
Michalek, J.: Analyse der Bestimmungsgründe der Geschwindigkeit und das „BIAS“
Technischer Fortschritte in der Bundesrepublik. In: Henrichsmeyer, W., Langbehn, C.:
Wirtschaftliche und soziale Auswirkungen unterschiedlicher agrarpolitischer Konzepte.
Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.,
Band 24, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (1988), S. 465-480.

ANALYSE DER BESTIMMUNGSGRÜNDE DER GESCHWINDIGKEIT UND DES "BIAS" TECHNISCHER FORTSCHRITTE IN DER BUNDESREPUBLIK

von

J. MICHALEK, Kiel

1 Einleitung

Das in den vergangenen Jahren zunehmende Ungleichgewicht zwischen dem Angebot von Agrarprodukten und der Nachfrage ist eines der hervorstechendsten Merkmale der landwirtschaftlichen Entwicklung aller industrialisierten Länder. Wachsende Überschüsse, die hohen Kosten der Lagerhaltung bei gleichzeitiger Verschlechterung der Einkommenssituation der Landwirte in der EG im Vergleich zu anderen Berufsgruppen legen nahe, daß neue und effizientere Steuerungsmechanismen für die landwirtschaftliche Produktion und Einkommen notwendig werden. Bezüglich der Wohlfahrtstheorie sollten diese Maßnahmen im Einklang mit Produktivitätswachstum stehen. Im Hinblick auf die derzeitige Situation auf den Agrarmärkten muß jedoch eine Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktion vermieden werden.

Gemäß der Produktionstheorie sind Veränderungen der Faktorproduktivitäten auf Veränderungen der economies of scale und des technischen Fortschrittes zurückzuführen. Economies of scale werden als relative Änderung des Outputs bei einem gegebenen Wachstum des Inputs bezeichnet. Aufgrund der Dualitätstheorie werden economies of scale als relative Veränderung der totalen Kosten in bezug auf die Änderung des Outputniveaus c. p. (entlang eines gegebenen Expansionspfades) interpretiert¹⁾. Technischer Fortschritt impliziert eine Verringerung der totalen Kosten bei gegebenem Output und gegebenem Inputpreinsniveau. Wenn man die Wirkung des technischen Fortschrittes und der economies of scale getrennt betrachtet, beinhalten a priori economies of scale ein Wachstum des Outputs, während dies für technischen Fortschritt nicht unbedingt gilt. Diese Differenzierung ist von entscheidender Bedeutung bei Einschätzung der erwarteten Auswirkungen von Maßnahmen, die das Produktivitätswachstum fördern. Anreize, die über economies of scale zu einem Wachstum der Faktorproduktivität führen,

können unter den gegebenen Umständen weitere unerwünschte Effekte zur Folge haben, wie zunehmende Überschüsse und ansteigende Kosten für Lagerhaltung.

2 Problemstellung

Unter Beachtung dieser Zusammenhänge ist es offensichtlich, daß die Probleme der landwirtschaftlichen Überproduktion und der niedrigen landwirtschaftlichen Einkommen durch Förderung des technischen Fortschrittes und nicht durch Verstärkung von economies of scale gemindert werden müssen. Vor diesem Hintergrund ist es von außerordentlicher Bedeutung zu untersuchen, in welchem Maße technische Fortschritte und in welchem Ausmaße Skaleneffekte zur Produktivitätssteigerung in der Landwirtschaft beitragen und welche Faktoren die Bedeutung der beiden Komponenten beeinflußt haben. Das Hauptziel dieser Untersuchung ist daher in den folgenden Punkten zu sehen:

1. Es soll die beste Methode gefunden werden, die es erlaubt, zwischen technischem Fortschritt und Skaleneffekten als Ursache von Produktivitätssteigerungen zu unterscheiden.
2. Die Art des realisierten technischen Fortschritts soll analysiert und bezüglich der Art und des bias charakterisiert werden.
3. Es sollen diejenigen Faktoren bestimmt werden, die die Rate des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft am stärksten beeinflußt haben.
4. Weiterhin sollen die möglichen Unterschiede in der Art und der Wirkung des technischen Fortschrittes zwischen den Hauptregionen in der Bundesrepublik analysiert werden.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf eine Studie, die den Einfluß des technischen Fortschritts auf die deutsche Landwirtschaft für den Zeitraum von 1960-1984 untersuchte (MICHALEK 1987).

3 Methode

Um technischen Fortschritt ohne restriktive Bedingungen bezüglich der Technologie, wie z. B. konstante Skalenerträge, konstante Substitutionselastizitäten empirisch schätzen zu können, wurden drei Modelle angewendet. In allen Modellen werden sowohl funktionale Beziehungen zwischen Input und Output als auch eine flexible Approximation der Technologie in Form einer Translog-Kostenfunktion unterstellt.

Die angewandten Modellansätze können hier nur kurz erläutert werden. Eine ausführliche Darstellung findet sich in MICHALEK (1987).

Modell I kann als eine Erweiterung von BINSWANGERS (1978) Ansatz zur Schätzung einer nicht-homothetischen Technologiestruktur betrachtet werden.²⁾ Der technische Fortschritt wird in diesem Modell als Residuum der Funktion im Zeitablauf bestimmt. Der Vorteil dieses Modells zur Schätzung der Technologieentwicklung besteht darin, daß die jährlichen Veränderungen des technologischen Fortschrittes und seiner Verzerrung geschätzt werden können. In Modell I kann die Approximation an eine gegebene Technologie beschrieben werden als:

$$\ln c = f(\ln Y, \ln P_1, \dots, \ln P_n),$$

wobei c = totale Kosten, Y = Output und $P_1 \dots P_n$ = Faktorpreise.

