



Munich Personal RePEc Archive

Determinants of Technical Change: An Empirical Analysis for Switzerland

Harabi, Najib

Institute of Economics at the University of Zurich

May 1992

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/26217/>

MPRA Paper No. 26217, posted 26 Oct 2010 20:00 UTC

Reihe D
Arbeitspapiere
Nr. 21

DETERMINANTEN DES TECHNISCHEN
FORTSCHRITTS

Eine empirische Analyse für
die Schweiz/ 2. Version

Najib Harabi

Mai 92

Reihe D
Arbeitspapiere
Nr. 21

DETERMINANTEN DES TECHNISCHEN
FORTSCHRITTS

Eine empirische Analyse für
die Schweiz/ 2. Version

Najib Harabi

Mai 92

DETERMINANTEN DES TECHNISCHEN FORTSCHRITTS
Eine empirische Analyse für die Schweiz*

INHALT

1. EINFÜHRUNG

2. THEORETISCHER ANSATZ

2.1 Zum Begriff des technischen Fortschritts

2.2 Erfassung des technischen Fortschritts

2.3 Determinanten des technischen Fortschritts

3. EMPIRISCHES VORGEHEN

3.1 Daten

3.2 Schätzmodell

3.3 Ökonometrische Probleme

4. SCHÄTZERGEBNISSE

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG

FUSSNOTEN

BIBLIOGRAPHIE

DETERMINANTEN DES TECHNISCHEN FORTSCHRITTS

Eine empirische Analyse für die Schweiz

ZUSAMMENFASSUNG: Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, die Determinanten des technischen Fortschritts theoretisch zu bestimmen und empirisch für die Schweiz zu schätzen. Auf der theoretischen Ebene besteht unter Ökonomen zunehmend Einigkeit darüber, dass der technische Fortschritt ein ökonomisches Phänomen ist, das durch die drei folgenden Faktoren erklärt werden kann: 1) die technologischen Chancen ("technological opportunities"), 2) die Fähigkeit des ökonomischen Systems (v.a. der Unternehmungen), die Ergebnisse von technischen Innovationen anzueignen und zu schützen ("appropriability conditions"), sowie 3) die innovationswirksamen Nachfragebedingungen.

Der theoretische Ansatz wird mittels zweier Datensätze aus der Schweiz empirisch geschätzt. Der eine Datensatz stammt vom Bundesamt für Statistik (BFS) und enthält quantitative Angaben zu F&E-Ausgaben, F&E-Personal, Gesamtpersonal und Umsatzzahlen für 124 Wirtschaftsarten im Jahre 1986, der zweite entstammt einer eigenen Erhebung. Bei der schriftlichen Befragung im Sommer 1988 zu den 2 angebotsseitigen Determinanten des technischen Fortschritts (Punkte 1 und 2 oben) haben von den 940 befragten Unternehmungen 358 oder 38% geantwortet. Sie decken 127 verschiedene Wirtschaftsarten ab. Aufgrund des Aggregationsniveaus des Datensatzes des BFS konnte die empirische Analyse nicht auf der Unternehmensebene, sondern nur auf der Ebene von Wirtschaftsarten (4-stellige Industrieklassifikation) durchgeführt werden.

Bei der empirischen Spezifikation wird der technische Fortschritt (als abhängige Variable) mittels dreier Indikatoren operationalisiert. Der eine ist ein Output-Indikator und repräsentiert das Einführungstempo von Innovationen seit 1970. Die anderen sind die zwei Input-Indikatoren "Anteil der F&E-Ausgaben

am Umsatz" und "Anteil des F&E-Personals am Gesamtpersonal". Es werden mithin 3 Gleichungen mit den Methoden OLS und GLS einzeln geschätzt.

Die wichtigsten Schätzergebnisse werden wie folgt zusammengefasst:

- Die Fähigkeit der Unternehmen, die Ergebnisse ihrer Innovationen anzueignen und zu schützen übt, in allen 3 Modellen einen positiven Einfluss auf den technischen Fortschritt aus. Dabei zeigt sich, dass die nicht-patentbezogenen Schutzmittel "Geheimhaltung", "Zeitvorsprung", "Abwärtsbewegung auf der Lernkurve" und "überragende Verkaufs- und Serviceleistungen" für den Innovationprozess insgesamt bedeutsamer sind, als die Schutzmittel "Patente zum Schutz gegen Imitation" und "Patente zur Sicherung von Lizenzgebühren".
- Von allen firmenexternen Quellen technologischer Chancen trägt die in- und ausländische Hochschulforschung zum technischen Fortschritt statistisch signifikant und quantitativ am höchsten bei.
- Von den 6 gefragten Gebieten der Grundlagenwissenschaften ist die Ausbildung in der Mathematik und in der Informatik für den technischen Fortschritt relevant (der Koeffizient beider Variablen ist positiv und statistisch signifikant, v.a. im 2. und 3. Modell). Bei allen anderen Fächern ist sie nicht gegeben oder statistisch nicht signifikant.
- Bei den angewandten Wissenschaften ist die Ausbildung in der Medizin und in der Elektrotechnik relevant (der Koeffizient beider Variablen ist positiv und statistisch signifikant).
- Die Wissenschaft insgesamt, verkörpert hier in der Ausbildung in 14 Wissenschaftsgebieten, ist für den technischen Fortschritt generell relevant. Je konzentrierter und gezielter jedoch deren Nutzung auf der F&E-Ebene ist, umso mehr trägt Wissenschaft zum technischen Fortschritt bei.
- Der Einfluss des Umsatzes als Indikator für die Marktnachfrage ist, entgegen der theoretischen Erwartung, negativ. Dies bedeutet, dass die Innovationsfähigkeit der hier untersuchten Wirtschaftsarten mit zunehmendem Umsatz abnimmt. Wirtschaftsarten mit kleinerem

Umsatz innovieren relativ mehr als jene mit grösserem Umsatz.

DETERMINANTEN DES TECHNISCHEN FORTSCHRITTS

Eine empirische Analyse für die Schweiz

1. EINFÜHRUNG

Während sich bedeutende Klassiker und Neo-Klassiker der Nationalökonomie (z.B. Adam Smith, Karl Marx und Alfred Marshall) mit dem technischen Fortschritt explizit und intensiv auseinandergesetzt hatten, sahen ihn Ökonomen späterer Generationen, v.a. in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, als eine vorgegebene, exogene "black box", deren Natur, Determinanten und Wirkungen sie deshalb nur am Rande untersucht haben¹. Erst seit Mitte der 50er Jahre ist das Interesse am technischen Fortschritt wieder schnell und nachhaltig gewachsen. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Zusätzlich zur Tatsache, dass Ökonomen in einer realen Welt leben, die vermehrt von neuen Technologien durchdrungen ist und sie direkt oder indirekt zwingt, darüber nachzudenken, gibt es interne, Disziplin-eigene Quellen für diese Renaissance des Interesses am technischen Fortschritt in den letzten Jahrzehnten (Vgl. Nelson (1987)).

Die im Rahmen des National Bureau of Economic Research (USA) durchgeführten empirischen Arbeiten in den 50er Jahren betonten bei der Erklärung des langfristigen Wirtschaftswachstums der USA die zentrale Rolle der Technologie (siehe vor allem die Arbeiten von

Abramovitz, Denison, Fabricant, Kuznets und Kendrick). Insbesondere der bekannte Artikel von Solow (1957) "Technical Change and the Aggregate Production Function", der den technischen Fortschritt gemäss neoklassischer Tradition modellierte, ist hier erwähnenswert. Sowohl diese theoretischen wie empirischen Arbeiten wurden später weitergeführt².

Eine zweite Quelle sind die einflussreichen Arbeiten von Schumpeter, die diesbezüglich zum folgenden Schluss kamen: "The fundamental impulse that sets and keeps the capitalist engine in motion comes from the new consumers' goods, the new methods of production or transformation, the new markets, the new forms of industrialization, that capitalist enterprise creates" (Schumpeter 1950:83). Später wurden die zentralen Aussagen von Schumpeter von Industrieökonomien empirisch überprüft und theoretisch wie empirisch weiterentwickelt³.

Eine dritte Quelle, so führt Nelson weiter, liegt ursprünglich im Gebiet der Agrarökonomie, insbesondere in der Fragestellung, wie gross die Erträge staatlicher Ausgaben in der landwirtschaftlichen Forschung sind und wie sie sich theoretisch überhaupt rechtfertigen lassen (z.B. Griliches (1958)). Die gleiche Fragestellung hat sich später auf andere Gebiete wie die Gesundheitsökonomie ausgedehnt. Die ganze Diskussion um Marktversagen und die Rechtfertigung staatlicher Intervention im Forschungsbereich wurde dadurch neu belebt.

Schliesslich waren die früheren empirischen Arbeiten von

Leontief (1966), in denen er zeigte, dass die USA überraschenderweise zur damaligen Zeit im allgemeinen keine kapital- bzw. technologieintensiven Güter exportierten, ein weiterer Anlass für Ökonomen, sich mit dem technischen Fortschritt und dessen Konsequenzen für den internationalen Handel zu befassen.

Die heutige, erfreulicherweise intensive Auseinandersetzung mit dem Fragenkomplex Technischer Fortschritt hat also verschiedene historische Wurzeln und entstammt verschiedenen Forschungsrichtungen. Technischer Fortschritt wird heute von den meisten Ökonomen als ökonomisches Phänomen anerkannt, dem volle Aufmerksamkeit gelten soll und zwar nicht zuletzt, weil sein Beitrag zum Wirtschaftswachstum sehr wichtig ist und quantitativ -je nach Berechnungsart- zwischen 30% und 50% liegt. Dabei ist allerdings zu beachten, dass sowohl die Rate des technischen Fortschritts als auch dessen Beitrag zum Wirtschaftswachstum von Land zu Land und von Wirtschaftszweig zu Wirtschaftszweig quantitativ verschieden sind. Es bestehen somit sowohl international wie interindustriell beträchtliche Unterschiede im technischen Fortschritt und damit im Wirtschaftswachstum.

In der Schweiz, wie in anderen kleinen offenen Ökonomien, wird die Zukunft der Volkswirtschaft besonders stark von zwei Faktoren beeinflusst: der Innovationsfähigkeit und der damit eng zusammenhängenden internationalen Wettbewerbsfähigkeit ihrer Unternehmen. Für beides spielen Forschung und Entwicklung (F&E) und die daraus resultierenden technischen Innovationen eine zentrale

Rolle. Auch aus diesem Grund führt das Bundesamt für Statistik in Zusammenarbeit mit dem Vorort des Schweizerischen Handels- und Industrievereins regelmässig Erhebungen über F&E-Ausgaben und F&E-Personal in der schweizerischen Privatwirtschaft durch. Dadurch entsteht eine sehr wichtige quantitativ-statistische Grundlage für alle an F&E interessierten Kreise. Eine handlungsorientierte Interpretation der vorliegenden quantitativen Befunde setzt jedoch zusätzliches Wissen über ihre qualitativen Bestimmungsfaktoren voraus. Deshalb werden in einer vom schweizerischen Nationalfonds geförderten Untersuchung die ökonomischen und institutionellen Determinanten des technischen Fortschritts in der Schweizer Industrie analysiert. Die Leitfragen in dieser Arbeit lauten :

- Wie kann der technische Fortschritt aufgrund der verfügbaren Daten in der Schweiz erfasst werden?
- Welches sind theoretisch die Determinanten des technischen Fortschritts v.a. auf Branchenebene ?
- Wie können die interindustriellen Unterschiede im technischen Fortschritt empirisch im Rahmen eines theoretisch fundierten Modells für die Schweiz "erklärt" werden?

Es geht mit anderen Worten im folgenden darum, theoretisch wie empirisch jene zentralen Faktoren zu bestimmen, die hinter den -empirisch beobachtbaren- interindustriellen Unterschieden im technischen Fortschritt stecken. Dabei werden zuerst die theoretische Basis, anschliessend das empirische Vorgehen (Daten, Schätzmodell und -methode) und schliesslich die Schätzergebnisse vorgestellt. Die Zusammenfassung und Schlussfolgerungen beschliessen die Arbeit.

