

## **Bibliografische Information**

Witte, H.: The Technology Trap – Limitation for Innovation and Value Added?  
(Die Technologiefalle – Begrenzung der Innovation und Wertschöpfung der Unternehmen?), in: Recursos Humanos y Tecnológicos, Generación de Innovaciones y Valor Agregado en las Empresas, Simposio International Heinz Hermann Erbe, Editorial de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca 2012, Sesión IV, S. 1 - 23 (ISBN 978-987-1620-83-8)



# **The Technology Trap – Limitation for Innovation and Value Added?**

## **(Die Technologiefalle – Begrenzung der Innovation und Wertschöpfung der Unternehmen?)**

Hermann Witte<sup>1</sup>

### **1. Einleitung**

Eine wesentliche Komponente der Entwicklung ist der technische Fortschritt. Der Mensch entwickelt ständig neue Technologien, um seine Bedürfnisse besser erfüllen zu können. Die neuen Technologien beeinflussen die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung sowie das Verhalten der Menschen unterschiedlich stark. Zum Teil spricht man von Revolutionen, die durch neue Technologien ausgelöst wurden. Als Beispiel sei auf die industrielle Revolution verwiesen. Heute spricht man auch von der Informationsrevolution, die die neuen Informationstechnologien ausgelöst haben bzw. noch auslösen.

Allerdings erwächst nicht aus jeder neuen Erfindung, die als technischer Fortschritt einzustufen ist, ein Einfluss auf die Entwicklung. Erst die Durchsetzung des technischen Fortschritts in Form von marktgängigen Produkten bewirkt einen Einfluss auf die Entwicklung. Die Umsetzung von technischem Fortschritt in marktgängige Produkte wird als Innovation bezeichnet.

Der technische Fortschritt wirkt, wenn er umgesetzt wird, direkt auf die Produktionsfaktoren, das Produktionspotential und den Produktionsprozess. Aus den Veränderungen hinsichtlich der drei genannten Größen ergeben sich Veränderungen bezüglich der wirtschaftlichen Entwicklung. Um die Veränderungen des technischen Fortschritts zu erfassen, hat man in der ökonomischen Theorie eine Vielzahl von Arten des technischen Fort-

---

<sup>1</sup> Dr. Hermann Witte, Professor für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Logistik und Umweltökonomie, Institut für Management und Technik, Lingen/Germany

schritts diskutiert.

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die Arten des technischen Fortschritts<sup>2</sup> gegeben werden. Danach ist auf die Auswirkungen des technischen Fortschritts einzugehen. Insbesondere sind die erkennbaren Auswirkungen auf die Innovation und die Wertschöpfung von Unternehmen zu erörtern.

## **2. Arten des technischen Fortschritts**

Zunächst wird zwischen ungebundenem technischen Fortschritt und gebundenem technischen Fortschritt unterschieden. Von ungebundenem technischen Fortschritt spricht man, wenn die Effizienz aller Produktionsfaktoren verbessert wird und die Homogenität zwischen den Produktionsfaktoren im alten Zustand erhalten bleibt. Gebundener technischer Fortschritt liegt hingegen vor, wenn nur die Effizienz einiger Produktionsfaktoren erhöht und die Heterogenität der Produktionsfaktoren gesteigert wird.

Des Weiteren wird zwischen autonomem technischen Fortschritt und induziertem technischen Fortschritt unterschieden. Der autonome technische Fortschritt ist unabhängig von ökonomischen Faktoren und fällt quasi vom Himmel, während der induzierte technische Fortschritt durch Substitution, Lernprozesse sowie systematische Wissenschaft und Forschung erarbeitet wird.

