosten, kann eindeutig gemessen werden.
- 2.) Zwei wichtige Ursachen des Produktivitätsanstiegs, die economies of scale und der T.F., können analytisch voneinander getrennt werden.

Dies kann für die Agrarpolitik von besonderer Bedeutung sein, weil unter heutigen Bedingungen durch economies of scale bestimmte Antriebskräfte des Produktivitätswachstums in der Landwirtschaft zu zahlreichen ungewünschten Effekten führen können, wie z.B. zu einer weiteren Expansion der landwirtschaftlichen Erzeugungsmenge und zur Erhöhung der Produktion pro Hektar (Überlastung der Umwelt).

Auf der anderen Seite kann das Problem des niedrigen Einkommensniveaus in der landwirtschaftlichen Bevölkerung durch die Unterstützung solchen T.F. abgemildert werden, der kein Wachstum der landwirtschaftlichen Produktion zur Folge hat.

3.) Entscheidende Medien und Quellen des T.F. können analysiert werden. Wäre der T.F. durch Veränderungen der relativen Inputpreise oder die Erhöhung des Outputs verursacht (learning by doing), könnte er direkt durch die Schätzung der Kostenfunktion untersucht werden. Andere exogene Bestimmungsgründe des T.F. wie z.B. die Änderung des Verhältnisses des eingekauften Inputs zum Outputpreis, die Veränderung der landwirtschaftlichen zur nicht-landwirtschaftlichen Einkommensparität, die Veränderung der monetären Ausgaben in F&E für Landwirtschaft etc. können indirekt durch eine Regressionsanalyse analysiert werden (vgl. MICHALEK, 1988).

4.) Das Ausmaß, mit dem der T.F. die Faktornachfrage beeinflusst, kann untersucht werden.

5.) Die Methode gewährleistet, daß die geschätzten Faktorsubstitutionselastizitäten im Fall, daß eine Technologie nicht-neutralen T.F. und nicht konstante economies of scale aufweist, ökonometrisch nicht verzerrt werden.

Trotz der Brauchbarkeit und theoretischen Plausibilität der Messung des T.F. auf der Basis von Kostensenkungen, die aus der Einführung einer Gesamtheit von Innovationen in die Landwirtschaft stammen, gibt es bei der Schätzung der Verschiebung der Produk-

tionsfunktion und beim analytischen Unterscheiden des T.F. von anderen parametrisierten Charakteristika der Technologie bedeutende Schwierigkeiten.

Bei der Betrachtung der Messung des T.F. mittels des Produktionsfunktionskonzepts sollten einige methodologische Anforderungen berücksichtigt werden. Unabdingbar ist, daß der T.F. eine Verringerung der durchschnittlichen Produktionskosten bei konstantem Output und gegebenen Inputpreisen bewirkt. Außerdem sollte der T.F.

- a) die Substitutionselektivität zweier Inputs bei konstantem Output und gegebenem Inputpreisniveau beeinflussen,
- b) das Ausmaß und die Rate der economies of scale verändern,
- c) die Verzerrung des Output-Mix (bias in output-mix) verursachen und
- d) einzeln als exogene Variable unabhängig vom Output und Preisniveau erscheinen.

Es sind jedoch nur wenige empirische Studien, insbesondere mit Anwendung auf die Landwirtschaft, bekannt, die mittels der o.g. Kriterien die Auswirkung des T.F. auf Veränderungen der Produktionstechnologie überprüft haben. In den zahlreichen Studien, die sich mit der Messung des T.F. beschäftigen, sind meist nur einige dieser Kriterien ausgewählt, während die übrigen einfach ignoriert werden.

Die verschiedenen Techniken für die Messung des T.F. in der Landwirtschaft, basierend auf dem Produktionsfunktionskonzept, können folgendermaßen gegliedert werden (vgl. DIEWERT, 1981):

1. Ökonometrische Schätzung der Kosten-, Produktions-, Gewinn- oder Preisfunktion (vgl. JORGENSON, 1986)
2. Divisia-Indizes
3. Genaue Indexzahlen
4. Nicht-parametrische Methoden (LP)

4 Ökonometrische Schätzung der Produktions- oder Kostenfunktion

Die gebräuchlichste Methode der Messung des T.F. basiert auf der Schätzung der Produktions- oder Kostenfunktion.

Es werden drei Hauptannahmen unterschieden, die sich bei der Anwendung der ökonometrischen Schätzung der Produktions- oder Kostenfunktion entscheidend auf das geschätzte Ausmaß des T.F. auswirken:

1. Die erste Reihe von Annahmen betrachtet eine allgemeine Spezifizierung der Technologie, die im einzelnen Nicht-Homothetizität, variable Substitutionselektivitäten und nicht-neutralen T.F. zuläßt.

