

# Über Auswirkungen von Produkt- und Technologieinnovation auf das Wachstum

## Bemerkungen zu dem gleichnamigen Aufsatz von Klaus Spremann

Von Axel Sell und Harald Andresen\*

### I.

In seinem Beitrag zeigt *Spremann*, daß es unter bestimmten Voraussetzungen durch innovatives Wirtschaften zu einer Umstrukturierung des Kapitalstocks einer Volkswirtschaft kommen kann, die bei Aufrechterhaltung gewohnten innovativen Verhaltens zu verringerten oder sogar negativen Wachstumsraten führt (*Spremann*, 1976, S. 146 f). Die Auswirkungen innovativen Wirtschaftens werden in dem Modell durch den Pfad des Kapitalstocks beschrieben. Nachfragekomponenten werden nicht explizit berücksichtigt; es handelt sich bei dem Modell von der Problemformulierung und Terminologie her um ein angebotsorientiertes Wachstumsmodell.

Nach Darstellung der wesentlichen Grundzüge des Modells soll gezeigt werden, daß die Prämissen über die Wirkung des innovativen Wirtschaftens auf die altersmäßig unterschiedlichen Schichten des Kapitalstocks bestimmte Annahmen über die Entwicklung der Nachfrage implizieren, so daß über das angebotsorientierte Wachstumsmodell hinausgegangen werden muß. Soweit mangelnde Nachfrage als Ursache für langfristig verringerte Wachstumsraten ausgeschlossen werden soll, sind bestimmte Koeffizientenänderungen im Modell nicht mehr zulässig. Insbesondere ist dann bei Auswahl modelladäquater Koeffizientenänderungen nicht denkbar, daß „kapitalgebundenes innovatives Wirtschaften auch bei kurzfristig wünschenswerten Auswirkungen durch Umstrukturierung des Kapitalstocks langfristig zu verringerten Wachstumsraten“ führt (*Spremann*, 1976, S. 159).

---

\* Dr. A. Sell und H. Andresen, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Wirtschaftspolitik, Olshausenstraße 40 - 60, D-2300 Kiel.

## II.

Das Modell von *Spremann* geht davon aus, daß Produkt- und Technologieinnovationen an Neuinvestitionen gebunden sind und zu einer Erhöhung der Produktivität jüngerer Investitionen bei gleichzeitiger Verringerung der Produktivität älterer Investitionen führen. Innovatives Verhalten von Produzenten und Konsumenten wird als über längere Zeit hinweg konstant angenommen; Ausrichtung und Intensität sind aber in gewissen Bereichen wählbar. Die Auswirkungen werden durch den Pfad des Kapitalstocks beschrieben; es wird ein Vintagemodell zugrundegelegt, das die Investitionen der einzelnen Perioden nicht zu einem homogenen Kapitalstock aggregiert; die Produktionsfunktionen für jede Kapitalschicht sind linear; Alters-, Lern-, Rationalisierungs- und Vintageeffekte werden durch Gewichtsfaktoren berücksichtigt; die Investitionsquote ist exogen gegeben und konstant. Die innovationsbedingte Änderung der Produktivität führt in diesem Modell dann zu veränderten Investitionen. Die Veränderung des Kapitalstocks in den einzelnen Altersstufen wird durch eine lineare Abbildung beschrieben, die von dem Ausmaß innovativen Wirtschaftens abhängt.

Formal wird das Modell durch folgende Matrix-Gleichung dargestellt:

$$x(t+1) = L(t) \cdot x(t) =$$

$$= \begin{bmatrix} \omega(\alpha_1 + \tau_1) & \omega(\alpha_2 + \tau_2) & \dots & \omega(\alpha_{n-1} + \tau_{n-1}) & \omega(\alpha_n + \tau_n) \\ 1 - \delta & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 - \delta & \dots & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & 1 - \delta & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n(t) \end{bmatrix}$$