In einem dritten Begriffspaar werden schließlich neutraler technischer Fortschritt und nicht-neutraler technischer Fortschritt gegenübergestellt. Neutraler technischer Fortschritt liegt vor, wenn das Verhältnis bestimmter Größen (s.u.) konstant bleibt.<sup>3</sup> Nicht-neutraler technischer Fortschritt zeichnet sich dadurch aus, dass sich das Einsatzverhältnis der Produktionsfaktoren, z.B. von Arbeit und Kapital, ändert. Nicht-neutraler techni-

---

<sup>2</sup> Vgl. u.a. Weizsäcker, C.C.v.: Zur ökonomischen Theorie des technischen Fortschritts, Göttingen 1966, insbes. S. 9 – 17

<sup>3</sup> Vgl. zu einem Überblick u.a. Krelle, W.: Produktionstheorie, Tübingen 1969, S. 123 – 138; Sato, R./Beckmann, M.J.: Neutral Inventions and Production Functions, in: Review of Economic Studies, Vol. 35 (1968), S. 57 – 66. Sato und Beckmann erörtern 14 Fälle neutralen technischen Fortschritts.

scher Fortschritt kann arbeitssparend und kapitalintensiv oder arbeitsintensiv und kapitalsparend sein. Von sparend wird gesprochen, wenn der Produktionsfaktor weniger eingesetzt wird, während man von intensiv spricht, wenn der Produktionsfaktor vermehrt eingesetzt wird.

Als Spezialfälle des neutralen technischen Fortschritts unterscheidet man u.a. Hicks-neutralen technischen Fortschritt,<sup>4</sup> Harrod-neutralen technischen Fortschritt,<sup>5</sup> Solow-neutralen technischen Fortschritt<sup>6</sup>, Beckmann-neutralen technischen Fortschritt<sup>7</sup> und Kennedy-neutralen technischen Fortschritt.<sup>8</sup>

Bei einer mengenbezogenen Produktionsfunktion (3.1) liegt neutraler technischer Fortschritt vor, wenn das Verhältnis der Einsatzmengen der  $n$  Produktionsfaktoren ( $r_1, \dots, r_n$ ) konstant bleibt. Für den Spezialfall einer mengenbezogenen Produktionsfunktion mit den beiden Integrationsfaktoren Arbeit und Kapital liegt neutraler technischer Fortschritt vor, wenn sich das Verhältnis der Einsatzmengen von Arbeit und Kapital nicht verändert. Die Einsatzmengen von Arbeit und Kapital werden in diesem Fall als Indexwerte erfasst.

Bei einer mengen-zeitbezogenen Produktionsfunktion (3.2) kann neutraler technischer Fortschritt konstatiert werden, wenn das Verhältnis der Einsatzmengen der  $n$  Produktionsfaktoren ( $r_1, \dots, r_n$ ) pro Zeit konstant bleibt. Für den Spezialfall einer mengen-zeitbezogenen Produktionsfunktion mit den beiden Integrationsfaktoren Arbeit und Kapital liegt neutraler technischer Fortschritt vor, wenn sich das Verhältnis der Einsatzmengen von Arbeit und Kapital pro Zeit nicht verändert. Die Einsatzmengen von Arbeit und Kapital pro Zeit werden auch in diesem Fall als Indexwerte erfasst.

---

4 Vgl. Hicks, J.R.: *Theory of Wages*, London 1932, S. 121 - 127, insbes. S. 121 f.

5 Vgl. Harrod, R.: *Dynamische Wirtschaftstheorie*, Frankfurt/New York 1976, S. 59; ders.: *Towards a Dynamic Economics*, London, New York 1956 (reprint), S. 26 f.

6 Vgl. Solow, R.M.: *A Contribution to the Theory of Economic Growth*, in: *Quarterly Journal of Economics*, Vol. LXX (1956), S. 65 – 94, insbes. S. 85 f.; ders.: *Technical Change and the Aggregate Production Function*, in: *The Review of Economics and Statistics*, Vol. XXXIX (1957), S. 312 – 320, insbes. S. 312 f.

7 Vgl. Sato, R./Beckmann, M.J.: *Neutral Inventions and Production Functions*, S. 57 – 66

8 Vgl. Kennedy, C.J.: *Technical Progress and Investment*, in: *The Economic Journal*, Vol. 71 (1961), S. 292 – 299; ders./Thirlwall, A.P.: *Technical Progress*, in: *Surveys of Applied Economics*, Vol. 1 (1973), S. 115 – 176, insbes. S. 121 ff.

