

Institut für Weltwirtschaft

Düsternbrooker Weg 120

24105 Kiel

Kieler Arbeitspapier Nr. 1382

Arbeitssparender technischer Fortschritt und Löhne

von

Erich Gundlach

September 2007

Für den Inhalt der Kieler Arbeitspapiere sind die jeweiligen Autorinnen und Autoren verantwortlich, nicht das Institut. Da es um Manuskripte in einer vorläufigen Fassung handelt, wird gebeten, sich mit Anregungen und Kritik direkt an die Autorinnen und Autoren zu wenden und etwaige Zitate mit Ihnen abzustimmen.

Arbeitssparender technischer Fortschritt und Löhne

Zusammenfassung:

Einfache Lehrbuchmodelle liefern widersprüchliche Aussagen zu den Wirkungen eines arbeitssparenden technischen Fortschritts auf die Löhne. Ein Modell der offenen Volkswirtschaft mit zwei Diversifizierungskegeln zeigt verschiedene Möglichkeiten auf, wie der arbeitssparende technische Fortschritt die Löhne beeinflussen könnte. Wenn der arbeitssparende technische Fortschritt am stärksten im humankapitalintensivsten Sektor wirkt, lässt sich für einen bestimmten Modellrahmen zeigen, dass die relativen Einkommensunterschiede innerhalb des Diversifizierungskegels der reichen Länder zunehmen und die Einkommensunterschiede zwischen den beiden Diversifizierungskegeln abnehmen werden. Danach kann der arbeitssparende technische Fortschritt anders als in einfachen Lehrbuchmodellen der Wachstums- und Außenwirtschaftstheorie die relativen Löhne der wenig qualifizierten Beschäftigten in den Industrieländern verringern.

JEL Klassifikation: F11, O30

Schlagworte: Technischer Fortschritt, Faktorverzerrung, Diversifizierungskegel

Erich Gundlach
Institut für Weltwirtschaft
Postfach 4309
24100 Kiel
Email: erich.gundlach@ifw-kiel.de

1. Einleitung

In den letzten Jahren sind in vielen Industrieländern die Löhne für wenig qualifizierte Arbeit deutlich hinter der allgemeinen Wirtschaftsentwicklung zurückgeblieben, teilweise sind sie auch absolut gesunken. Dort wo sie es nicht getan haben scheinen sich die Beschäftigungschancen der wenig qualifizierten Arbeitskräfte erheblich verschlechtert zu haben. An diesen Fakten besteht wenig Zweifel, aber bei der Ursachenanalyse gehen die Meinungen auseinander. Im Kern der Debatte steht die Frage, ob die beobachtete Verschlechterung der Einkommens- und Beschäftigungschancen wenig qualifizierter Arbeitskräfte etwas mit der Zunahme des internationalen Handels mit Niedriglohn-Ländern wie etwa China zu tun hat oder eher neuen Informations- und Kommunikationstechnologien zu verdanken ist, deren flächendeckender Einsatz zu mehr Nachfrage nach qualifizierten Arbeitskräften und gleichzeitig zu einer Substitution von einfacher Arbeit durch Maschinen führt.

Beide Komponenten, die Zunahme des internationalen Handels sowie die schubweise Beschleunigung des arbeitssparenden technischen Fortschritts, sind Ausdruck der Globalisierung, also des immer engeren weltweiten Zusammenwachsens von Güter und Faktormärkten. Wenn man die Ursache für die beobachtete Entwicklung eher beim internationalen Handel als beim technischen Fortschritt sieht, wird man vermutlich andere wirtschaftspolitische Schlussfolgerungen ziehen als bei der umgekehrten Sichtweise. Welcher der beiden Komponenten das größere Gewicht für die relative Verschlechterung der Einkommensposition wenig qualifizierter Arbeitskräfte zukommt, ist deshalb derzeit Gegenstand kontroverser wirtschaftspolitischer Diskussionen. Dabei kann es nicht sonderlich überraschen, dass sich bisher kein Konsens abzeichnet. Vereinfacht gesprochen könnte man vielleicht sagen, dass die Lehrbuchantworten auf diese Frage, die letztlich die wirtschaftspolitische Diskussion dominieren, je nach ökonomischer Teildisziplin recht unterschiedlich bis gegensätzlich ausfallen.

Aus partialanalytischer Arbeitsmarktsicht würde man beispielsweise wohl eher die These unterstreichen, dass der arbeitssparende technische Fortschritt tendenziell zu einem Sinken der Löhne oder der Beschäftigung führen wird. Aus makroökonomischer Sicht würde man demgegenüber betonen, dass der arbeitssparende technische Fortschritt der einzige Grund für ein dauerhaftes gleichgewichtiges Wachstum der Löhne ist. Und die außenwirtschaftliche Lehrbuchsicht würde nahe legen, dass die Frage zu den Wirkungen des arbeitssparenden technischen Fortschritts auf die Löhne falsch gestellt ist. Danach wäre es nicht die

Faktorverzerrung, sondern die Sektorverzerrung des technischen Fortschritts, die die Löhne im Vergleich zu den anderen Faktoreinkommen beeinflussen würde. Die außenwirtschaftliche Lehrbuch-Sicht würde somit hervorheben, dass sich die relative Einkommensposition wenig qualifizierter Arbeitskräfte bei einem für alle Sektoren gleichen arbeitssparenden technischen Fortschritt nur wegen der Zunahme des internationalen Handels mit arbeitsintensiven Gütern verschlechtert haben könnte.

Im nächsten Abschnitt werden die drei unterschiedlichen Sichtweisen zum Zusammenhang zwischen arbeitssparendem technischen Fortschritt und Löhnen vergleichend dargestellt. Anschließend wird gezeigt, wie die zweite Sichtweise mit der dritten zu einem erweiterten außenwirtschaftlichen Modell kombiniert werden kann, dessen Vorhersagen über die Wirkungen des arbeitssparenden technischen Fortschritts auf die Löhne – im Gegensatz zu einfachen Lehrbuchmodellen - durchaus mit der ersten Sichtweise übereinstimmen können. Unter bestimmten Bedingungen wird arbeitssparender technischer Fortschritt zu einem relativen Sinken der Reallöhne für wenig qualifizierte Beschäftigte führen, und diese Bedingungen scheinen für viele Industrieländer relevant zu sein.

2. Alternative Konzepte des technischen Fortschritts

Bevor die unterschiedlichen Wirkungen des technischen Fortschritts vergleichend dargestellt werden können, muss natürlich zunächst geklärt werden, was genau mit dem Begriff *arbeitssparend* gemeint ist. Umgangssprachlich scheint der Begriff in dem Sinne eindeutig zu sein, dass der technische Fortschritt für sich genommen den Faktor Arbeit einspart, also dazu führt, dass dieselbe Produktionsmenge mit weniger Arbeitsinput hergestellt werden kann. Alternativ könnte man diesen Tatbestand auch so beschreiben, dass arbeitssparender technischer Fortschritt den *effektiven* Bestand des Faktors Arbeit dadurch vermehrt, dass er die durchschnittliche Produktivität des Faktors Arbeit erhöht. In diesem Sinne wird das, was umgangssprachlich als arbeitssparender Fortschritt betrachtet wird, von der Wachstumstheorie als arbeitsvermehrender technischer Fortschritt bezeichnet.