2. Theoretischer Ansatz

2.1 Zum Begriff des technischen Fortschritts⁴

Technischer Fortschritt⁵ äussert sich "in der Herstellung neuer oder verbesserter Produkte oder in der Einführung neuer Produktionsverfahren, die ein unverändertes Produkt zu gleichbleibenden Kosten in vergrösserter Menge bzw. in gleichbleibender Menge zu geringeren Kosten herzustellen ermöglichen" (Geigant et al 1979). Die qualitative Verbesserung der Produkte sowie der Produktionsverfahren ist Ausdruck der Zunahme naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und technologisch-organisatorischen Wissens.

Der Prozess der technischen Innovationen lässt sich nach Schumpeter in drei Phasen zerlegen: 1. Erfindung (invention), 2. Markteinführung (innovation) und 3. Nachahmung (imitation) bzw. Diffusion. Wenn man davon ausgeht, dass Erfindungen auf der Basis von Forschung und Entwicklung resultieren, könnte man den Innovationsprozess in die folgenden 5 Phasen gliedern:⁶

1. Forschung (research)
2. Entwicklung (development)
3. Erfindung (invention)
4. Markteinführung (innovation)
5. Nachahmung (imitation) bzw. Diffusion.

Die ersten 3 Phasen zusammen machen den technologischen Fortschritt aus. Erst mit der erfolgreichen Markteinführung spricht man vom technischen Fortschritt bzw. von technischen Innovationen. Zudem dürfen diese Phasen keineswegs als isoliert und unabhängig voneinander betrachtet werden. Der Innovationsprozess verläuft nicht linear von einer Phase in die andere, sondern eher zirkulär: Die einzelnen Phasen werden miteinander verknüpft und rückgekoppelt; insbesondere die F&E-Aktivitäten (Phase 1 und 2) werden zunehmend nach den Markterfordernissen (Phase 4) orientiert.

2.2 Erfassung des technischen Fortschritts

Will man den technischen Fortschritt erfassen, so gibt es in der industrieökonomischen Literatur die vier folgenden Grundkonzepte:

- Input-Konzepte
- Output-Konzepte
- Input-Output-Konzepte und
- Prozessablauf-Konzepte

Diese Konzepte werden generell benutzt, um Indikatoren für den Stand der Technik (statisch) bzw. für die Fortschrittsrate (dynamisch) zu bestimmen.

Unter Input-Konzepten werden Ansätze verstanden, die auf der Inputseite des Produktionsprozesses, d.h. bei den eingesetzten Produktionsfaktoren, Indikatoren für den technischen Fortschritt zu finden versuchen:

1. Anteil der F&E-Ausgaben an geeigneten Grössen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (z.B. BIP) oder auf der Ebene einzelner Branchen oder Unternehmen z.B. am Umsatz oder an der Wertschöpfung
2. Anteil der Beschäftigten in "F&E" an der Gesamtzahl der Beschäftigten
3. Bibliometrische Indikatoren
- 4 Anzahl der Patentierungen und Lizenzvergaben (als "Output von F&E)
5. Altersstruktur des Anlagebestandes

Die Input-Konzepte 1-5 sind alle mit dem grundsätzlichen Nachteil behaftet, dass es gewagt ist, von Input-Grössen auf den Output des Produktionsprozesses (Gesamtheit aller neuen Produkte und Produktionsverfahren) zu schliessen.

Output-Konzepte versuchen, den technischen Fortschritt am Resultat des Produktionsprozesses zu erfassen. Technischer Fortschritt manifestiert sich auf dieser Stufe in Form von neuen oder verbesserten Produkten und Produktionsverfahren. Bei Investitionsgütern, können ökonomische Effizienzkriterien (ob sie z.B. eine bestimmte Produktionsmenge mit geringeren Kosten ermöglichen) angewandt werden. Dagegen tauchen bei Konsumgütern erhebliche Bewertungsprobleme auf. Es stellt sich die Frage, ob das neue Konsumgut eine technische Revolution verkörpern muss, oder ob allein ein neuer Farbanstrich genügt, damit es als technischer Fortschritt gilt. Angesichts dieser Probleme lässt sich bei den Konsumgütern kein eindeutiges ökonomisches Bewertungskriterium angeben. Deshalb findet man auch in der Literatur verschiedene Output-Konzepte:

- 1) Konzept der "neuartigen Güter". Danach entscheidet nicht allein der Kostengesichtspunkt, sondern der Nutzwert in Relation zu den Kosten, ob bei einem Konsumgut ein technischer Fortschritt vorliegt oder nicht. Unter diesem Gesichtspunkt stellt Oppenländer fest, dass es nur wenige eigentliche "neue Güter" gibt, die ein vollkommen neues, "bisher" "latent" vorhandenes Bedürfnis befriedigen. Was es eher gibt, das sind "neuartige Güter", die "überwiegend Substitutionsprodukte darstellen. Diese "neuartigen Güter" können mit Hilfe einer Nutzenaufgliederung (objektive und subjektive Nutzenkomponenten) bewertet werden.
- 2) Produktzyklus-Konzept. Auch mit Hilfe dieses Konzeptes wird versucht, Indikatoren für den technischen Fortschritt bei neuen Produkten zu finden. Nach Heinen (1970) lässt sich feststellen, dass Güter einer bestimmten technischen Konzeption charakteristische "Reifephasen" durchlaufen. Nach dieser Auffassung wird demzufolge postuliert: Wenn Produktzyklen immer kürzer werden (z.B. im Bereich von Computern etwa 2 Jahre oder noch weniger; in den siebziger Jahren waren es noch ca. 5 Jahre), dann sei dies ein Indikator für die Beschleunigung des technischen Fortschritts in dieser Branche.
- 3) Ein drittes Output-Konzept versucht, Produkte ausschliesslich nach realtechnischen Gesichtspunkten (z.B. mechanische vs. elektronische Uhr) zu unterscheiden, um Indikatoren für den technischen Fortschritt zu finden.

Input-Output-Konzepte versuchen mit Hilfe von

Produktionsfunktionen, den Beitrag des technischen Fortschritts zu erfassen oder Hypothesen bezüglich seiner Beschleunigung zu testen (z.B. USA: Denison, BRD: Oppenländer). Es handelt sich meist um Cobb-Douglas-Funktionen mit Arbeit und Kapital als Produktionsfaktoren und einem Residualfaktor, der den technischen Fortschritt ausdrücken soll. Empirisch lässt sich feststellen, wie bereits oben in der Einführung erwähnt wurde, dass grosse Teile des wirtschaftlichen Wachstums nicht über Inputveränderungen entstanden sind, sondern im Rahmen dieser Totalproduktivitätsrechnungen dem "technischen Fortschritt" zuzurechnen sind. Produktivitätssteigerungen können aber auch andere Ursachen haben, wie Veränderungen der Output-Mengen (economics of scale) oder unterschiedliche Auslastungsgrade der eingesetzten Faktoren. Verschiedene Autoren haben deshalb versucht, den eigentlichen technischen Fortschritt im Rahmen des Residualfaktors zu isolieren (z.B. Denison).

Auch bei der Aufgabe bestimmter Prämissen der Cobb-Douglas-Funktion (lineare Homogenität und Substitutionselastizität von 1), wird der technische Fortschritt als "unembodied" verstanden und nicht endogen bestimmt. Seine Durchsetzung ist damit nicht an den Einsatz von neuen, besseren Produktionsfaktoren gebunden (Gahlen 1972). Realitätsnähere Modelle wurden deshalb in Form von Vintagemodellen formuliert (Solow 1960, Oppenländer 1971 und 1976). Darin wird der Kapitalstock nicht nur mit der Altersstruktur, sondern auch mit der jahresspezifischen Effizienz gewichtet.

Teilproduktivitäten (Faktorproduktivitäten) im Gegensatz zu Totalproduktivitätsrechnungen (siehe oben) eignen sich weniger für die Analyse technischer Veränderungen, da diese in aller Regel Änderungen bei allen Produktionsfaktoren hervorrufen. Ebenso kann die Entwicklung der Kapitalintensität (als Input/Input-Grösse) isoliert betrachtet kaum als Indikator für den technischen Fortschritt benutzt werden.

Auf der Ebene von Unternehmen wie auf der Ebene von Branchen und Volkswirtschaften kann der technische Fortschritt als eine Verschiebung der Produktionsfunktion in der Zeit aufgefasst werden. Schon Schumpeter charakterisierte den technischen Fortschritt als "setting up of a new production function". Dadurch wird eine begriffliche Abgrenzung des technischen Fortschritts von reiner Faktorsubstitution möglich.

Die bisher beschriebenen Konzepte behandeln den Produktionsprozess als "black box". Prozessablauf-Konzepte versuchen den technischen Fortschritt (oder den Stand der Technik) an Hand des Produktionsvorganges zu bestimmen. Es handelt sich um eine realtechnische Charakterisierung vorwiegend im Bereich des Industriesektors, die sich aber auch auf den Tertiärsektor übertragen lässt. So versucht Scholz (1977) im Rahmen eines "Systemtechnischen Ansatzes zur Bestimmung des Standes der Technik" Produktionsprozesse mit Hilfe von vier Technik-Variablen (Arbeitsverfahren, Automatisierung, Komplexität der technischen Organisationsstruktur, Dimensionierung der Produktionsanlagen) zu

charakterisieren. Scholz möchte diesen Ansatz auch als Ausgangslage für eine Technikstatistik verstanden wissen.

Fazit: In der vorliegenden Arbeit wird der technische Fortschritt aus Datengründen mittels folgender 3 Indikatoren erfasst: Die 2 Input-Indikatoren "Anteil der F&E-Ausgaben am Umsatz" und "Anteil des F&E-Personals am Gesamtpersonal" sowie der "Output-Indikator" "Einführungstempo von Innovationen seit 1970". Während die ersten 2 Indikatoren quantitativ-messbar sind, ist der 3. Indikator qualitativ, nicht direkt quantifizierbar und stellt die subjektive Antwort von F&E-Experten auf eine diesbezügliche Frage im Rahmen meiner schriftlichen Befragung dar (Harabi (1988), siehe hier unten Punkt 3.2). Zusätzlich zu den oben bereits erwähnten globalen Einwänden zu den Input-Konzepten weisen die hier verwendeten Input-Indikatoren weitere schwerwiegende theoretische Mängel auf:

- Es fehlen operable Kriterien für eine klare Abgrenzung der Unternehmensbereiche "F&E" und "Produktion", v.a. in Klein- und Mittelbetrieben.
- In Anbetracht des ausgesprochenen stochastischen Charakters des Forschungs- und Entwicklungsertrags erscheint es gewagt, von Input-Größen (hier: F&E-Ausgabe bzw F&E-Personal) auf den Output des F&E-Prozesses zu schliessen.
- Nicht nur die Höhe der F&E-Ausgaben und des F&E-Personals ist wichtig, sondern auch die richtige Wahl der Forschungsprojekte und deren richtige Einbettung in die allgemeine Innovationsstrategie ist von zentraler Bedeutung.

Trotz dieser Einwände haben diese Input-Indikatoren wegen ihrer

relativ leichten statistischen Erfassung und Verfügbarkeit⁷ grosse Verbreitung in der Innovationsforschung gefunden und werden auch hier verwendet. Der 3. Indikator ist zwar von seiner theoretischen Konzeption her besser, er misst nämlich den Output des Innovationsprozesses, seine direkte Quantifizierung ist jedoch äusserst aufwendig, wenn nicht für einen Einzelforscher unmöglich. Deshalb wird er hier mit einer qualitativen und indirekten Methode erfasst. (Auf alle 3 Indikatoren komme ich später unter Abschnitt 3.2 über die empirische Modellspezifikation zurück).

2.3 Determinanten des technischen Fortschritts

Es besteht unter Ökonomen zunehmend Einigkeit darüber, dass der technische Fortschritt, wie gesagt, keine "black box" mehr ist, sondern ein ökonomisches Phänomen, das auf Branchenebene ("industry-level") durch die drei folgenden Faktoren erklärt werden kann:

- 1) die technologischen Chancen ("technological opportunities"),
- 2) die Fähigkeit, die Ergebnisse von technologischen Innovationen anzueignen und zu schützen ("appropriability conditions"), sowie
- 3) die innovationswirksamen Marktnachfragebedingungen.