Bei einer wertbezogenen Produktionsfunktion (3.3) ist neutraler technischer Fortschritt gegeben, wenn sich das Verhältnis der Werte der Einsatzmengen (der Kosten) der  $n$  Produktionsfaktoren  $(r_1, \dots, r_n)$  nicht verändert. Für den Spezialfall einer wertbezogenen Produktionsfunktion mit den beiden Integrationsfaktoren Arbeit und Kapital liegt neutraler technischer Fortschritt vor, wenn das Verhältnis der Werte der Einsatzmengen (der Kosten) von Arbeit und Kapital nicht variiert.

Außer der Formulierung von unterschiedlichen Arten des technischen Fortschritts sind in der Ökonomie zwei unterschiedliche Ansätze zur Erfassung der Auswirkungen des technischen Fortschritts bekannt. Zunächst ist der Ansatz von Kaldor zu erwähnen. Kaldor hat eine „technical progress function“<sup>9</sup> formuliert und damit auf eine Unterscheidung von Veränderungen der Mengen der Produktionsfaktoren bei gegebener Produktionstechnologie und Veränderungen aufgrund von technischem Fortschritt verzichtet.

Im zweiten Ansatz wird der technische Fortschritt an die Produktionsfunktion gebunden und so zwischen Veränderungen der Mengen der Produktionsfaktoren bei gegebener Produktionstechnologie und Veränderungen aufgrund von technischem Fortschritt, also der Verbesserung der Produktionstechnologie, unterschieden.

### **3. Darstellung der Auswirkungen von technischem Fortschritt anhand von Produktionsfunktionen**

Die Auswirkungen des technischen Fortschritts sollen in diesem Rahmen anhand von mengenbezogenen, mengen-zeitbezogenen und wertbezogenen Produktionsfunktionen dargestellt werden.

---

9 Vgl. Kaldor, N.: A Model of Economic Growth, in: The Economic Journal, Vol. XLVII (1957), S. 591 – 624, insbes. S. 596 - 598, 604

### 3.1 Darstellung der Auswirkungen von technischem Fortschritt anhand von mengenbezogenen Produktionsfunktionen

Die allgemeine Form einer mengenbezogenen Produktionsfunktion lautet:

$$(1) \quad x = f(r_1, \dots, r_n)$$

mit

$x$  = Outputmenge

$r_1, \dots, r_n$  = Einsatzmengen der Produktionsfaktoren  $r_1, \dots, r_n$  (Inputmenge)

$f$  = Wirkungsgrad bzw. Leistungsfähigkeit der eingesetzten Produktionstechnologie (Produktivität)

Häufig werden die mengenbezogenen Produktionsfunktionen nur mit einem veränderbaren Produktionsfaktor ausgestattet und die restlichen Produktionsfaktoren als konstant betrachtet. Formal ergibt sich dann die folgende Produktionsfunktion:

$$(2) \quad x = f(r_1) \quad r_2, \dots, r_n = \text{konstant}$$

mit

$x$  = Outputmenge

$r_1$  = Einsatzmenge des Produktionsfaktors  $r_1$  (Inputmenge)

$f$  = Wirkungsgrad bzw. Leistungsfähigkeit der eingesetzten Produktionstechnologie (Produktivität)

Eine mengenbezogene Produktionsfunktion kann aus der Beziehung für die Produktivität abgeleitet werden. Das  $f$  aus den beiden obigen Gleichungen ist dann als  $P$  für die Produktivität zu interpretieren:

