Über Auswirkungen von Produkt- und Technologieinnovation auf das Wachstum*

Von Klaus Spremann

Innovation verschafft einer Ökonomie signifikante komparative Vorteile; da sie jedoch an Investitionen gebunden ist, kann es auch bei kurzfristig wünschenswerten Auswirkungen langfristig durch Umstrukturierung des Kapitalstocks zu verringerten Wachstumsraten kommen.

1. Gegenstand und Untersuchungsmethode

Es soll ein einfaches makroökonomisches lineares Modell entwickelt werden, an dem sich die Auswirkungen innovativen Wirtschaftens auf den Investitions- und Kapitalpfad einer Ökonomie untersuchen lassen. Dabei wird davon ausgegangen, daß Produkt- und Technologieinnovationen an Neuinvestitionen gebunden sind und zu einer Erhöhung der Produktivität jüngerer Investitionen bei gleichzeitiger Verringerung der Produktivität (Rentabilität) älterer Investitionen führen. Dementsprechend muß ein Vintagemodell (*Ølgaard* 1968) zugrundegelegt werden, das die Investitionen der einzelnen Perioden nicht zu einem homogenen Kapitalstock aggregiert. Es wird angenommen, daß die Produktionsfunktionen für jede Kapitalschicht in der betrachteten Ökonomie linear sind; Alters-, Lern-, Rationalisierungs- und Vintageeffekte werden durch Gewichtsfaktoren berücksichtigt. Ferner wird die Investitionsquote als exogen gegeben und konstant betrachtet. Produkt- und Technologieinnovation bewirken dann über eine Änderung der Produktivität veränderte Investitionen, wobei der Periodenübergang des heterogenen Kapitalstocks durch eine lineare Abbildung beschrieben wird, die von der Intensität und der Ausrichtung (der Wirkung) innovativen Wirtschaftens abhängt. Mit Matrixtheoremen wie dem Satz von *Perron* und *Frobenius* lassen sich die Auswirkungen innovativen Wirtschaftens dann charakterisieren. Es zeigt sich insbesondere, daß Innovation, auch bei anfänglichem Wachstum, den Kapitalpfad (und damit auch Konsum und Investitionen) nach einer Tendenzwende in einen langfristigen

---

* Ausarbeitung eines Vortrages, gehalten auf der Sitzung des Theoretischen Ausschusses des Vereins für Socialpolitik in Schloß Reisenburg (Günzburg/Bayern) am 7. Juni 1974. Den Herren Professoren *W. Eichhorn*, Karlsruhe, und *H. Schneider*, Zürich, gilt mein Dank für wertvolle Anregungen.

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

Schrumpfungsprozeß einmünden lassen kann. Dieser kann höchstens durch eine Erhöhung der Investitionsquote, also Konsumverzicht, aufgehalten werden.

2. Innovatives Wirtschaften

Die westlichen Industrienationen zeichnen sich in ihrer Forschung, in der Entwicklung neuer Technologien, in Rationalisierungsmaßnahmen im Fertigungsbereich, sowie im Entwurf und der Planung neuer Produkte durch *innovatives* Verhalten und Vorgehen aus. Länder der dritten Welt trachten danach, mit Hilfe der Exporterlöse für ihre Rohstoffe eine eigene Industrie aufzubauen, die von vornherein dem neuesten technologischen Standard entspricht. Das noch in den 60er Jahren bei Entwicklungsländern vorherrschende Ziel der Importsubstitution ist heute weitgehend dem Streben nach Exportdiversifizierung gewichen (*Giersch,* 1971, S. 105 ff.). Innovatives Wirtschaften ist, wenn auch in unterschiedlicher Intensität, nicht nur bei Produzenten beobachtbar: in Marktwirtschaften akzeptieren Konsumenten weitgehend auch geringfügige Produktverbesserungen und bezahlen oftmals höhere Preise für neue Versionen älterer Güter, obwohl sich diese nur durch modisches Design und eine Zusatznutzen versprechende Werbung bei sonst gleicher Funktion von den früheren Produkten unterscheiden.

Der *ökonomische Zweck* des stetigen Wandels von Produktionsverfahren und Güterangebot ist offenkundig. Technologieinnovation schafft eine „technology gap" (*Posner* 1961, S. 323 ff.), komparativen Vorteil im Welthandel, und verursacht technischen Fortschritt[1]: bei gleichem Faktoreinsatz erhöhen sich die Werte der Produktionsfunktion. Produktinnovation vermag in einem schöpferischen Wettbewerb (*Arndt* 1952) eine monopolartige Marktstellung herbeiführen, die außerhalb sonst üblicher obligopoler Preiskonkurrenz gewinnmaximierende Preissetzung oder Vergrößerung von Marktanteilen zumindest solange erlaubt, bis Nachahmer auf den Plan treten (windfall profits). Der Konsument indes verspricht sich durch Mittragen auch bloßer Modeströmungen soziales Ansehen, einen höheren Nutzen oder einfach eine Steigerung seines Lebensgefühls.

Die Intensität innovativen Wirtschaftens ist *meßbar.* Als *Verursacher* angesehene Faktoren (*Hirsch* 1966, S. 23) sind einer quantitativen Erfassung unmittelbar zugänglich: Bekannte Kriterien für Innovationsfreude sind hohe Ausgaben für Research und Development, hohe Aufwendungen für kreative Geistesarbeit (high ratio of skilled to total labour), häufiger Modellwechsel (product turnover), große Bedeutung von „external economies", Bedeutungslosigkeit des „pricing" als „form

[1] hier: kostensenkende Prozeßinnovation.

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

of competition", sowie lange Listen von Lizenzen, zahlreiche Patentvergaben und umfangreiche Neuproduktkataloge. Auch die *Wirkungen* innovativen Wirtschaftens lassen sich beobachten: Exportveränderungen, die auf technologischen Vorsprung und Produktinnovation zurückzuführen sind, hat *Finger* (1975, S. 96) am Beispiel der USA und Japans für die Jahre 1952 bis 1971 ökonometrisch nachgewiesen.