Um die Konfusion komplett zu machen, findet man in der englischsprachigen Literatur gelegentlich neben dem arbeitssparenden ("labor saving") und dem arbeitsvermehrenden ("labor augmenting") technischen Fortschritt auch noch den Begriff des arbeits-verzerrten technischen Fortschritts ("labor biased technical change"). Selbstverständlich gibt es alle drei Varianten auch für den Faktor Kapital. Spätestens an dieser Stelle wird nicht mehr jedem Leser unmittelbar klar sein, ob und gegebenenfalls wie man eigentlich zwischen arbeitssparendem und kapitalvermehrendem technischen Fortschritt (oder umgekehrt)

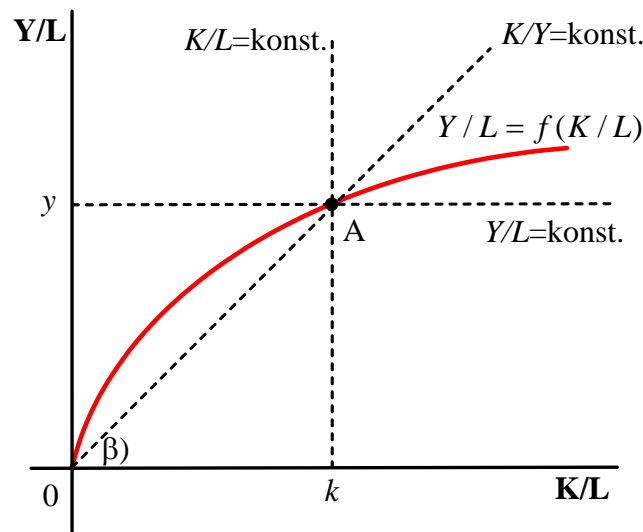
unterscheiden kann und was diese Konzepte mit dem sogenannten *neutralen* technischen Fortschritt zu tun haben, der in der Wachstumstheorie eine wichtige Rolle spielt.

Die unterschiedlichen Konzepte des technischen Fortschritts kann man sich am besten mit Hilfe eines Schaubilds verdeutlichen, in dem eine neoklassische Produktionsfunktion in der Pro-Kopf-Version dargestellt ist (Schaubild 1). Die vertikale Achse bezeichnet das Produktionsergebnis pro Person bzw. die Arbeitsproduktivität (Y/L) und die horizontale Achse den Kapitaleinsatz pro Person bzw. die Kapitalintensität (K/L). Die Steigung der Geraden durch den Ursprung ($\tan\beta$) bestimmt das Verhältnis von Produktionsergebnis zu Kapitaleinsatz, der Kehrwert der Steigung entspricht also der Kapitalproduktivität (K/Y). Die Arbeitsproduktivität und die Kapitalintensität in der Ausgangssituation werden mit $y(0)$ und $k(0)$ bezeichnet.

Der technische Fortschritt ist in diesem Schaubild so etwas wie eine Verschiebevorschrift für die Produktionsfunktion $Y/L = f(K/L)$. Der technische Fortschritt verschiebt die Produktionsfunktion so, dass sie in jedem Punkt über der ursprünglichen Produktionsfunktion zu liegen kommt. Ohne weitere Annahmen sind die Möglichkeiten für die Verschiebung der Produktionsfunktion durch den technischen Fortschritt von daher mehr oder weniger unbegrenzt, aber ausgehend von Punkt A kann man drei Grenzfälle unterscheiden, je nachdem, ob der technische Fortschritt die Kapitalintensität, die Arbeitsproduktivität oder die Kapitalproduktivität unverändert lässt.

Unmittelbar naheliegend ist vermutlich, sich den technischen Fortschritt als eine vertikale Verschiebung der Produktionsfunktion nach oben vorzustellen. In diesem Fall bliebe die Kapitalintensität konstant, und man würde den technischen Fortschritt umgangssprachlich als gleichermaßen kapital- und arbeitssparend bezeichnen. Intuitiv weniger leicht vorstellbar wäre demgegenüber wohl eine horizontale Verschiebung der Produktionsfunktion nach links entlang einer konstanten Arbeitsproduktivität. Eine solche Verschiebung der Produktionsfunktion würde man als kapitalsparenden technischen Fortschritt bezeichnen. Der in diesem Beitrag besonders interessierende arbeitssparende technische Fortschritt würde die Produktionsfunktion in nordöstlicher Richtung entlang einer konstanten Kapitalproduktivität verschieben. In diesem Fall würde der technische Fortschritt also die Arbeitsproduktivität über eine Zunahme der Kapitalintensität erhöhen und somit mit einem relativ geringeren Arbeitseinsatz ein höheres Produktionsergebnis ermöglichen.

Schaubild 1: Alternative Konzepte des technischen Fortschritts

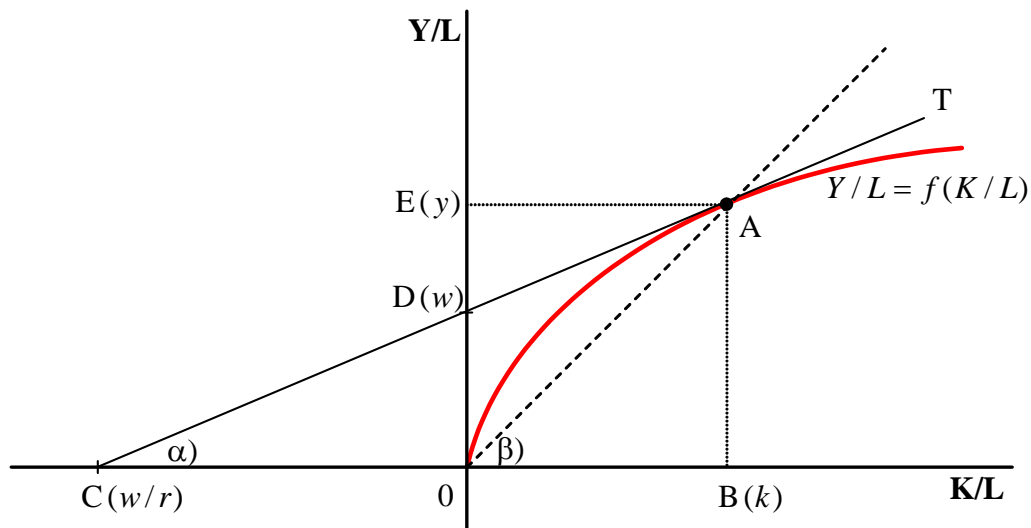


Neben den drei Grenzfällen könnte der technische Fortschritt natürlich auch Zwischenformen annehmen, also die Produktionsfunktion nur näherungsweise wie besprochen verschieben. Ganz allgemein würde man dann bei einer nordwestlichen Verschiebung von kapitalsparendem und bei einer nordöstlichen Verschiebung von arbeitssparendem technischen Fortschritt sprechen. Vermutlich aus diesem Grund wird die Verschiebung der Produktionsfunktion in exakt nördlicher Richtung gelegentlich als "neutraler" technischer Fortschritt betrachtet, da in diesem Fall das Faktoreinsatzverhältnis (die Kapitalintensität) konstant bleibt. Auch diese Konvention bietet Anlass für Verwirrung, weil sich das Konzept eines neutralen technischen Fortschritts in der Wachstumstheorie auf eine konstante funktionale Einkommensverteilung bezieht (Uzawa, 1961) und nicht, wie manchmal in der Außenwirtschaftstheorie, auf eine konstante Kapitalintensität.