In anderen Worten: Der technische Fortschritt auf Branchenebene hängt, wie viele andere ökonomische Phänomene, sowohl von angebots- (1. und 2. Faktor) als auch von nachfrageseitigen Bestimmungsfaktoren (3. Faktor) ab. Diese drei Determinanten werden

sowohl in den evolutorischen Modellen von Nelson und Winter (Nelson und Winter, (1982), Nelson, (1987)) als auch, wenn auch nicht immer explizit, in den neo-klassischen Modellen der letzten Jahrzehnte (siehe Nelson (1959), Arrow (1962), Dasgupta und Stiglitz (1980), Flaherty (1980), Lee und Wilde (1980), Levin (1978), Loury (1979), Reinganum (1989)) verwendet.

In den beiden Schulen ist technischer Fortschritt (TF) erstens vom Volumen (VFE) und zweitens von der Produktivität der F&E-Ausgaben (PFE) abhängig. F&E-Ausgaben werden ihrerseits von der Grösse des Marktes (MARKT), von den technologischen Chancen (den Chancen des Zuganges zu technologisch verwertbarem Wissen (CHANCEN)) und der Fähigkeit des ökonomischen Systems, die Ergebnisse von Innovationen zu sichern (ANEIGNUNG), bestimmt. Die Produktivität der F&E-Ausgaben ist ebenfalls von den zuletzt genannten zwei Faktoren abhängig. Diese allgemeinen theoretischen Zusammenhänge werden in den folgenden Gleichungen kurz zusammengefasst:

$$TF = f (VFE, PFE)$$

$$VFE = f (MARKT, CHANCEN, ANEIGNUNG)$$

$$PFE = f (CHANCEN, ANEIGNUNG)$$

daraus folgt

$$TF = f (MARKT, CHANCEN, ANEIGNUNG)$$

Einen diesbezüglich aktuellen Survey der Literatur liefern u.a. Dosi (1988) und Cohen/Levin (1989). Aus dieser Literatur wird im folgenden ein für die vorliegende Fragestellung besonders gut geeignetes theoretisches Modell zur systematischen Analyse der oben

sehr allgemein postulierten Determinanten des technischen Fortschritts auf Branchenebene ausgesucht. Dieses Modell, das unter dem Namen "R&D-Capitalstock Model" bekannt ist, wurde u.a. auch von Nelson formuliert und wird hier detailliert vorgestellt (siehe Nelson/Wolff (1988) sowie Baumol/Wolff (1983)). Die Grundidee ist, der Stand der Technik oder - entsprechend der produktions-theoretischen Formulierung von Input-Output-Konzepten (siehe oben)- die Totalfaktorproduktivität A_t in einer Branche sei vom bisher kumulierten F&E-Kapitalstock F_t und von anderen exogenen Faktoren (v.a. von externen technologischen Chancen), hier durch den Zeitfaktor t aufgefangen, abhängig. Konkret sieht dieser Zusammenhang wie folgt aus:

$$(1) \quad A_t = F_t^b e^{at}, \quad \frac{\partial^2 A}{\partial F^2} < 0 \text{ und } \frac{\partial^2 A}{\partial F \partial t} > 0.$$

Dabei wird angenommen -und dies charakterisiert diese Familie von F&E-Kapitalstockmodellen- dass einerseits bei zunehmendem Einsatz von F&E-Kapital die Grenzerträge dieses Kapitals im Hinblick auf die Totalfaktorproduktivität abnehmen und andererseits dass es aber externe Faktoren gibt, die diese abnehmenden Grenzerträge ausgleichen. Die Parameter a ist die Rate, mit welcher diese externen Faktoren die abnehmenden Grenzerträge bei zunehmendem F ausgleichen und b ist die Elastizität von A in Bezug auf F . Darüber hinaus wird unterstellt, dass eine Zunahme von A , d.h. der Totalfaktorproduktivität bzw. des Standes der Technik mit einer Abnahme der Produktionstückkosten gleichzusetzten ist.

Will man die Dynamik dieses Systems untersuchen, so kann aus Gleichung (1) die Wachstumsrate von A in Abhängigkeit der Wachstumsrate von F wie folgt gebildet werden:

$$(2) \quad \dot{A}/A = a + b \dot{F}/F$$

Ein nächster Schritt besteht darin, die \dot{F}/F genauer zu spezifizieren. Dazu wird einfachheitshalber angenommen, dass der F&E-Kapitalstock nicht entwertet wird und daher keine Abschreibungen notwendig sind und dass f das Verhältnis der F&E-Ausgaben zum Umsatz darstellt. Letzteres wird auch F&E-Intensität genannt. In diesem Fall entspricht einer Steigerung von F, dem Produkt aus f mal Gesamtumsatz (P.Y):

$$(3) \quad \dot{F} = fPY$$

Dabei ist P der Stückpreis und Y der Output. Dividiert man beide Seiten der Gleichung (3) durch F, ergibt sich Gleichung (4).

$$(4) \quad \dot{F}/F = fPY/F$$

Nimmt man weiter an, dass erstens eine Steigerung der Totalfaktroproduktivität sich im vollen Umfang -via Senkung der Produktionsstückkosten- in niedrigeren Preisen niederschlägt, d.h. $\dot{A}/A = -\dot{P}/P$ und zweitens dass die Preiselastizität der Nachfrage (-E) konstant ist, dann ergibt sich via Gleichung (2) folgendes:

$$(5) \quad -\dot{P}/P = a + b \dot{F}/F$$

und

$$(6) \quad \dot{Y}/Y = E (a + b \dot{F}/F)$$

Bezeichnet man mit G die exogen vorgegebene Gleichgewichtswachstumsrate des F&E-Kapitalstocks, d.h. ist $G = \dot{F}/F$, dann resultiert Gleichung (7a), da im Gleichgewicht F und Y mit der gleichen Rate wachsen müssen.

$$(7a) \quad G = \dot{P}/P + \dot{Y}/Y$$

und aus (5) und (6),

$$(7b) \quad G = - (a + bG) + E (a + bG)$$

oder durch eine kleine Manipulation von (7b),

$$(7c) \quad G = a (E-1) / 1 - b (E-1)$$

Aus (2) und (7c) resultiert weiter

$$(8) \quad \dot{A}/A (G) = a + b (a (E-1) / 1 - b (E-1))$$

Gleichung (8) ist ein ganz zentrales Ergebnis, da sie die Gleichgewichtswachstumsrate der Totalfaktorproduktivität $\dot{A}/A (G)$

bzw. des technischen Fortschritts bestimmt. Und diese ist von den drei Parametern, a , b , und E abhängig, welche zwei der drei erwähnten Determinanten des technischen Fortschritts verkörpern: a und b stehen für technologische Chancen und E für Nachfragebedingungen. Darüber hinaus gibt uns diese Gleichung auch die Grössenordnung dieser Zusammenhänge an: Damit ein Gleichgewicht mit einem positiven Wert von G existieren kann, muss a positiv, E grösser als eins, b ($E-1$) positiv, aber kleiner als eins und b zwischen Null und eins sein.

Es ist allerdings zu beachten, dass die F&E-Intensität f in Gleichung (8) nicht erscheint und damit bei der Bestimmung der Gleichgewichtswachstumsrate der Totalfaktorproduktivität bzw. des technischen Fortschritts bisher keine Rolle spielte. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass die Rate, mit welcher die Produktionsstückkosten fallen würden von der F&E-Intensität unabhängig ist. Nun stellt sich die Frage, wie diese wichtige Grösse r ins System integriert werden kann und sich zu überlegen, welche Rolle sie dabei spielt. Zur Beantwortung dieser Frage muss Gleichung (4) leicht umgeordnet und dabei $G = \dot{F}/F$ gesetzt werden. Daraus ergibt sich Gleichung (9)

$$(9) \quad F/YP = f/G$$

Während die Gleichungen (7) und (8) die Gleichgewichtswachstumsraten des F&E-Kapitalstocks und der Totalfaktorproduktivität bestimmen (also "steady state"-Aussagen

erlauben), enthält Gleichung (9) Prozessaussagen solcher Art: Eine exogene Erhöhung der F&E-Intensität f führt, unabhängig von der Grösse des Umsatzes Y_P , zu einer Erhöhung des F&E-Kapitalstocks und somit auch--durch weitere Gleichungen des Modells (z.B. Gleichung (3))- zu einem höheren Niveau der Totalfaktorproduktivität und damit zu niedrigeren Produktionsstückkosten. Hingegen ist die Rate, mit welcher diese Produktionsstückkosten senken würden, wie gesagt (siehe Gleichung 8), von f unabhängig.

Da f in einem Modell über Totalfaktorproduktivität und technischen Fortschritt eine zentrale Grösse ist, soll sie auch vom diesem endogenisiert, d.h. durch die Gleichungen des Systems erklärt und nicht, wie bisher, lediglich als exogene Grösse betrachtet werden. Zu diesem Zweck müssen zusätzliche Annahmen getroffen werden. Nelson trifft im vorliegenden Modell die theoretisch übliche gewinnmaximierende Gleichgewichtsannahme, dass bei einer Anpassung des F&E-Kapitalstocks die Grenzerträge aus den neuen F&E-Investitionen deren Grenzkosten gleich sein sollen. Die Grenzerträge entsprechen hier den zusätzlichen Kostenersparnissen ($-dK.Y$), die durch die neuen F&E-Ausgaben möglich worden sind, und zwar soweit sie durch die investierende Wirtschaftseinheit aneigenbar sind. Der Umfang dieser Grenzerträge hängt also auch von der Länge der Zeitperiode (T) ab, in der die neuen F&E-Ausgaben wirtschaftlich genutzt werden können, ohne von anderen Marktteilnehmern imitiert zu werden. Die Grösse T steht somit für die "appropriability conditions" von denen oben die Rede war. Es wird somit im F&E-Kapitalstock solange investiert bis die erwähnte

gewinnmaximierende Gleichgewichtsbedingung "Grenzerträge=Grenzkosten" (Gleichung 10a) erfüllt ist.

$$(10a) \quad - dK.Y.T = dF$$

Wird stattdessen die Differenz gebildet, die den zusätzlichen Gewinn darstellt, so gilt im Gleichgewicht folgendes:

$$(10b) \quad dp = - dK.Y.T - dF = 0$$

p steht für Gewinn und dp für dessen Veränderung. Bezieht man die zusätzlichen Kostenerparnisse ($- dK.Y.T$) zu den Gesamtkosten ($K.Y$) und die zusätzlichen F&E-Investitionen (dF) zum Umsatz ($P.Y$), so resultiert:

$$(11a) \quad (-dK/K)T = dF/YP$$

Da $(-dK/K) = \dot{A}/A$ und $dF/YP = f$, kann die F&E-Intensität f wie folgt geschrieben werden:

$$(11b) \quad f = T \cdot \dot{A}/A$$

Zusammen mit Gleichung (8), welche die Bestimmungsfaktoren von \dot{A}/A im Gleichgewicht angibt, zeigt Gleichung (11b), dass eine gewinnmaximierende F&E-Intensität auf Branchenebene von den 3 folgenden Faktoren positiv bestimmt ist:

- von den Marktbedingungen, präsentiert in diesem Modell durch die Preiselastizität der Nachfrage, E,
- von den technologischen Chancen, präsentiert hier durch die Parameter a und b und schliesslich
- von der Fähigkeit des Systems, die Ergebnisse von F&E anzueignen und zu sichern ("appropriability conditions"), dargestellt hier durch die Variable T.

Diese 3 Faktoren stellen die theoretischen Spezifikationen der zu Beginn des Abschnitts 2.3 allgemein formulierten Variablen MARKT, CHANCEN und ANEIGNUNG dar und sind also die treibenden Kräfte hinter den interindustriellen Unterschieden im technischen Fortschritt bzw. in der Totalfaktorproduktivität. Im folgenden empirischen Teil geht es darum, die theoretischen Implikationen dieses Modells mit Schweizer Daten zu testen. Für eine allgemeine Übersicht der empirischen Literatur in diesem Bereich siehe v.a. Cohen/Levin (1989).