Obwohl es nur in bestimmten Fällen gelingt, die Kosten industrieller Produktinnovation quantitativ zu spezifizieren (*Mansfield* und *Rapoport* 1975, S. 1380 ff.), und zahlreiche Probleme im Zusammenhang mit Cost-Benefit-Analysen von R & D-Projekten ungelöst sind (*Baker* und *Freeland* 1975, S. 1173), kann man prinzipiell Aufwand und Auswirkungen innovativen Wirtschaftens gegenüberstellen, um zu einer Charakterisierung einer *optimalen* Innovationsrate (Intensität) zu gelangen: Unternehmen entwickeln neue Technologien und Produkte dann mit einer optimalen Rate (Geschwindigkeit), wenn eine Veränderung dieser Rate die (Entwicklungs-)Kosten stärker ansteigen ließe als die Erlöse. Auch wenn *Finger* (1975, S. 84) diese Charakterisierung nur auf einen sehr eng gefaßten Begriff von Produktinnovation bezieht, ist der „approach" deutlich: zur Bestimmung einer optimalen Intensität innovativen Wirtschaftens wird Aufwand und Ertrag gegenübergestellt. Die Beurteilung allein nach *„return on investment"* ist jedoch aus zumindest den folgenden Gründen unzureichend:

1. Produktinnovation bewirkt nicht nur eine Verbesserung der Außenhandelsposition, sondern durch die Ausschaltung des Preiswettbewerbes einen *„monopoly welfare loss"* (*Lerner* 1933/34), der ermittelt werden kann (*Bergson* 1973).

2. Konsum- und Investitionsgüter werden in innovationsorientierten Wirtschaften lange vor dem physischen Ausfall ausrangiert, weil eine weitere Nutzung (kurzfristig betrachtet) ökonomisch *unrentabel* wäre bzw. eine weitere Verwendung unmoderner Konsumgüter durch das Nutzungsmaximierungsprinzip rationaler Konsumenten ausgeschaltet wird. Unter dem Aspekt beschränkter Rohstoffvorräte ist dieses Vorgehen (langfristig betrachtet) ökonomisch fragwürdig.

3. Die *Unsicherheit* der marktlichen Verwertung von Forschungs- und Entwicklungsleistungen führt nach *K. J. Arrow* (1962) insbesondere bei kleineren privatwirtschaftlichen Betrieben wegen der Risikoaversion dazu, daß die finanziellen Aufwendungen für R & D und damit auch die Innovationsrate *niedriger* angesetzt werden, als dies für eine Maximierung der Unternehmensziele erforderlich wäre. *H. Demsetz* (1969) übertrug dieses Argument auch auf staatliche Entwicklungsvorhaben und fragt nach dem Risiko für eine Regierung,

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

in einer Demokratie nach einem fehlgeschlagenem Prestigeprojekt nicht wiedergewählt zu werden.

4. Im Gegensatz zu dem Ergebnis von *Arrow* argumentieren *A. Bensoussan et al.* (1974, S. 160), daß eine Unternehmung durch „investment in R & D" das Optimum für eine andere Unternehmung in Richtung höherer Forschungsausgaben verschiebt. *H. Schneider* (1975, S. 201) weist darauf hin, daß von „windfall profits ein Anreiz auf Umgestaltung der Produktionsbedingungen ausgeht". Dies führt wiederum zu verstärktem R & D bei der ersten Unternehmung und insgesamt zu einer *Beschleunigung der Innovationsrate.* Dieser „adjustment process" kann ähnlich wie bei dynamischen Modellen der Oligopoltheorie (wo als Variable Quantitäten und Preise betrachtet werden) zu einem ruinösen Wettlauf führen (*Cyert* und *De Groot,* 1970).

5. Die Innovationsrate als Entscheidungsvariable im „magischen Vieleck" (*Ott,* 1967) blieb bislang eher unberücksichtigt. Zu schnelle Produkt- und Technologieinnovation kann über eine Erhöhung der Kapitaleffizienz aber strukturelle Arbeitslosigkeit bewirken und somit der gesamtwirtschaftlichen Zielsetzung (möglichst hoher Beschäftigungsstand, stetiges angemessenes Wachstum, außenwirtschaftliches Gleichgewicht, Preisstabilität, wie sie z. B. in der Bundesrepublik Deutschland durch den Gesetzgeber festgelegt sind, vgl. *N. Euba* und *H. Francke,* 1976, S. 105) widersprechen.

6. Die Herstellung neuer Produkte und die Realisierung neu entwickelter Technologien ist an Neuinvestitionen gebunden (embodied technical progress): Innovation in einer Ökonomie bewirkt somit eine Erhöhung der Produktivität kürzlich getätigter Investitionen bei gleichzeitiger relativer Erniedrigung der Produktivität (Rentabilität) länger zurückliegender Investitionen. So kann es durch innovatives Wirtschaften zu einer *Umstrukturierung des Kapitalstocks* kommen, deren langfristige Auswirkungen von einem Cost-Benefit-Vergleich nicht erfaßt werden. Gerade durch diese Umstrukturierung des Kapitalstocks aber kann es bei Aufrechterhaltung gewohnten innovativen ökonomischen Verhaltens schließlich zu verringerten oder sogar negativen Wachstumsraten kommen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, diesem letzten Grund nachzugehen und die durch Umstrukturierung des Kapitalstocks verursachten Auswirkungen innovativen Wirtschaftens auf das Wachstum zu analysieren.

Dies soll an Hand eines Vintagemodells (*Ølgaardt* 1968 und *Frisch* 1968) geschehen. Zunächst muß der hier verwendete Begriff von Pro-

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

dukt- und Technologieinnovation umrissen werden. Dann wird aus den Annahmen über die Produktionsfunktion folgen, daß sich der Produktions-Investitionsprozeß von einer Periode zur folgenden durch eine *lineare* Übergangsfunktion beschreiben läßt, die von der Intensität und der Ausrichtung des innovativen Wirtschaftens abhängt. Mit Matrixtheoremen lassen sich dann folgende *Ergebnisse* herleiten: Zunächst zeigt sich, daß nur *kurz-* und *langfristige* Auswirkungen der Innovation unterschieden werden müssen. Ferner ergeben sich in Abhängigkeit von der Ausgangssituation (vor allem der bisherigen Kapitalwachstumsrate und der Grenzproduktivitäten) vier qualitativ verschiedene Kapitalpfade (bezogen auf die ohne Innovation zu erwartende Entwicklung, die durch die Abszisse repräsentiert wird): Die betrachtete Produkt- und Technologieinnovation wirkt sich (vgl. Abb. 1 A) kurz- und langfristig