wobei

- $\omega$  = exogen gegebene Bruttoinvestitionsquote,
- $\tau_\nu$  = Änderung der Produktivität der  $\nu$ -ten Kapitalschicht bei einer bestimmten Intensität und Ausrichtung von Produkt- und Technologieinnovation,
- $\alpha_\nu$  = Durchschnittsproduktivität der Produktionsfunktion  $f_\nu$ ,
- $\delta$  = Differenz der natürlichen Abschreibungsrate bei exponentiellem Altern und die „capital augmenting“ Wirkung des Lernprozesses durch produktive Tätigkeit,
- $x_\nu(t)$  = Kapitalschicht, die in der  $t$ -ten Periode zum  $\nu$ -ten mal produktiv wird
- für  $\nu = 1, 2, \dots, n$ ,
- $n$  = Zahl der produktiven Perioden.

## III.

Kritik ist vor allem an der Prämisse des Modells zu üben, daß innovatives Verhalten eine Erhöhung der Produktivität der jüngsten Schichten des Kapitalstocks und eine Verringerung der Produktivität länger zurückliegender Investitionen bewirkt.

Diese Annahme scheint auf den ersten Blick plausibel, ist es aber nicht für ein angebotsorientiertes Wachstumsmodell. Die Verwendung des Begriffs „Rentabilität“ als Synonym für Produktivität deutet bereits darauf hin, daß hier implizit Nachfrage- und Bewertungskomponenten berücksichtigt werden, denn üblicherweise wird der Begriff „Produktivität“ als Verhältnis zwischen Produktionsergebnis und Faktoreinsatz definiert und ist damit im Gegensatz zur Rentabilität ein Begriff der realen Sphäre (Rose, 1964).

Werden aber Nachfrageaspekte berücksichtigt, so stellt das Wachstum des Kapitalstocks nicht mehr den einzig möglichen und effektiv wirkenden Engpaß für volkswirtschaftliches Wachstum dar. Die Tatsache, daß die Produktivität älterer Anlagen ohne physische Einwirkung durch Innovationen sinken soll, macht die entscheidende Bedeutung des hinter den Überlegungen stehenden Marktmodells deutlich, da die Produktivitätsänderung des alten Kapitalstocks nicht real sondern als Minderung des nominellen Ertrages für die Kapitaleigner (eben als Rentabilitätsminderung) erklärt werden muß.

Es bleibt also zu fragen, wie das implizit im Ansatz von *Spremann* unterstellte Marktmodell aussehen muß, damit bestimmte Ergebnisse — etwa langfristig sinkende Wachstumsraten bei anfänglich positiver Wachstumsrate — zustande kommen können. Anders gefragt: Was beinhaltet eine bestimmte Struktur des Vektors  $\tau$ , der die Veränderungen der Produktivität der einzelnen Kapitalschichten beschreibt, für das Verhalten auf den Märkten?

## IV.

Zunächst sei noch einmal das Problem verdeutlicht. Durch eine Innovation kann die reale Leistungsfähigkeit (Produktivität) des alten Kapitalstocks nicht berührt werden, wohl aber die nominale Ertragsfähigkeit des Kapitals (Rentabilität), wenn bestimmte Annahmen über Marktaktionen getroffen werden. Nur angebotsorientiert gesehen wird durch jede Innovation bei „capital embodied“ technischem Fortschritt das mögliche Wachstum des Volkseinkommens durch die Produktivitätserhöhung des neuen Kapitalstocks erhöht, eine Minderung durch Abwertung älterer Anlagen tritt bei diesen Modellvoraussetzungen nicht ein.

Nehmen wir als Beispiel die Einführung moderner Webfabriken, die bei Beginn der Industrialisierung zur Verelendung weiter Bevölkerungskreise geführt hat. Die Besitzer alter Anlagen und betroffene Arbeiter wurden über Nacht arm bzw. verloren ihre Arbeit. Ein typisches Beispiel also für den negativen Effekt von Innovationen? Wie sieht aber die Situation für die reale Leistungsfähigkeit der Volkswirtschaft aus, wenn nur die explizit genannten Modellprämissen berücksichtigt werden?