3. EMPIRISCHES VORGEHEN

3.1 Daten

Zur empirischen Schätzung des oben vorgestellten theoretischen Modells bezüglich der Determinanten des technischen Fortschritts auf Branchenebene werden zwei Datensätze herangezogen. Der eine wurde vom Bundesamt für Statistik zur Verfügung gestellt und der andere entstammt einer eigenen Erhebung. Der Datensatz des Bundesamtes für Statistik ist im Rahmen seiner regulären zweijährigen F&E- Erhebung

von 1987 entstanden und umfasst auf Branchenebene aggregierte quantitative Angaben zu F&E-Ausgaben, F&E-Personal, Umsatzzahlen, und Gesamtpersonal für 124 Wirtschaftsarten (4-stellige Industrieklassifikation) im Jahre 1986.

Der zweite Datensatz ist das Ergebnis einer im Sommer 1988 durchgeführten Expertenbefragung in der Schweizer Industrie und enthält die quantifizierten Angaben zu den angebotsseitigen Determinanten von F&E, die auch auf der Ebene von Wirtschaftsart aggregiert worden sind (für eine ausführliche Beschreibung des Fragebogens und der vorläufigen Ergebnisse siehe Harabi (1991)).

Die Grundgesamtheit der Befragung bildeten Branchenexperten aus den 1157 Unternehmen, die in der Erhebung des Vorortes als "aktiv F&E betreibende Unternehmen" bezeichnet wurden (Schweizerischer Handels- und Industrieverein 1987:11). Aus dieser Grundgesamtheit wurden Experten aus 217 Unternehmen ausgeschieden, welche die deutsche Version des Fragebogens nicht ausfüllen konnten. Diese Unternehmen sind nicht identisch mit allen in der Welschschweiz und im Tessin ansässigen Unternehmen. Experten grösserer Unternehmen aus diesen Regionen nahmen an unserer Befragung teil.

Von den 940 befragten Experten haben 358 oder 38% geantwortet. Sie sind in 127 verschiedenen Wirtschaftsarten, wie sie vom Bundesamt für Statistik definiert sind, tätig. Betrachtet man ihre Branchenstruktur gemäss der 2-stelligen Klassifikation, so stammen 38% der antwortenden Branchenexperten aus der Maschinen- und

Metall-, 23% aus der Elektro-, 10% aus der chemischen, 2% aus der Uhren-, 3% aus der Textil- und Bekleidungs-, 6% aus der Nahrungsmittel- sowie 5% aus der Kunststoff- und Papierindustrie, ferner 4% aus dem Bauwesen, 7% aus den technischen Dienstleistungen und 3% aus den privaten Forschungslabors.

Eine weitere wichtige Information über die an der Befragung teilnehmenden Unternehmen ist ihre F&E-Ausgabenstruktur. Folgendes Bild hat sich gezeigt: 55% der antwortenden Unternehmungen haben weniger als 1 Mio SFr., 10.5% zwischen 1 und 2 Mio SFr., 10.5% zwischen 2 und 5 Mio SFr., 7% zwischen 5 und 10 Mio SFr., 9% zwischen 10 und 50 Mio SFr. und 8% mehr als 50 Mio SFr. für Forschung und Entwicklung im Jahre 1986 ausgegeben.

3.2 Schätzmodell

Von der oben beschriebenen theoretischen Basis ausgehend, werden im folgenden 3 Modelle geschätzt, die zusammen eine empirische Annäherung an das obige Modell darstellen sollen. Der einzige Unterschied zwischen ihnen besteht in der Wahl der abhängigen Variablen. Beim ersten Modell ist das Einführungstempo von Innovationen, beim zweiten Modell ist die Forschungsintensität und beim letzten Modell ist die Forschungspersonalintensität die abhängige Variable. Operationell werden diese Variablen wie folgt definiert (siehe für alle im folgenden zu diskutierenden Variablen Tab. 1 im Anhang): Das Einführungstempo von Innovationen (INNOV) ist die Summe der Antwortnoten auf die im Fragebogen gestellte

Frage IV.A "Wie würden Sie das Tempo charakterisieren, mit welchem die Einführung neuer oder verbesserter Produktionsverfahren in Ihrer Branche seit 1970 erfolgte" und der Frage IV.B "Wie würden Sie das Tempo charakterisieren, mit welchem die Einführung neuer oder verbesserter Produkte in Ihrer Branche seit 1970 erfolgte" (1= sehr langsam, 7= sehr schnell). Die Forschungsintensität (FEINTE) wird als der Anteil der F&E-Ausgaben am Umsatz und die Forschungspersonalintensität (PERINTE) als der Anteil des F&E-Personals am Gesamtpersonal pro Wirtschaftsart im Jahre 1986 definiert.

Der technische Fortschritt als die zu erklärende Variable wird mithin mittels dreier Indikatoren gemessen: Ein Output-Indikator INNOV und zwei Input-Indikatoren FEINTE und PERINTE.

Die unabhängigen Variablen sind, wie oben beschrieben, in 3 Gruppen gegliedert: Aneignung und Sicherung der Ergebnisse von F&E (ANEIGNUNG), technologische Chancen (CHANCEN) und Nachfragebedingungen (MARKT).

ANEIGNUNG. Sie wird im theoretischen Modell mit T bezeichnet und hier mit 3 Variablen, ANEIGNUNG1, ANEIGNUNG2 und IMITATE empirisch operationalisiert. ANEIGNUNG1 und ANEIGNUNG2 sind die 2 Hauptkomponenten, die mittels der Faktoranalyse die Punkte 1 bis 6 der Frage I.B zusammenfassen. Dort wird die Frage nach der Wirksamkeit von 6 alternativen Mitteln zur Erlangung und Sicherung von Wettbewerbsvorteilen aus Produktinnovationen gestellt.

ANEIGNUNG1 repräsentiert die Wirksamkeit der 2 Mittel "Patente zum Schutz gegen die Imitation von neuen oder verbesserten Produkten" und "Patente zur Sicherung von Lizenzgebühren". ANEIGNUNG2 steht für die Schutzwirksamkeit der restlichen 4 nicht-patentbezogenen Mittel "Geheimhaltung", "Zeitvorsprung", "Abwärtsbewegung auf der Lernkurve" und "überragende Verkauf- und Serviceleistungen". Theoretisch (siehe oben) ist zu erwarten, dass ein wirksamer Schutz der Erträge aus F&E und der daraus resultierenden Innovationen einen positiven Einfluss auf den technischen Fortschritt der Branche ausübt.

Eine indirekte Schutzform der Erträge aus Innovationen liegt vor, wenn diese nicht oder nicht so schnell durch die Konkurrenz imitiert werden können. Mit anderen Worten, je länger die Imitationszeit durch die Konkurrenz ist, desto länger kann die innovierende Wirtschaftsart ihre Monopolsituation ökonomisch verwerten, desto besser ist ihre finanzielle Lage und damit umso höher ihre F&E-Investitionen. Das Ergebnis ist, wie oben theoretisch ausgeführt, eine grössere Innovationsfähigkeit. Dieser Sachverhalt wird hier durch die Variable IMITATE berücksichtigt, welche die Summe der benötigten Zeit für eine erfolgreiche Imitation von bedeutenden und patentierten Produkt- und Prozessinnovationen darstellt.

CHANCEN. Technologische Chancen werden mittels zweier Variablengruppen operationalisiert. Die eine umfasst den Beitrag firmenexterner Quellen technologischer Chancen und die andere die

besondere Relevanz der Wissenschaft insgesamt (verkörpert in Form der Ausbildung) für den technischen Fortschritt der befragten Wirtschaftsarten. Die erste Gruppe beinhaltet die Beiträge der Materiallieferanten (MATERIAL), der Lieferanten von Ausrüstungsgütern für die Produktion und für F&E (LIEFERANT), der Benutzer der Produkte (BENÜTZER), der Hochschulforschung (HOCHSCHULE) sowie anderer staatlicher Forschungsinstitutionen, Betriebe und Ämter (STAAT).

Die Variablen­gruppe "Relevanz der Wissenschaft für den technischen Fortschritt" wird anhand zweier Indikatoren definiert. Der eine Indikator umfasst die Relevanz der Ausbildung in 14 ausgewählten Gebieten der Grundlagen- und angewandten Wissenschaften. Dies sind die 6 Gebiete aus den Grundlagenwissenschaften (Biologie, Grundlagen der Chemie, Geologie, Mathematik, Physik, Grundlagen der Informatik) und die 8 Gebiete aus den angewandten Wissenschaften (Agronomie, angewandte Mathematik und Operations Research, angewandte Informatik, Werkstofflehre, Medizinwissenschaft, angewandte Chemie, Elektrotechnik, und Maschinenbau). Der andere Indikator (WIBASIS) ist eine Masszahl für das Verhältnis zwischen Wissenschaft insgesamt und technischem Fortschritt und wird definiert als die kumulierte Relevanz aller 14 Gebiete der Grundlagen- und der angewandten Wissenschaften für den technischen Fortschritt. Theoretisch ist eine positive Wirkung der technologischen Chancen auf den technischen Fortschritt zu erwarten (siehe im theoretischen Modell die Vorzeichen der Parameter a und b). Da aber die empirische Operationalisierung auch institutionelle

Faktoren beinhaltet, die länderspezifisch sind, kann man Ex-ante nicht bestimmen, ob die Relevanz der einen oder der anderen Variablen für den technischen Fortschritt positiv oder negativ ist. Ihr Vorzeichen kann letztlich nur ex-post empirisch determiniert werden.

MARKT. Diese Variable müsste gemäss Theorie durch die Preiselastizität der Nachfrage repräsentiert werden. Da in der Schweiz eine solche Information für alle hier untersuchten 127 Wirtschaftsarten nicht vorhanden ist, werden die Marktbedingungen durch die zwei folgenden Indikatoren operationalisiert: erstens durch ein Mass für das Marktvolumen bzw. die Marktnachfrage, hier die Umsatzzahl (UMSATZ), und zweitens durch ein Mass für die Marktkonkurrenz (KONKURRENZ), hier definiert durch die Anzahl Unternehmen, die in einem bestimmten Wirtschaftszweig in der Lage sind, eine von der Konkurrenz entwickelte bedeutende Innovation zu imitieren (KONKURRENZ). Während beim Umsatz ein positives Vorzeichen erwartet wird, kann es bei der zweiten Variable ex-ante nicht eindeutig bestimmt werden. Einerseits postuliert die ökonomische Theorie einen positiven Effekt der Konkurrenz auf die Innovationsfähigkeit der Märkte. Andererseits könnte technologische Konkurrenz auf einem bestimmten Markt als Indikator für die Fähigkeit eines Unternehmens, eine von ihr entwickelte Innovation zu schützen und deren Erträge anzueignen, angesehen werden (siehe oben die Variablengruppe ANEIGNUNG). Je kleiner die Anzahl derer ist, die in einem bestimmten Markt eine bestimmte Innovation imitieren können, desto grösser ist die Fähigkeit der innovierenden Branche,

ihre Innovation zu schützen und desto positiver ist damit der Effekt auf den technischen Fortschritt. Das Vorzeichen der Variable KONKURRENZ kann also ex-ante nicht eindeutig bestimmt werden. Es hängt dabei vom Saldo-Effekt der Konkurrenz ab, der nur ex-post empirisch festgestellt werden kann.