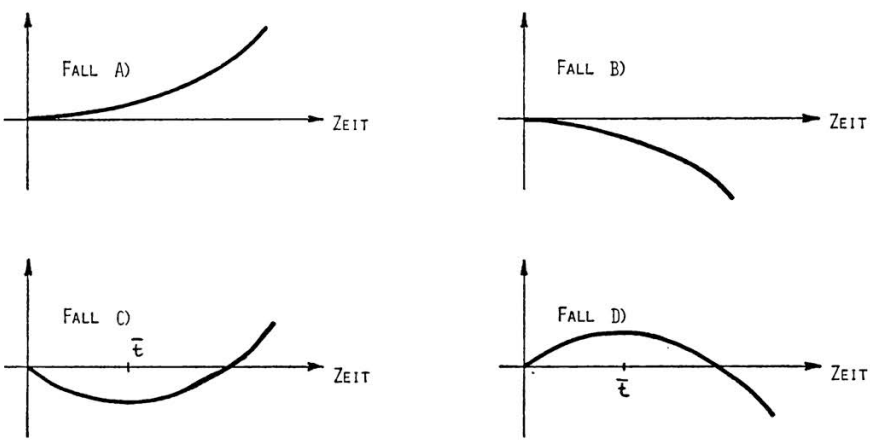

Abb. 1: Die vier qualitiv zu unterscheidenden Auswirkungen von Produkt- und Technologie-Innovation auf das Wachstum einer Ökonomie. — Die Ordinate gibt die durch innovatives Wirtschaften bedingte Veränderung von Produktion, Konsum bzw. Investition an, gemessen in Werteinheiten.

wachstumsfördernd oder aber wachstumsmindernd (Abb. 1 B) aus. Oder die Innovation führt bei anfänglichen Verlusten nach einer Tendenzwende $\bar{t}$ zu einer Erhöhung der Wachstumsraten und des Konsums (Abb. 1 C), während als vierte Möglichkeit die betrachtete Innovation trotz anfänglicher Gewinne ruinös sein kann, vgl. Abb. 1 D. Überraschenderweise kann der Fall A) auch dann eintreten, wenn die Innovation eine Verringerung der durchschnittlichen Produktivität bewirkt; der Fall B) kann sich auch dann ergeben, wenn das innovative Wirtschaften zu einer Erhöhung der durchschnittlichen Produktivität führt.

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

3. Kapitalbindung der Innovation

Zweifelsohne gibt es in speziellen Wirtschaftsbranchen Produktinnovation, die nicht oder nur unwesentlich an Neuinvestitionen gebunden ist. Etwa in der Bekleidungsindustrie werden auch nach jedem Modewechsel mit denselben Maschinen Stoffe in neuen Mustern und mit denselben Nähvorrichtungen Bekleidung im neuen Stil hergestellt. Das Produktions-Distributionsnetz arbeitet mit einer Geschwindigkeit, die dem Modezyklus angepaßt ist: Durch Mode wertlos gewordene ältere Kleidungsstücke bleiben kaum liegen: „Verluste" treffen nur den modebewußten Käufer — jedoch wird es nicht volkswirtschaftlich im Bruttosozialprodukt erfaßt, wenn für einen solchen Konsumenten ein fast neues, aber (im gleichen Jahr) unmodern gewordenes Kleidungsstück keinen Gebrauchswert mehr hat.

Die meisten beobachtbaren Innovationen sind allerdings kapitalgebunden; man denke an die Modellpolitik der Autoindustrie, an Modeströmungen der Freizeitindustrie und der Sportartikelhersteller: Fertigungspläne, Formen, Designvorlagen und Werbekampagnen sind an Neuinvestitionen gebunden.

Arbeitskräfte dagegen können sich umstellen und für die neuen Herstellungsmuster umgeschult werden. Innovationen sind deshalb meist eher an das Kapital als an den Faktor Arbeit gebunden. Bildungsinvestitionen, wie sie z. B. die Einführung der elektronischen Datenverarbeitung erforderlich machte, bleiben hier unberücksichtigt.

Ferner ist klar, daß sich kapitalgebundene Innovation nicht auf den Konsumgüterbereich beschränkt. Beispiele dafür sind: Modernisierungen im Transportwesen oder etwa die Ablösung einer Computergeneration durch die andere. Ähnlich wie im Konsumgüterbereich, wo Produktinnovation eine Aufwertung moderner sowie eine Abwertung älterer Produkte bewirkt, wird Technologieinnovation bei Investitionsgütern z. B. durch Sonderabschreibungen berücksichtigt, die aufgrund von Änderungen der Produktivität der in moderne bzw. ältere Fertigungsmuster und Technologien gebundenen Kapitalschichten erforderlich werden.

Schließlich handelt es sich bei innovativem Wirtschaften um eine Verhaltensweise von Produzenten und Konsumenten, die über eine längere Zeit als konstant angesehen werden darf (man ist entweder modern oder nicht), deren Ausrichtung und Intensität aber in gewissen Bereichen beeinflußt werden können. Produkt- und Technologieinnovation ist ein langfristig konstantes Verhalten von Herstellern, Anbietern, Nachfragern und Verbrauchern, das in gewissen Grenzen wählbar ist (die Wirtschaftssubjekte können einen Konsens herbeiführen) und das (ge-

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

genüber dem „normalen", „konservativen" Verhalten) eine Erhöhung der Produktivität (Rentabilität) der jüngsten Schichten des Kapitalstocks (in den letzten Jahren getätigte Investitionen) und eine Verringerung der Produktivität länger zurückliegender Investitionen bewirkt.

4. Vintagemodell mit Innovation

Die Auswirkungen innovativen Wirtschaftens werden durch den Pfad des Kapitalstocks beschrieben. Es wird ein Modell mit diskreter Zeit zugrundegelegt und angenommen, nach n Perioden produktiver Tätigkeit trete der physische Tod der Investitionsgüter ein (*Frisch* 1968). Somit wird der Kapitalstock zu jedem Zeitpunkt t durch einen Vektor $x(t)$ mit n Komponenten beschrieben. Der Zeiteffekt δ sei die Differenz der natürlichen Abschreibungsrate bei exponentiellem Altern und die „capital augmenting" Wirkung des Lernprozesses durch produktive Tätigkeit. Dann ist der Output Y_t der Produktion in

$$Y_t = \sum_{\substack{l=t,\, t-1,\, t-2,\\ \cdots\\ t-n+1}} \hat{f}_l\,(I_l \cdot (1-\delta)^{t-l}, L_l, t)\ , \tag{1}$$

gegeben, wobei I_l die zur Zeit l getätigte Investition und $\hat{f}_l$ die für sie relevante Produktionsfunktion bezeichnet. Die Effekte der nicht-kapitalartigen Faktoren dieser Produktionsfunktionen für die einzelnen Kapitalschichten setzen wir als „output augmenting" (*Eichhorn* und *Kolm* 1974) so an, daß durch Relativierung von Input und Output auf das jeweilige Niveau $\Phi(t)$ nur n vom Wiederbeschaffungswert der Investitionen abhängige Produktionsfunktionen f_i die Produktion beschreiben: Es gebe eine Niveaufunktion $\Phi : \mathbf{N} \to \mathbf{R}_+$ und Produktionsfunktionen $f_\nu : \mathbf{R}_+ \to \mathbf{R}_+, \nu = 1, 2, \ldots, n$, so, daß für alle Zeitpunkte t und alle zurückliegenden Perioden $l = t, t-1, t-2, \ldots, t-n+1$ die Bedingung