2. Die zweite Gruppe von Annahmen betrifft Hypothesen, die die funktionale Beziehung zwischen dem T.F. und anderen Technologiecharakteristika berücksichtigen.

3. Die dritte Annahmengruppe unterstellt eine bestimmte Form der Produktions-, Kosten-, Gewinn- oder Preisfunktion.

Es existieren drei grundlegende Parameter zur Beschreibung einer gegebenen Produktionstechnologie. Dies sind der T.F., die Substitutionselastizitäten und die economies of scale. Technischer Fortschritt wird als Verschiebung einer gegebenen Produktionsfunktion nach oben (oder beim dualen Ansatz als Senkung der Einzelproduktionskosten bei konstantem Output und gegebenem Inputpreisniveau) verstanden. Eine derartige Interpretation bedeutet, daß der primäre Effekt des T.F. in Veränderungen der Faktorproduktivitäten, die nicht aus economies of scale entstehen, gesehen wird. Da proportionale Zuwächse solcher Faktorproduktivitäten nicht bei allen Produktionsfaktoren gleich sein müssen, können verschiedene Konzepte von Neutralität und Verzerrung des T.F. eingeführt werden. Da eine Verschiebung der Isoquanten jedoch sowohl aus economies of scale als auch aus T.F. resultieren kann, war bereits die Unterscheidung zwischen diesen beiden Ursachen ein erstes bedeutendes praktisches Problem. Ein weiteres Problem betraf die empirische Schwierigkeit bei der Messung der Verzerrungen des T.F., die der Tatsache entspringt, daß die Faktorpreise sich mit der Zeit verändern, d.h. sogar bei konstanten economies of scale sind die beobachteten Veränderungen des Faktorverhältnisses auf zwei Ursachen zurückzuführen:

- a) auf die Faktorsubstitution bei gegebener Produktionsfunktion
- b) auf verzerrten T.F.

Das erste Problem, bekannt als Solow-Stigler-Kontroverse, kann durch Anwendung der Lie-Gruppen-Theorie und des Holothetizitätskonzeptes umgangen werden (vgl. SATO, 1983). SATO argumentiert, daß es nur in speziellen Fällen (z.B. bei homothetischen Funktionen) unmöglich ist, zwischen Skaleneffekten und technischem Fortschritt zu unterscheiden. Im allgemeinen ist dies jedoch möglich, auch wenn die traditionelle (primale) Methode verwendet wird.

Eine andere Möglichkeit zur Lösung dieses Problems ist die simultane Schätzung des T.F., des Skaleneffektes und der nicht konstanten Substitutionselastizitäten durch die Verwendung einer flexiblen Form von Kostenfunktion, die eine nicht-homothetische Technologie unterstellt.

Das zweite Problem betrifft die Unmöglichkeit, den verzerrten T.F. ohne a priori Kenntnis der Substitutionselastizitäten zu schätzen. Dies ist als Diamond-McFadden Unmöglichkeitstheorem bekannt. Es besagt, daß Schätzungen der Elastizitäten unter Unterstellung von Hicks-Neutralität die geschätzten Parameter verzerren, wenn der T.F. nicht Hicks-neutral ist. Somit kann man keine Substitutionselastizitäten, die von Hicks-neutralen Rahmen abgeleitet wurden, zur korrekten Berechnung des verzerrten T.F. verwenden.

Eine geeignete Methode zur Lösung dieses Problems wurde z.B. von WOODWARD (1983) entwickelt. Er schlug ein auf einer Schätzung der Kostenfunktion basierendes zweistufiges Verfahren vor. Dies bedeutet eine Umkehrung des Verfahrens von SATO (1970). Eine andere Möglichkeit, beide Probleme simultan zu lösen, ist, eine allgemeine flexible Form der Kostenfunktion zu schätzen, die Nicht-Homothetizität, variable Substitutionselastizitäten und nicht-neutralen T.F. unterstellt.

5 Schätzung des T.F. innerhalb unbeschränkter Technologie

Sowohl neue Entwicklungen bei der Konstruktion flexibler Formen als auch die Vorteile der dualen Theorie machten es möglich, die restriktiven a priori Annahmen einzuschränken, die vorher als "Zwangsjacke" bei der ökonomischen Analyse des T.F. angesehen wurden. Deren Anwendung für die Sektorenanalyse wurde jedoch zum Gegenstand der Kritik vom methodologischen und auch empirischen Standpunkt. Einer der Hauptkritikpunkte hinsichtlich der Anwendung funktionaler Formen mit unbegrenzter Technologie zielt auf das Verhalten des T.F. und speziell

1. auf die Beziehung zwischen T.F. und den Substitutionselastizitäten
2. auf die Beziehung zwischen T.F. und den nicht-konstanten Skalenerträgen
3. auf eine funktionale Form des T.F. und seinen Einfluß auf die Eigenschaften der geschätzten Funktion.