$$(3) \quad P = O / I \rightarrow O = P(I) \quad 0 \leq P \leq \infty$$

mit

$P$  = Produktivität

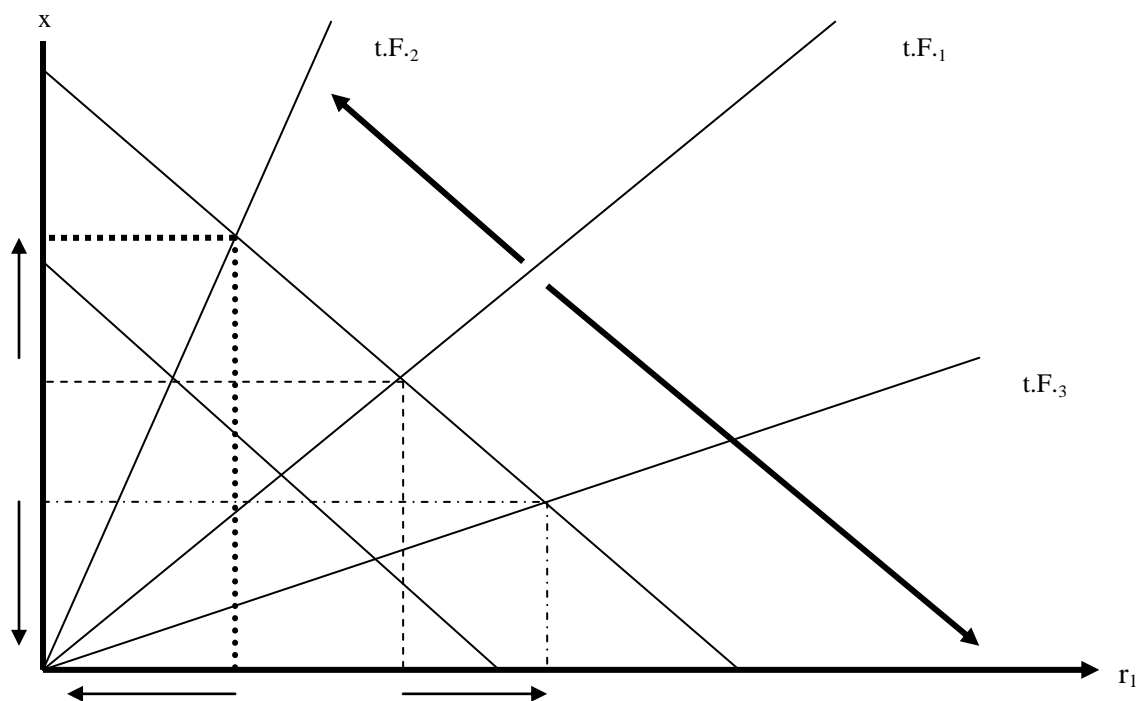
$O$  = Output  $x$

$I$  = Input =  $r_1$

Die Auswirkungen des technischen Fortschritts auf eine mengenbezogene Produktionsfunktion durch den Einsatz einer besseren Produktionstechnologie zeigen sich an einer Steigerung des Outputs und/oder einer Senkung des Inputs. Es resultiert daraus eine Steigerung des Wirkungsgrades bzw. Leistungsfähigkeit gegenüber der alten Produktionstechnologie. Die Leistungsfähigkeit einer Produktionstechnologie wird als Produktivität bezeichnet. Technischer Fortschritt bewirkt also eine Steigerung der Produktivität.

Dieser Wirkungszusammenhang lässt sich auch grafisch darstellen (vgl. Abb. 1).

**Abb. 1:** Auswirkungen des technischen Fortschritts – dargestellt am Beispiel einer mengenbezogenen Produktionsfunktion



Quelle: eigene Darstellung

Aus Abb. 1 erkennt man, dass es einen funktionalen Zusammenhang zwischen der Menge des eingesetzten Produktionsfaktors ( $r_1$ ) und der Outputmenge ( $x$ ) gibt. Durch die Steigerung des Inputs, der Einsatzmenge des Produktionsfaktors ( $r_1$ ), wird der Output um den Faktor  $f$  gesteigert, der den funktionalen Zusammenhang widerspiegelt. Der Faktor  $f$  ist als Produktivität  $P$  der eingesetzten Produktionstechnologie zu interpretieren und wird in