Ausgangspunkt für die wachstumstheoretischen Überlegungen ist die weitgehende Konstanz der Verteilungsquoten im Zuge des langfristigen Wirtschaftswachstums, wie sie insbesondere für die Vereinigten Staaten für lange Zeiträume beobachtet worden ist. Danach bleibt der technische Fortschritt, der letztlich das Tempo der wirtschaftlichen Entwicklung bestimmt, neutral im Hinblick auf die Lohnquote und die Gewinnquote. Ausgehend von Schaubild 1 lassen sich damit wiederum drei Grenzfälle eines neutralen technischen Fortschritts definieren, in denen die bisher diskutierten Variablen Kapitalintensität, Arbeitsproduktivität und Kapitalproduktivität mit den jeweiligen Faktorpreisen so verknüpft werden, dass die Verteilungsquoten konstant bleiben. Man spricht beispielsweise von Hicks-neutralem technischen Fortschritt, wenn sich die Produktionsfunktion bei konstanter Kapitalintensität so verschiebt, dass auch die Faktorpreisrelation w/r unverändert bleibt. Wenn sich die

Kapitalintensität und die Faktorpreisrelation durch den technischen Fortschritt nicht ändern, dann ändern sich auch die Verteilungsquoten nicht. In Schaubild 2 würde das bedeuten, dass die Tangente T an die Produktionsfunktion nach der Verschiebung durch den Hicks-neutralen technischen Fortschritt steiler verlaufen und die neue Produktionsfunktion in einem Punkt auf der Linie der konstanten Kapitalintensität tangieren würde.¹

Schaubild 2: Konzepte des neutralen technischen Fortschritts



Analog zum besprochenen kapitalsparenden technischen Fortschritt spricht man von Solow-Neutralität, wenn der technische Fortschritt die Produktionsfunktion bei konstanter Arbeitsproduktivität und konstantem Lohnsatz verschiebt. In Schaubild 2 wäre das so darstellbar, dass sich die Tangente T in ihrem Schnittpunkt mit der Y/L -Achse ($D(w_0)$) so lange entgegen dem Uhrzeigersinn dreht, bis der neue Tangentialpunkt auf der Linie der konstanten Arbeitsproduktivität erreicht ist.² Bei dieser Art des technischen Fortschritts würde sich das Faktorpreisverhältnis also zu Lasten des Faktors Arbeit verschlechtern.

Genau umgekehrt wäre es im Fall eines sogenannten Harrod-neutralen technischen Fortschritts. Hier würde sich das Faktorpreisverhältnis zu Gunsten des Faktors Arbeit verbessern. Harrod-neutraler technischer Fortschritt ist definiert als eine Verschiebung der Produktionsfunktion entlang einer konstanten Kapitalproduktivität, bei der gleichzeitig die Ertragsrate des Kapitals konstant bleibt. In Schaubild 2 würde das bedeuten, dass der neue

¹ Vgl. beispielsweise Jones (1976) für eine detaillierte Diskussion der in Schaubild 2 dargestellten Zusammenhänge. Im Anhang wird kurz erläutert, wie die Faktorpreise in Schaubild 2 graphisch hergeleitet werden können.

² Der Schnittpunkt der Tangente mit der Y/L -Achse bestimmt den Lohnsatz w ; bei konstantem Lohnsatz und konstanter Arbeitsproduktivität bleibt die Lohnquote und damit auch die Gewinnquote konstant.

Tangentialpunkt dort liegt, wo die parallel nach oben verschobene ursprüngliche Tangente die Linie der konstanten Kapitalproduktivität schneidet. Harrod-neutraler technischer Fortschritt ist so gesehen immer auch arbeitssparender technischer Fortschritt, aber arbeitssparender technischer Fortschritt ist nur im Spezialfall einer konstanten Einkommensverteilung auch Harrod-neutral.³

Die unterschiedlichen Konzeptionen des technischen Fortschritts sind keineswegs nur als theoretische Spielereien nützlich. Ohne eine a priori Definition des technischen Fortschritts (oder entsprechende andere theoretische Restriktionen) kann man beispielsweise keine empirischen Analysen der wirtschaftlichen Entwicklung durchführen, auch wenn das nicht immer allen Autoren präsent zu sein scheint.⁴ Welche der alternativen Spezifikationen des technischen Fortschritts gewählt wird, mag je nach Spezialisierungsgebiet unterschiedlich sein und scheint häufig eher von pragmatischen als von theoretischen Überlegungen abzuhängen.

Aus Sicht der Wachstumstheorie würde man beispielsweise das Konzept des Harrod-neutralen technischen Fortschritts bevorzugen, da mit allen anderen Konzepten für eine allgemeine Produktionsfunktion kein Wachstumsgleichgewicht möglich wäre.⁵ Die ältere und neuere empirische Literatur zum Muster des internationalen Handels benutzt demgegenüber das Konzept des Hicks-neutralen technischen Fortschritts, was damit zu tun haben mag, dass eben dieses Konzept in dem grundlegenden Papier zum Zusammenhang zwischen Handel und technischem Fortschritt aufgegriffen wurde (Findlay und Grubert, 1959). Um weitere begriffliche Verwirrungen zu vermeiden, wird der arbeitssparende technische Fortschritt im Folgenden sowohl aus Sicht der Wachstumstheorie als auch aus Sicht der Außenwirtschaftstheorie als Harrod-neutrale Variante diskutiert. Der Vorteil dieser Spezifikation liegt darin, dass man mit einer eindeutig definierten Verschiebevorschrift für die Produktionsfunktion einen konsistenten Referenzpunkt für die Diskussion der Effekte des arbeitssparenden technischen Fortschritts auf die Löhne bekommt. Gleichzeitig ist die Spezifikation des arbeitssparenden technischen Fortschritts in der Harrod-neutralen Variante mit einem Wachstumsgleichgewicht vereinbar, was zumindest kein Nachteil zu sein scheint.

³ Eine konstante Kapitalproduktivität impliziert einen konstanten Kapitalkoeffizienten. Zusammen ergeben ein konstanter Kapitalkoeffizient und eine konstante Ertragsrate des Kapitals eine konstante Gewinnquote und somit auch eine konstante Lohnquote.

⁴ Vgl. dazu Nelson (1973) sowie Hulten (2000) zur Geschichte der buchhalterischen Wachstumsforschung mit Hilfe des sogenannten "Growth Accounting."

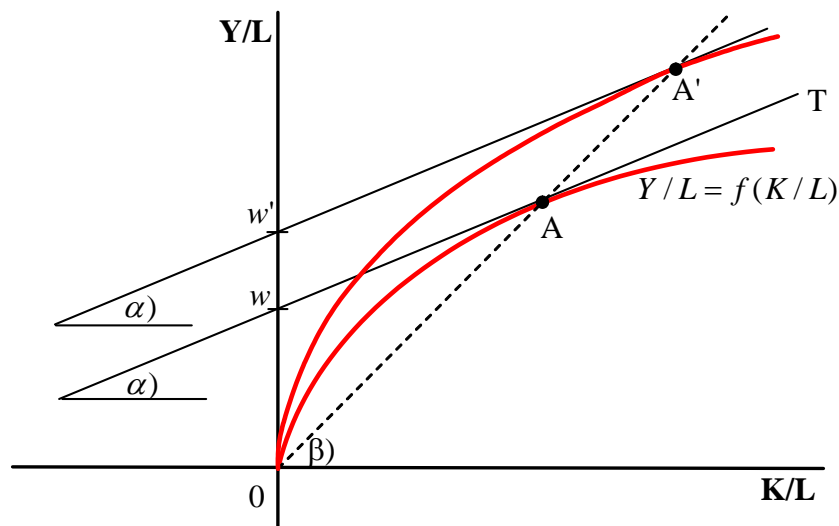
⁵ Vgl. Jones und Scrimgeour (2004) für eine ökonomische Motivation dieses auf Uzawa (1961) zurückgehenden Theorems.