Zusammenfassend werden folgende 3 Gleichungen geschätzt:

$$\begin{aligned}
 \text{INNOV} = & a_0 + a_1.\text{ANEIGNUNG1} + a_2.\text{ANEIGNUNG2} + a_3.\text{IMITATE} + a_4.\text{MATERIAL} \\
 & + a_5.\text{LIEFERANT} + a_6.\text{BENUTZER} + a_7.\text{HOCHSCHULE} + a_8.\text{STAAT} \\
 & + a_9.\text{BIOLOGIE} + a_{10}.\text{CHEMIE1} + a_{11}.\text{GEOLOGIE} + a_{12}.\text{MATH} \\
 & + a_{13}.\text{PHYSIK} + a_{14}.\text{INFORMATIK1} + a_{15}.\text{AGRONOMIE} + a_{16}.\text{MATH2} \\
 & + a_{17}.\text{INFORMATIK2} + a_{18}.\text{WERKSTOFF} + a_{19}.\text{MEDIZIN} + a_{20}.\text{CHEMIE2} \\
 & + a_{21}.\text{ELEKTRO} + a_{22}.\text{MASCHINEN} + a_{23}.\text{WIBASIS} + \\
 & + a_{24}.\text{UMSATZ} + a_{25}.\text{KONKURRENZ} + \mu_i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FEINTE} = & a_0 + a_1.\text{ANEIGNUNG1} + a_2.\text{ANEIGNUNG2} + a_3.\text{IMITATE} + a_4.\text{MATERIAL} \\
 & + a_5.\text{LIEFERANT} + a_6.\text{BENUTZER} + a_7.\text{HOCHSCHULE} + a_8.\text{STAAT} \\
 & + a_9.\text{BIOLOGIE} + a_{10}.\text{CHEMIE1} + a_{11}.\text{GEOLOGIE} + a_{12}.\text{MATH} \\
 & + a_{13}.\text{PHYSIK} + a_{14}.\text{INFORMATIK1} + a_{15}.\text{AGRONOMIE} + a_{16}.\text{MATH2} \\
 & + a_{17}.\text{INFORMATIK2} + a_{18}.\text{WERKSTOFF} + a_{19}.\text{MEDIZIN} + a_{20}.\text{CHEMIE2} \\
 & + a_{21}.\text{ELEKTRO} + a_{22}.\text{MASCHINEN} + a_{23}.\text{WIBASIS} + \\
 & + a_{24}.\text{UMSATZ} + a_{25}.\text{KONKURRENZ} + \mu_i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PERINTE} = & a_0 + a_1.\text{ANEIGNUNG1} + a_2.\text{ANEIGNUNG2} + a_3.\text{IMITATE} + a_4.\text{MATERIA} \\
 & + a_5.\text{LIEFERANT} + a_6.\text{BENUTZER} + a_7.\text{HOCHSCHULE} + a_8.\text{STAAT} \\
 & + a_9.\text{BIOLOGIE} + a_{10}.\text{CHEMIE1} + a_{11}.\text{GEOLOGIE} + a_{12}.\text{MATH}
 \end{aligned}$$

+ a13.PHYSIK + a14.INFORMATIK1 + a15.AGRONOMIE + a16.MATH2
+ a17.INFORMATIK2 + a18.WERKSTOFF + a19.MEDIZIN + a20.CHEMIE2
+ a21.ELEKTRO + a22.MASCHINEN + a23.WIBASIS +
+ a24.UMSATZ + a25.KONKURRENZ + μ_i

3.3 Ökonometrische Probleme

Ein zentrales Problem bei der Schätzung der obigen Modelle ist die Präsenz der Heteroskedastizität der Störvariablen: Die Annahme bezüglich der gleich grossen Varianz der Störvariablen ist hier verletzt. Im folgenden wird kurz auf die Diagnostik und Behandlung dieses Problems im Rahmen der vorliegenden Arbeit eingegangen.

Heteroskedastizität kann u.a. dann entstehen, wenn die Daten gruppiert und die jeweiligen Gruppen nicht gleich gross sind. In diesem Fall können die Varianzen rund um die Mittelwerte in den verschiedenen Gruppen (Beobachtungen) unterschiedlich gross sein. Dies ist auch hier der Fall, da die ursprünglich erhobenen Unternehmensdaten auf der Ebene der 4-stelligen Industrieklassifikation (Wirtschaftsart) aggregiert wurden. Dabei sind unterschiedlich grosse Wirtschaftsarten entstanden, die nicht nur unterschiedlich grosse Mittelwerte, was erwünscht ist, sondern auch unterschiedlich grosse Varianzen aufweisen. Diese Tatsache hat sich mittels zweier Tests bestätigt. Der erste war rein visuell: die ausgedrückten Residuen variieren mit zunehmender Gruppengrösse. Der zweite war formal und folgte dem Vorschlag von Goldfeld und Quandt

(1965) . Danach wird die Nullhypothese

$$H_0: \sigma_i^2 = \sigma_{\mu_i}^2 \quad \text{für alle } i$$

gegenüber der Alternativhypothese (Heteroskedastizität)

$$H_A: \sigma_i^2 \neq \sigma_{\mu_i}^2 \quad \text{für mindestens ein } i$$

mit einer von Goldfeld und Quandt (1965) entwickelten Testfunktion (siehe unten) überprüft. Zur Durchführung dieses Testes wird der Stützbereich der für die Schätzung des Modells zur Verfügung stehenden Beobachtungen (N) in zwei Stützbereiche mit je (N-t)/2 Beobachtungen unterteilt. Dabei wird auf t Beobachtungen in der Mitte des ursprünglichen Stützbereiches verzichtet. Da bis jetzt theoretisch nicht möglich ist, generell für t einen "optimalen" Wert anzugeben, wird häufig für t ein Wert in der Grössenordnung von N/5 gewählt (Schips 1990:146). Dabei gilt, wie bei jeder anderen Regressionsanalyse, dass die Anzahl Beobachtungen mindestens gleich gross wie die Anzahl unabhängiger Variablen (K) ist. Mit anderen Worten (N-t)/2 muss grösser oder mindestens gleich K sein. In meinem Beispiel beträgt N=103, t= N/5= 103/5= 21, K=25. Die zwei Stützbereiche umfassen je 41 Beobachtungen; die erste hört bei Beobachtung 41 auf und die zweite beginnt mit Beobachtung Nr.63. Die von Goldfeld und Quandt vorgeschlagene Testfunktion ist wie folgt definiert:

$$\frac{R_2' R_2}{R_1' R_1}$$

Dabei ist R_1 bzw. R_2 der Vektor der Residuen der beiden OLS-Schätzungen und bei Gültigkeit der Nullhypothese ist diese Testfunktion F-verteilt mit $((N-t-2k)/2, (N-t-2K/2))$

Freiheitsgraden. Ein Testwert von ungefähr Eins ist in diesem Fall zu erwarten. In meinem Beispiel beträgt er für das erste Modell 0.89, für das zweite Modell 5.63 und für das dritte Modell 4.22. Da demzufolge Heteroskedastizität v.a. beim 2. und 3. Modell vorliegt, ist eine OLS-Schätzung nicht mehr optimal, d.h. der OLS-Schätzer ist zwar nach wie vor "unbiased" (unverzerrt), hat aber unter allen linearen erwartungstreuen Schätzern nicht mehr die kleinste Varianz. Eine alternative Schätzfunktion, die sog. "Generalized Least-squares procedure" (GLS) (Deutsch: Verallgemeinerte Kleinst-Quadrate-Schätzfunktion) ist hier die bessere Schätzmethode, d.h. sie ist BLUE (Best Linear Unbiased Estimator). Danach wird nicht die Summe der quadratischen Residuen (OLS), sondern eine gewichtete Summe derselben minimiert. Variablen, deren Störvariablen grössere Varianzen aufweisen (dies zeigt sich visuell, wenn die Residuen gegen die unabhängigen Variablen ausgedrückt werden), werden kleinere Gewichte zugeordnet usw. (für eine detaillierte Beschreibung der GLS-Methode siehe Judge et.al. 1985). Im vorliegenden Beispiel haben sich folgende Variablen mit den grösseren Varianzen der Störvariablen erwiesen: Im 1. Modell sind es ANEIGNUNG1, ANEIGNUNG2, MATERIAL, LIEFERANT, WIBASIS, UMSATZ und GEOLOGIE; im 2. Modell sind es ANEIGNUNG1, STAAT und UMSATZ und im 3. Modell sind es ANEIGNUNG1, WIBASIS, UMSATZ, KONKURRENZ und MASCHINEN.

Im nächsten Abschnitt werden die 3 Modelle sowohl mit der OLS- als auch mit der GLS-Methode geschätzt.

4. SCHÄTZERGESBNISSE

Die Schätzergebnisse sind in den Tabellen 2, 3 und 4 zusammengefasst. Generell lässt sich folgendes festhalten:

- Alle 3 Modelle sind statistisch signifikant auf dem 5%-Niveau.
- Der Determinationskoeffizient R^2 liegt bei etwa 40%.
- Es besteht ein niedriges Niveau an Multikollinearität zwischen den unabhängigen Variablen: Die Konditionszahl beträgt lediglich 7.74 in allen 3 Modellen (der Schwellenwert für kritische Multikollinearität ist 30).

Zur Interpretation der Schätzergebnisse der einzelnen Variablen, werden diese, wie bereits oben geschehen, in den Variablengruppen ANEIGNUNG, CHANCEN und MARKT zusammengefasst.

ANEIGNUNG. Die Fähigkeit, die Ergebnisse von Innovationen anzueignen und zu schützen übt in allen 3 Modellen einen positiven Einfluss auf den technischen Fortschritt aus. Dabei zeigt sich, dass die nicht-patentbezogenen Schutzmittel "Geheimhaltung", "Zeitvorsprung", "Abwärtsbewegung auf der Lernkurve" und "überragende Verkaufs- und Serviceleistungen" für den Innovationsprozess bedeutsamer sind als die Schutzmittel "Patente zum Schutz gegen Imitation" und "Patente zur Sicherung von Lizenzgebühren". Der Koeffizient der Variable ANEIGNUNG2 ist in 2 der 3 untersuchten Modelle (Tab.3 und 4) höher als derjenige der Variable ANEIGNUNG1 und ist statistisch signifikant. Im verbleibenden Modell ist der Koeffizient der Variable ANEIGNUNG1 hingegen kleiner als derjenige von ANEIGNUNG2;

eingeschränkt wird dieses Resultat dadurch, dass keine der beiden Variablen hier statistisch signifikant ist (Tab.2).

Der Zusammenhang zwischen Imitationszeit und technischem Fortschritt ist, wie theoretisch zu erwarten, auf der F&E-Stufe positiv: Je länger die Imitationszeit ist, desto höher ist die Forschungsintensität und desto mehr Personal wird in den F&E-Abteilungen der jeweiligen Wirtschaftsarten eingesetzt (siehe Tab.3 und 4). Der Koeffizient der variable IMITATE ist im 2. und 3.Modell positiv, wenn auch schwach positiv und statistisch nicht signifikant. Im 3. Modell ist er negativ. Aufgrund dieser Ambivalenz, der niedrigen Werte und der statistischen Insignifikanz der Koeffizienten ist der Schluss zu ziehen, dass der Imitationszeit - wie sie hier definiert ist- beim technischen Fortschritt keine eindeutige Rolle zukommt.

CHANCEN. Bei den technologischen Chancen als 2. Determinante des technischen Fortschritts wurde zwischen firmenexternen Quellen technologischer Chancen und dem besonderen Beitrag der Wissenschaft unterschieden. Bei der ersten Untergruppe kann folgendes festgehalten werden:

- In allen drei Modellen leisten die Materiallieferanten einen positiven Beitrag (Finanzen, Personen, Informationen, usw.) zum technischen Fortschritt. Dieser Beitrag ist wesentlich höher auf der Ebene von Innovationen (Tab.2) als auf der Ebene von F&E (Tab.3 und 4).
- Hingegen tragen die Lieferanten von Ausrüstungsgütern für die Produktion und für F&E nicht, oder eben negativ zum technischen

Fortschritt bei.

- Das gleiche gilt für den Beitrag der Benutzer der Produkte im Hinblick auf F&E. Einen positiven Beitrag liefern die Benutzer (Produktnachfrager) jedoch erst später bei der Einführung von Produkt- bzw. Prozessinnovationen, auch wenn dieser Beitrag statistisch nicht signifikant ist (siehe die GLS-Schätzung in Tab.2)
- Der Beitrag der in- und ausländischen Hochschulforschung zum technischen Fortschritt scheint v.a. auf der Innovations-Stufe positiv und statistisch signifikant zu sein (Tab.2). Er ist auf dieser Stufe von allen anderen firmenexternen Quellen technologischer Chancen quantitativ am höchsten. Hingegen ist er auf der F&E-Stufe unbedeutend (Tab. 3 und 4).
- Der Beitrag anderer staatlicher Forschungsinstitutionen, Betriebe und Ämter ist auf der Innovations-Stufe negativ, auf der F&E-Stufe dagegen positiv. In beiden Fällen ist er statistisch nicht signifikant. In anderen Worten: Dieses Ergebnis bestätigt die in einem liberalen Staat zu erwartende Prämisse, dass der Staat (hier mit Ausnahme der Hochschulforschung) einen positiven Beitrag bei der technologischen F&E und keinen Beitrag bei der eigentlichen Markteinführung von Innovationen leistet.