Zu 1.: Einer der Hauptkritikpunkte, der sich auf die Möglichkeit einer Unterscheidung des T.F. von Veränderungen der Faktorsubstitutionselastizitäten bezieht, entstammt der Sichtweise der technischen Wissenschaften (vgl. WIBE, 1980).

Vom technischen Standpunkt aus gesehen ist die ökonomische Unterscheidung zwischen Substitution und T.F. nicht akzeptabel, da T.F. in erster Linie (durch technische Entdeckungen) die Zahl der möglichen Inputverhältnisse entlang der "gegebenen" Isoquante erhöht. Aus dieser Sicht kann eine Substitution nur stattfinden, wenn ein Unternehmen, ein Sektor oder die Wirtschaft insgesamt eine bereits bekannte Technologie wählt, so daß keine technischen Entdeckungen, sondern nur eine Preiskalkulation stattfindet.

Zu 2.: Der zweite Kritikpunkt betrifft die Zulassung nicht-konstanter Skalenerträge und die Möglichkeit der Beeinflussung der economies of scale durch den T.F. (skalenerhöhender T.F.). Eine nicht-homothetische Produktionsfunktion und skalenerhöhender T.F. auf Sektorniveau als geeignete Darstellung der realen Technologie wurde in zahlreichen Studien bestätigt (vgl. z.B. BERNDT/KHALED; 1979; GREEN, 1983; ANTLE, 1984; LOPEZ, 1982). Diese Ergebnisse werden jedoch von solchen Ökonomen kritisiert, die darauf hinweisen, daß die Zulassung einer Makro-Produktionsfunktion mit variablen Skalenerträgen Probleme theoretischer Konsistenz sowie Interpretationsschwierigkeiten mit sich bringen (vgl. WIBE, 1985b). Ein weiterer Kritikpunkt der nicht-homothetischen Funktionen ist, daß die Annahmen der Nicht-Homothetizität die Messung des T.F. und

seiner Verzerrung stört. Die Kritiker weisen darauf hin, daß allgemein eine starke positive Korrelation zwischen Output und Zeit besteht, weil der Output in den meisten Sektoren im Laufe der Zeit ansteigt. Weil die Zeit üblicherweise als proxy für den T.F. verwendet wird, existiert immer eine Korrelation zwischen Outputwachstum und T.F. Bei Vorliegen dieser Korrelation bestände das Risiko, daß Effizienzsteigerungen durch den T.F. als den Skalenvorteilen zuzuschreibende Gewinne interpretiert würden. Dieses Argument erfährt durch die empirische Forschung jedoch keine ausreichende Bestätigung. Des weiteren erlauben verbesserte Methoden der Schätzung des T.F., das Multi-kollinearitätsproblem zu umgehen und beide Effekte zu trennen (vgl. GREEN, 1983; BROWN und BEATTIE, 1975).

Zu 3.: Die dritte Problemgruppe betrifft das Wesen des T.F. und seinen Einfluß auf die Anwendbarkeit flexibler Formen. Die Beschreibung einer Technologie anhand sehr flexibler Funktionsformen impliziert, daß der T.F. als unsystematischer Faktor angesehen werden kann, der die Substitutionselastizität und die economies of scale beeinflusst (vgl. STEVENSON, 1980; GREEN, 1983). Die Zulassung nicht-neutralen T.F. im Rahmen der funktional flexiblen Deskription der Technologie kann jedoch zusätzliche Konkavitätsprobleme verursachen (vgl. MORONEY und TRAPANI, 1981; BERNDT und WOOD, 1985).

Die globale Konkavität kann natürlich auf verschiedene Art und Weise in die Kostenfunktion gezwungen werden. Bei solchem Vorgehen muß man sich jedoch des trade-offs, der zwischen der Erzwingung der Konkavität auf der einen Seite und der Erhaltung der Flexibilität der verwendeten Form auf der anderen Seite existiert, bewußt sein (vgl. MICHALEK, 1989).

6 Indizes

Eine der bekannten Versuche zur Verwendung von Indizes für die Messung des T.F., die auch auf die Landwirtschaft anwendbar wäre, wurde von SOLOW (1957) unternommen. Er definierte den T.F. als den Ausdruck für jede Art von Verschiebung der Produktionsfunktion. Ein allgemeiner Index zur Messung des T.F. erforderte jedoch drei einschränkende Annahmen: Konstante Skalenerträge, neutralen T.F. und vollkommenen Wettbewerb. Unter diesen Bedingungen ist der T.F. äquivalent zum prozentualen Wachstum der totalen Faktorproduktivität (TFP). Im einzelnen wird die TFP als Differenz des prozentualen Anstiegs des Outputs und der prozentualen Veränderung eines Divisia-Index des Inputs berechnet.