Die nicht-homothetische Version der Translog-Kostenfunktion kann folgendermaßen dargestellt werden:

$$\begin{aligned} \ln c = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \ln p_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln p_i \cdot \ln p_j + \alpha_y \cdot \ln y + \\ & + \frac{1}{2} \gamma_{yy} (\ln y)^2 + \sum_{i=1}^n \gamma_{yi} \cdot \ln p_i \cdot \ln y \end{aligned} \quad (1)$$

In Modell II wird zur Kennzeichnung des technischen Fortschrittes als exogene Variable die Zeitvariable aufgenommen:

$$c = f(Y, P_1 \dots P_n, t)$$

wobei c = totale Kosten, Y = Output, P_i = Faktorpreise, t = Zeitvariable als Proxy für technischen Fortschritt.

Dieser Ansatz entspricht dem von CHRISTENSEN (1977) verwendeten Modell. Bei diesem Funktionstyp ist der technische Fortschritt als eigenständige Variable und nicht als Residualgröße berücksichtigt, so daß nicht wie in Modell I unter technischem Fortschritt auch Meßfehler subsumiert werden. Allerdings können über die Zeit variierende Entwicklungen des technischen Fortschritts nicht direkt erfaßt werden. Es besteht lediglich die Möglichkeit, für Teilperioden getrennte Fortschrittseinflüsse zu bestimmen. Die logarithmische Form des Modells II für die nicht-homothetische Technologie wird ausgedrückt:

$$\begin{aligned} \ln c = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \ln p_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln p_i \cdot \ln p_j + \sum_{i=1}^n \gamma_{yi} \cdot \ln p_i \cdot \ln y \\ & + \alpha_t \cdot \ln t + \frac{1}{2} \gamma_{yy} (\ln y)^2 + \frac{1}{2} \gamma_{tt} (\ln t)^2 + \gamma_{yt} \cdot \ln y \cdot \ln t + \sum_{i=1}^n \gamma_{ti} \\ & \cdot \ln p_i \cdot \ln t + \alpha_y \cdot \ln y \end{aligned} \quad (2)$$

Im Modell III wird zur Kennzeichnung des technischen Fortschritts bzw. seiner Wirkung die Zeitvariable mit allen anderen exogenen Variablen multiplikativ verknüpft, so daß sich über die Zeitvariable Funktionsparameter ergeben, die auch zur Schätzung nicht systematischer Änderungen in den wichtigsten Eigenschaften der Technologie geeignet sind (STEVENSON 1980; GREENE 1983). Damit kann auch untersucht werden, ob technischer Fortschritt die Substitutionselastizitäten und die Skaleneffekte im Zeitablauf beeinflußt haben. Die nicht-homothetische Version der translogarithmischen Kostenfunktion kann für nicht systematische Änderungen des technischen Fortschritts wie folgt beschrieben werden:

$$\begin{aligned} \ln c_t = & \alpha_0^t + \sum_{i=1}^n \alpha_i^t \cdot \ln p_{it} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}^t \cdot \ln p_i \cdot \ln p_j + \alpha_y^t \cdot \ln y_t + \\ & + \frac{1}{2} \gamma_{yy}^t (\ln y)^2 + \sum_{i=1}^n \gamma_{yi}^t \cdot \ln y_t \ln p_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

wobei technischer Fortschritt in den Funktionsparametern gebunden ist:

$$\begin{aligned} \alpha_0^t &= \alpha_0 + \alpha_0^! \cdot \ln t \\ \gamma_{ij}^t &= \gamma_{ij} + \gamma_{ij}^! \cdot \ln t \\ \alpha_y^t &= \alpha_y + \alpha_y^! \cdot \ln t \\ \gamma_{yy}^t &= \gamma_{yy} + \gamma_{yy}^! \cdot \ln t \\ \gamma_{yi}^t &= \gamma_{yi} + \gamma_{yi}^! \cdot \ln t \end{aligned}$$

Da die Änderungen in den Durchschnittskosten und Faktoranteile auf Änderungen der Faktorpreise, economies of scale und technischen Fortschritt zurückzuführen sind, kann die Technologiestruktur für jede Periode wie folgt dargestellt werden:

$$\frac{d \ln(c/y)}{d \ln t} = \frac{d[\ln c - \ln y]}{d \ln t} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \ln c}{\partial \ln p_i} \cdot \frac{d \ln p_i}{d \ln t} + \left[\frac{\ln c}{\ln y} - 1 \right] \cdot \frac{d \ln y}{d \ln t} + \frac{\partial \ln c}{\partial \ln t} \quad (4)$$

oder

$$\frac{d \ln(c/y)}{d \ln t} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{d \ln p_i}{d \ln t} + (\epsilon - 1) \cdot \frac{d \ln y}{d \ln t} + \lambda$$

wobei

w_i = Faktoranteil

ϵ = economies of scale

λ = technischer Fortschritt.