Abb. 1 in drei Varianten (für drei Werte:  $t.F._1$ ,  $t.F._2$  und  $t.F._3$ ) mittels der drei Geraden durch den Ursprung des Koordinatenkreuzes dargestellt. Bei gegebener Produktionstechnologie und einem entsprechenden Faktor  $f$  bzw. einer entsprechenden Produktivität  $P$  bewirkt eine Verdoppelung der Einsatzmenge des Produktionsfaktors ( $r_1$ ), dass die Outputmenge um den Faktor 2 mal  $f$  ( $2 \bullet f$ ) bzw. 2 mal  $P$  ( $2 \bullet P$ ) erhöht wird:

$$(4) \quad x = 1(r_1) \rightarrow 1 = 1(1) \text{ bzw. } 2 = 1(2)$$

Dieser Zusammenhang sei am folgenden Beispiel veranschaulicht. Die Produktivität einer Produktionstechnologie zur Herstellung von Schienen aus Stahl betrage eins ( $f = 1$  bzw.  $P = 1$ ). Dann werden aus einer Tonne Stahl eine Tonne Schienen hergestellt. Die Verdoppelung des Einsatzes an Stahl, also der Einsatz von zwei Tonnen Stahl, bewirkt eine Steigerung des Outputs um den Faktor 2 mal 1, also von einer auf zwei Tonnen Schienen.

Ferner erkennt man aus Abb. 1, dass die Produktivität zwischen den Werten 0 und  $\infty$  ( $0 \leq P \leq \infty$ ) liegt. Der Wert 1 ( $P = 1$ ) ist als kritischer Wert zu interpretieren. Die Produktivität ist gleich „Eins“, d.h. es wird, wie im obigen Beispiel unterstellt, aus einer Tonne Stahl mit der eingesetzten Produktionstechnologie eine Tonne Schienen hergestellt. Mit dem Einsatz schlechterer Produktionstechnologien sinkt die Produktivität bis auf null. Es werden aus einer Tonne Stahl immer weniger Tonnen Schienen hergestellt. Zum Beispiel kann man aus einer Tonne Stahl nur noch 0,5 Tonnen Schienen produzieren. Der Grenzwert liegt bei null, d.h. die Gerade durch den Koordinatenkreuzursprung, die diese Produktivität widerspiegelt, liegt auf der Achse des Koordinatenkreuzes auf der die Einsatzmengen des einzigen Produktionsfaktors ( $r_1$ ) abgetragen sind. Dann werden aus einer Tonne Stahl null Tonnen Schienen, also keine Schienen, hergestellt. Die Produktionstechnologie ist so schlecht, dass sie keinen Wirkungsgrad bzw. Leistungsfähigkeit besitzt und folglich nicht zum Einsatz kommen sollte.

Der Grenzwert hinsichtlich der Steigerung des Wirkungsgrades bzw. der Leistungsfähigkeit der Produktionstechnologie durch technischen Fortschritt liegt bei einem Wert von unendlich ( $P = \infty$ ), d.h. die Gerade durch den Koordinatenkreuzursprung, die diese Pro-

duktivität widerspiegelt, liegt auf der Achse des Koordinatenkreuzes auf der die Einsatzmengen des Outputs (x) abgetragen sind. Eine weitere Steigerung des Wirkungsgrades der Produktionstechnologie durch technischen Fortschritt ist nicht mehr möglich. Dieser Grenzwert ist sicherlich ein theoretischer Wert. Bei welchem Wert der Produktivität in der Realität keine Steigerung bzw. kein technischer Fortschritt mehr möglich ist, muss offen bleiben.

Wie unten (5.) zu zeigen sein wird, ist eine Verbesserung von Produktionstechnologien durch technischen Fortschritt, so dass Werte für die Produktivität im Grenzbereich „unendlich“ erreicht werden, nicht mehr ökonomisch.

Als Fazit der mengenbezogenen Betrachtung des technischen Fortschritts ist festzuhalten, dass technischer Fortschritt die Produktivität erhöht,<sup>10</sup> indem mehr Output erzeugt, weniger Input eingesetzt oder beides möglich wird.