$$\hat{f}_l\,(I_l\,(1-\delta)^{t-l}, L_l, t) = \Phi(t) \cdot f_{t-l}\left(\frac{I_l\,(1-\delta)^{t-l}}{\Phi(t)}\right) \tag{2}$$

gilt. Wenn man also den Output Y_t auf das Niveau $\Phi(t)$ bezieht, gilt anstelle von (1)

$$Y_t / \Phi(t) = \sum_{\nu=1,2,\ldots,n} f_\nu\,(x_\nu(t))\ , \tag{3}$$

sofern man für $\nu = 1, 2, \ldots, n$

$$x_\nu(t) := I_{t-\nu}\,(1-\delta)^{t-\nu} / \Phi(t) \tag{4}$$

abkürzt; $x_\nu(t)$ ist die zum Zeitpunkt $t-\nu$ getätigte Investition, bewertet mit dem Zeiteffekt und bezogen auf das Niveau $\Phi(t)$ oder ihr *Wiederbeschaffungswert* (Reproduktionskosten); und $x(t)$ ist der wirtschaftlich

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

effektive Kapitalstock; man kann ihn deuten als die mit dem Vintageeffekt $\Phi(t)$ abgezinsten Konsumverzichte während der letzten n Perioden, die der Aufbau von $x(t)$ gekostet hat. Bezeichnet ω die exogen gegebene Bruttoeinvestitionsquote und τ_ν die Änderung der Produktivität der ν-ten Kapitalschicht (die in der Periode t gerade zum ν-ten Mal produktiv tätig ist) bei einer bestimmten Intensität und Ausrichtung von Produkt- und Technologieinnovation, dann wird der Periodenübergang $x(t) \to x(t+1)$ des Kapitalstocks beschrieben durch:

$$(5) \qquad x(t+1) = \begin{bmatrix} x_1(t+1) \\ x_2(t+1) \\ x_3(t+1) \\ \cdots \\ \cdots \\ x_n(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega \cdot \sum_{\nu=1}^{n} (f_\nu(x_\nu(t)) + \tau_\nu x_\nu(t)) \\ (1-\delta)\, x_1(t) \\ (1-\delta)\, x_2(t) \\ \cdots \\ \cdots \\ (1-\delta)\, x_{n-1}(t) \end{bmatrix}.$$

Produkt- und Technologieinnovation wird hier durch ihre Wirkungen auf die Produktionskoeffizienten beschrieben, die der Vektor τ erfaßt. Abschließend wird angenommen, die Produktionsfunktionen f_ν für die einzelnen Schichten des wirtschaftlich effektiven Kapitalstocks seien linear und α_ν bezeichne die Durchschnittsproduktivität bzw. den Produktionskoeffizienten von f_ν. Diese Annahme ist nicht einschneidend, da die Bedingungen innerhalb jeder der n Schichten als homogen angesehen werden dürfen. Also gilt

$$(6) \qquad f_\nu(x_\nu(t)) = \alpha_\nu \cdot x_\nu(t) \qquad \text{für } \nu = 1, 2, \ldots, n$$

und (5) erhält die Form

$$(7) \qquad x(t+1) = L(\tau)\, x(t)$$

wobei die von τ abhängige n-n-Matrix $L(\tau)$ durch

$$(8) \qquad L(\tau) = \begin{bmatrix} \omega(\alpha_1+\tau_1) & \omega(\alpha_2+\tau_2) & \ldots & \omega(\alpha_{n-1}+\tau_{n-1}) & \omega(\alpha_n+\tau_n) \\ 1-\delta & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & 1-\delta & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ldots & 1-\delta & 0 \end{bmatrix}$$

gegeben ist.

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

5. Kurz- und langfristige Auswirkungen

Zur Beurteilung der Auswirkungen der Innovation τ auf den Kapitalpfad in der Periode t liegt es nahe, als Indikator die Reinvestitionsänderung

$$(L(\tau)\,x(t) - L(0)\,x(t))_1 = \sum_{\nu=1}^{n} \omega \cdot \tau_\nu \cdot x_\nu(t)$$

oder besser

$$(9) \qquad d_t(\tau) := (L(\tau)\,x(t) - L(0)\,x(t))_1 / (\omega \cdot x_1(t)) = \left(\sum_{\nu=1}^{n} \tau_\nu \cdot x_\nu(t)\right) / x_1(t)$$

zu wählen, da $d_t(\tau)$ gerade die *relative Änderung der Produktion* bzw. der Reinvestition während der Periode t beim Vergleich der „normalen" Verhaltensweise mit dem innovativen Wirtschaften τ, bezogen auf die entsprechenden Daten der Vorperiode, darstellt. Der absolute, durch die Innovation τ induzierte Produktionszuwachs ist durch $d_t(\tau) \cdot x_1(t)$ gegeben.

Nun hängt $d_t(\tau)$ nicht von der Größe des wirtschaftlich effektiven Kapitalstocks ab, sondern nur von dessen *Struktur* $s(t)$, die als „normierter" Kapitalstock definiert ist,

$$(10) \qquad s(t) := \frac{1}{x_1(t)} \cdot x(t)\ .$$

Damit gilt $d_t(\tau) = \tau' s(t)$, und man hat zunächst Aussagen über die Veränderung der Struktur des Kapitalstocks mit der Zeit bei einer gegebenen Innovation τ herzuleiten. Die möglichen Änderungen der Kapitalstruktur bei der Innovation τ und damit die des Indikators $d_t(\tau)$ sind zusammengefaßt in den Aussagen (i) ... (vii) des folgenden Satzes, die im Anschluß an den Beweis ökonomisch interpretiert werden.

Satz 1

(i) Die Periodenübergangsmatrix $L(\tau)$ besitzt einen einfachen, reellen und positiven betragsgrößten Eigenwert. Dieser wird im folgenden mit λ bezeichnet.