Unter der Voraussetzung, daß Arbeit kein knapper Faktor ist, könnte real mit den alten Anlagen unverändert der gleiche Output erzeugt werden, da eine Produktivitätsminderung nicht eingetreten ist. Annahmegemäß bewirkt die Innovation eine Produktivitätssteigerung des neuen Kapitals, so daß insgesamt das Angebotspotential gesteigert wird.

Eine Minderbewertung alter Anlagen ließe sich nur erklären, wenn Verteilungsprobleme und Probleme der Nachfrageentwicklung und -steuerung in einem dynamischen System, das durch eine Innovation aus einem statischen oder dynamischen Gleichgewicht gebracht wird, berücksichtigt werden, alles Aspekte, die in dem Modell von *Spremann* bislang nicht enthalten sind. Ähnliche Fragen wie auch die Umstellung von Arbeitskräften oder Bildungsinvestitionen bleiben im Modell von *Spremann* ausdrücklich unberücksichtigt. Eine Integrierung dieser Aspekte in das Modell scheint aber möglich, so daß das Modell eine Ausgangsbasis für weitere Fragestellungen sein kann.

Welches sind nun überhaupt denkbare Konsequenzen von Innovationen?

1. Die Innovatoren können den bisherigen „Marktpreis“ für ihre Produkte beibehalten. Den Besitzern der neuen Anlage fließt ein Renteneinkommen aufgrund der erhöhten Produktivität bei den neuen Anlagen zu; die Rentabilität der alten Anlagen bleibt durch die Innovation unberührt; eine Steigerung des Volkseinkommens bei konstanten Preisen ist möglich, soweit die Nachfrage das zusätzliche Angebot absorbiert. In der Terminologie des dargestellten Modells würde das bedeuten:

$$(1) \quad \tau_1 > 0, \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_n = 0.$$

Durch Erhöhung der Einträge der Übergangsmatrix wird auch der betragsgrößte Eigenwert erhöht, (vgl. den auch von *Spremann* zitierten Satz von *Varga*, 1962 Theorem 2.1).

2. Die höhere Produktivität der neuen Anlagen führe zu sinkenden Preisen. Aufgrund der Wettbewerbssituation sollen die Konkurrenten, die alte Anlagen besitzen, dieses annahmegemäß nachvollziehen. Es

kommt bei diesen Kapitalbesitzern dann zu Vermögensverlusten durch eine Kapitalisierung der zu erwartenden Ertragsminderung (nominal), bzw. es sinkt die Rentabilität bezogen auf den alten Kapitalbestand (Wert vor der Kapitalisierung der Verluste).

Es handelt sich hierbei aber um einen Preiseffekt und nicht um eine reale Outputminderung: die Volkswirtschaft macht einen Deflationsprozeß durch, der von den Modellannahmen her nicht mit einem realen Schrumpfungprozeß zusammenfallen muß, sondern real mit Wachstum verbunden sein kann.

3. Es wurde deutlich, daß eine reale Produktivitätsminderung des alten Kapitalstocks nicht allein aus einem angebotsorientierten Modell gewonnen werden kann. Wir unterstellen daher, daß ein innovationsbedingt sinkender Marktpreis zur Aufgabe von Konkurrenten führt, d. h. alte Kapazitäten scheiden etwa aus Gründen ungenügender Nachfrage aus oder werden mit einem geringeren Ausnutzungsgrad eingesetzt. Nehmen wir den Fall an, daß eine bis dahin statische Wirtschaft durch innovatives Verhalten eine Störung erfährt und die Gesamtnachfrage der Volkswirtschaft nicht auf die Erhöhung des Kapazitätsspielraumes im gleichen Ausmaß reagiert, sondern in einem geringeren Maße oder sogar konstant bleibt. Weiterhin soll angenommen werden, daß die Kapazität der neuen Investition nahezu vollkommen genutzt wird; die restliche Nachfrage soll durch die alten Anlagen bedient werden. Es tritt — nachfragebedingt — eine Produktivitätsminderung der alten Anlagen ein. Wie groß kann diese im Vergleich zur Produktivitätssteigerung der neuen Anlage sein?