Auf den sehr häufig angewandten Spezialfall einer mengenbezogenen Produktionsfunktion mit den beiden Integrationsfaktoren Arbeit und Kapital wurde nicht direkt eingegangen. Die Aussagen für die mengenbezogenen Produktionsfunktionen mit einem Produktionsfaktor sind analog anzuwenden. Die Einsatzmengen von Arbeit und Kapital sind bei diesen speziellen Produktionsfunktionen in Indexwerten zu erfassen. Dies gilt, weil keine reinen mengenbezogenen Produktionsfunktionen vorliegen. Diese Produktionsfunktionen sind als gemischte mengen- und wertbezogene Produktionsfunktionen zu bezeichnen, weil Arbeit in der Menge Stunden oder Anzahl der Arbeitskräfte und Kapital in Geldwerten erfasst werden. Nur das Rechnen mit Indexwerten oder Werten ohne Maßeinheit ermöglicht die Zusammenfassung der Werte des Inputs von Arbeit und Kapital zu einem Gesamtwert „Output“.

---

<sup>10</sup> Vgl. zu den Auswirkungen des technischen Fortschritts auf die Produktivität auch Kennedy, C./Thirlwall, A.P.: Technical Progress, S. 121 f.

### 3.2 Darstellung der Auswirkungen von technischem Fortschritt anhand von mengen- und zeitbezogenen Produktionsfunktionen

Die allgemeine Form einer mengen- und zeitbezogenen Produktionsfunktion lautet:

$$(5) \quad x/t = f [(r_1, \dots, r_n)/t]$$

mit

$x$  = Outputmenge

$r_1, \dots, r_n$  = Einsatzmengen der Produktionsfaktoren  $r_1, \dots, r_n$  (Inputmenge)

$t$  = Zeit

$f$  = Wirkungsgrad bzw. Leistungsfähigkeit der eingesetzten Produktionstechnologie

Auch die mengen- und zeitbezogenen Produktionsfunktionen können nur mit einem veränderbaren Produktionsfaktor ausgestattet sein. Die restlichen Produktionsfaktoren werden als konstant betrachtet. Formal ergibt sich dann die folgende Produktionsfunktion:

$$(6) \quad x/t = f [(r_1)/t] \quad r_2, \dots, r_n = \text{konstant}$$

mit

$x$  = Outputmenge

$r_1$  = Einsatzmenge des Produktionsfaktors  $r_1$  (Inputmenge)

$t$  = Zeit

$f$  = Wirkungsgrad bzw. Leistungsfähigkeit der eingesetzten Produktionstechnologie

Eine mengen- und zeitbezogene Produktionsfunktion kann aus der Beziehung für die auf die Zeit bezogene Produktivität abgeleitet werden. Das  $f$  aus den beiden obigen Gleichungen ist dann als  $P$  für die Produktivität zu interpretieren:

$$(7) \quad P = (O/t) / (I/t) \rightarrow O/t = P (I/t) \quad 0 \leq P \leq \infty$$

mit

P = Produktivität

O = Output x

O/t = Output pro Zeit = Produktionsgeschwindigkeit (PGS)

I = Input ( $r_1$ )