3. Drei Sichtweisen zur Wirkung des arbeitssparenden technischen Fortschritts

Im denkbar einfachsten Fall könnte man sich die Wirkungen des arbeitssparenden technischen Fortschritts mit Hilfe eines Schaubilds für Arbeitsangebot und Arbeitsnachfrage vorstellen. Danach würde der technische Fortschritt die Arbeitsnachfragekurve bei gegebenem Arbeitsangebot nach links verschieben. Im neuen Gleichgewicht wären je nach Elastizität der betrachteten Kurven der Lohn oder die Beschäftigung (oder beide) niedriger als in der Situation ohne den technischen Fortschritt. Diese Sicht der Dinge scheint zumindest viele wirtschaftspolitische Debatten des Themas sehr stark zu beeinflussen.

Allerdings wird bei der reinen Arbeitsmarktsicht vernachlässigt, dass der arbeitssparende technische Fortschritt neue Investitionsmöglichkeiten schafft. Über die zusätzlichen Investitionen entsteht zusätzlicher Output, und über den höheren Output steigt die Arbeitsnachfrage. Diese Zusammenhänge kann man aus Schaubild 3 für eine Harrod-neutrale Verschiebung der Produktionsfunktion ablesen. Wenn sich die Produktionsfunktion entlang einer konstanten Kapitalproduktivität nach rechts oben verschiebt und das neue Gleichgewicht (der neue Tangentialpunkt) bei einer konstanten Ertragsrate des Kapitals erreicht wird, dann herrscht im neuen Gleichgewicht ein höherer Lohnsatz w' als im Ausgangspunkt. Der partialanalytisch betrachtete Rückgang der Arbeitsnachfrage wäre aus dieser Sicht also nur ein relativer Effekt, der sich gesamtwirtschaftlich in einer steigenden Kapitalintensität niederschlägt. Die Zunahme der Kapitalintensität ist demnach das Ergebnis des technischen Fortschritts und sollte so gesehen auch nicht, wie in vielen empirischen Studien, als unmittelbare Ursache für das gestiegene Einkommen betrachtet werden.

Schaubild 3: Harrod-neutraler technischer Fortschritt



Die Wachstumssicht liefert damit das genaue Gegenteil zur vorherigen Arbeitsmarktsicht. Der arbeitssparende technische Fortschritt bewirkt zumindest langfristig eine Zunahme des Lohnsatzes, weil er die Produktivität des Produktionsfaktors Arbeit erhöht. Mit anderen Worten ist der arbeitssparende technische Fortschritt aus Wachstumssicht der einzige Grund dafür, dass die Löhne überhaupt dauerhaft steigen können. Eine dritte Sichtweise würde demgegenüber betonen, dass man die Wirkungen des technischen Fortschritts auf die Löhne nicht hinreichend mit Modellen beurteilen kann, die entweder nur einen Faktormarkt oder nur einen Sektor betrachten.

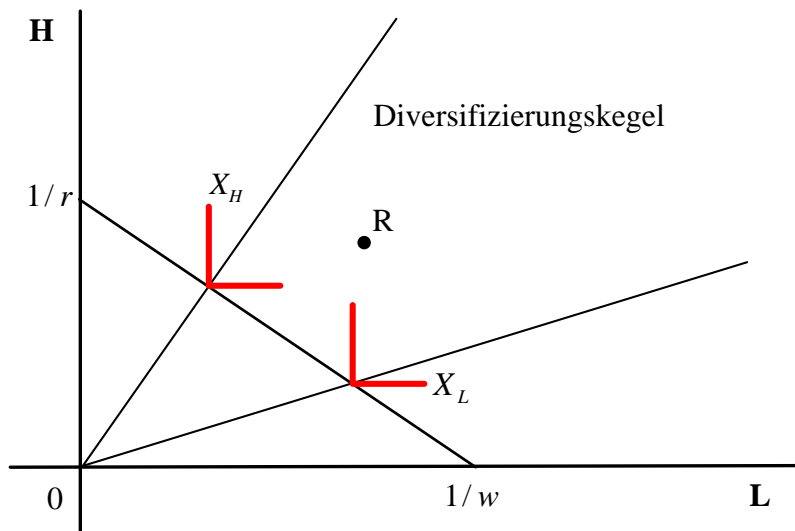
In den einfachsten außenwirtschaftlichen Modellen besteht eine Volkswirtschaft aus mindestens zwei Sektoren, die mit unterschiedlichen Faktoreinsatzverhältnissen (oder unterschiedlichen Technologien) zwei Güter produzieren, die international gehandelt werden. In einem solchen Modell spielt es nur eine untergeordnete Rolle, ob der technische Fortschritt arbeits- oder kapitalsparend (oder beides) ist. Entscheidend für die Wirkung des technischen Fortschritts auf den Lohnsatz ist hier vielmehr, in welchem der beiden Sektoren der technische Fortschritt stattfindet.

Schaubild 4 zeigt diese Zusammenhänge mit Hilfe des sogenannten Lerner-Diagramms.⁶ Dargestellt sind die Einheitswert-Isoquanten für die beiden Güter X_H und X_L , die mit unterschiedlicher Intensität der beiden Produktionsfaktoren H und L hergestellt werden, wobei H für Humankapital und L für wenig qualifizierte Arbeit steht.⁷ Das Gut X_H wird demnach humankapitalintensiv und das Gut X_L wird arbeitsintensiv produziert. Jeder Punkt auf einer Einheitswert-Isoquanten repräsentiert einen Outputwert in Höhe von 1 Euro. Da der Outputwert das Produkt aus Menge und Preis (p) ist, gilt für die Einheitswert-Isoquante $X = 1/p$. Jede Einheitswert-Isoquante hängt bei gegebener Technologie also nur von dem Preis des jeweiligen Gutes ab.

⁶ Vgl. Lerner (1952); vgl. Deardorff (2002a) für die hier benutzte Lehrbuchdarstellung des Lerner-Diagramms.

⁷ Da der technische Fortschritt nur die Faktorpreise international immobiler Produktionsfaktoren beeinflussen kann, bietet es sich an, in der Diskussion nicht auf den international weitgehend mobilen Produktionsfaktor Sachkapital, sondern auf den international weniger mobilen Faktor Humankapital abzustellen.

Schaubild 4: Sektoraler technischer Fortschritt und Faktorpreise



Zur Vereinfachung der Diskussion wird ein festes Faktoreinsatzverhältnis angenommen, so dass die beiden Einheitswert-Isoquanten rechtwinklig gezeichnet werden können. Ebenfalls eingezeichnet ist eine Kostenfunktion $C = r \cdot H + w \cdot L$ (bzw. $H = C/r - w/r L$), mit r und w als den beiden Lohnsätzen für Humankapital und für wenig qualifizierte Arbeit. Die Kostenfunktion tangiert die beiden Einheitswert-Isoquanten und repräsentiert deshalb ebenfalls in jedem Punkt einen Wert von 1. Aus $C = 1$ folgt, dass der Schnittpunkt der Kostenfunktion mit den beiden Achsen den jeweiligen Kehrwert des Faktorpreises ergibt. Auf der L-Achse ($H = 0$) erhält man somit $1/w$ als Schnittpunkt und auf der H-Achse ($L = 0$) $1/r$.