(ii) Die *finale* Struktur des Kapitalstocks in der Ökonomie

$$s_\infty := \lim_{t \to \infty} s(t)$$

wird durch diesen Eigenwert λ festgelegt:

$$s_\infty = (1, \lambda^{-1}, \lambda^{-2}, \lambda^{-3}, \ldots, \lambda^{1-n})'\ .$$

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

(iii) Der finale Wert des Indikators,

$$d_\infty(\tau) := \lim_{t \to \infty} d_t(\tau)$$

berechnet sich aus τ und dem Eigenwert λ zu

$$d_\infty(\tau) := \sum_{\nu=1}^{n} \tau_\nu \cdot \lambda^{1-\nu} .$$

(iv) Vergleicht man die Kapitalstruktur $s(t)$ zur Zeit t mit der finalen Struktur s_∞ des Kapitalstocks, dann gilt für die noch anstehende Änderung der Kapitalstruktur, die als *Strukturresiduum* bezeichnet werde,

$$r(t) := s_\infty - s(t) ,$$

die folgende Abschätzung bezüglich der euklidischen Norm:

$$\| r(t+1) \| \leqq \eta \, . \| r(t) \| .$$

Dabei ist der Koeffizient η echt kleiner als 1 und durch die „dominance ratio"

$$\eta := | \lambda_c | / \lambda$$

definiert, wobei λ_c einen betragszweitgrößten Eigenwert der Matrix $L(\tau)$ bezeichnet (der auch eine komplexe Zahl sein kann).

(v) Neben dieser Abschätzung für die Strukturresiduen gilt auch

$$\| r(t) \| \leqq \frac{\eta^t}{1-\eta} \| r(0) \|$$

als A-priori-Abschätzung der Norm (Größe) der im Zeitpunkt t noch anstehenden Änderung der Struktur des Kapitalstocks.

(vi) Nicht für alle $\nu = 2, 3, \ldots, n$ sei $\tau_\nu = 0$. Wenn für einen Zeitpunkt t'

$$\| r(t') \| \leqq \sigma(\tau)$$

gilt, wobei die Funktion σ durch

$$\sigma(\tau) := | d_\infty(\tau) | \cdot \| \tau \| / \left(\sum_{\nu=2}^{n} \tau_\nu^2 \right)$$

definiert sei, dann folgt für alle späteren Zeitpunkte $t \geqq t'$

$$sign\,(d_t(\tau)) = sign\,(d_\infty(\tau)) ,$$

d. h. die Indikatorfolge ändert ihr Vorzeichen nicht mehr.

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

(vii) Der Zeitpunkt für das späteste Eintreten des langfristigen Trends, für die Tendenzenwende, läßt sich abschätzen: jedes t' mit

$$t' \geqq ln \frac{\| r(0) \|}{(1-\eta)\,\sigma(\tau)} / (-\,ln\,\eta)$$

erfüllt (vi), falls $d_\infty(\tau) \neq 0$ (andernfalls würde die Innovation langfristig zu keinen Veränderungen führen).

Beweis von Satz 1

ad (i) Wegen $\delta < 1, \omega > 0$ und $\tau_\nu > -\alpha_\nu$ für $\nu = 1, 2, \ldots, n$ ist die Matrix $L(\tau)$ der Periodenübergänge *nichtnegativ*. Ihr gerichteter Graph (*Varga* 1962, S. 19) ist stark zusammenhängend, und somit ist $L(\tau)$ *irreduzibel* (*Varga* 1962, Theorem 1.6). Die Voraussetzungen des Satzes von *Perron* und *Frobenius*, der u. a. (i) besagt, sind erfüllt (*Varga* 1962, Theorem 2.1).

ad (ii) $L(\tau)$ ist skalares Vielfaches einer *Frobeniusmatrix* und hat deshalb zum Eigenwert λ den Eigenvektor s_∞, gegen den die Folge $\{s(t)\}_{t \in N}$ konvergiert, da die Potenzmethode (*Varga* 1962, S. 287) anwendbar ist, wenn der betragsgrößte Eigenwert einfach ist (*Bodewig* 1959, S. 269).

ad (iii) Aus $d_t(\tau) = \tau' s(t)$ und (ii) folgt sofort (iii).

ad (iv) Die Potenzmethode konvergiert linear mit der „dominance ratio" η als Konvergenzrate (*Varga* 1968, *Bodewig* 1959).

ad (v) Diese a-priori-Abschätzung folgt aus (iv) und ist in allen Beweisen zu Sätzen über kontrahierende Abbildungen hergeleitet, vgl. z. B. *Döring* (1969, S. 161).

ad (vi) Da die Norm der Strukturresiduen $r(t)$ im Laufe der Zeit echt monoton abnimmt (wie sich aus (iv) und (v) ergibt) und der Indikator durch $d_t(\tau) = \tau' s(t)$ gegeben ist, tritt in der Folge $d_{t'}(\tau), d_{t'+1}(\tau), \ldots$ bis d_∞ kein Vorzeichenwechsel mehr ein, wenn

$$d_\infty(\tau) - d_{t'}(\tau) = \tau' \;(s_\infty - s(t')) = \tau' r(t')$$

dem Betrage nach kleiner als

$$|\, d_\infty(\tau) \,| = |\, \tau' s_\infty \,|$$

ist. Betrachtet man im affinen Teilraum $S := \{s \in \mathbf{R}^n \mid s_1 = 1\}$ des $\mathbf{R}^n$, der die Menge aller denkbaren Kapitalstrukturen darstellt, die Hyperebene $S_0 := \{s \in S \mid \tau' s = 0\}$, also die Menge aller Kapitalstrukturen, bei denen sich die Innovation τ *neutral*

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

auswirkt, dann ist $\sigma(\tau)$ der kürzeste Abstand von s_∞ zu S_0. Ist dann die Norm von $r(t)$ kleiner als $\sigma(\tau)$, dann liegt $s(t) = s_\infty - r(t)$ im selben Halbraum von S bezüglich S_0, und $d_t(\tau)$ hat dasselbe Vorzeichen wie $d_\infty(\tau)$.

ad (vii) Aus (v) und (vi) erhält man die Bedingung

$$\sigma(\tau) \geqq \eta^t \cdot \| r(0) \| / (1 - \eta) .$$

Nach Division durch die positive Zahl $\sigma(\tau)$ und Logarithmieren ergibt sich daraus (vii).