Die Gleichheit zwischen TFP und dem T.F. wird jedoch bei einer allgemeineren Produktionstechnologie aufgelöst. Wenn die Technologie beispielsweise zunehmende Skalenerträge aufweist, kann das Ansteigen der Faktorproduktivität eher Bewegungen auf der Produktionsfunktion zugeschrieben werden als einer Verschiebung der Produktionsfunktion. Andere restriktive Annahmen umfassen die Neutralität des T.F. und den vollkommenen Wettbewerb.

DIEWERT (1976) zeigte, daß eine Klasse von superlativen Indizes entsprechend verschiedenen Produktionstechnologien existiert, die auf Approximationen zweiter Ordnung basieren. Insbesondere der Tornquist-Index, der eine diskrete Approximation an den Divisia-Index ermöglicht, basiert auf der Translog-Technologie. Er erlaubt die Lockerung der o.g. Annahmen (z.B. ist keine Neutralität des T.F. erforderlich). Zur Berechnung des T.F. aus diesem Index (als eine Residualgröße) müssen jedoch die Skalenerträge bekannt sein. Es bestätigte sich, daß die genaue Indexmethode bei der Anwendung auf Sektoren mit steigenden Skalenerträgen (wie in der Landwirtschaft möglich) verzerrte Schätzungen des T.F. verursachen kann (DIEWERT, 1981). Darüber hinaus kann der Tornquist-Index bei nicht translogarithmischer Technologie oder, wenn die Parameter der zweiten Ableitungen bei den Unternehmen differieren, beträchtliche Störungen verursachen. In diesem Falle ist eine ökonometrische Schätzung unerlässlich. BALTAGI/GRIFFIN (1988) präsentierten eine Methode, die die ökonometrische Schätzung mit der Indextechnik verbindet und so einen allgemeinen Index für den T.F. ermöglicht, welcher sowohl nicht-neutral als auch skalenerhöhend sein kann. Diese Technik erfordert einen gemeinsamen Datenpool von Unternehmen desselben Sektors und verwendet Dummy-Variablen zur ökonometrischen Schätzung eines generellen Indexes des T.F.

7 Nicht-parametrische Methoden

Berechnungen des T.F. mittels nicht parametrischer Methoden erfordern keinerlei restriktive Annahmen über die Form der Produktionsfunktion. Nicht-parametrische Methoden erfordern jedoch einige Einschränkungen. Zum einen sind diese Methoden rein deterministisch (Messungen eines Fehlers sind nicht erlaubt), zum zweiten können sie nur schwer mit multiplem Output umgehen. Wegen der rechnerischen Schwierigkeiten (Es ist notwendig, t-lineare Probleme zu lösen, wobei t die Anzahl der Perioden bezeichnet.) und der Unzulässigkeit negativen technischen Fortschritts bei der linearen Programmierung konzentrierten sich darüber hinaus die meisten Nachforschungen auf die Berechnung von Indizes (Divisia-Index oder exakte Indizes) oder die direkte ökonometrische Schätzung.

8 Einige Anwendungsbeispiele

Während die Schätzung des T.F. bei allgemeinerer Produktionstechnologie, die z.B. Nicht-Homothetizität zuläßt, zur Analyse des T.F. in nicht-landwirtschaftlichen Sektoren bereits breite Anwendung gefunden hat (vgl. z.B. CRISTENSEN/GREEN, 1976; BERNDT/KHALED, 1979; GOLLOP/ROBERTS, 1981; GREEN, 1983) ist dies im Bereich Landwirtschaft bisher relativ selten der Fall. Die Studien zur der Messung des T.F. in der Landwirtschaft basieren jedoch oft auf zu restriktiven Annahmen (z.B. konstante Substitutionselastizitäten und Skalenerträge, Hicks-neutraler T.F.). Die ersten Bemühungen, verzerrten T.F. in der Landwirtschaft zu schätzen, waren die Studien von BINSWANGER (1974, 1978), und KAKO (1978). Sowohl BINSWANGER als auch KAKO stellten fest, daß der faktorvermehrnde T.F. sehr wichtig für die Erklärung eines großen Teils der beobachteten Faktoranteile in der amerikanischen und japanischen

Landwirtschaft war. In beiden Studien wurden jedoch konstante Skalenerträge in der Landwirtschaft unterstellt. Darüber hinaus erfolgte die Berechnung der Rate des T.F. (in BINSWANGER's Modell als nicht konstant angenommen) als Residualgröße. Ferner wurde die Verzerrung des T.F. für eine kurze Periode direkt aus der Kostenfunktion geschätzt; allerdings war dabei eine konstante Rate der Verzerrung unterstellt.