Insgesamt kann der Produktionsausfall bei den alten Anlagen offenbar nicht stärker sein als die Outputsteigerung bei der neuen Anlage.

Bezeichnen wir die Produktivitätsänderungen durch den Vektor  $\tau$  und den Kapitalbestand durch den Vektor  $x$ , so gilt offenbar:

$$(2) \quad x_1 \cdot \tau_1 \geq |x_2 \cdot \tau_2| + |x_3 \cdot \tau_3| + \dots + |x_n \cdot \tau_n|.$$

Unterstellen wir, daß keine natürliche Abschreibung erfolgt und wie bei *Spremann* nach der  $n$ -ten Periode der „physische Tod“ der Anlagen eintritt, sowie  $x_i = \text{const.}$  für  $i = 1, \dots, n$ , so gilt als Restriktion für  $\tau$ :

$$(3) \quad \tau_1 \geq \sum_{i=2}^n |\tau_i|$$

Zusätzlich ist es sinnvoll anzunehmen, daß die älteren Anlagen eher stärker betroffen sind:  $|\tau_i| \leq |\tau_j|$  für alle  $j > i$ .

In einem Modell, in dem der vorhandene Kapitalstock mit einer Wachstumsrate  $q$  gewachsen ist, oder bei einer Störung des Gleichgewichts durch exogene Faktoren (z. B. Kapitalhilfe) wie in dem Beispiel *Spremanns* auf S. 158 f, ist diese Restriktion entsprechend zu variieren. So erhalten wir in einer Volkswirtschaft mit einem gleichmäßig gewachsenen Kapitalstock

$$(4) \quad \tau_1 \geq \sum_{i=2}^n |\tau_i| \cdot q^{1-i}.$$

*Spremann* geht in einem Beispiel von dem ungleichgewichtigen Kapitalstock  $x(0) = (1,25; 1)$  aus und läßt die Innovation  $\tau = (0,1; -0,11)$  zu, die die Restriktion (2) erfüllt. Gewichtet mit den Kapitalbeständen ließe sich die Gesamtausgabesumme bei  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$  von 2,25 in der ersten Periode unter den oben genannten Voraussetzungen konstant halten, wenn  $\tau_1 = 0,1$  und  $\tau_2 = -0,125$ .

Für die erste Periode liegt in der Annahme  $\tau_2 = -0,11$  also noch keine Ursache für einen Schrumpfungprozeß. Dieses erfolgt erst im Laufe des Wachstumsprozesses, sobald  $x_2$  und  $x_1$  sich in der Größenordnung hinreichend annähern, so daß  $x_1 \cdot \tau_1 < |x_2 \cdot \tau_2|$ . Dies ist bereits in der zweiten Periode der Fall. Der Grund liegt hier aber wiederum nicht in einem realen Schrumpfen der Kapazitäten, sondern wird ausgelöst durch einen — gemessen an den Vorperioden — Kontraktionsprozeß der Nachfrage.

## V.

In seinem 6. Abschnitt geht *Spremann* davon aus, daß der Kapitalstock annähernd gleichmäßig gewachsen sei, und überträgt die Aussagen, die von der Struktur des Kapitalstocks abhängen, auf die Wachstumsrate  $q$ . Er geht also de facto von einem gleichmäßig gewachsenen Kapitalstock aus, was wir im folgenden auch tun. Die Wachstumsrate  $q$  ist damit gleich dem einfachen, reellen, positiven, betragsgrößten Eigenwert der Übergangsmatrix  $L(0)$ . Da die Eigenwerte einer Matrix gleich den Nullstellen ihres charakteristischen Polynoms sind, gilt

*Hilfssatz I:* Das charakteristische Polynom von  $L(0)$  ist

$$(5) \quad \chi_0(x) = x^n - \sum_{\nu=1}^n (1 - \delta)^{\nu-1} \cdot \omega \cdot \alpha_{\nu} \cdot x^{n-\nu}.$$

Dabei gilt

$$\begin{aligned} \chi_0(q) &= 0, \quad \chi'_0(q) \neq 0, \\ \chi_0(\xi) &= 0 \wedge \xi \neq q \Rightarrow |\xi| < q. \end{aligned}$$