Ökonomische Interpretation von Satz 1

Nur wenige Größen reichen aus, um die Auswirkungen innovativen Wirtschaftens auf das Wachstum zu beschreiben: Der Vektor τ, dessen Komponenten die Änderungen der Produktivtät der einzelnen Kapitalschichten angeben; ferner die Struktur $s(0)$ des Kapitalstocks beim „Start", also bei „Einführung" der Innovation τ, und schließlich λ, der größte Eigenwert der die Periodenübergänge beschreibenden Matrix $L(\tau)$. Daraus ergeben sich sofort der Indikator

$$d_0(\tau) = \tau' s(0), \tag{11}$$

der die *kurzfristigen* Auswirkunge der Innovation τ auf das Wachstum beschreibt, und

$$\begin{aligned} d_\infty(\tau) = \tau' s_\infty &= (1, \lambda^{-1}, \lambda^{-2}, \ldots, \lambda^{1-n})\, \tau \\ &= \sum_{\nu-1}^{n} \lambda^{1-\nu} \tau_\nu , \end{aligned} \tag{12}$$

der für die *langfristigen* Wirkungen von τ relevant ist. Abgesehen von den Grenzfällen $d_0(\tau) = 0$ oder $d_\infty(\tau) = 0$, die wir hier nicht weiter verfolgen, sind (in Abhängigkeit von τ, der anfänglichen Kapitalstruktur $s(0)$ und den Produktionsbedingungen α_ν, $\nu = 1, 2, \ldots, n$, der Reinvestitionsquote ω, dem Zeiteffekt δ, die alle λ bestimmen) vier qualitativ verschiedene Auswirkungen möglich. Diese eingangs bei Abb. 1 beschriebenen Fälle A) bis D) werden durch das Vorzeichenmuster der Indikatoren $d_0(\tau)$ und $d_\infty(\tau)$ bestimmt:

Fall	Vorzeichen von $d_0(\tau)$	und $d_\infty(\tau)$
A	+	+
B	−	−
C	−	+
D	+	−

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

Die Tendenzwende bei C) und D) wird durch die Umstrukturierung $s(0), s(1), \ldots, s_\infty$ des Kapitalstocks bewirkt. Eine Abschätzung für das späteste Eintreffen des langfristigen Trends, der durch das Vorzeichen von $d_\infty(\tau)$ qualitativ beschrieben ist, liefert die von der Innovation abhängige in (vi) definierte positive Zahl $\sigma(\tau)$: Gilt für einen Zeitpunkt t', daß die euklidische Norm des Residuums $r(t') := s_\infty - s(t)$, die ein Maß für die noch anstehende Änderung der Kapitalstruktur ist, nicht mehr größer als $\sigma(\tau)$ ist, dann ist der langfristige Trend qualitativ erreicht, ein Vorzeichenwechsel von $d_t(\tau)$ findet dann nicht mehr statt. Und in (vii) ist der Zeitpunkt für das Eintreten dieses langfristigen Trends abgeschätzt. Die absolute Größe der Ausprägung der Wirkung der Innovation τ wird durch die Größe des Kapitalstocks bestimmt.

6. Wachstumsrate des Kapitalstocks

Die ökonomische Interpretation der in Satz 1 formulierten Ergebnisse läßt sich prägnanter fassen, wenn man von der Annahme ausgeht, der Kapitalstock $x(0)$ sei annähernd gleichmäßig gewachsen, d. h. es gebe eine Wachstumsrate q mit

$$x_\nu(0) / x_{\nu+1}(0) = s_\nu(0) / s_{\nu+1}(0) \simeq q \text{ für } \nu = 1, 2., \ldots, n-1 . \tag{13}$$

„Annähernd" bedeute Kleinheit der Abweichung

$$\left| s(0)' \tau - (1, q^{-1}, q^{-2}, \ldots, q^{1-n}) \tau \right|$$

gegenüber $s(0)' \tau$. Jetzt lassen sich die von der Struktur des Kapitalstocks abhängigen Aussagen auf die Wachstumsrate q übertragen: Welche der in den Fällen A) bis D) angegebenen Wirkungen die Innovation τ auf das Wachstum hat, läßt sich ablesen aus der Wachstumsrate q, dem Eigenwert λ der Periodenübergangsmatrix und einer τ geeignete charakterisierenden reellen Funktion $\Psi : \mathbf{R}_{++} \to \mathbf{R}$, die durch

$$\Psi(\varrho) := (1, \varrho^{-1}, \varrho^{-2}, \ldots, \varrho^{1-n}) \tau = \sum_{\nu=1}^{n} \varrho^{1-\nu} \tau_\nu \tag{14}$$

definiert werde. Die Zweckmäßigkeit dieser Wahl von Ψ zeigt

$$\begin{aligned} d_0(\tau) &= s(0)'\tau = \Psi(q), \\ d_\infty(\tau) &= s_\infty{}'\tau = \Psi(\lambda). \end{aligned} \tag{15}$$

Zur Beurteilung der Innovation τ hat man sich folglich die Wachstumsrate q zu beschaffen, den Eigenwert λ zu berechnen sowie Vorzeichen und Nullstellen der Funktion Ψ im Intervall

$$I_{q,\lambda} := [\min\{q, \lambda\}, \max\{q, \lambda\}]$$

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

zu untersuchen. Die Nullstellen von Ψ sind diejeigen Wachstumsraten eines Kapitalstocks, bei denen die Innovation τ neutral wirkt. Für Tendenzwenden sind überdies nur die reellen, positiven Nullstellen ungerader Ordnung von Ψ (an denen Ψ das Vorzeichen wechselt) relevant und von diesen nur die größte ϱ^1 und die zweitgrößte ϱ^2,

$$\varrho^1 := \sup \{r \in \mathbf{R}_{++} \mid \Psi(r) = 0 \text{ und } \Psi \text{ wechselt dort das Vorzeichen}\}$$

$$\varrho^2 := \sup \{r \in (0, p^1) \mid \Psi(r) = 0 \text{ und } \Psi \text{ wechselt dort das Vorzeichen}\}$$

Man beachte, daß das Supremum der leeren Menge zu $-\infty$ definiert ist und im folgenden die Elemente ϱ^1 und ϱ^2 von $\{-\infty\} \cup \mathbf{R}$ nur in ordinale Beziehungen eingehen. Wegen

$$\lim_{\varrho \to \infty} \Psi(\varrho) = \tau_1 \tag{16}$$

gilt, sofern man nur $\tau_1 > 0$ bedenkt,

$$\Psi(\varrho) \begin{cases} \leqq 0 \text{ für } \varrho^2 \leqq \varrho \leqq \varrho^1 , \\ \geqq 0 \text{ für } \qquad \varrho^1 \leqq \varrho , \end{cases} \tag{17}$$

Besonders einfach lassen sich die Fälle A) ... D) charakterisieren, wenn ϱ^2 sowohl kleiner als q als auch kleiner als λ ist, wenn ϱ^2 also links von $I_{q,\lambda}$ liegt; $\varrho^2 \leqq I_{q,\lambda}$. Denn dann läßt sich aus (15) die folgende Tabelle herleiten:

Fall	Lage von q, λ, ϱ^1	Signum von $d_0(\tau)$, $d_\infty(\tau)$	
A	$\varrho^1 < q$ $\varrho^1 < \lambda$	+	+
B	$q < \varrho^1$ $\lambda < \varrho^1$	−	−
C	$q < \varrho^1 < \lambda$	−	+
D	$\lambda < \varrho^1 < q$	+	−

Wenn die Änderungen τ_ν, $\nu = 2, 3, \ldots, n$, der Produktivitäten durch Innovation dem Betrage nach klein gegenüber τ_1 sind, kann mit der folgenden Abschätzung a priori gezeigt werden, welche qualitativen Auswirkungen die Innovation bewirkt:

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

Satz 2 Falls $\tau \neq 0$, gilt:

$$\text{Aus } \Psi(\varrho) = 0 \text{ folgt } |\varrho| \leqq 1 + \max\{|\tau_\nu / \tau_1| \mid \nu = 2, 3, \ldots, n\}$$

Beweis von Satz 2

Anwendung einer bekannten Abschätzung für die größte Nullstelle eines Polynoms (*Varga* 1968, S. 48).

Ökonomische Anwendung von Satz 2

Ohne Berechnung des Eigenwertes λ der Matrix $L(\tau)$ kann man feststellen, daß der Fall A) oder der Fall C) vorliegt, wenn

$$\text{(18)} \qquad \begin{cases} q - 1 \geqq \max\{|\tau_\nu / \tau_1| \mid \nu = 2, 3, \ldots, n\} \\ \tau_1 > 0 \end{cases}$$

gilt. Mehr noch, wenn in der Ökonomie bis zum Zeitpunkt der „Einführung der Innovation τ" $t = 0$ das Reinvestitionsverhalten durch die (erste Zeile der) Periodenübergangsmatrix $L(0)$ beschrieben werden kann — unbeeinflußt durch denkbare Entdeckungen von Rohstofflagern, Zerstörung von Produktionsmitteln durch Kriegseinwirkungen, Kapitalhilfe von außen usw. — dann ist entsprechend (ii) von Satz 1 die Kapitalstruktur zur Zeit $t = 0$ durch den größten Eigenwert von $L(0)$ bestimmt. Der größte Eigenwert der Matrix $L(0)$ ist dann gleich q, und aus (18) folgt dann $\lambda \geqq q$: Der Übergang zur Innovation τ bewirkt eine Erhöhung des größten Eigenwertes der Periodenübergangsmatrix, der für das langfristige Wachstum entscheidend ist.

7. Optimale Innovation

Nachdem die zeitlichen Auswirkungen einer bestimmten Innovation aufgezeigt wurden und sich die Klassifikation in kurz- und langfristige als sinnvoll herausstellte, wobei auch die Tendenzwende in Satz 1 abgeschätzt wurde, geht es um die Frage, welche Innovation als optimal angesehen werden kann, wenn in der Ökonomie eine ganze Menge Ω von Innovationsverhalten (die sich durch *Intensität* und *Ausrichtung* unterscheiden können) realisiert werden können. Als vereinfachendes Beispiel nehme man an, die in der Ökonomie möglichen Arten innovativen Wirtschaftens unterschieden sich nur durch ihre Intensität. Das würde $\Omega = \{\gamma\tau \mid \gamma \in \mathbf{R}_+\}$ bedeuten. Dann ginge es nur um die Frage nach einer optimalen Intensität, Rate oder Geschwindigkeit der Innovation, über die in der Ökonomie ein Konsens herbeizuführen wäre.

Ohne Einigung über eine Nutzenfunktion, über das Maß der Diskontierung und den Planungshorizont sowie über zusätzliche Beschränkun-

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

gen für die Tragbarkeit anfänglicher Verluste im Fall C) kann man diese Frage generell nicht beantworten. Dies war der Grund, warum von einem kontrolltheoretischen Ansatz abgesehen wurde, wie er in der Wachstumstheorie oft gewählt wird. Besonders deutlich machen dies die Fälle C) und D). Würden alle möglichen Innovationen mit $\tau \neq 0$ den Verlustfall B) bewirken, wäre $\tau = 0$, das „konservative" Verhalten angebracht und optimal. Deshalb beschränkt sich das Folgende auf solche Innovationen $\tau \in \Omega$, die die Auswirkungen von A) zeitigen. Durch eine Extremwertbestimmung auf Ω gilt es eine Innovation τ^* zu finden, die A) bewirkt und überdies die absolute Ausprägung der kurz- und langfristig positiven Wirkung der Innovation maximiert. Es zeigt sich, daß nicht die Ziele der Maximierung von $d_0(\tau)$ und $d_\infty(\tau)$ als unterschiedlich anzusehen und zu gewichten sind: Für die langfristigen Auswirkungen einer Innovation τ ist es wichtig, daß der größte Eigenwert von $L(0)$ durch Variation der Koeffizienten $\omega\,\alpha_\nu$ von $L(0)$ um $\omega\,\tau_\nu$ noch erhöht wird. Denn aus (ii) von Satz 1 ergibt sich dann, daß die finale Kapitalstruktur s_∞ weniger „altersbelastet" ist als die bisherige durch $L(0)$ aufgebaute, was wegen $\tau_1 > 0$ wünschenswert ist. Außerdem führt ein größerer Eigenwert schließlich zu höheren Wachstumsraten. Nun kann man durch Aufstellen des charakteristischen Polynoms $L(0)$ und Anwenden der Formel über Nullstellenveränderung von Polynomen bei Variation der Koeffizienten (*Stoer* 1973) zeigen, daß (bis auf Fehler höherer Ordnung) die Differenz der größten Eigenwerte von $L(\tau)$ bzw. $L(0)$ proportional zu $d_0(\tau)$, den kurzfristigen Auswirkungen von τ ist, sofern Fall A) vorliegt. Die Maximierung kurzfristiger Auswirkungen bewirkt dann also gleich die Maximierung der langfristigen Auswirkungen; ein myoptischer Konsens über Innovation wirkt sich unter diesen Umständen auch langfristig positiv für die Ökonomie aus.