HAYAMI und RUTTAN (1971, 1985) nahmen eine methodisch geringfügig abweichende Überprüfung des preisinduzierten T.F. für die japanische und amerikanische Landwirtschaft vor. Für die Schätzung partieller Substitutionselastizitäten, die zur Schätzung des verzerrten T.F. notwendig waren, benutzten HAYAMI und RUTTAN (1985) eine zweistufige CES-Produktionsfunktion, von der unterstellt wurde, daß sie linear homogen und "well-behaved" sei. Für die Messung des verzerrten T.F. verwandten HAYAMI und RUTTAN (1985) Faktoranteilsleichungen, von denen angenommen wurde, daß sie in einen preisinduzierten Faktorsubstitutionseffekt und einen Effekt des verzerrten T.F. zerlegbar seien. Die Ergebnisse dieser Studie scheinen die vorher aufgestellte Hypothese der preisinduzierten Innovationen zu bestätigen. JORGENSON und FRAUMENI (1981) schätzten die Verzerrung des T.F. in der U.S. Landwirtschaft auf der Grundlage einer Translog-Preisfunktion. Sie entwickelten ein Modell, das durch die Konkavitätsrestriktionen bezüglich der Translog-Funktion für jedes Preisniveau eine positive Inputnachfrage erzeugt, sowie vollkommenen Wettbewerb und konstante Skalenerträge unterstellt. Sie wandten dieses Modell auf 35 Wirtschaftssektoren an, und zwar unter Verwendung von Zeitreihendaten jedes Sektors von 1958-1974. Das Hauptproblem der auf diese Weise geforderten Konkavitätsbedingungen ist jedoch die Aufhebung der Flexibilität der Translog-Kostenfunktion (vgl. BERNDT/WOOD, 1985).

Eine allgemeinere Spezifikation von Technologie, die nicht-homothetische Produktionsfunktionen zuläßt (d.h. nicht konstante Skalenerträge), unternahm LOPEZ (1980). Er benutzte eine allgemeine Leontief-Kostenfunktion für Zeitreihendaten der kanadischen Landwirtschaft. Er teilte die Ansicht, daß die Skalenänderungen einen Großteil der Veränderungen der Input--Output- oder Faktoranteilsleichungen erklären. Der Einfluß des nicht neutralen T.F. erwies sich in dieser Studie jedoch als nicht signifikant. Diese Ergebnisse wurden zum Teil von LOPEZ und TUNG (1982) verifiziert, die detailliertere Daten (kombinierte Querschnitts- und Zeitreihendaten) der kanadischen Landwirtschaft verwendeten. Während der Output-Skaleneffekt dabei sehr stark blieb, war auch der faktorvermehrnde T.F. statistisch signifikant.

ANTLE (1984) stellte fest, daß die Hypothese der Homothezität und des neutralen T.F. als Beschreibung der Technologie in der amerikanischen Landwirtschaft entschieden abgelehnt werden muß. Für seine Studie verwendete er Zeitreihendaten von 1910-1978 und eine aggregierte produktthomogene Translog-Gewinnfunktion.

MICHALEK (1988) benutzte drei verschiedene Spezifikationen einer aggregierten produktthomogenen Translog-Kostenfunktion und verwendete kombinierte Querschnitts- und Zeitreihendaten der bundesdeutschen Landwirtschaft für eine Schätzung des T.F. innerhalb einer allgemeinen Beschreibung von Produktionstechnologie. Die Hypothesen konstanter Skalenerträge, Faktorelastizitäten von eins und Hicks- neutralen T.F. als Charakteristika der Technologie in der bundesdeutschen Landwirtschaft wurden bei

diesem Ansatz auf hohem statistischem Signifikanzniveau abgelehnt. Bei Betrachtung der Änderungen der Inputpreise stellte MICHALEK (1988) fest, daß Gebäude und direkt produktionssteigernde Faktoren wie Dünge- und bestimmte Pflanzenschutzmittel die Hauptträger des T.F. waren. Weiter war endogener T.F. (learning by doing) offenbar eine der wichtigsten Formen des T.F. in der Landwirtschaft. Unter den exogenen Faktoren, die den T.F. beschleunigt haben, erwiesen sich die Steigerung des Verhältnisses zwischen Einkaufspreisen für landwirtschaftliche Vorleistungen und Erzeugerpreisen sowie der landwirtschaftlichen Einkommensparität als dominierend.

Obwohl einige Studien empirische Schätzwerte für verzerrenden T.F. erzielten, konnten sie die Auswirkungen von Veränderungen des Output- Mix meist nicht feststellen, da die Modelle eine output-aggregierte Kosten- oder Gewinnfunktion verwendeten. Erst vor kurzem stellte KURODA (1988) einen Mehrprodukt-Ansatz zur Messung der Verzerrung des T.F. in der japanischen Landwirtschaft vor. Dabei stellte er fest, daß der T.F. in der japanischen Landwirtschaft zugunsten der tierischen Produktion verzerrt war.