Änderungen in den Durchschnittskosten, die nicht auf Änderungen der Faktorpreise zurückzuführen sind, werden als Änderung der Faktorproduktivitäten interpretiert.³⁾

$$\vartheta_t = (\epsilon_t - 1) \frac{d \ln y}{d \ln t} + \lambda_t \quad (5)$$

4 Daten, Schätzverfahren, Test

Die in der Analyse unterschiedenen fünf Produktionsfaktoren waren: 1. Boden, 2. Arbeit, 3. ertragssteigernde Produktionsfaktoren (Dünger, Futtermittel, Saatgut, Pestizide), 4. Produktionsfaktoren, die als Substitute für Arbeit gelten (Maschinen, Treibstoffe, Elektrizität, Herbizide) und 5. Faktoren, die die Produktionsumwelt verbessern (Gebäude, Heizstoffe etc.). Die Daten für Produktmengen und Faktorpreise waren für acht Regionen (Landwirtschaftskammerbezirke: Schleswig-Holstein, Bayern, Hessen, Baden-Württemberg, Weser-Ems, Hannover-Niedersachsen, Rheinland-Bonn, Westfalen-Lippe) und den Zeitraum von 1960/61 bis 1983/84 erhoben worden.⁴⁾ Hauptquellen waren Regionalstatistiken und Buchabschlüsse für Durchschnittsbetriebe.

Für jedes Modell werden die Kostenfunktion und die Faktoranteile (n-1) als scheinbar unkorreliertes Gleichungssystem simultan geschätzt. Als Schätzverfahren

ren wurde eine Modifikation von Zellners Methode verwendet, d. h. ein iteratives Aitiken Schätzverfahren, das das Haupt-Likelihood Schätzverfahren für ein scheinbar unkorreliertes Gleichungssystem ist. Es wurde das TSP Programmpaket benutzt. Die allgemeine Technologie, wie in den Modellen angenommen, setzt Nichthomothezität voraus. Sowohl diese Annahme als auch die Annahmen der nicht konstanten Skaleneffekte und variablen Substitutionselastizitäten werden durch den Likelihood-ratio-Test auf ihre statistische Gültigkeit hin überprüft. Werden α_{\max} und α_0 als maximum likelihood Werte des beschränkten und unbeschränkten Modelles definiert, zeigt sich, daß

$$-2(\ln \alpha_{\max} - \ln \alpha_0)$$

asymptotisch der χ^2 -Verteilung entspricht, wobei der Freiheitsgrad gleich der Zahl der eingeführten unabhängigen Beschränkungen ist.⁵⁾

Damit die Translog Kostenfunktion eine entsprechende Approximation der Technologie darstellt, müssen die Bedingungen der Monotonie und Konvexität erfüllt sein. Monotonie ist vorhanden, wenn die geschätzten Faktoranteile positiv sind. Konvexität ist gegeben, wenn die Hessische Matrix der Allenschen Substitutionselastizitäten semi-negativ definiert ist. Da die Kostenfunktion keine a priori Regularitätsbedingungen erfüllt, müssen diese Bedingungen ex post überprüft werden.

5 Ergebnisse

Die einzelnen Schätzergebnisse und die sich daraus ableitenden Eigenschaften der Produktionstechnologie können hier nicht vollständig wiedergegeben werden, so daß nur die wichtigsten Schlußfolgerungen, die sich aus der Analyse des technischen Fortschritts ergeben, dargestellt werden können. Die Prüfung der Regularitätsbedingungen zeigte, daß alle drei Modelle für alle Beobachtungen die Bedingungen der Monotonie erfüllen. Die Bedingungen der Konvexität werden im Modell I mit einer Ausnahme für alle Beobachtungen erfüllt und im Modell III mit fünf Ausnahmen. Modell II erfüllt die Konvexitätsbedingungen für alle Beobachtungen. Die verschiedenen Ansätze zur Analyse der Homogenität und Homothetik sowie zur Prüfung der Annahme, daß die Faktorsubstitutionselastizitäten den Wert Eins annehmen, ergeben, daß diese in der deutschen Landwirtschaft bei sehr hohem Signifikanzniveau $\alpha = 0.01$ verworfen werden müssen. Dies bedeutet, daß die deutsche Landwirtschaft erhebliche Veränderungen in den Skaleneffekten aufwies, daß die Faktorsubstitutionselastizitäten im allgemeinen nicht bei 1 liegen, und daß sich die Kostenanteile entsprechend den Faktorpreisen dem Pro-

duktionsniveau und der Art des technischen Fortschritts verändert haben. Die Schätzung zeigte, daß alle drei Modelle zu gut interpretierbaren und - entsprechend den Unterschieden in der Modellstruktur - auch vergleichbaren Ergebnissen führen. Es zeigt sich weiterhin, daß Modell III wegen seiner hohen Komplexität und Flexibilität als die beste Approximation der Technologieentwicklung in der Bundesrepublik gelten kann. Sein Einsatz verlangt jedoch eine sehr breite Datenbasis und ein sehr effizientes Schätzverfahren.