Abschließend betrachten wir ein Zahlenbeispiel zur Veranschaulichung von Fall D). Angenommen, eine Ökonomie lasse sich durch $n = 2$ Altersschichten, den Zeiteffekt $\delta = 0$, die Produktionskoeffizienten $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 1$ und die Investitionsquote $\omega = 0{,}5$ beschreiben. Also hätte man

$$L(0) = \begin{pmatrix} 0{,}5 & 0{,}5 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

und die Ökonomie befände sich in einem stationären Gleichgewicht, da $L(0)$ zum Eigenwert $\lambda^0 = 1$ den Eigenvektor (1,1) besitzt. Plötzlicher einmaliger Reichtum (Rohstoffe, Kapitalhilfe o. ä.) oder die Vernichtung älteren wirtschaftlich effektiven Kapitals (Kriegseinwirkungen) führe auf einen Kapitalstock $x(0) = (1{,}25; 1)$ bzw. eine Kapitalstruktur $s(0) = (1; 0{,}8)$. Unter dieser Situation liegt es nahe, etwa die Innovation $\tau = (0{,}1; -0{,}11)$ zu realisieren, da sie zumindest kurzfristig wegen $d_0(\tau) =$

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

$s(0)' \tau = 0{,}012 > 0$ ein wünschenswertes Wachstum verspricht. Jedoch ist der Eigenwert $\lambda = 0{,}99654$ von $L(\tau)$,

$$L(\tau) = \begin{pmatrix} 0{,}55 & 0{,}445 \\ 1, & 0 \end{pmatrix}$$

kleiner als der von $L(0)$, und es tritt langfristig ein Schrumpfungsprozeß ein: $d_\infty(\tau) = -0{,}0104$; die finale innovationsbedingte relative Produktionsänderung ist negativ.

Zusammenfassung

Aus verschiedenen Gründen kann eine gesamtwirtschaftlich optimale Innovationsrate nicht durch eine (kurzfristig ausgerichtete) Cost-Benefit-Analyse bestimmt werden. So kann z. B. kapitalgebundenes innovatives Wirtschaften auch bei kurzfristig wünschenswerten Auswirkungen durch Umstrukturierung des Kapitalstocks langfristig zu verringerten Wachstumsraten führen. Es wird ein einfaches makroökonomisches Vintagemodell entwickelt, an dem sich die Auswirkungen innovativen Wirtschaftens auf den Investitions- und Wachstumspfad einer Ökonomie untersuchen lassen. Mit Hilfe von Matrixtheoremen lassen sich die Ausgangsbedingungen charakterisieren, die zu qualitativ verschiedenen kurz- und langfristigen innovationsbedingten Wachstumsänderungen führen.

Summary

For several reasons a cost benefit analysis does not suffice for the determination of the rate of innovation which is optimal for technology and product turnover from a macroeconomic point of view. Innovation bounded to capital, for instance, may result in a long term change of the structure of the capital stock causing lower rates of economic growth even though there may be positive effects in the short run. Below a simply structured linear vintage model is developed which permits the study of the implications of innovation on the growth path of investment and capital in an economy. With the aid of matrix theorems it is possible to characterize the conditions which lead to different kinds of short and long term changes of growth.

Literatur

Arndt, H. (1952), Schöpferischer Wettbewerb und klassenlose Gesellschaft, Berlin 1952 (Volkswirtschaftliche Schriften Bd. 2).

Arrow, K. J. (1952), Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention, in: The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors, Stanford 1962 (Universities National Bureau Committee for Economic Research, University Press).

Baker, N. und *J. Freeland* (1975), Recent Advances in R & D Benefit Measurement and Project Selection Methods, Management Science 21 (1975), S. 1164 - 1175.

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/

Bensoussan, A. et al. (1974), Management Applications of Modern Control Theory, Amsterdam 1974, S. 159 f.

Bergson, A. (1973), On Monopoly Welfare Losses, American Economic Review 63 (1973), S. 853 - 870.

Bodewig, E. (1959), Matrix Calculus, New York 1959, S. 269.

Cyert, R. M. und *M. H. De Groot* (1970), Multiperiod Decision Models with Alternating choice as a Solution to the Duopoly Problem, Quarterly Journal of Economics 84 (1970) 3, S. 410 - 429.

Demsetz, H. (1969), Information and Efficiency: Another Viewpoint, Journal of Law and Economics 12 (1969) 1, S. 1 - 22.

Döring, B. (1969), Das Fixpunktprinzip in der Analysis, in D. Laugwitz (Hrsg.), Überblicke Mathematik Band 2, Mannheim 1969.

Eichhorn, W. und *S. C. Kolm* (1974), Technical Progress, Neutral Inventions, and Cobb-Douglas, in W. Eichhorn et. al. (Hrsg.), Production Theory, Berlin 1974 (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 99).

Euba, N. und *H. Francke* (1976), Das Stabilitäts- und Wachstumsgesetz im Lichte alternativer theoretischer Grundlagen, WiSt 5 (1976) 3, S. 104 - 108.

Finger, J. M. (1975), A New View of the Product Cycle Theory, Weltwirtschaftliches Archiv 111 (1975), S. 79 - 99.

Frisch, H. (1968), Gebundener technischer Fortschritt und wirtschaftliches Wachstum, Berlin 1968 (Wiener wirtschafts- und finanzwissenschaftliche Untersuchungen 1).

Giersch, H. (1971), Die Weltwirtschaft, Probleme der Arbeitsteilung zwischen Industrie- und Entwicklungsländern, Tübingen 1971 (Halbjahresschrift des Instituts für Weltwirtschaft an der Universität Kiel, Heft 1).

Hirsch, S. (1967), Location of Industriy and International Competitiveness, Oxford 1967.

Lerner, A. P. (1933/34), Der Begriff des Monopols und die Bestimmung der Monopolmacht, in A. E. Ott (Hrsg.), Preistheorie, Köln 1965 (Neue wissenschaftliche Bibliothek 1), S. 225 - 245.

Mansfield, E. und *J. Rapoport* (1975) The Costs of Industrial Product Innovation Management Science 21 (1975), S. 1380 - 1386.

Ølgaard, A. (1968), Growth, Productivity and Relative Prices, Amsterdam 1968.

Ott, A. E. (1967), Magische Vielecke, in A. E. Ott (Hrsg.), Fragen der wirtschaftlichen Stabilisierung, Tübingen 1967, S. 93 - 114.

Posner, M. V. (1961), International Trade and Technical Change, Oxford Economic Papers 13 (1961).

Schneider, H. (1975), Mikroökonomie, München 1975, S. 201.

Stoer, J. (1973), Einführung in die Numerische Mathematik I, Berlin 1973 (Heidelberger Taschenbücher 105).

Varga, S. R. (1962), Matrix Iterative Analysis, Englewood Cliffs 1962 (Automatic Computation Series).

DOI https://doi.org/10.3790/schm.96.2.143 | Generated on 2025-07-26 09:58:21
OPEN ACCESS | Licensed under CC BY 4.0 | https://creativecommons.org/about/cclicenses/