9 Schlußfolgerungen

Die Bewertung der Möglichkeiten zur Quantifizierung des T.F. in der Landwirtschaft bei Verwendung der o.g. Methoden zeigt, daß die Ergebnisse bisher nicht hinreichend befriedigen können. Schon etwas kompliziertere Kriterien der Schätzung des T.F. im Rahmen einer allgemeineren Technologiebeschreibung machen es notwendig, sich mit den Annahmen des Modells zu beschäftigen, die sich z.T. widersprechen. Ein besonderes Problem stellt die Wahl einer Funktionsform dar, die die erwünschten Bedingungen unter Berücksichtigung des funktionalen Verhaltens des T.F. erfüllt und gleichzeitig mit der allgemeinen ökonomischen Theorie konsistent ist. Darüber hinaus muß jede Methode, die Betrachtung des T.F. auf die Produktionsseite begrenzt, ohne mögliche externe Effekte (z.B. ökologischen Folgen der Umweltbelastung) und trade-offs zwischen dem kurzfristigen Gewinnmaximierungsverhalten der Produzenten und dem dauerhaften Nutzenmaximierungsverhalten der Konsumenten zu berücksichtigen, in gewissem Maße vereinfachend und willkürlich bleiben. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß der landwirtschaftliche Haushalt gleichzeitig sowohl Endkonsument des T.F. als auch positiver und negativer Auswirkungen des Wirtschaftswachstums ist, sollten alle den T.F. betreffenden Überlegungen auch aus dieser Sicht behandelt werden.

Zu diesem Zweck wäre ein Systemkonzept der Technologie zur geeigneten Beschreibung des T.F. denkbar. Die Defizite dieser Methode lassen jedoch vermuten, daß für eine Quantifizierung und den intersektoralen Vergleich der Effekte eines derartig vielfältigen Problems wie des T.F. formale theoretische Modelle notwendig sind. Mit Rücksicht darauf wird deutlich, daß das Problem der Messung des T.F. in der Landwirtschaft im wesentlichen eine Frage der geeigneten Modellbildung im allgemeinen und eine Frage der adäquaten Technologiebeschreibung im besonderen ist.

Zur Einbeziehung der Gesamteffekte des T.F. in der Landwirtschaft, aber auch solcher externen Effekte der Agrarproduktion wie die ökologischen Folgen der Umweltbelastung, die sich nicht direkt auf die Produktionskosten auswirken (und daher auch nicht auf das

Produzentenverhalten, das durch die Produktionsfunktion abgebildet wird), müssen allgemeinere Methoden zur Messung des T.F. bei einer weitgespannteren Beschreibung der Technologie eingesetzt werden.

Als Beispiel für eine solche Methode könnten Modelle dienen, die abhängige Produktions- und Verbrauchsentscheidungen zulassen (vgl. LOPEZ, 1986), kombinierte Modelle überlappender Generations- und Lebenszyklen oder jede andere Methode, die allgemein mit der ökonomischen Theorie konsistent ist und den T.F. der landwirtschaftlichen Produktionsseite mit Nutzensteigerungen für die Konsumenten verbinden könnte. Praktische Anwendungen solcher Ansätze zur Messung des T.F. in der Landwirtschaft sind dem Verfasser bisher jedoch nicht bekannt.

Anhang 1

Es existiere eine reale Zielfunktion $(\max, \min) f(X,a) \in \mathbb{R}^n$, die für jede Menge von Elementen $x \in X \subset \mathbb{R}^n$ und jede Menge von Parametern $a \in A \subset \mathbb{R}^n$ definiert ist. Es sei weiter eine Multifunktion $K: A \Rightarrow X$, die einen Satz von Beschränkungen $K(a) \subseteq X$ für jede Menge von Parametern $a \in A \subset \mathbb{R}^n$ definiert. Bei gegebenem Parameterniveau wird das Wirtschaftssubjekt versuchen, den Wert der Zielfunktion $f(X,a)$ für die Menge X der Elemente, die zur Menge $K(a)$ gehören, zu maximieren. Folglich ist das erreichbare Maximum eine Funktion der Parameter, definiert als:

$$\begin{aligned} \phi &: A \rightarrow \mathbb{R} \\ \phi(a) &: \sup_{x \in K(a)} f(X,a) \end{aligned}$$

Die dementsprechend verwendeten Elemente sind die Teilmenge der beschränkten Menge $K(a)$, bei der die Zielfunktion f ihr Maximum erreicht. Somit ist die Lösungsmenge durch eine Multifunktion der Parameter

$$\begin{aligned} S &: A \Rightarrow X \\ S(a) &= \{ x \in K(a) \mid f(X,a) = \phi(a) \} \end{aligned}$$

definiert.