5.1 Der technische Fortschritt

Die Wirkung des technischen Fortschritts auf die Reduzierung der totalen Kosten wurde aufgrund der Formel $\lambda = \frac{\partial \ln c}{\partial \ln t}$ berechnet. Ist die erste Ableitung der Kosten nach der Zeit negativ, zeigt dies die Anwesenheit des technischen Fortschritts an. Dagegen wird die Abwesenheit des technischen Fortschritts angenommen, wenn die erste Ableitung der Kosten nach der Zeit positiv ist. Unterstellt man konstante Faktorpreise und konstantes Outputniveau, so wurde für den Beobachtungszeitraum ein Sinken der totalen Kosten festgestellt, was auf die Anwesenheit von technischem Fortschritt schließen läßt. Die auf der Basis des Modells III geschätzten jährlichen Änderungen des technischen Fortschritts erlauben eine Untergliederung von Perioden, in denen die Wirkung des technischen Fortschritts auf die Reduzierung der totalen Kosten stärker oder schwächer waren. Es zeigte sich, daß zu Beginn der 80er Jahre die relative Wirkung des technischen Fortschritts auf die totalen Kosten ca. 1,5- bis zweimal kleiner waren als 20-24 Jahre zuvor. Obwohl eine hohe Varianz in der Wirkung des technischen Fortschritts gefunden wurde, waren Subperioden ohne technischen Fortschritt nicht zu beobachten. Nach Modell II brachte der technische Fortschritt eine Verringerung der Durchschnittskosten von 1,127 % pro Jahr. Dies entspricht einer jährlichen Ersparnis der totalen Kosten in der landwirtschaftlichen Produktion von ca. 576,4 Mill. DM. Eine detailliertere Information bezüglich des Ausmaßes der Kostenersparnis in einzelnen Jahren durch technischen Fortschritt liefert Modell III, die geschätzten Werte enthält Tabelle 1. Obwohl die Rate des technischen Fortschritts sich insbesondere nach 1972 verringerte, nahmen die absoluten Einsparungen an den totalen Kosten nicht ab. Offensichtlich war dies in dem schnellen Wachstum der Durchschnittskosten der Produktion zwischen 1960-1984 begründet (3,18 % pro Jahr). Die totale Kostenreduzierung, die von dem technischen Fortschritt verursacht wurde, war zu Anfang der 80er Jahre ungefähr dreimal so groß wie zu Anfang der 60er Jahre. Zu Beginn der 80er Jahre betrug die geschätzten Einsparungen über 700 Mill. DM im Jahr. Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese, daß auch kleine Variationen in der Rate des technischen

Tabelle 1: Ergebnisse der quantitativen Analyse (Modell III)

Jahr	Kostenreduktion durch techn. Fortschritt ¹⁾ Mill. DM	optimales Produktionsniveau ²⁾			Ursachen der Änderung in den Durchschnittskosten der landwirtschaftlichen Produktion von (1960/61 - 1983/84) ³⁾					Jährliche Verzerrung des technischen Fortschritts ⁸⁾				
		y [*] (DM/ha)	y(DM/ha)	y [*] / y · 100%	Durchschnittskosten	Faktorpreisänderung	Skaleneffekte	techn. Fortschritt	Produktivitätsänderung ⁴⁾	Boden	Ertragssteigernde Faktoren ⁵⁾	Arbeitsmaschinen ⁶⁾	Gebäude ⁷⁾	
60/61 - 61/62	234,3	2 477	1 902	130,2	1,97	3,66	-0,72	-0,97	1,69	-2,09	-0,45	0,98	0,62	0,97
61/62 - 62/63	246,4	2 947	1 959	150,4	1,85	5,91	-3,12	-0,94	4,06	-1,12	-0,47	0,70	0,27	0,63
62/63 - 63/64	365,0	3 135	2 090	150,0	3,39	4,65	0,04	-1,30	1,26	-0,84	-0,40	0,53	0,21	0,50
63/64 - 64/65	304,7	3 276	2 089	156,8	6,04	8,09	-1,02	-1,03	2,05	-0,58	-0,39	0,40	0,14	0,43
64/65 - 65/66	337,8	3 340	2 121	157,5	9,71	10,75	-0,01	-1,03	1,04	-0,45	-0,30	0,23	0,16	0,36
65/66 - 66/67	368,0	3 329	2 122	156,9	-4,33	2,45	-5,80	-0,98	6,78	-0,39	-0,16	0,05	0,19	0,31
66/67 - 67/68	453,8	3 401	2 302	147,7	-9,01	-1,77	-6,05	-1,19	7,24	-0,36	-0,17	0,08	0,18	0,26
67/68 - 68/69	474,5	3 501	2 529	138,4	2,89	2,77	1,43	-1,31	-0,12	-0,32	-0,20	0,17	0,12	0,22
68/69 - 69/70	398,2	3 553	2 467	144,0	6,21	8,61	-1,30	-1,10	2,40	-0,26	-0,19	0,16	0,08	0,20
69/70 - 70/71	432,2	3 564	2 517	141,6	1,43	9,14	-6,62	-1,09	7,71	-0,23	-0,13	0,09	0,07	0,19
70/71 - 71/72	533,1	3 591	2 802	128,1	1,84	1,63	1,45	-1,24	-0,21	-0,23	-0,11	0,08	0,07	0,19
71/72 - 72/73	466,5	3 673	2 716	135,2	8,63	8,69	1,01	-1,07	0,06	-0,16	-0,13	0,11	0,02	0,17
72/73 - 73/74	440,8	3 683	2 669	138,0	10,80	13,82	-2,06	-0,96	3,02	-0,15	-0,12	0,09	0,03	0,16
73/74 - 74/75	471,5	3 679	2 760	133,3	0,13	4,17	-3,07	-0,97	4,04	-0,16	-0,10	0,06	0,05	0,15
74/75 - 75/76	514,0	3 750	2 916	128,6	3,72	0,55	4,15	-0,98	-3,17	-0,13	-0,12	0,09	0,03	0,13
75/76 - 76/77	436,7	3 830	2 689	142,4	3,31	5,98	-1,86	-0,81	2,67	-0,08	-0,16	0,13	0,00	0,11
76/77 - 77/78	452,8	3 846	2 761	139,3	-4,21	0,22	-3,64	-0,79	4,43	-0,09	-0,17	0,14	0,01	0,11
77/78 - 78/79	480,6	3 914	2 916	134,2	0,25	5,98	-4,90	-0,83	5,73	-0,06	-0,18	0,14	-0,01	0,11
78/79 - 79/80	541,6	3 931	3 167	124,1	14,42	16,9	-0,79	-0,88	1,67	-0,07	-0,15	0,12	-0,01	0,10
79/80 - 80/81	634,5	3 880	3 223	120,4	13,18	14,54	-0,48	-0,88	1,36	-0,08	-0,09	0,06	0,02	0,09
80/81 - 81/82	707,9	3 847	3 262	117,9	4,89	5,21	0,54	-0,86	0,32	-0,08	-0,06	0,02	0,03	0,09
81/82 - 82/83	702,6	3 866	3 213	120,3	-4,69	-1,60	-2,28	-0,81	3,09	-0,07	-0,06	0,03	0,02	0,08
82/83 - 83/84	675,8	3 914	3 406	114,9	-1,19	-1,07	0,69	-0,81	0,12	-0,07	-0,08	0,05	0,02	0,08