Bei gegebener Technologie bestimmen die beiden Tangentialpunkte der Kostenfunktion mit den Einheitswert-Isoquanten den Expansionspfad für die jeweils kostenminimierende Produktion der beiden betrachteten Güter. Diese beiden Expansionspfade beschreiben einen sogenannten Diversifizierungskegel ("cone of diversification"). Wie sich eine Volkswirtschaft spezialisiert, hängt davon ab, welchen Faktorausstattungspunkt sie innerhalb des Diversifizierungskegels besitzt. Bei einer Faktorausstattung, die wie der Punkt R ungefähr in der Mitte des Diversifizierungskegels liegt, würden beide Güter in etwa in gleichem Umfang produziert werden. Je näher der Faktorausstattungspunkt an einem der beiden Expansionspfade liegen würde, desto mehr würde sich die Volkswirtschaft in Richtung auf das zugehörige Gut spezialisieren. Alle Volkswirtschaften mit Faktorausstattungspunkten innerhalb des Diversifizierungskegels hätten bei Freihandel aber dieselben Faktorpreise, da

sie auch dieselben Güterpreise hätten und die Lage der Einheitswert-Isoquanten bei gegebener Technologie nur von den Güterpreisen abhängt.

Die Lage der Einheitswert-Isoquanten ändert sich bei gegebenen Güterpreisen, wenn sich die Technologie ändert, also bei technischem Fortschritt. Wenn sich die Lage der Einheitswert-Isoquanten ändert, ändert sich auch die Lage der Kostenkurve, deren Steigung das relative Faktorpreisverhältnis (w/r) angibt. Wie sich die Einheitswert-Isoquanten bei technischem Fortschritt im Einzelnen verschieben, hängt in Schaubild 4 nicht nur davon ab, welche Faktorverzerrung des technischen Fortschritts man annimmt, sondern auch und gerade davon, welche Sektorverzerrung man unterstellt. Analog zur Diskussion der verschiedenen Konzepte des technischen Fortschritts in Abschnitt 2 würde man beispielsweise einen arbeitssparenden (Harrod-neutralen) technischen Fortschritt als eine waagerechte Verschiebung der Einheitswert-Isoquante nach links darstellen, einen kapitalsparenden (Solow-neutralen) technischen Fortschritt als eine senkrechte Verschiebung nach unten und einen arbeits- und kapitalsparenden (Hicks-neutralen) technischen Fortschritt als eine Verschiebung entlang des Expansionspfades in Richtung auf den Ursprung. Wie sich die relativen Faktorpreise verändern, hängt bei dieser Sichtweise aber in erster Linie davon ab, in welchem Sektor der technische Fortschritt stattfindet, und nicht davon, welche Faktorverzerrung er aufweist. Ein arbeitssparender technischer Fortschritt (Linksverschiebung der Einheitswert-Isoquante) im arbeitsintensiven Sektor (X_L) würde hier den Lohnsatz beispielsweise erhöhen; derselbe arbeitssparende technische Fortschritt im humankapitalintensiven Sektor (X_H) würde ihn verringern.

4. Zwei Diversifizierungskegel

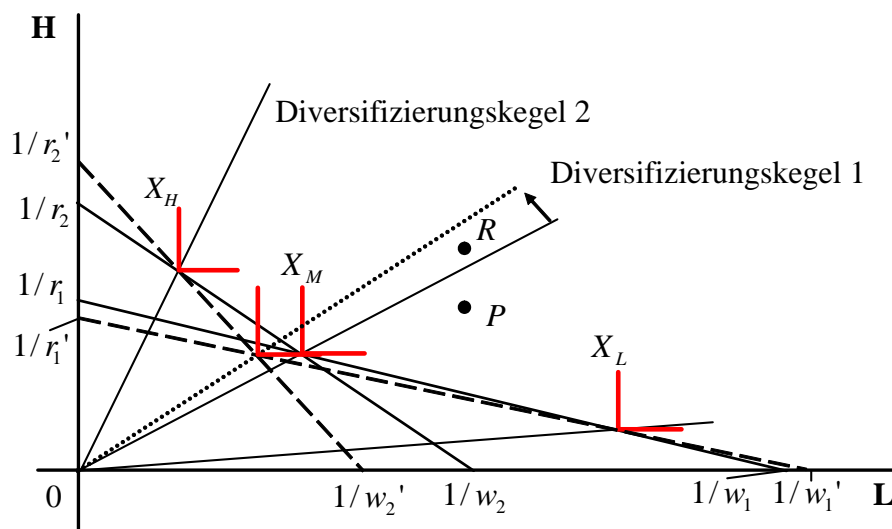
Die Argumentationslogik des Außenhandelsmodells mit zwei Gütern und zwei Faktoren erscheint zwingend. Die explizite Aussage, dass alle Länder, die (weitgehend) unbeschränkten Handel miteinander treiben, dieselben Faktorpreise haben sollen, ist aber offenkundig falsch. Auch mit Hilfe der existierenden Handelsrestriktionen kann man nicht erklären, wieso sich die internationalen Pro-Kopf Einkommen um einen Faktor von 20 und mehr unterscheiden.⁸ Man braucht also ein realistischeres Modell des internationalen Handels, um halbwegs schlüssige Vorhersagen über die Wirkungen des arbeitssparenden technischen Fortschritts

⁸ Da die Lohnquote im internationalen Vergleich keinen Trend aufweist (Gollin 2002) und deshalb näherungsweise als konstant angenommen werden kann, entsprechen die internationalen Einkommensunterschiede (bzw. die internationalen Unterschiede in der Arbeitsproduktivität) den internationalen Unterschieden bei den Reallöhnen.

ableiten zu können. Wenn man beispielsweise annimmt, dass es mehr Güter als Faktoren gibt, im einfachsten Fall also drei Güter und zwei Faktoren, ergibt sich bereits ein wesentlich differenzierteres Bild.

Schaubild 5 enthält gegenüber Schaubild 4 nur eine Veränderung, nämlich das zusätzliche Gut X_M , für das eine mittlere Humankapitalintensität angenommen wird. Wenn man einmal von dem Spezialfall absieht, bei dem alle drei Einheitswert-Isoquanten von einer einzigen Kostenfunktion tangiert werden, verbleibt die in Schaubild 5 dargestellte Situation.⁹ Es gibt jetzt zwei Diversifizierungskegel, die sich trotz Freihandel hinsichtlich der jeweils geltenden Faktorpreise unterscheiden. Die Faktorausstattung eines Landes wie in Punkt R wäre aus globaler Sicht als relativ humankapitalintensiv, aus lokaler Sicht innerhalb des Diversifizierungskegels aber als relativ arbeitsintensiv zu betrachten; die Faktorausstattung eines Landes wie in Punkt P wäre aus globaler Sicht als relativ arbeitsintensiv, aus lokaler Sicht innerhalb des Diversifizierungskegels aber als relativ humankapitalintensiv zu betrachten.¹⁰ Humankapitalintensive Länder würden die beiden Güter X_H und X_M produzieren und das Gut X_L importieren, arbeitsintensive Länder würden die beiden Güter X_M und X_L produzieren und das Gut X_H importieren. Im Freihandelsgleichgewicht hätten alle Länder mit Faktorausstattungen innerhalb des humankapitalintensiven Diversifizierungskegels einen höheren Lohnsatz für wenig qualifizierte Arbeit (w) als die Länder mit Faktorausstattungen im arbeitsintensiven Diversifizierungskegel.

Schaubild 5: Internationale Einkommensunterschiede bei Freihandel und technischem Fortschritt



⁹ Vgl. Deardorff (2002b) zur Diskussion des Lerner Diagramms mit drei Gütern und zwei Faktoren.