Normalerweise definiert die Zielfunktion den Nutzen oder Gewinn, der Satz von Beschränkungen ein bestimmtes Budget oder eine Produktionsmöglichkeitenkurve. Dann ist ϕ die indirekte Nutzen- oder Gewinnfunktion und S die entsprechende Nachfrage- bzw. Angebotsfunktion.

Die Verwendung des Konzeptes der Transformationsfunktion (DIEWERT 1974), das ebenfalls ein Effizienzmaß ist, macht deutlich, daß hier- mit nicht nur effiziente Produktionspläne, sondern auch andere Ziele definiert und ausgedrückt werden können. Jetzt können wir den T.F. als Steigerung der Transformationseffizienz der Funktionselemente (x) bei gegebener Zielsetzung definieren. Dies ist nur im einfachen, beschränkten Fall mit der Verschiebung der Produktionsfunktion nach oben identisch. In weiteren Fällen erweitert sich die Zielfunktion (oder Nutzenfunktion) über das Konzept der Produktionsfunktion.

Literaturverzeichnis

- ABRAMOVITZ, M.: Resource and output trends in the U.S. since 1970. - American Economic Review, May, 1956.
- ANTLE, J.M.: The structure of U.S. agricultural technology, 1910-1978. - American Journal of Agricultural Economics (AJAE), Bd. 66, 1984, S. 414-421.
- BALTAGI, B.H. und GRIFFIN, J.M.: A general index of technical change. - Journal of Political Economy, Vol. 96, 1988, S. 20-41.
- BERNDT, E.R. und KHALED, M.S.: Parametric Productivity Measurement and choice among Flexible Functional Forms. - Journal of Political Economy, Vol. 87 (61), 1979, S. 1220-1245.
- BERNDT, E.R. und WOOD, D.O.: Concavity and the specification of technical progress in U.S. manufacturing. - In: FERICELLI, J. und LESOURD, J.B. (Hrsg.): Energie: Modélisation et Économétrie. Paris, 1985, S. 444-471.
- BINSWANGER, H.P.: Measured Biases of Technical Change: The United States. - In: BINSWANGER, RUTTAN et al. (Hrsg.): Induced innovation, Technology, Institutions, Development. - John Hopkins University Press, 1978, S. 215-242.
- BLAUG, M.: A Survey of the Theory of Process-Innovations. - *Economica*, February, S. 13-32; auch in: The economics of technological change; hrsg. von ROSENBERG, PENQUIN 1971. England, 1963, S. 86-113.
- BROWN, W.G. und BEATTIE, B.K.: Improving Estimates of Economic Parameters by Use of Ridge Regression with Production Function Applications. - AJAE, Vol. 57, 1975, S. 21-32.
- CHRISTENSEN, L.R. und GREEN, W.H.: Economies of scale in U.S. Electric Power Generation. - Journal of Political Economy 84 (4), 1976, S. 655-767.
- DASGUPTA, P.: Patents, Priority and Imitations, or the economies of race and waiting games. - Economic Journal, 98 (1988), March, S. 66-80.
- DENISON, E.F.: United States Economic Growth. - Journal of Business, August. 1962
- DENISON, E.: Why Growth Rates Differ. hrsg. von The Brookings Institution. Washington 1967.
- DIEWERT, E.: Exact and superlative index numbers. - Journal of Econometrics 4 (1976), May, S. 115-145.
- DIEWERT, E.: The theory of total factor productivity - Measurement in regulated industries. - In: Productivity measurement in regulated industries, Academic Press. New York 1981, S. 17-44.
- FISHER, K. H.: Die Messung von totaler Faktorproduktivität, Effizienz und technischem Fortschritt. - Bonner Betriebswirtschaftliche Schriften. Bonn 1984.
- FREEMAN, P.: Structural crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour. - In: DOSI (Hrsg.): Technical change and economic theory. London, 1988, S. 38-66.
- GREEN, W.M.: Simultaneous Estimation of Factor Substitution, Economics of Scale, Productivity and Non-neutral Technical Change. - Developments in Econometric Analysis of Productivity, hrsg. von Dogramaci. Boston, 1983, S. 121-143.
- GOLLOP, F.M. und ROBERTS, M.J.: The sources of Economic Growth in the U.S. Electric Power Industry. - In: COWING, STEVENSON (Hrsg.): Productivity Measurement in Regulated Industries. New York, 1981, S. 107-143.
- GRILICHES, Z.: Research Costs and Social returns: Hybrid Corn and related innovations. - Journal of Political Economy, Oktober, 1958, S. 419-431.

GRILICHES, Z.: Measuring Inputs in Agriculture: A critical survey. - Journal of Farm Economics, 1958, December.

GRILICHES, Z.: Hedonic Price Indexes Revisited. - In: Price Indexes and Quality Change; Studies in New Methods of Measurement, Cambridge MA, Harvard University Press, 1971; auch in: Technology, Education and Productivity, hrsg. von Griliches, Devon (1988).