1) Geschätzte Abnahme der totalen Kosten durch technischen Fortschritt in der Landwirtschaft, berechnet auf der Basis von Modell III.

2) Geschätzte Werte für das optimale Produktionsniveau von 1960-61 - 1983/84 in DM/ha, nach folgender Formel berechnet: $\ln y_t^* = \frac{1 - \alpha_t}{y} \cdot \sum_{j=1}^n \gamma_j y_j^t \cdot \ln p_j$

3) Berechnet nach Formel (4), Angaben als Veränderungsrate in %.

4) Summe aus Skaleneffekten und technischem Fortschritt.

5) Dünger, Futtermittel, Saatgut.

6) Faktoren, die als Substitute für Arbeit gelten (Maschinen, Treibstoffe, Elektrizität, Herbizide).

7) Faktoren, die die Produktionsumwelt verbessern (Gebäude, Heizstoffe etc.).

8) Berechnet nach folgender Formel: $\frac{\partial w_{it}}{\partial \ln t} = \alpha_j + \sum_{j=1}^n \gamma_j \cdot \ln p_{jt} + \gamma_{jt}^1 \cdot \ln y_t$ (Modell III), wobei $w_{it} = \frac{\partial \ln c}{\partial \ln p_{it}}$

Quelle: Eigene Berechnungen

Fortschritts zu wesentlichen Unterschieden in der Kostenreduzierung führen. Wäre die höchste Rate des technischen Fortschritts (1,31 %) am Anfang der 80er Jahre eingetreten, so hätte die gesamte Kostenreduzierung 1,1 Mrd. DM betragen, also wäre sie um 400 Mill. DM höher als in der Wirklichkeit. Diese Berechnung zeigt, wie bedeutsam es ist, die Rate des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft auf einem hohen Niveau zu halten.

5.2 Verzerrung des technischen Fortschrittes

Die Verzerrung des technischen Fortschritts kann geschätzt werden aufgrund der Änderung der Faktoranteile, die sich dann ergeben, wenn weder eine Änderung der Faktorpreise noch Änderungen im Output vorgelegen hätten. Die Berechnungen in Modell I ergaben eine leichte Verzerrung zu bodensparendem technischen Fortschritt hin, während sich für ertragssteigernde Produktionsmittel und Maschinen ein faktornutzender technischer Fortschritt nachweisen ließ. Bezüglich der Faktoren Gebäude und Arbeit wurde ein nahezu Hick's neutraler technischer Fortschritt gefunden. Die in Modell I eingeführten Beschränkungen (wie z. B. konstante Koeffizienten im Zeitablauf und die Betrachtung des technischen Fortschritts als Residuum) lassen nur eine grobe Bestimmung der Verzerrung des technischen Fortschritts zu. Daher wurde Modell II und Modell III als alternative Approximation der ergebnen Technologie entwickelt. In Modell II läßt sich die Verzerrung des technischen Fortschritts anhand der geschätzten Koeffizienten der Funktion (γ_{ti}) direkt ableiten. Diese Koeffizienten geben die Richtung der Verzerrung des technischen Fortschritts an. Obwohl sie keine Information über die jährlichen Änderungen der Verzerrung des technischen Fortschritts enthalten, erlauben sie eine genauere Berechnung gegenüber dem residualen Ansatz in Modell I. Negative Werte für die Koeffizienten (γ_{ti}) bedeuten eine faktorsparende Verzerrung, positive Werte eine faktornutzende Verzerrung. Die Berechnungen in Modell II ergaben für den Zeitraum 1960-84 einen leicht bodensparenden ($\gamma_{t1} = -0.0265$) und einen in etwas geringerem Maße arbeitsparenden ($\gamma_{t2} = -0.0039$) technischen Fortschritt. Während des gesamten Betrachtungszeitraumes wären die Faktoranteile der ertragssteigernden Faktoren (Düngemittel, Saatgut etc.), der Faktoren, die als Substitute für Arbeit gelten (Maschinen etc.) und die Produktionsumwelt verbessern (Gebäude etc.) c. p. gestiegen, d. h. wenn keine economies of scale und Veränderungen der Inputpreise gewirkt hätten. Der technische Fortschritt war demnach in bezug auf diese Produktionsmittel faktornutzend. Informationen über die jährliche Entwicklung der Verzerrung des technischen Fortschritts, die in Modell III berechnet wurden, sind Tabelle 1 zu entnehmen. Für den Zeitraum 1960-84 ergab sich zusätzlich zur boden- und

arbeitssparenden Verzerrung des technischen Fortschritts auch eine faktor-sparende Verzerrung hinsichtlich der Faktoren, die als Substitute für Arbeit gelten. Allerdings zeigte sich dies nur für die Jahre 1977-79. Für die anderen Faktoren wurde eine faktornutzende Verzerrung festgestellt. Beachtenswert ist, daß sich für das Ende der Betrachtungsperiode eine nahezu Hick's neutrale Wirkung des technischen Fortschritts bezüglich aller Produktionsfaktoren ergab.