Wenn es arbeitssparenden technischen Fortschritt bei der Produktion eines Gutes gibt, verschiebt sich die Einheitswert-Isoquante so wie im vorhergehenden Abschnitt erläutert nach links. Betrachtet sei jetzt der humankapitalintensive Diversifizierungskegel, in dem sich anfangs das (reiche) Land mit der Faktorausstattung R befand.¹¹ Die Linksverschiebung der Einheitswert-Isoquante des Gutes X_M führt so wie im vorher betrachteten Fall mit nur einem Diversifizierungskegel zu einem Anstieg des Lohnsatzes von w_2 auf w_2' für alle Länder, die im Diversifizierungskegel verbleiben. Für ein Land mit dem Faktorausstattungspunkt R ist das hier allerdings nicht der Fall, denn die Verschiebung der Einheitswert-Isoquante führt auch zu einer Verschiebung der Grenzen der Diversifizierungskegel. Im neuen Gleichgewicht befindet sich der Faktorausstattungspunkt R im arbeitsintensiven Diversifizierungskegel, wo der Lohnsatz für wenig qualifizierte Arbeit grundsätzlich niedriger als in dem humankapitalintensiven Diversifizierungskegel ist. Darüber hinaus ist er dort als Folge des technischen Fortschritts gegenüber dem niedrigeren Ausgangsniveau von w_1 auf w_1' gesunken.

Der arbeitssparende technische Fortschritt bei der Produktion des Gutes mit mittlerer Faktorintensität (X_M) hätte also dafür gesorgt, dass der Lohnsatz in einem relativ reichen Land fällt, so wie es auch bei einer denkbar naiven Arbeitsmarktsicht vorhergesagt worden wäre. Gegenüber der außenwirtschaftlichen Lehrbuchsicht ist dieses Ergebnis doppelt bemerkenswert. Nach dem Standardmodell würde der in einem Sektor intensiv genutzte Faktor vom technischen Fortschritt in diesem Sektor profitieren, und die Faktorverzerrung des technischen Fortschritts wäre immateriell. Anders als im Standardmodell führt der technische Fortschritt in dem relativ arbeitsintensiven Sektor hier aber zu einem Sinken des Lohnsatzes für wenig qualifizierte Arbeit, und anders als im Standardmodell ist die Faktorverzerrung des technischen Fortschritts ganz entscheidend für dieses Ergebnis verantwortlich, weil nur sie eine Verschiebung des Diversifizierungskegels bewirken kann.

Bei der Annahme eines Hicks-neutralen technischen Fortschritts, der die beiden Produktionsfaktoren immer im gleichen Umfang einsparen würde, ergibt sich beispielsweise keine Verschiebung der Diversifizierungskegel, da man die Einheitswert-Isoquanten immer nur entlang der jeweiligen Ursprungsgeraden nach innen verschieben würde. Die Erkenntnisse der Wachstumstheorie und die stilisierten Fakten für die Arbeitsproduktivität, die

¹⁰ Vgl. Davis (1996) zur Unterscheidung zwischen globaler und lokaler Faktorausstattung.

¹¹ Vgl. Findlay und Jones (2000) für eine ausführliche Diskussion der Wirkungen des arbeitssparenden technischen Fortschritts für den Fall mit drei Gütern und zwei Faktoren.

Kapitalintensität, die Kapitalproduktivität sowie die Verteilungsquoten legen allerdings nahe, dass man es zumindest langfristig mit einem Harrod-neutralen, also arbeitssparendem technischen Fortschritt zu tun hat.¹² Der empirischen Forschung ist es zwar bisher nicht gelungen, eindeutig zu identifizieren, wo genau die Grenzen von Diversifizierungskegeln verlaufen, aber wenn es mehr als einen Diversifizierungskegel gibt kann arbeitssparender technischer Fortschritt in bestimmten Ländern sehr wohl zu einem Sinken der Löhne führen.¹³ Dies gilt insbesondere für relativ reiche Industrieländer, die zwar aus globaler Sicht als humankapital erscheinen mögen, sich innerhalb ihres Diversifizierungskegels aber auf die Produktion relativ arbeitsintensiver Produkte spezialisieren, so wie ein Land mit der Faktorausstattung R in Schaubild 5.

5. Technischer Fortschritt, Faktorsubstitution und endogene Güterpreise

Die bisherige Diskussion hat gezeigt, dass der arbeitssparende technische Fortschritt die Löhne und damit auch die Beschäftigungschancen von unterschiedlich qualifizierten Arbeitskräften über verschiedene Kanäle beeinflussen kann, und zwar mit zum Teil unerwarteten Ergebnissen. Offen geblieben ist dabei, welche der Szenarien aus der Vielzahl der Möglichkeiten überhaupt realistisch sind und ob die jeweiligen Ergebnisse auch bei alternativen Modellannahmen Bestand haben. Der technische Fortschritt könnte ja beispielsweise bei der Produktion eines humankapitalintensiven Gutes stärker sein als bei der Produktion anderer Güter, die Unternehmen könnten eventuell mit Faktorsubstitution auf den technischen Fortschritt reagieren, und der technische Fortschritt könnte die relativen Güterpreise verändern. Alle diese Aspekte können durch kleine Veränderungen des bisherigen Außenwirtschaftsmodells berücksichtigt werden.

Zunächst wäre zu klären, welche Annahme man über die sektorale Verzerrung des technischen Fortschritts treffen will. Wie verschiedene Modelle der sogenannten endogenen Wachstumstheorie betonen, entstehen die Anreize für Investitionen in Forschung und Entwicklung durch die zumindest temporären Monopolrenten, die mit Produktinnovationen erzielt werden können. Eine hohe Forschungsintensität bedingt eine hohe Humankapitalintensität. Von daher könnte man argumentieren, dass der technische Fortschritt nicht wie bisher angenommen im mittleren, sondern im humankapitalintensiven Sektor am stärksten ist. Ausgehend von Schaubild 4 würde man also annehmen, dass der

¹² Vgl. Gundlach (2007) zu den stilisierten Fakten für einen Länderquerschnitt, wie sie für Modelle des internationalen Handels relevant sind.

¹³ Vgl. Schott (2003) für empirische Evidenz für zwei Diversifizierungskegel in der Weltwirtschaft.

(arbeitssparende) technische Fortschritt die Einheitswert-Isoquante X_H nach links verschiebt und nicht wie in Schaubild 5 die Einheitswert-Isoquante X_M . Das hätte ganz offensichtlich Konsequenzen für die zu erwartende Wirkung auf die relativen Faktorpreise.

Die bisherige rechtwinklige Form der Einheitswert-Isoquanten kann ebenfalls hinterfragt werden. Zumindest langfristig sollte es möglich sein, mit Faktorsubstitution auf den technischen Fortschritt zu reagieren. Arbeitssparender technischer Fortschritt sollte demnach für sich genommen zu einer höheren Humankapitalintensität in der Produktion führen, also weniger qualifizierte durch besser qualifizierte Arbeitskräfte ersetzen. Graphisch kann man das Ausmaß der möglichen Faktorsubstitution durch die Krümmung der Einheitswert-Isoquanten verdeutlichen. Wenn die Möglichkeit zur Faktorsubstitution unendlich groß ist, wird die Isoquante zu einer Geraden, wenn keine Faktorsubstitution möglich ist, bleibt es bei der rechtwinkligen Form. Die Realität dürfte zwischen diesen beiden Extremen liegen.