GRILICHES, Z. und JORGENSON, D.W.: The Explanation of Productivity Change. - Review of Economic Studies, July, Nr. 99 (1967); auch in: Technology, Education and Productivity, hrsg. von Griliches, Devon (1988), S. 308-351.

HAYAMI und RUTTAN: Agricultural Development: An International Perspective. Hrsg. von John, Hopkins Press. Baltimore, London 1971.

HAYAMI, Y. und RUTTAN, V.: Agricultural Development: An International Perspective - Revised and Expanded. - John Hopkins Press. Baltimore, London 1985.

JORGENSON, D. und FRAUMENI, B.: Relative Prices and Technical Change. - In: BERNDT und FIELD (Hrsg.): Modeling and Measuring Natural Resource Substitution. Cambridge, M.A., MIT Press, 1981, December.

JORGENSON, D.: Econometric Methods for Modeling Producer Behaviour. in: Handbook of Econometrics, hrsg. von GRILICHES, Intriligator, 1986, S. 1842-1915.

KAKO, T.: Decomposition Analysis of Derived Demand for Factor Inputs: The Case of Rice Production in Japan. - AJAE, 60 (1978), S. 628-635.

KAMIEN, M. und SCHWARTZ, A.: Market structure and Innovation: A survey. - Journal of Economic Literature 13 (1982), Cambridge, S. 1-37.

KURODA, Y.: The Output Bias of Technological Change in Post-war Japanese Agriculture. - AJAE, 1988, August.

LOPEZ, R.E.: The Structure of Production and the Derived Demand for Inputs in Canadian Agriculture. - AJAE, 62 (1980), S. 38-45.

LOPEZ, R.E. und TUNG, F.L.: Energy and Non-Energy Input Substitution Possibilities and Output scale Effects in Canadian Agriculture. - Canadian Journal of Agricultural Economics, 30 (1982), S.87-105.

LOPEZ, R.E.: Structural Models of the Farm Household that Allow For Interdependent Utility and Profit Maximisation Decisions. In: Singh, Squire, Strauss - Agricultural Household Models. - Baltimore, London, 1986, S. 306-395.

MICHALEK, J.: Technological Progress in West German Agriculture - A Quantitative Approach. - Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel 1988.

MICHALEK, J.: Measurement of Technological Progress On the Base of Flexible Cost Function. - Discussion Paper presented at GEWISOLA Workshop in Braunschweig, 1989, West Germany.

MORONEY, J.R. und TRAPANI, M.: Alternative Models of Substitution and Technical Change in Natural Resource - Intensive Industries. -In: BERNDT und FIELD (Hrsg.): Modeling and Measuring Natural Resource Substitution. M.A. MIT Press, 1981.

NELSON, R. und WINTER, S.: An Evolutionary Theory of Economic Change. - Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1982.

PINSTRUB-ANDERSON, P.: Agricultural research and technology in economic development. - London 1982.

ROSENBERG, N.: Perspectives on Technology. - Cambridge University Press, 1976.

- ROSENBERG, N.: Inside the black box - Technology and Economics. - Cambridge University Press, 1982.
- SAHAL, D.: Patterns of Technological Innovations. - Massachusetts, Adison-Wesley Publ. Comp., 1981.
- SATO, R.: The Estimation of Biased Technological Progress and the Production Function. - International Economic Review 11 (1970), June, S. 179-208.
- SATO, R.: The Theory of Technical Change and Economic Invariance: Application of Lie Groups. - In New York: Academic Press, 1981.
- SATO, R und CALEM, P.S.: Lie Group Methods and the Theory of Estimating Total Productivity. - In: DOGRAMACI (Hrsg.): Developments in Econometric Analyses of Productivity. Boston 1982, S. 145-168.
- SCHUMPETER, J.: The Theory of Economic Development. - Cambridge (Mass.), Harvard University Press., 1934.
- SOLOW, R.M.: Technical Change and the Aggregate Production Function. - Review of Econometrics and Statistics, 1957, August, S. 312-320.
- STEVENSON, R.: Measuring Technological Bias. - American Economic Review 70, No 1 (1980), S. 162-173.
- WIBE, S.: Engineering Production Functions and Technical Progress. - In: PUN und WIBE (Hrsg.): The Economics of Technological Progress. St. Martin's Press. New York 1980, S. 44-49.
- WIBE, S.: Empirical Macro Production Functions, Methodological Comments. - UMEA Economic Studies, 1985b, No. 153.
- WIBE, S.: A Model for Bounded Technological Progress. - UMEA University, 1985a.
- WOODWARD, T.: A factor augmenting approach for studying capital measurement, obsolescence and the recent productivity slowdown. - In: DOGRAMACI (Hrsg.): Developments in Econometric Analysis of Productivity. Boston 1983, S. 93-120.