Was den Beitrag der Wissenschaft zum technischen Fortschritt der befragten Wirtschaftsarten betrifft, können folgende Ergebnisse festgehalten werden:

- Von den 6 gefragten Gebieten der Grundlagenwissenschaften ist die Relevanz der Ausbildung in der Mathematik, in den Grundlagen der Chemie und in den Grundlagen der Informatik zum technischen Fortschritt positiv. Im Fall der Mathematik und der Informatik ist sie positiv und zudem statistisch signifikant. Sie ist negativ oder inexistent bei den übrigen Gebieten: Biologie, Geologie und Physik.
- Die Relevanz der Ausbildung in den angewandten Wissenschaften für den technischen Fortschritt ist besonders hoch und signifikant

in den Gebieten der Medizinwissenschaft (1. und 2. Modell) und der Elektrotechnik (3. Modell). Die Relevanz der angewandten Mathematik ist zwar hoch, aber statistisch nicht signifikant.

- Hingegen tragen die Gebiete der angewandten Informatik, der Werkstoffkunde und des Maschinenbaus nichts zum technischen Fortschritt bei. Bei der angewandten Chemie, im Gegensatz zur theoretischen Chemie, sind die Schätzergebnisse ambivalent: Während ihr Beitrag auf der Innovations-Ebene negativ ist, ist er auf der F&E-Ebene positiv, aber in beiden Fällen statistisch nicht signifikant.
- Die Relevanz der Wissenschaft insgesamt, hier definiert als die kumulative Relevanz aller erwähnten 14 Gebiete der Grundlagen- und der angewandten Wissenschaften (Variable WIBASIS) zum technischen Fortschritt, ist einerseits auf der Innovations-Stufe positiv, wenn auch schwach und statistisch nicht signifikant. Andererseits ist er auf der F&E-Ebene (2. und 3. Modell) negativ und statistisch signifikant. Diese Ergebnisse können so gedeutet werden, dass die Wissenschaft insgesamt für den Innovationsprozess zwar wichtig ist, ein spezialisierter und zielorientierter Gebrauch davon auf der F&E-Ebene jedoch notwendig ist.

-MARKT. Der Einfluss des Umsatzes als Indikator für die Marktbedingungen ist, im Gegensatz zur theoretischen Erwartung, statistisch signifikant negativ (1. Modell). Dies bedeutet, dass die Innovationsfähigkeit der untersuchten Wirtschaftsarten mit zunehmendem Umsatzvolumen abnimmt. Hingegen spielt die Konkurrenz eine stimulierende Rolle beim technischen Fortschritt (positives Vorzeichen der Variable KONKURRENZ, wenn auch statistisch nicht signifikant).

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, die Determinanten des technischen Fortschritts auf Branchenebene theoretisch zu bestimmen und empirisch für die Schweiz zu schätzen. In anderen Worten: Es ging darum, theoretisch wie empirisch jene Faktoren zu bestimmen, die hinter den -empirisch beobachtbaren- Unterschieden im technischen Fortschritt stecken. Auf der theoretischen Ebene besteht unter Ökonomen zunehmend Einigkeit darüber, dass der technische Fortschritt ein ökonomisches Phänomen ist, das auf Branchenebene durch die drei folgenden Faktoren erklärt werden kann: 1) die technologischen Chancen ("technological opportunities"), 2) die Fähigkeit des ökonomischen Systems, die Ergebnisse von technischen Innovationen anzueignen und zu schützen ("appropriability conditions"), sowie 3) die Nachfragebedingungen.

Der theoretische Ansatz wurde mittels zweier Datensätze aus der Schweiz empirisch geschätzt. Der eine Datensatz wurde vom Bundesamt für Statistik (BFS) zur Verfügung gestellt und enthält quantitative Angaben zu F&E-Ausgaben, F&E-Personal, Gesamtpersonal und Umsatzzahlen für 124 Wirtschaftsarten im Jahre 1986, der zweite entstammt einer eigenen Erhebung. Bei der schriftlichen Befragung im Sommer 1988 zu den 2 angebotsseitigen Determinanten des technischen Fortschritts (Punkte 1 und 2 oben) haben von den 940 befragten Branchenexperten 358 oder 38% geantwortet. Sie decken 127 verschiedene Wirtschaftsarten ab.

Bei der empirischen Spezifikation wurde der technische Fortschritt (als abhängige Variable) mittels dreier Indikatoren

operationalisiert. Der eine ist ein Output-Indikator und repräsentiert das Einführungsstempo von Innovationen seit 1970. Die anderen sind die zwei Input-Indikatoren "Anteil der F&E-Ausgaben am Umsatz" und "Anteil des F&E-Personals am Gesamtpersonal". Alle Daten wurden auf der Ebene der Wirtschaftsart (4-stellige Industrieklassifikation) aggregiert. Es wurden mithin 3 Gleichungen mit den Methoden OLS und GLS einzeln geschätzt.

Die wichtigsten Schätzergebnisse werden wie folgt zusammengefasst:

- Die Fähigkeit, die Ergebnisse von Innovationen anzueignen und zu schützen übt, in allen 3 Modellen einen positiven Einfluss auf den technischen Fortschritt aus. Dabei zeigt sich, dass die nicht-patentbezogenen Schutzmittel "Geheimhaltung", "Zeitvorsprung", "Abwärtsbewegung auf der Lernkurve" und "überragende Verkaufs- und Serviceleistungen" für den Innovationprozess insgesamt bedeutsamer sind, als die Schutzmittel "Patente zum Schutz gegen Imitation" und "Patente zur Sicherung von Lizenzgebühren".
- Von allen firmenexternen Quellen technologischer Chancen trägt die in- und ausländische Hochschulforschung zum technischen Fortschritt statistisch signifikant und quantitativ am höchsten bei.
- Von den 6 gefragten Gebieten der Grundlagenwissenschaften ist die Ausbildung in der Mathematik und in der Informatik für den technischen Fortschritt relevant (der Koeffizient beider Variablen ist positiv und statistisch signifikant, v.a. im 2. und 3. Modell). Bei allen anderen Fächern ist sie nicht gegeben oder statistisch nicht signifikant.
- Bei den angewandten Wissenschaften ist die Ausbildung in der Medizin und in der Elektrotechnik relevant (der Koeffizient beider Variablen ist positiv und statistisch signifikant).
- Die Wissenschaft insgesamt, verkörpert hier in der Ausbildung in

14 Wissenschaftsgebieten, ist für den technischen Fortschritt generell relevant. Je konzentrierter und gezielter jedoch deren Nutzung auf der F&E-Ebene ist, umso mehr trägt Wissenschaft zum technischen Fortschritt bei.

- Der Einfluss des Umsatzes als Indikator für die Marktnachfrage ist, entgegen der theoretischen Erwartung, negativ. Dies bedeutet, dass die Innovationsfähigkeit der hier untersuchten Wirtschaftsarten mit zunehmendem Umsatz abnimmt. Wirtschaftsarten mit kleinerem Umsatz innovieren relativ mehr als jene mit grösserem Umsatz.

Die erzielten Ergebnisse sind sowohl für den Staat als auch für die Unternehmen relevant. Im Zuständigkeitsbereich eines liberalen Staates liegt die Verantwortung für die Hochschulforschung und für die Ausbildung, besonderes in jenen Gebieten, die sich als relevant für den Innovationsprozess insgesamt erwiesen haben. Beide haben sich als wichtige Determinanten des technischen Fortschritts herausgestellt.

Für die Unternehmen als Hauptakteure des Innovationsprozesses hat sich folgendes gezeigt:

- Da die Fähigkeit zur Aneignung und zum Schutz der Ergebnisse von Innovationen, insbesondere durch die Mittel "Zeitvorsprung", "Abwärtsbewegung auf der Lernkurve" sowie "überragende Verkaufs- und Serviceleistungen" für den Innovationsprozess sehr zentral ist, ist eine gut konzipierte Strategie in diesen Bereichen auf Unternehmensebene sehr wichtig (siehe Teece 1986).
- Angesichts der (auch statistisch signifikanten) Wichtigkeit der staatlichen Hochschulforschung für den technischen Fortschritt ist ein systematischer Zugang zu dieser Quelle und deren anhaltende Nutzung für die Innovationsfähigkeit von Unternehmen - auch und insbesondere von Klein- und Mittelbetrieben - von grosser Bedeutung. Die Nutzung wissenschaftlicher Forschungsergebnisse sollte

allerdings selektiv und zielorientiert erfolgen.

Tabelle 1: VARIABLENLISTE

Notation	Kurzbeschreibung	Erwartetes Vorzeichen
----------	------------------	-----------------------

Abhängige Variablen

INNOV	Einführungstempo von Innovationen seit 1970 (1=sehr langsam, 7=sehr schnell. Summe der Antwortnoten der Fragen IV.A und IV.B. im Fragebogen,)	
FEINTE	Verhältnis F&E-Ausgaben zum Umsatz pro Wirtschaftsart 1986, in % (Angaben des Bundesamtes für Statistik, BfS)	
PERINTE	Verhältnis F&E-Personal zum Gesamtpersonal pro Wirtschaftsart 1986, in % (Angaben des Bundesamtes für Statistik, BfS)	

Unabhängige Variablen

ANEIGNUNG1	Wirksamkeit der Mittel "Patente zum Schutz gegen die Imitation von Produktinnovation" und "Patente zur Sicherung von Lizenzgebühren" (1=überhaupt nicht wirksam, 7=sehr wirksam. Grösse ermittelt durch Hauptkomponentenanalyse der Frage I.B)	(+)
ANEIGNUNG2	Wirksamkeit der Schutzmittel "Geheimhaltung", "Zeitvorsprung", "Abwärtsbewegung auf der Lernkurve" und "überragende Verkaufs- und Serviceleistungen". (1=überhaupt nicht wirksam, 7=sehr wirksam. Grösse ermittelt durch Hauptkomponentenanalyse der Frage I.B)	(+)
IMITATE	Imitationszeit von bedeutenden und patentierten Produkt- und Prozessinnovationen durch die Konkurrenz (1=weniger als 6 Monate, 6=rechtzeitige	(+)

	Imitation nicht möglich. Summe der Antwortnoten der Fragen II.E.1 und II.F.2)	
MATERIAL	Beitrag jeglicher Art (Finanzen, Personen, Informationen, usw.) der Materiallieferanten zum technischen Fortschritt der jeweiligen Wirtschaftsart (1=kein Beitrag, 7=sehr wichtige Beiträge. Frage III.E.2)	(+)
LIEFERANT	Beitrag jeglicher Art (Finanzen, Personen, Informationen, usw.) der Lieferanten von Ausrüstungsgütern für die Produktion und F&E zum technischen Fortschritt der jeweiligen Wirtschaftsart (1=kein Beitrag, 7=sehr wichtige Beiträge. Summe der Fragen III.E.3 und III.E.4)	(+)
BENUTZER	Beitrag jeglicher Art (Finanzen, Personen, Informationen, usw.) der Benutzer der Produkte zum technischen Fortschritt der jeweiligen Wirtschaftsart (1=kein Beitrag, 7=sehr wichtige Beiträge. Frage III.E.5)	(+)
HOCHSCHULE	Beitrag jeglicher Art (Finanzen, Personen, Informationen, usw.) der in- und ausländischen Hochschulforschung zum technischen Fortschritt der jeweiligen Wirtschaftsart (1=kein Beitrag, 7=sehr wichtige Beiträge. Frage III.E.6)	(+)
STAAT	Beitrag jeglicher Art (Finanzen, Personen, Informationen, usw.) anderer staatlicher Forschungsinstitutionen, Betriebe und Ämter zum technischen Fortschritt der jeweiligen Wirtschaftsart (1=kein Beitrag, 7=sehr wichtige Beiträge. Summe der Frage III.E.7 und III.E.8)	(+)
BIOLOGIE	Relevanz der Biologie für den technischen Fortschritt in einer	(+)

- bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.1.a)
- CHEMIE 1 Relevanz der Grundlagen der Chemie (+)
für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.1.b)
- GEOLOGIE Relevanz der Geologie (+)
für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.1.c)
- MATH Relevanz der Mathematik (+)
für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.1.d)
- PHYSIK Relevanz der Physik (+)
für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.1.e)
- INFORMATIK1 Relevanz der Grundlagen der Informatik (+)
für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.1.f)
- AGRONOMIE Relevanz der Agronomie (+)
für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.2.a)
- MATH 2 Relevanz der angewandten Mathematik und Operations Research (+)
für den technischen Fortschritt in

- einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.2.b)
- INFORMATIK2** Relevanz der Anwendungen der Informatik für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.1.c) (+)
- WERKSTOFF** Relevanz der Werkstoffwissenschaft für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.2.d) (+)
- MEDIZIN** Relevanz der Medizinwissenschaft für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.2.e) (+)
- CHEMIE 2** Relevanz der angewandten Chemie für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.1.f) (+)
- ELEKTRO** Relevanz der Elektrotechnik für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.1.g) (+)
- MASCHINEN** Relevanz des Maschinenbaus für den technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart in den letzten 10 bis 15 Jahren (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Frage III.A.1.g) (+)

	Frage III.A.1.h)	
WIBASIS	Relevanz der Wissenschaft insgesamt zum technischen Fortschritt in einer bestimmten Wirtschaftsart. (1=nicht relevant, 7=sehr relevant; Summe der Antwortnoten der 14 Unterfragen der Frage III.A).	(+)
UMSATZ	Umsatzzahl pro Wirtschaftsart 1986 in Mio sFr. (Angaben des Bundesamtes für Statistik, BfS)	(+)
KONKURRENZ	Anzahl Firmen in einer Wirtschaftsart, die in der Lage sind, erfolgreich und rechtzeitig eine von der Konkurrenz entwickelte bedeutende Innovation zu imitieren (Summe der Fragen II.B.1 und II.B.2).	(?)

Tabelle 2: Schätzergebnisse des 1.Modells.

Abhängige Variable: INNOV

Parameter	Unabhängige Variablen / Hypothesen	Regressionskoeffizienten (Standardfehler)	
		OLS	GLS
a0	INTERCEPT	8.0773** (1.6716)	7.8887** (1.6419)
a1	ANEIGNUNG1	0.2730 (0.2061)	0.2222 (0.2051)
a2	ANEIGNUNG2	0.1110 (0.2141)	0.0812 (0.2096)
a3	IMITATE	-0.0207 (0.0810)	-0.0162 (0.0825)
a4	MATERIAL	0.1415 (0.1742)	0.1883 (0.1800)
a5	LIEFERANT	-0.1157 (0.1241)	-0.1744 (0.1250)
a6	BENUTZER	-0.0241 (0.1476)	0.0446 (0.1505)
a7	HOCHSCHULE	0.3475* (0.1645)	0.3316* (0.1660)
a8	STAAT	-0.0076 (0.1075)	0.0439 (0.1010)
a9	BIOLOGIE	-0.3277 (0.1930)	-0.3167 (0.2004)
a10	CHEMIE 1	0.1336 (0.2044)	0.0764 (0.2091)
a11	GEOLOGIE	-0.5672** (0.1900)	-0.6105** (0.1923)
a12	MATH	0.4267* (0.2324)	0.4105* (0.2411)

a13	PHYSIK	-0.2930 (0.1976)	-0.1983 (0.2062)
a14	INFORMATIK1	0.2861 (0.1817)	0.2944 (0.1865)
a15	AGRONOMIE	0.1650 (0.1913)	0.1510 (0.1942)
a16	MATH 2	0.2012 (0.2218)	0.1332 (0.2251)
a17	INFORMATIK2	-0.1332 (0.2021)	-0.1128 (0.2058)
a18	WERKSTOFF	-0.2056 (0.1456)	-0.1952 (0.1452)
a19	MEDIZIN	0.3216* (0.1632)	0.3406* (0.1660)
a20	CHEMIE 2	-0.0350 (0.2051)	-0.0207 (0.2120)
a21	ELEKTRO	-0.1054 (0.1611)	-0.1458 (0.1613)
a22	MASCHINEN	-0.0306 (0.1654)	-0.0040 (0.1694)
a23	WIBASIS	0.0090 (0.0360)	0.0085 (0.0351)
a24	UMSATZ	-0.0028** (0.0008)	-0.0030** (0.0008)
a25	KONKURRENZ	0.1952 (0.1382)	0.2471 (0.1384)

2
R 0.4350

F-WERT 2.3710

PROB >F 0.0021

* SIGNIFIKANT AUF DEM 5%-NIVEAU

** SIGNIFIKANT AUF DEM 1%-NIVEAU

Tabelle 3: Schätzergebnisse des 2.Modells.

Abhängige Variable: FEINTE

Parameter	Unabhängige Variablen / Hypothesen	Regressionskoeffizienten (Standardfehler)	
		OLS	GLS
a0	INTERCEPT	0.0836 (0.0853)	0.0989 (0.0812)
a1	ANEIGNUNG1	0.0103 (0.0105)	0.0076 (0.0107)
a2	ANEIGNUNG2	0.0257* (0.0109)	0.0258* (0.0102)
a3	IMITATE	0.0026 (0.0041)	0.0019 (0.0040)
a4	MATERIAL	0.0006 (0.0089)	0.0024 (0.0086)
a5	LIEFERANT	-0.0053 (0.0075)	-0.0071 (0.0061)
a6	BENUTZER	-0.0059 (0.0075)	-0.0046 (0.0070)
a7	HOCHSCHULE	0.0006 (0.0084)	-0.0005 (0.0080)
a8	STAAT	-0.0007 (0.0055)	0.0010 (0.0051)
a9	BIOLOGIE	-0.0000 (0.0098)	-0.0055 (0.0089)
a10	CHEMIE 1	0.0129 (0.0104)	0.0083 (0.0097)
a11	GEOLOGIE	-0.0120 (0.0097)	-0.0141 (0.0093)
a12	MATH	0.0211	0.0168

		(0.0118)	(0.0109)
a13	PHYSIK	-0.0010	-0.0003
		(0.0100)	(0.0095)
a14	INFORMATIK1	0.0216*	0.0189*
		(0.0092)	(0.0087)
a15	AGRONOMIE	-0.0013	0.0006
		(0.0098)	(0.0083)
a16	MATH 2	0.0168	0.0190
		(0.0113)	(0.0107)
a17	INFORMATIK2	-0.0123	-0.0137
		(0.0103)	(0.0094)
a18	WERKSTOFF	-0.0080	-0.0093
		(0.0074)	(0.0068)
a19	MEDIZIN	0.0180*	0.0163*
		(0.0083)	(0.0079)
a20	CHEMIE 2	0.0033	0.0025
		(0.0105)	(0.0094)
a21	ELEKTRO	0.0157	0.0115
		(0.0082)	(0.0074)
a22	MASCHINEN	-0.0003	-0.0014
		(0.0082)	(0.0077)
a23	WIBASIS	-0.0055**	-0.0038**
		(0.0018)	(0.0017)
a24	UMSATZ	-0.0000	0.0000
		(0.0000)	(0.0000)
a25	KONKURRENZ	0.0057	0.0053
		(0.0041)	(0.0065)

2
R 0.4156
F-WERT 2.1900
PROB >F 0.0048

* SIGNIFIKANT AUF DEM 5%-NIVEAU

** SIGNIFIKANT AUF DEM 1%-NIVEAU

Tabelle 4: Schätzergebnisse des 3. Modelles.

Abhängige Variable: PERINTE

Parameter	Unabhängige Variablen / Hypothesen	Regressionskoeffizienten (Standardfehler)	
		OLS	GLS
a0	INTERCEPT	0.1419 (0.0858)	0.1806 (0.0963)
a1	ANEIGNUNG1	0.0076 (0.0106)	0.0122 (0.0124)
a2	ANEIGNUNG2	0.0260* (0.0110)	0.0252* (0.0123)
a3	IMITATE	0.0009 (0.0041)	0.0025 (0.0049)
a4	MATERIAL	0.0010 (0.0089)	0.0111 (0.0097)
a5	LIEFERANT	-0.0090 (0.0063)	-0.0175 (0.0079)
a6	BENUTZER	-0.0096 (0.0076)	-0.0190 (0.0081)
a7	HOCHSCHULE	-0.0039 (0.0084)	-0.0026 (0.0090)
a8	STAAT	0.0046 (0.0055)	0.0108 (0.0062)
a9	BIOLOGIE	-0.0005 (0.0099)	-0.0023 (0.0115)
a10	CHEMIE 1	0.0033 (0.0105)	-0.0089 (0.0113)
a11	GEOLOGIE	-0.0152 (0.0097)	-0.0226 (0.0106)

a12	MATH	0.0244*	0.0391*
		(0.0119)	(0.0128)
a13	PHYSIK	-0.0033	-0.0069
		(0.0101)	(0.0111)
a14	INFORMATIK1	0.0164*	0.0095*
		(0.0093)	(0.0099)
a15	AGRONOMIE	0.0008	-0.0027
		(0.0098)	(0.0113)
a16	MATH 2	0.0131	0.0061
		(0.0113)	(0.0127)
a17	INFORMATIK2	-0.0068	-0.0079
		(0.0103)	(0.0112)
a18	WERKSTOFF	-0.0102	-0.0077
		(0.0084)	(0.0083)
a19	MEDIZIN	0.0125	0.0043
		(0.0084)	(0.0091)
a20	CHEMIE 2	0.0125	0.0188
		(0.0105)	(0.0123)
a21	ELEKTRO	0.0196*	0.0150*
		(0.0082)	(0.0095)
a22	MASCHINEN	-0.0102	-0.0096
		(0.0085)	(0.0098)
a23	WIBASIS	-0.0039*	-0.0024*
		(0.0018)	(0.0020)
a24	UMSATZ	-0.0000	0.0000
		(0.0000)	(0.0000)
a25	KONKURRENZ	-0.0034	0.0041
		(0.0000)	(0.0075)

2
R 0.4327

F-WERT 2.3500

PROB >F 0.0023

* SIGNIFIKANT AUF DEM 5%-NIVEAU

** SIGNIFIKANT AUF DEM 1%-NIVEAU

FUSSNOTEN

* An dieser Stelle möchte ich den folgenden Personen, die den folgenden Beitrag in einer früheren Fassung durchgelesen haben, für ihre konstruktive Kritik und verwollen Bemerkungen herzlich danken: Dr. K. Müller (Basel), Prof. Dr.H. Schelbert-Syfrig, Prof.Dr.P.Zweifel (beide Universität Zürich), den Teilnehmern des Seminars der Studiengruppe für Nationalökonomie unter der Leitung von Prof. Dr. H. Schneider (Universität Zürich) von April 1992.

1. Eine wichtige Ausnahme ist J.Schumpeter, der sich, wie unten im Text erwähnt wird, schon in den 30er Jahren mit der Bedeutung des technischen Fortschritts für den wirtschaftlichen Wandel des kapitalistischen Systems beschäftigt hatte. Schumpeter gehörte aber damals nicht zu den "mainstream" (neoklassischen) Ökonomen und war eher eine Ausnahme. Erst später hat sich sein Einfluss auf die Disziplin ausgeweitet (siehe Fussnote 3).

2. Hier sind v.a. die zahlreichen empirischen Arbeiten von Denison, Griliches, Jorgenson und Lau sowie die theoretischen Arbeiten von Arrow, Romer, Lucas und Scott zu erwähnen.