In dieser Situation wird eine neue Technologie eingeführt, die mit  $\tau$  wirksam wird. Dabei gilt für den Vektor  $\tau$ :

$$(6) \quad \tau_1 > 0 ,$$

$$(7) \quad -\alpha_\nu < \tau_\nu \leq 0 \quad \text{für } \nu = 2, 3, \dots, n ,$$

$$(8) \quad \tau_1 \geq \sum_{\nu=2}^n -\tau_\nu \cdot q^{1-\nu}$$

Aus der Ungleichung (8) folgt dann unmittelbar der

*Hilfssatz II:* Für reelle Zahlen  $\varepsilon$  mit  $0 < \varepsilon \leq 1$

gilt

$$(9) \quad \tau_1 \geq \sum_{\nu=2}^n -\varepsilon^{\nu-1} \cdot \tau_\nu \cdot q^{1-\nu}$$

bzw.

$$(10) \quad \sum_{\nu=1}^n \varepsilon^{\nu-1} \cdot \tau_\nu \cdot q^{1-\nu} \geq 0 .$$

Wegen (6), (7) hat das charakteristische Polynom der neuen Übergangsmatrix  $L(\tau)$

$$(11) \quad \chi_\tau(x) = \chi_0(x) - \sum_{\nu=1}^n (1-\delta)^{\nu-1} \cdot \omega \cdot \tau_\nu \cdot x^{n-\nu}$$

ebenfalls eine einfache, reelle, positive, betragsgrößte Nullstelle, nämlich  $\lambda$  (siehe *Spremann*). Für  $\chi_\tau(x)$  gilt Hilfssatz I mit  $\lambda$  anstelle von  $q$ .

Insbesondere gilt dann

$$(12) \quad 0 = \chi_\tau(\lambda) < \chi_\tau(\lambda + \varepsilon) \quad \text{für } \varepsilon > 0 .$$

Der Verlauf von  $\chi_\tau(x)$  im Bereich der Nullstelle  $\lambda$  läßt sich durch die Abbildung 1 verdeutlichen. Die Linien  $AB$  und  $CD$  geben einen möglichen Verlauf von  $\chi_0(x)$  wieder. Dabei würde die Linie  $CD$  bedeuten, daß die Innovation zu verringertem Wachstum führt.

Wir können jetzt feststellen:

**Satz:** Unter den Restriktionen (6), (7), (8) ist der einfache, reelle, positive, betragsgrößte Eigenwert von  $L(\tau)$  größer oder gleich dem entsprechenden Eigenwert von  $L(0)$ .





begründet werden. Die Ursache liegt dann aber nicht in der Umstrukturierung des Kapitalstocks, sondern in der mangelnden Nachfrage.

Die Restriktionen (6), (7), (8) bedeuten, daß die Komponenten  $\tau_2, \dots, \tau_n$  in gewisser Weise klein sind gegenüber  $\tau_1$ , wobei das Maß der „Kleinheit“ durch (8) gegeben ist. Auch *Spremann* gibt ein Maß dafür an, daß die Zahlen  $\tau_2, \dots, \tau_n$  klein sind gegenüber  $\tau_1$ , nämlich

$$(17) \quad q - 1 \geq \max \{ |\tau_\nu / \tau_1|^\nu \mid \nu = 2, \dots, n \}; \tau_1 > 0 .$$

Diese Ungleichung ist aber nicht äquivalent zu unserer Ungleichung (8) und wird nur als eine Möglichkeit, nicht als zwingende Bedingung betrachtet.