5.3 Skaleneffekte

Mit Hilfe der geschätzten Modelle (I, II, III) kann man das Ausmaß der economies of scale berechnen. Die Formel $\epsilon = \frac{\partial \ln c}{\partial \ln y}$ mißt die Elastizitäten der totalen Kosten in bezug auf den Output entlang eines kostenminimalen Expansionspfades. Für 1960 bis 1984 wurden deutliche Effekte der economies of scale, die eine Verringerung der Stückkosten verursachen, gefunden ($\epsilon = 0.2461$ Modell I, $\epsilon = 0.416$ Modell II, $\epsilon = 0.4621$ Modell III). Die Berechnungen im Modell III ergaben für jedes Jahr einen unterproportionalen Anstieg der totalen Kosten im Vergleich zum Output. Dies bedeutet, daß das Verhältnis von Grenzkosten zu Durchschnittskosten im allgemeinen geringer als 1 war.

5.3.1 Das optimale Outputniveau

Der berechnete Wert des optimalen Outputniveaus (y^*), definiert als Höhe des Outputs, in dem die Durchschnittskosten im Minimum sind, betrug bei Durchschnitts-Inputpreisen im Zeitraum von 1960-84 nach Modell II 3 561 DM/ha und nach Modell III 3 578 DM/ha. Die berechneten Optimalwerte für Skaleneffekte lagen also um 34,4 % höher als die tatsächlichen beobachteten Werte pro ha. Obwohl das optimale Outputniveau im Zeitraum 1960-84 kontinuierlich mit Rate von $\frac{\partial \ln y^*}{\partial \ln t} = 0.117$ (Modell II) stieg, nahm es langsamer zu als durch den technischen Fortschritt verursachte Veränderung der economies of scale $\left| \frac{\partial \epsilon}{\partial \ln t} \right| = 0.2353$ (Modell II). Dies bedeutet, daß im Laufe der Zeit deutsche Landwirtschaft zu ihrem technischen Optimum hin tendierte. Die absoluten Werte des optimalen Outputniveaus sowie dessen jährliche Veränderung wurden auf der Basis von Modell III berechnet. Die Ergebnisse, die der Tabelle 1 zu entnehmen sind, unterstützen die Hypothese, daß der Unterschied zwischen dem optimalen Outputniveau und dem beobachteten sich im Zeitablauf verringerte. Zu Beginn der 60er Jahre betrug diese Differenz noch 50 % und reduzierte sich bis zu Beginn der 80er Jahre auf 16 %.

5.4 Der technische Fortschritt und die totale Faktorproduktivität

Die totale Faktorproduktivität wird nach Formel (5) als Summe der economies of scale und des technischen Fortschritts berechnet. Für die Periode 1960-84 ergab sich ein Wachstum der totalen Faktorproduktivität von 2,45 % jährlich. Der technische Fortschritt trug zum Wachstum der totalen Faktorproduktivität um durchschnittlich 40 % pro Jahr bei. Der Anteil schwankte allerdings von Jahr zu Jahr beachtlich (Tabelle 1). Der größte Einfluß des technischen Fortschritts auf das Wachstum der totalen Faktorproduktivitäten wurde in den Perioden: 1962/63-63/64, 1967/68-68/69, 1970/71-72/73, 1974/75-75/76, 1980/81-81/82 und 1982/83-83/84 beobachtet. In diesen Jahren war der technische Fortschritt der einzige Einflußfaktor auf das Wachstum der totalen Faktorproduktivität.

5.5 Faktorpreisänderungen als Ursache für die Beschleunigung des technischen Fortschritts

Auf der Basis von Modell II und Modell III ließ sich der Anteil des technischen Fortschritts berechnen, der durch Faktorpreisänderungen induziert wurde. Dies ergibt sich aus der Formel:

$$K_i = \frac{\partial \lambda}{\partial \ln p_i}$$

wobei

$$\lambda = \frac{\partial \ln c}{\partial \ln t}$$

p_i = i-ter Faktorpreis

K_i = Änderung des technischen Fortschritts bezüglich der Änderung des i-ten Faktorpreises.⁶⁾

- a) $K_i < 0$ bedeutet, daß die Rate des technischen Fortschritts durch das Wachstum des i-ten Faktorpreises beschleunigt wurde (die Substitute des i-Faktors werden als die Träger des technischen Fortschritts betrachtet).
- b) $K_i > 0$ bedeutet, daß das Wachstum des i-ten Faktorpreises den technischen Fortschritt hemmte (technischer Fortschritt ist an den i-ten Faktor gebunden, dessen Effizienz größer ist als die Effizienz der Substitute).
- c) $K_i = 0$, die Änderung der Faktorpreise hatte keinen Einfluß auf den technischen Fortschritt (die relative Effizienz der möglichen Substitute des i-ten Faktors ist gleich der Effizienz des substituierten Faktors).