3. Siehe die Arbeiten jener Ökonomen, die sich in der "Internationalen Schumpeter Gesellschaft" zusammengeschlossen haben, z.B. R. Nelson, S. Winter, G. Dosi, M. Scherer, P. David, C. Freeman, N. Clark, B. Carlsson, G. Eliasson, W.Stolper usw. Eine Auswahl dieser Arbeiten ist zu finden in Dosi, G. et al (1988) und in den zwei Tagungsbänden : Hanusch, H. (ed.) (1988) und Heertje/Perlman (Ed.) (1990).

4. In den Abschnitten 2.1 und 2.2 übernehme ich Teile von meinem Artikel "Technischer Fortschritt in der Schweiz", in Halbherr, Harabi und Bachem (1988):28-52.

5. Das Wort "Fortschritt" im Zusammenhang mit Technik ist seit einiger Zeit Gegenstand einer heftigen Diskussion. Es wird

argumentiert, ob es angesichts der zahlreichen auch negativen Auswirkungen der Technik auf Umwelt, Mensch und Gesellschaft gerechtfertigt ist, von "Fortschritt" zu sprechen. Deshalb trifft man in der Literatur zunehmend neutralere Begriffe wie "technischer Wandel" oder "technische Entwicklung", um gerade dieser Kritik an der Technik Rechnung zu tragen. Auch ich anerkenne die negativen Konsequenzen des technischen Fortschritts, verdamme ihn aber nicht pauschal und verwende ihn aus zwei Gründen weiter. Erstens hat er sich in der ökonomischen Literatur durchgesetzt und daher sollen Begriffsverwirrungen vermieden werden und zweitens, um den Unterschied zwischen einer wirtschaftlich relevanten von einer wirtschaftlich nicht relevanten technischen Entwicklung deutlich zu betonen.

6. Man kann über die Reihenfolge dieser 5 Phasen, v.a. über den Rang der 3. Phase unterschiedlicher Meinung sein. Für mich ist die 3. Phase, falls Forschungs- und Entwicklungsarbeit erfolgreich abgelaufen sind, der Zeitpunkt an dem die Erfindung patentiert oder sonstwie geschützt wird.

7. Einschränkend muss ich sagen, dass Datenbeschaffung in der Praxis äusserst langwierig und sehr zeitraubend ist: Ich musste ziemlich lange "kämpfen", bis ich die Daten in einer einigermaßen brauchbaren Form und fast ein Jahr bis ich sie auch effektiv von den zuständigen Behörden bekam.

8. Ich stütze mich hier auf die Darstellung von Schips (1990:145-146)

BIBLIOGRAPHIE

- Arrow, K.J.(1962), "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention" (Nelson R.R.ed.), the Rate and Direction of Inventive Activity, Princeton :Princeton University Press
- Baumol, W., and Wolff, E. (1983), "Feedback from Productivity Growth to R&D", The Scandinavian Journal of Economics, 85:147-461.
- Bundesamt für Statistik (1985), Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige. Bern.
- Cohen, W.M. and Levinthal, D.A.(1989), "Innovation and Learning: The two Faces of R&D", Economic Journal, 99:569-596
- Cohen, W.M., Levin,R.C. (1989), "Empirical Studies of Innovation and Market Structure", in: Handbook of Industrial Organization, Vol2, (Schmalensee, R. and Willig, R eds) Amsterdam: North Holland.
- Dasgupta, P and Stiglitz, J.E.(1980), "Industrial Structure and The Nature of Innovative Activity", Economic Journal, 90:266-293.
- Dosi, G. (1988), "Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation", Journal of Economic Literature, 26:1120-1171
- Dosi, G. et al (eds.) (1988), Technical Change and Economic Theory, London: Pinter Publishers.
- Flaherty, M.T.,(1980), "Industry Structure and Cost-Reducing Innovation", Econometrica,
- Gahlen, B.(1972), Der Informationsgehalt der neoklassischen Wachstumstheorie, Tübingen
- Geigant, F., Sobotka, D., Westphal, H.M. (1979), Lexikon der Volkswirtschaft, München.
- Goldfeld, S.M., Quandt, R.E., (1965), "Some Tests for

- Homoscedasticity", Journal of the American Statistical Association, 60:539-547
- Griliches, Z.(1958), "Research costs and social returns: Hybrid corn and related innovations", Journal of Political Economy 76: 419-432
- Halbherr, P., Harabi, N., Bachem, M. (1988), Die Schweizerische Wettbewerbsfähigkeit auf dem Prüfstand: Herausforderungen an Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, Bern: Haupt
- Hanusch (ed) (1988), Evolutionary Economics: applications of Schumpeter's ideas. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harabi, N, (1988), "Einflussfaktoren von Forschung und Entwicklung in der Schweizer Industrie. Schriftliche Befragung zu einer laufenden Untersuchung. Handelwissenschaftliches Seminar der Universität Zürich.
- Harabi, N, (1991), "Einflussfaktoren von Forschung und Entwicklung in der Schweizer Industrie- Ergebnisse einer schriftlichen Expertenbefragung". Die Unternehmung, 45:349-368
- Heertje, A. and Perlman, M (eds.) (1990), Evolving Technology and Market Structure. Studies in Schumpeterian Economics. An Arbor: University of Michigan Press.
- Heinen, E., (1970), Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 3. Aufl., Wiesbaden
- Judge, G.G., W.E. Griffiths, R.C. Hill, T.C. Lee, (1985), The Theory and Practice of Econometrics, (2nd ed) New York: John Wiley
- Kamien, M.I. and Schwartz, N.L. (1970), "Market Structure, Elasticity of Demand, and Incentive to Invent", Journal of Law and Economics, 13:241-252
- Leontief, W. (1966), "Domestic Production and foreign trade: The

- American capital position re-examined", in : W. Leontief, ed.,
Input-output economics, Oxford: Oxford University Press.
- Lee, T. and Wilde, L.L., (1980), "Market Structure and Innovation: A
Reformulation" Quarterly Journal Of Economics, 94:429-436.
- Levin, R.C. (1978), "Technical Change, Barriers to Entry and Market
Structure", *Economica*, 45:347-361.
- Levin, R.C. (1986) , "A New Look at The Patent System", *American
Economic Association Papers and Proceedings*, 199-202.
- Levin, R.C. (1988), "Appropriability, R&D spending and technological
performance", *American Economic Review Proceedings*, 78:424-428.
- Levin, R.C. and Reiss, P. C. (1984), "Tests of a Schumpeterian
Model of R&D and Market Structure." (Z. Griliches, ed.),
R&D, Patents , and productivity, Chicago: University of
Chicago Press.
- Levin, R.C., Klevorick, A.K., Nelson, R.R., Winter, S.G., (1983),
*Questionnaire on Industrial Research and Development. Technical
Report*, Yale University.
- Levin, R.C., Cohen, W.M. and Mowery, D.C. (1985), "R&D
appropriability, Opportunity, and market structure: New
evidence on on some Schumpeterian hypotheses", *American
Economic Review Proceedings*, 75:20-24
- Levin, R.C. , Klevorick A.K., Nelson, R.R., Winter, S.G. (1987),
"Appropriating the Returns from Industrial Research and
Development", *Brookings Papers on Economic Activity*, 783-821
- Lieberman, M. and Montgomery, D. (1988), "First Mover Advantages",
Strategic Management Journal, 9: 41-58.
- Loury, G.C. (1979), "Market Structure and Innovation.", *Quarterly
Journal of Economics*, 93:395-410.

- Mansfield, E. (1986), "Patents and Innovation: An Empirical Study", *Management Science*, 32: 173-181
- Nelson, R.R. (1959), "The Simple Economics of Basic Scientific Research", *Journal of Political Economy*, 67:297-306.
- Nelson, R.R. and Winter, S. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge: Harvard University Press.
- Nelson, R.R. (1987), *Understanding Technical Change as an Evolutionary Process*, New York: North-Holland.
- Nelson, R.R. (1988), "Modelling the connections in the cross section between technical progress and R&D intensity", *Rand Journal of Economics*, 19:478-485.
- Oppenländer, K.H. (1971), *Wirtschaftliche Auswirkungen des technischen Wandels in der Industrie*, Frankfurt/Main.
- Oppenländer, K.H. (1976), *Investitionsinduzierter technischer Fortschritt*, Berlin/München.
- Phillips, A. (1971), *Technology and Market Structure: A Study of the Aircraft Industry*, Lexington Mass.: D.C. Heath.
- Reinganum, J.F. (1989), "The Timing of Innovation: Research, Development and Diffusion", in: *Handbook of Industrial Organization*, Vol. 1, (Schmalensee, R. and Willig, R eds) Amsterdam: North Holland.
- Scherer, F.M. et al. (1959), *Patents and the Corporation*, Boston: privately published.
- Schips, B. (1990), *Empirische Wirtschaftsforschung. Methoden, Probleme und Praxisbeispiele*. Wiesbaden: Gabler
- Scholz, L. (1977), *Technik-Indikatoren*, Berlin/München.
- Schweizerischer Handels- und Industrieverein (1987), *Forschung und*

Entwicklung in der schweizerischen Privatwirtschaft 1986. Bericht zur sechsten Erhebung des Vorortes in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Statistik. Zürich

Shumpeter, J.A.(1950), Capitalism, Socialism and Democracy, 3rd ed., New York: Harper (1.ed., 1942).

Solow, R.M. (1957), "Technical Change and the Aggregate Production Function", Review of Economics and Statistics, No.3 Vol. 39, 312-320

Solow, R.M. (1960), "Investment an technical progress", in Arrow, K.I.(ed.), Mathematical Methods in the Social Science, Stanford

Taylor, C.T. and Silberston, Z.A.(1973), The Economic Impact of the patent System: A Study of the British Experience, Cambridge: Cambridge University Press.

Teece J. D.(1986), "Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy", Research Policy, 15 : 285-305

ARBEITSPAPIERE WWI
1978 bis

JAHR	NR.	TITEL	AUTOR
1978	1	Der schweiz. kommunale Finanzausgleich	Peter Bohley (Festschrift Haller)
1981	2	Zur Hochschulfinanzierung in der Schweiz	Armin Jans
1983	3	Studiengebühren mit Zertifikaten und Steuerrechnung: Eine Weiterentwicklung des schweiz. Hochschullastenausgleichs	Peter Bohley
1984	4	Optimales Wachstum und Auslandverschuldung - ein Diskussionsbeitrag -	Helmut Schneider
1985	5	Spezielle Faktorensteuern in einer kleinen offenen Volkswirtschaft	Helmut Schneider
1986	6	Altersicherung in einer kleinen offenen Volkswirtschaft - zur Wirkungsweise des Kapitaldeckungsverfahrens -	Helmut Schneider
1987	7	Die Zukunft der Altersvorsorge	Helmut Schneider
1989	8	Moralische Forderungen an Wirtschaft und Unternehmung	Jean-Louis Arni
1989	9	Zum Verhältnis von Rationalität und Moralität: Eine Auseinandersetzung mit David Gauthiers "Morals by Agreement"	Jean-Louis Arni
1990	10	Entschuldung der III. Welt	Helmut Schneider
1990	11	Die Oekonomie - und ihre unrealistischen Annahmen	Jean-Louis Arni
1990	12	Bietet die Oekonomie "praktische" Orientierungen?	Jean-Louis Arni
1990	13	Einflussfaktoren von Forschung und Entwicklung in der Schweizer Industrie / Ergebnisse einer schriftlichen Expertenbefragung	Najib Harabi
1991	14	Wirtschaftswissenschaft und Ethik	Jean-Louis Arni
1991	15	Innovation versus Imitation: Empirical Evidence from Swiss Firms	Najib Harabi
1991	16	Determinanten des technischen Fortschritts - Eine empirische Analyse für die Schweiz	Najib Harabi

JAHR	NR.	TITEL	AUTOR
1991	17	Perspektiven des interkommunalen Finanzausgleichs	Peter Bohley
1991	18	Ist das Rational-Choice-Modell in Auflösung begriffen?	Jean-Louis Arni
1991	19	Nocheinmal: Das Verhältnis zwischen Wirtschaftswissenschaft und Ethik	Jean-Louis Arni
1992	20	Was ist Ethik? - Eine Antwortskizze	Jean-Louis Arni
1992	21	Determinanten des technischen Fortschritts - Eine empirische Analyse für die Schweiz 2. Version	Najib Harabi
1992	22		Najib Harabi