## VI.

Weiterhin soll die folgende Anregung zur Veränderung des Modells gegeben werden:

Die Übergangsmatrix  $L(\tau)$  wird aufgestellt mit der Überlegung, daß Innovationen an Neuinvestitionen gebunden sind. Die so gewonnene Matrix wird nicht nur für die Berechnung des Kapitalvektors der nächsten Periode, sondern auch der folgenden Perioden verwandt. Aber eben weil die Innovation an eine Neuinvestition *gebunden* ist, ist nicht einzusehen, warum die jüngste Kapitalschicht in der Periode  $t$ ,  $x_1(t)$ , in der nächsten Periode als  $x_2(t+1) = (1 - \delta)x_1(t)$  ihr Produktivitätsplus verlieren soll. Um diesen Sachverhalt zu berücksichtigen, sollte man vielleicht besser einen zeitabhängigen Technologievektor einführen. Dieser wird dann berechnet aus dem Vektor  $\tau_t^{\text{neu}}$ , der Innovationen berücksichtigt, die in der  $t$ -ten Periode zum ersten Mal wirksam werden, und aus dem Vektor  $\tau_t^{\text{kum}}$  (kumulativ), der die Technologieveränderungen aus der letzten Periode überträgt:

$$(18) \quad \tau_t^{\text{kum}} = (\tau_{t-1,1}; \tau_{t-1,1}; \tau_{t-1,2}; \dots; \tau_{t-1,n-1})'$$

Der aktuelle Technologievektor ist dann

$$(19) \quad \tau_t = \tau_t^{\text{neu}} + \tau_t^{\text{kum}}$$

Aussagen über die langfristige Entwicklung des Kapitalvektors sind jetzt natürlich schwieriger zu treffen. Wenn wir aber  $\tau_t^{\text{neu}} \equiv \tau^{\text{neu}}$  annehmen, also eine konstante „Innovationsrate“ voraussetzen, gilt für  $\tau_t$  ( $\tau_0$  sei 0):

$$(20) \quad \tau_{t,j} = \sum_{i=1}^k \tau_i^{\text{neu}} + \sum_{i=j+1}^t \tau_1^{\text{neu}}, \quad j = 1, \dots, n; \quad k = \min(j, t),$$

wobei die 2. Teilsumme nur ausgewertet wird, wenn  $j + 1 \leq t$  gilt. Für genügend großes  $t$  gilt dann  $\tau_{t,j} > 0$  für  $j = 1, \dots, n$ , wenn nur  $\tau_1^{\text{neu}} > 0$  ist.

In diesem neuen Modell wird bereits durch Innovationen, die die Restriktion  $\tau_1^{\text{neu}} > 0$  erfüllen, das langfristige Wachstum des Kapitalvektors positiv beeinflusst. Wie in dem Ansatz von *Spremann* sind aber auch hier die Kosten der Innovationspolitik nicht berücksichtigt.

### Zusammenfassung

Aus einem Wachstumsmodell, in dem die Auswirkungen innovativen Wirtschaftens durch den Pfad des Kapitalstocks beschrieben werden, folgt *Spremann*, daß innovatives Wirtschaften auch bei kurzfristig wünschenswerten Auswirkungen durch Umstrukturierung des Kapitalstocks zu verringerten Wachstumsraten führen kann.

Es kann gezeigt werden, daß ein solches Ergebnis nur möglich ist, wenn eine schrumpfende Nachfrage unterstellt wird. Letzteres würde die explizite Entwicklung eines Nachfragemodells erfordern. Weiterhin wurde vorgeschlagen, einen zeitabhängigen Vektor zur Darstellung der Auswirkungen von Innovationen einzuführen.

### Summary

From a growth model bearing the effects of innovation through the development of the capital stock, *Spremann* acts upon that innovative behaviour through rearrangement of capital stock, could lead to lower growth rates even when having desirable effect in the short term. It can be shown that such a result is impossible without assuming the contraction of demand. At last it would request a construction of a model, which explicitly includes demand. Furthermore it was suggested that the vector describing the effect of innovation should be changeable in time.

### Literaturverzeichnis

- Rose, K. (1964), Artikel „Produktivität“, in: Handwörterbuch der Sozialwissenschaften.
- Spremann*, K. (1976), Über Auswirkungen von Produkt- und Technologieinnovationen auf das Wachstum, in: Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, S. 143 - 160.
- Varga*, S. R. (1962), Matrix Iterative Analysis, Englewood Cliffs (Automatic Computations Series).