Schließlich sollte auch berücksichtigt werden, dass der (weltweite) technische Fortschritt im Normalfall Veränderungen bei den relativen Güterpreisen auslösen wird. Rascher technischer Fortschritt bei der Produktion eines Gutes sorgt dafür, dass sich dieses Gut gegenüber allen anderen verbilligt. Die Herstellung von Computern liefert dafür das wohl wichtigste Beispiel der letzten 20 Jahre. Wenn man die Güterpreise so wie in Schaubild 5 konstant lässt, nimmt man also an, dass der technische Fortschritt nur in dem jeweils betrachteten Land stattfindet und das betrachtete Land selbst so klein ist, dass es die Weltmarktpreise für die gehandelten Güter nicht beeinflussen kann. Beide Annahmen sind wenig hilfreich, wenn man darüber spekulieren will, wie der arbeitssparende technische Fortschritt die relativen Faktorpreise in den Industrieländern und anderswo beeinflusst.

Bei technischem Fortschritt mit endogenen Güterpreisen hat man es demnach mit gegenläufigen Effekten zu tun. Der technische Fortschritt verschiebt die Einheitswert-Isoquante je nach angenommener Faktor-Verzerrung nach "innen", also nach links, nach unten oder in einen Bereich dazwischen, während die entsprechende Änderung des jeweiligen Güterpreises die Einheitswert-Isoquante entlang des Fahrstrahls durch den Ursprung nach "außen" verschiebt. Welcher Effekt dabei überwiegt, hängt auch von Annahmen über die Nachfrageseite ab, über die bisher noch nichts gesagt worden ist. Wenn man jedoch im denkbar einfachsten Fall von einer homothetischen Güternachfrage ausgeht und einen arbeitssparenden (Harrod-neutralen) technischen Fortschritt annimmt, dann ergibt sich stets eine Nettoverschiebung der Einheitswert-Isoquante nach "links innen" (Becker und Gundlach, 2007). Mit anderen Worten, bei endogenen Güterpreisen werden die Wirkungen des

arbeitssparenden technischen Fortschritts auf die relativen Faktorpreise abgeschwächt, aber nicht eliminiert.

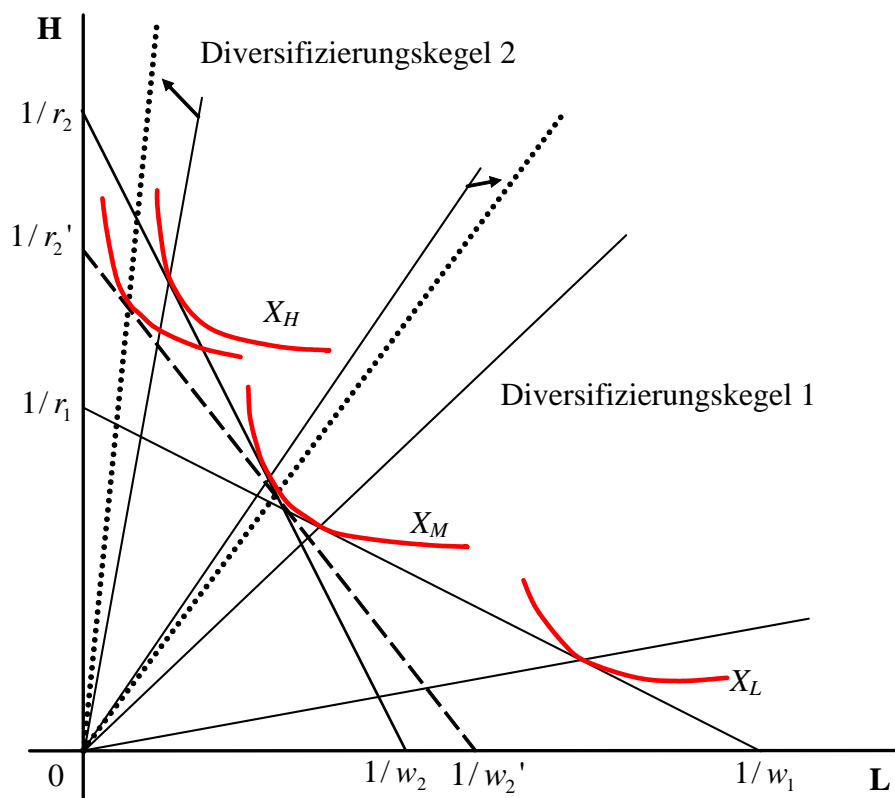
Schaubild 6 fasst zusammen, welche qualitativen Vorhersagen das hier benutzte Außenwirtschaftsmodell unter der Bedingung liefert, dass der (weltweite) technische Fortschritt arbeitssparend und auf den humankapitalintensivsten Sektor konzentriert ist, die Güterpreise auf den technischen Fortschritt reagieren und die Möglichkeit zur Faktorsubstitution gegeben ist. Diese Bedingungen mögen näherungsweise den gegenwärtigen Stand der Globalisierung abbilden, der gekennzeichnet ist von einer weitgehend unbeschränkten Verfügbarkeit von Technologie durch Direktinvestitionen und andere Aktivitäten multinationaler Konzerne, einen abgesehen von Agrarprodukten weitgehend unbeschränkten Güterhandel sowie die im Vergleich dazu weitgehende internationale Immobilität des Faktors Arbeit zwischen armen und reichen Ländern. Schaubild 6 liefert drei wesentliche Erkenntnisse.

- (i) Relativ zur Entlohnung des Faktors Humankapital wird die Entlohnung für wenig qualifizierte Arbeit in den Industrieländern fallen. Wenn der technische Fortschritt die Einheitswert-Isoquante X_H wie angenommen verschiebt, ergibt sich im neuen Gleichgewicht eine flachere Steigung der Kostenfunktion, also ein gesunkener relativer Preis für wenig qualifizierte Arbeit. Innerhalb der Industrieländer wird die Ungleichheit der Einkommen in diesen Fall also zunehmen.
- (ii) Die Ungleichheit der Einkommen zwischen den beiden Diversifizierungskegeln wird abnehmen. Im neuen Gleichgewicht sind die Steigungen der beiden Kostenfunktion weniger unterschiedlich als vorher. Die Angleichung der internationalen Einkommensunterschiede erfolgt durch eine Anpassung der Entlohnung für wenig qualifizierte Arbeit, die durch den technischen Fortschritt relativ reichlicher wird.
- (iii) Der Diversifizierungskegel der Industrieländer (Kegel 2) wird größer. In allen bisher enthaltenen Ländern wird der Preis für wenig qualifizierte Arbeit fallen, aber in den am unteren Rand neu eintretenden Ländern wird er im Vergleich zu deren Ausgangssituation steigen.

Ob diese abgeleiteten Ergebnisse empirisch überhaupt relevant sind und welche Länder gegebenenfalls von Verschiebungen der Diversifizierungskegel betroffen sein werden, lässt sich nicht allein mit konzeptionellen Überlegungen klären. Wenn der technische Fortschritt beispielsweise so wie in Abschnitt 4 diskutiert hauptsächlich bei der Produktion des Gutes mit

mittlerer Humankapitalintensität zum Tragen kommt, würde man anders als in Schaubild 6 eine Vergrößerung der internationalen Einkommensunterschiede erwarten; wenn er am stärksten bei der Produktion des arbeitsintensiven Gutes wäre, würde man wieder weniger internationale Ungleichheit erwarten. Hinzu kommt, dass das Ausmaß der Faktorsubstitution und der Effekt des technischen Fortschritts auf die relativen Güterpreise von Fall zu Fall unterschiedlich ausfallen mag. Welche Sichtweise der Realität am nächsten kommt, ist nicht mehr eine Frage des theoretischen Konzepts, sondern der empirischen Analyse. Unabhängig davon sollte man auf jeden Fall festhalten, dass es keine einfache Antwort auf die Frage gibt, wie der arbeitssparende technische Fortschritt die Löhne beeinflusst.