t = Zeit

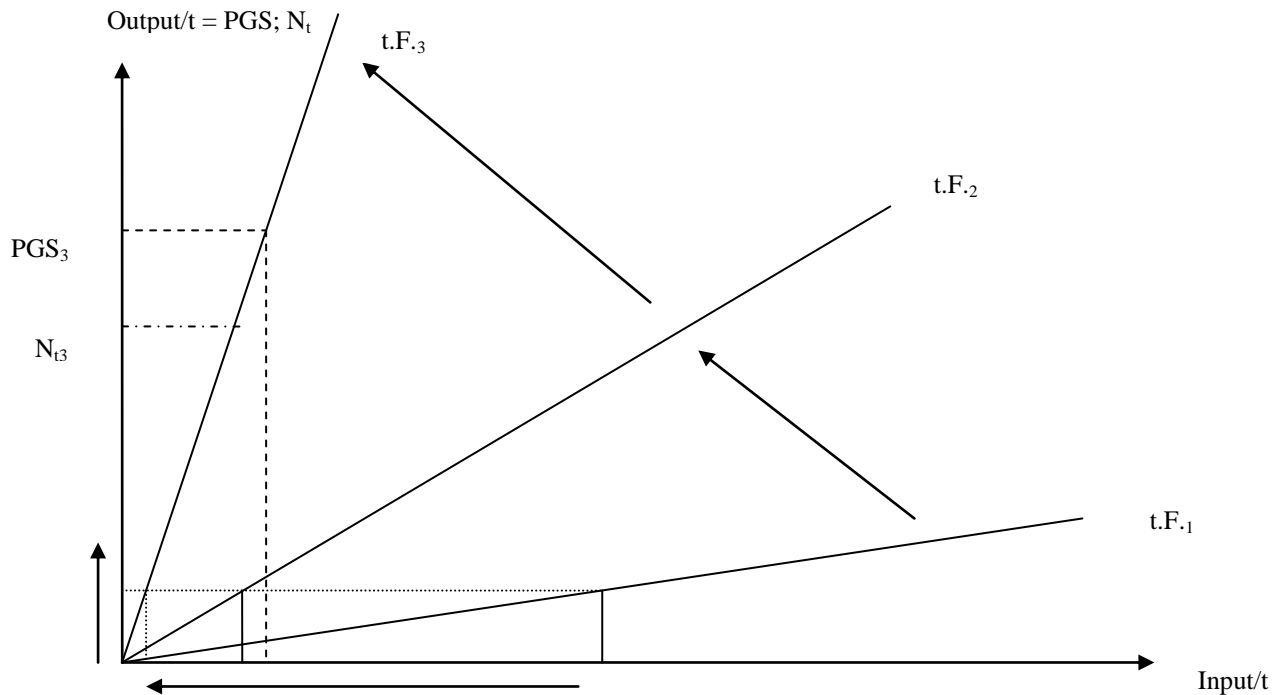
Die Auswirkungen des technischen Fortschritts auf eine mengen- und zeitbezogene Produktionsfunktion durch den Einsatz einer besseren Produktionstechnologie zeigen sich an einer Steigerung des Outputs pro Zeit und/oder einer Senkung des Inputs pro Zeit. Der Output pro Zeit wird als Produktionsgeschwindigkeit bezeichnet. Die Steigerung des Outputs pro Zeit ist gleichzusetzen mit einer Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit. Es resultiert eine Steigerung des Wirkungsgrades bzw. der Leistungsfähigkeit der Produktionstechnologie. Man spricht von einer Steigerung der Produktivität. Technischer Fortschritt bewirkt also eine Steigerung der Produktionsgeschwindigkeit und der Produktivität.

Dieser Wirkungszusammenhang lässt sich auch grafisch darstellen (vgl. Abb. 2).

Aus Abb. 2 erkennt man, dass mit der Verbesserung der Produktionstechnologie vom Stand des technischen Fortschritts 1 (t.F.<sub>1</sub>) bis zum Stand des technischen Fortschritts 3 (t.F.<sub>3</sub>) bei konstanter Produktionsgeschwindigkeit immer weniger Input pro Zeit erforderlich ist bzw. dass bei konstantem Einsatz an Input pro Zeit die Produktionsgeschwindigkeit steigt.

Dieser Prozess lässt sich fortsetzen bis die Technologiefalle auftritt. Diese Falle wird dann real, wenn die Produktionsgeschwindigkeit größer wird als die Nachfrage pro Zeit (N).

Abb. 2: Auswirkungen des technischen Fortschritts – dargestellt am Beispiel einer mengen- und zeitbezogenen Produktionsfunktion



Quelle: eigene Darstellung

(8)  $PGS > N \rightarrow$  Technologiefalle 1

Bei Auftreten der Technologiefalle 1 ist die in einer bestimmten Zeit produzierte Menge nicht mehr absetzbar, da die Nachfrage fehlt. Eine Produktion der gesamten möglichen Produktionsmenge ist daher nicht mehr sinnvoll; den Kosten der Produktion können keine entsprechenden Erlöse gegenübergestellt werden. Der Produktionsprozess ist unwirtschaftlich.