Es zeigte sich, daß vor allem die Steigerung der Preise für Boden und Arbeit diejenigen Faktoren waren, die zu einer Beschleunigung des technischen Fortschritts geführt haben (Fall a)). Auf der anderen Seite waren Gebäude, ertragssteigernde Produktionsfaktoren (Düngemittel, Saatgut etc.) und Maschinen diejenigen Faktoren, in denen der technische Fortschritt gebunden war (Fall b)). Diese Ergebnisse unterstützten die Relevanz der Hypothese des preisinduzierten technischen Fortschritts für die deutsche Landwirtschaft.

5.6 Produktionswachstum als Ursache der Beschleunigung des technischen Fortschritts

Zur Prüfung der Frage, ob der technische Fortschritt in der Landwirtschaft auch endogen bestimmt war, wurde zuerst ein Likelihood-Ratio-Test durchgeführt. Endogener technischer Fortschritt wurde hier als die Änderungsrate des technischen Fortschritts bezüglich der Outputsteigerung c. p. gemessen⁷⁾. Die H_0 -Hypothese, daß eine Steigerung des Outputs keinen Einfluß auf die Rate des technischen Fortschritts hatte ($\gamma_{yt} = 0$), wurde auf hohem Signifikanzniveau $\alpha = 0.005$ zurückgewiesen. Nach Modell II ergab sich, daß das Outputwachstum sehr stark den technischen Fortschritt beschleunigte ($\frac{\partial \lambda}{\partial \ln y} = -0.2456$). Ähnliche Ergebnisse konnten aus Modell III abgeleitet werden. Demnach war der technische Fortschritt an das Produktionswachstum gebunden (learning by doing).

5.7 Andere Faktoren, die den technischen Fortschritt beeinflusst haben

Um den Einfluß anderer Faktoren zu testen, die als Ursache für die Beschleunigung bzw. Verlangsamung des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft in Frage kommen, wurde ein zusätzliches Modell gebildet und statistisch getestet. Die allgemeine Form des Modells IV ist:

$$Y = f(x_1 \dots x_n),$$

wobei

Y = Rate des technischen Fortschritts

x_1 = die Relation zwischen den Faktor- und Produktpreisen

x_2 = die Relation landwirtschaftlicher Einkommen zum Einkommen außerhalb

x_3 = die Ausgaben für Forschung und Entwicklung der Landwirtschaft

x_4 = Wert der Bruttoinvestitionen in der Landwirtschaft

x_5 = Durchschnittsgröße der landwirtschaftlichen Betriebe in den einzelnen Jahren

In diesem Modell wird der jährliche auf der Basis des Modells III berechnete technische Fortschritt als abhängige Variable betrachtet. Um die sinnvollste zeitliche Beziehung zwischen den exogenen Variablen und der Rate des technischen Fortschritts zu finden, wurde eine große Anzahl von Varianten mit unterschiedlichen lag-Strukturen statistisch getestet.

In der Untersuchung, in die zusätzliche Variablen zur Erklärung der Beschleunigung des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft einbezogen wurden, erwiesen sich das zunehmende Verhältnis von Faktorpreisen zu Produktpreisen und eine Verbesserung der landwirtschaftlichen Einkommen im Vergleich zu außerlandwirtschaftlichen Einkommen als die dominierenden Einflußfaktoren. Etwas überraschend wurde herausgefunden, daß die Bruttoinvestitionen in den ersten zwei Jahren einen gewissen negativen Effekt auf den technischen Fortschritt ausgeübt haben. Erst nach dieser Zeit zeigte sich eine Beschleunigung des technischen Fortschritts. Dies kann dahingehend interpretiert werden, daß neue Kapazitäten zunächst zu einer relativen Überkapazität im Verhältnis zur Produktion führen, die dann erst nach einiger Zeit voll genutzt werden können. Erst dann schlägt sich die Nutzung dieser neuen Kapazitäten in einer Kostensenkung nieder.

Ein leichter Hinweis ergab sich dafür, daß das Wachstum der durchschnittlichen Betriebsgröße mit einer Verzerrung von zwei Jahren zu einer geringen Beschleunigung der Rate des technischen Fortschritts geführt hat. Die Hypothese, daß durch Aufwendungen für Forschung und Entwicklung der technische Fortschritt in der Landwirtschaft induziert wurde, hat sich nicht bestätigt. Die Gründe dafür können vielfältiger Art sein:

1. Die Angaben für die Aufwendungen in den einzelnen Jahren für die Forschung und Entwicklung in der Landwirtschaft können unvollständig sein, und deshalb ist die tatsächliche Varianz aller Aufwendungen nicht erfaßt worden⁸⁾.
2. Die erwartete Zeitverzögerung zwischen den Ausgaben für die Forschung und Entwicklung und die möglichen Auswirkungen in Form des technischen Fortschritts könnte mehr als sieben Jahre betragen.

Um die Hypothese des durch Forschung und Entwicklung induzierten technischen Fortschritts in der Landwirtschaft testen zu können, wären vollständige Angaben in langen Zeitreihen notwendig.