Schaubild 6: Arbeitssparender technischer Fortschritt im humankapitalintensivsten Sektor



6. Zusammenfassung

Aus partialanalytischer Sicht gibt es eine intuitiv plausible Antwort auf die Frage, wie der arbeitssparende technische Fortschritt die Löhne und Beschäftigungschancen wenig qualifizierter Arbeitskräfte beeinflusst. Lehrbuchmodelle aus der Wachstumstheorie und der Außenwirtschaftstheorie haben im Vergleich dazu andere Antworten parat, die auf den ersten

Blick weniger plausibel erscheinen mögen. Um die empirische Relevanz der unterschiedlichen Aussagen einordnen zu können, muss man die jeweiligen Modellrestriktionen im Blick behalten.

Wirtschaftspolitische Debatten zu den Wirkungen des technischen Fortschritts auf Löhne und Beschäftigung werden häufig, wenn auch meistens vermutlich unbewusst, mit den Aussagen der verschiedenen Lehrbuchmodelle geführt. Die drei populärsten Ansätze weisen jedoch allesamt Schwachpunkte auf, die eine angemessene Diskussion der Effekte des technischen Fortschritts in einer integrierten Weltwirtschaft verhindern. Bei der partialanalytischen Sichtweise wird beispielsweise neben dem Kapazitätseffekt auch ausgeblendet, dass relative Faktoreinkommen und relative Beschäftigungschancen in einer offenen Volkswirtschaft nicht in erster Linie von den heimischen Befindlichkeiten bestimmt werden. Bei der wachstumstheoretischen Sicht wird ausgeblendet, dass der technische Fortschritt eine sektorale Reallokation der Produktionsfaktoren auslöst, die in einzelnen Ländern je nach gegebener Faktorausstattung ganz unterschiedlich ausfallen kann. Bei der außenwirtschaftstheoretischen Sicht wird in der Regel vernachlässigt, dass die Annahme einer symmetrischen Anzahl von Gütern und Produktionsfaktoren nicht besonders realistisch ist und deshalb auch bei Freihandel große internationale Einkommensunterschiede bestehen können.

Um einer Antwort auf die Frage nach den Wirkungen des technischen Fortschritts im Zeitalter der Globalisierung näher zu kommen, benötigt man deshalb einen Modellrahmen, der internationale Einkommensunterschiede sowie außenwirtschaftliche Restriktionen für die heimischen Faktorpreise und Spezialisierungsmuster zulässt. Über die jeweilige Relevanz der tatsächlichen Sektor- und Faktorverzerrung des technischen Fortschritts wird man in Ermangelung eindeutiger empirischer Befunde vermutlich lange streiten können. Unabhängig davon zeichnet sich aus konzeptioneller Sicht aber ab, dass insbesondere Industrieländer mit einer relativ arbeitsintensiven Produktionsstruktur (bzw. mit einer hohen Arbeitslosigkeit bei gering qualifizierten Erwerbspersonen) vor großen Anpassungsproblemen stehen. Wenn man ein Szenario für plausibel hält, bei dem der arbeitssparende technische Fortschritt in den humankapitalintensivsten Sektoren am stärksten ist, wird die internationale Einkommensungleichheit langfristig gesehen abnehmen, aber die intranationale Einkommensungleichheit wird dann zunehmen. Das sind keine guten Nachrichten für die Einkommens- und Beschäftigungschancen wenig qualifizierter Beschäftigter in den Industrieländern.

Literaturverzeichnis

- Becker, Daniel, Erich Gundlach (2007). Factor Price Equality and Biased Technical Change in a Two-Cone Trade Model. *Review of Development Economics* 11(4) (in Vorbereitung).
- Davis, Donald R. (1996). Trade Liberalization and Income Distribution. Harvard Institute for International Development, Development Discussion Paper, 551.
- Deardorff, Alan V. (2002a). Introduction to the Lerner Diagram. University of Michigan, mimeo. <http://www-personal.umich.edu/~alandear/writings/Lerner.pdf>
- Deardorff, Alan V. (2002b). Introduction to Two-Cone HO Equilibrium. University of Michigan, mimeo. <http://www-personal.umich.edu/~alandear/writings/Two-Cones.pdf>
- Findlay, Ronald, Harry Grubert (1959). Factor Intensities, Technological Progress, and the Terms of Trade. *Oxford Economic Papers* 11(1): 111-121.
- Findlay, Ronald, Ronald Jones (2000). Factor Bias and Technical Progress. *Economics Letters* 68(3): pp 303–308.
- Gollin, Douglas (2002). Getting Income Shares Right. *Journal of Political Economy* 110(2): 458-474.
- Gundlach, Erich (2007). The Solow Model in the Empirics of Trade and Growth. *Oxford Review of Economic Policy* 23(1): 25-44.
- Hulten, Charles (2000). Total Factor Productivity: A Short Biography. NBER Working Paper, 7471, January.
- Jones, Charles I., Dean Scrimgeour (2004). The Steady-State Growth Theorem: A Comment on Uzawa (1961). NBER Working Paper No. 10921 (erscheint in *Review of Economics and Statistics*).
- Jones, Hywel (1975). *An Introduction to Modern Theories of Economic Growth*. London: Nelson.
- Lerner, Abba P. (1952). Factor Prices and International Trade. *Economica* 19(73): 1–18.
- Nelson, Richard R. (1973). Recent Exercises in Growth Accounting: New Understanding or Dead End? *American Economic Review* 63(3): 462-468.
- Schott, Peter K. (2003). One Size Fits All? Heckscher-Ohlin Specialization in Global Production. *American Economic Review* 93(3): 686–708.
- Uzawa, Hirofumi (1961). Neutral Inventions and the Stability of Growth Equilibrium. *Review of Economic Studies* 28(2): 117-124.

Anhang

Die graphische Herleitung der Faktorpreise in Schaubild 2

Die Steigung der Produktionsfunktion $Y/L = f(K/L)$ im Punkt A entspricht dem Grenzprodukt des Faktors Kapital (r). Demnach gilt

$$\tan \alpha = r_0 = \overline{AB} / \overline{CB}.$$

Gleichzeitig gilt auch $\tan \alpha = r_0 = \overline{ED} / \overline{EA} = \overline{ED} / k_0$, so dass

$$r_0 \cdot k_0 = \overline{ED}.$$

Da die Summe der Faktoreinkommen dem Wert des Outputs (mit dem Preis 1) entspricht, erhält man $Y = r \cdot K + w \cdot L$ bzw. die Summe von Gewinn- und Lohnquote als

$$\frac{r \cdot K}{Y} + \frac{w \cdot L}{Y} = 1.$$

In der Pro-Kopf-Version erhält man somit $(r \cdot k) / y + w / y = 1$, so dass

$$r_0 \cdot k_0 = y_0 - w_0 = \overline{ED}.$$

Deshalb kann man den Lohnsatz auf der vertikalen Achse ablesen als

$$w_0 = \overline{0E} - \overline{ED} = \overline{0D}.$$

Das Faktorpreisverhältnis folgt aus dem Schaubild über $\tan \alpha = r_0 = \overline{0D} / \overline{0C}$ als

$$w_0 / r_0 = \overline{0C}.$$