5.8 Unterschiede zwischen den Regionen

Als letztes wurde untersucht, ob es Unterschiede in der Art des technischen Fortschritts zwischen Teilgebieten in der Bundesrepublik gibt. Dazu wurden die Daten in drei Gruppen geteilt und für diese Teilgebiete Kostenfunktionen gesondert geschätzt. Es zeigten sich bei diesen für süddeutsche und norddeutsche Gebiete getrennt geschätzten Funktionen leichte Unterschiede, die weitgehend auf die Unterschiede in den natürlichen Produktionsbedingungen und die regionalen Unterschiede in den Faktorpreisen zu erklären sind. Herauszustellen ist hier nur, daß die strukturell bessere Region (Norddeutschland) zwar den höchsten Grad von Skaleneffizienz aufwies, aber eine relativ geringe Entwicklung des technischen Fortschritts. Im Gegensatz dazu ergab sich für die schlechter strukturierten Gebiete im Süden der Bundesrepublik die höchste Zuwachsrate an technischem Fortschritt.

6 Schlußfolgerungen

Die durchgeführte Analyse zeigt, daß die These der Notwendigkeit der Unterstützung des Produktivitätswachstums detaillierter betrachtet werden muß. Von den verschiedenen Möglichkeiten des Produktivitätswachstums sollten die gefördert werden, denen nicht Skaleneffekte, sondern der technische Fortschritt zugrunde liegt, denn dies beschränkt einerseits die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion und führt andererseits zu einer Erhöhung des landwirtschaftlichen Einkommens.

Fußnoten:

- 1) s. G. HANOCH (1975), L. R. CHRISTENSEN, W. H. GREENE (1976)
- 2) Eine nicht-homothetische Technologie unterstellt, daß eine optimale Faktorkombination auch abhängig vom Outputniveau ist, d. h. die Faktoranteile ändern sich je nach der Änderung des Faktorpreises, Outputniveaus und technischen Fortschritts. Zur Definition der Homothetik s. SHEPARD (1953, 1970), DIEWERT (1974).
- 3) Vgl. F. M. GALLOP, M. J. ROBERTS (1981, S. 139).
- 4) Hierzu wurden zunächst die jeweiligen nominalen Aufwandszeitreihen für die Produktionsmittel, die zu dem Aggregat gehören, deflationiert. Der Preisindex der entsprechenden Aggregate ergab sich aus der Division der Summe nominaler und realer Aufwendungen. Die berechneten Indices wurden im Modell als Faktorpreise verwendet.

- 5) Vgl. FOMBY, CARTER, HILL, JOHNSON (1984, S. 613-614), CHRISTENSEN, GREEN (1976), BERNDT, KHALED (1979).
- 6) Die K_j können auch als die Verzerrung des technischen Fortschritts interpretiert werden.
- 7) Vgl. H. Y. ARROW (1962), WAN JU (1971, S. 226-229).
- 8) Es wurden nur die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung im Rahmen des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten berücksichtigt.

Literatur

- ARROW, K. (1962): The Economic Implications of Learning by Doing. Review of Economic Studies, June 1962, S. 155-173.
- BERNDT, E. R. and M. S. KHALED (1979): Parametric Productivity Measurement and Choice among Flexible Functional Forms. Journal of Political Economy, Vol. 87 (61), S. 1220-1245.
- BINSWANGER, H. P. (1978): Measured Biases of Technical Change: the United States. In: BINSWANGER, RUTTAN et al., Induced Innovation. Technology, Institutions, Development. ed. John Hopk. Univ. Press, S. 215-242.
- CHRISTENSEN, L. R. and W. H. GREENE (1976): Economics of Scale in U. S. Electric Power Generation. Journal of Political Economy 84 (4), S. 655-767.
- CHRISTENSEN, L. R. (1977): "Simultaneous Estimation of Technical Change and Scale Economies". Unpublished Memorandum, Department of Economics, University of Wisconsin, March 1977.
- DIEWERT, W. E. (1974): Applications of Duality Theory. In: Frontiers of Quantitative Economics, Vol. II, ed. M. D. Intiligator and D. A. Kendrick. North-Holland, S. 106-171.
- FOMBY, T. B., R. C. HILL and S. R. JOHNSON (1984): Advanced Econometric Methods. New York.
- FUSS, M. and D. McFADDEN (eds.) (1978): Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications. 2 Vols. (Amsterdam: North-Holland).
- GOLLOP, F. M. and M. J. ROBERTS (1981): The sources of Economic Growth in the U. S. Electric Power Industry. In: Productivity Measurement in Regulated Industries, ed. T. G. Cowing, R. E. Stevenson. New York, S. 107-143.
- GREENE, W. M. (1983): Simultaneous Estimation of Factor Substitution, Economics of Scale, Productivity and Non-Neutral Technical Change. In: Developments in Econometric Analysis of Productivity, ed. Dogramaci. Boston, S. 121-143.

- HANOCH, G. (1975): The Elasticity of Scale and the Shape of Average Costs. *American Economic Review* 65, December, S. 492-497.
- MICHALEK, J. (1987): Technological Progress in West German Agriculture. A quantitative approach. University of Kiel, Dissertation.
- SHEPARD, R. W. (1953): Cost and Production Functions (reprint of the First Edition), 1953, ed. Princeton Univ. Press, 1981.
- SHEPARD, R. W. (1970): Theory of Cost and Production Functions. ed. Princeton Univ. Press.
- STEVENSON, R. (1980): Measuring technological bias. *American Economic Review* 70, No. 1, S. 162-173.
- WAN, N. Y., JR. (1971): Economic Growth. ed. Marcourt Brase Javonovich, Inc.