Die mengen- und zeitbezogene Betrachtung des produktionswirtschaftlichen Zusammenhangs zeigt, dass technischer Fortschritt und die entsprechende Verbesserung der Produktionstechnologie zu einer steigenden Produktionsgeschwindigkeit führt, d.h. zu der Möglichkeit eine immer größere Produktionsmenge in einer bestimmten Zeit herzustellen. Diese Auswirkung des technischen Fortschritts erhöht die Wettbewerbsintensität, da die Unternehmen ständige größere Nachfragepotenziale benötigen. Der Wettbewerb führt letztendlich zu einem intensiven Konzentrationsprozess, dem bei sehr großen Produkti-

onsgeschwindigkeiten auch durch Globalisierung nicht begegnet werden kann. Die Konzentration nimmt weltweite Ausmaße an.

Die Technologiefalle 1 tritt auf, wenn die Nachfrage pro Zeit kleiner wird als die Produktionsgeschwindigkeit. Die Tendenz zur Technologiefalle 1 kann durch kleine, gesättigte, wettbewerbsintensive, krisengeschwächte Märkte verstärkt werden. Insbesondere können Märkte mit Reduzierung der Anzahl der Nachfrager und ihrer Kaufkraft das Auftreten der Technologiefalle 1 verstärken.

Die Grenzwerte der Produktionsgeschwindigkeit liegen bei null und unendlich. Eine unendliche Produktionsgeschwindigkeit wird zur Ableitung der optimalen Losgröße unterstellt. Eine realisierbare Produktionsgeschwindigkeit wird immer einen endlichen Wert haben. Wie groß dieser Wert sein kann, hängt vom herzustellenden Produkt und vom Produktionsprozess ab. Es sind heute bereits für einige Produkte Produktionsgeschwindigkeiten möglich, die hoch genug sind, um die Weltnachfrage zu decken. Wo die realen Grenzen der Steigerung der Produktionsgeschwindigkeit liegen, muss letztendlich offen bleiben.

Auch mengen-zeitbezogene Produktionsfunktionen können mit den beiden Integrationsfaktoren Arbeit und Kapital formuliert werden. Darauf soll nicht weiter eingegangen werden. Es wird auf die Ausführungen zu den mengenbezogenen Produktionsfunktionen (3.1) verwiesen.

### **3.3 Darstellung der Auswirkungen von technischem Fortschritt anhand von wertbezogenen Produktionsfunktionen**

Die allgemeine Form einer wertbezogenen Produktionsfunktion lautet:

$$(9) Y = w (p_1 \bullet r_1, \dots, p_n \bullet r_n)$$

mit

$Y$  = Wert der Outputmenge

$r_1, \dots, r_n$  = Einsatzmengen der Produktionsfaktoren  $r_1, \dots, r_n$  (Inputmenge)

$p_1, \dots, p_n$  = Preise der Produktionsfaktoren  $r_1, \dots, r_n$  (= Kosten)

$w$  = Wertschöpfungsfaktor bzw. Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die eingesetzte Produktionstechnologie

In der Regel werden die wertbezogenen Produktionsfunktionen nicht für einen Produktionsfaktor, sondern für zwei Integrationsfaktoren, Arbeit und Kapital, formuliert. Formal ergibt sich dann die folgende Produktionsfunktion:

$$(10) Y = w (AK + KK)$$

mit

$Y$  = Wert der Outputmenge

$AK$  = Kosten des Produktionsfaktors Arbeit (Kosten der Inputmenge Arbeit)

$KK$  = Kosten des Produktionsfaktors Kapital (Kosten der Inputmenge Kapital)

$w$  = Wertschöpfungsfaktor bzw. Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die eingesetzte Produktionstechnologie

Eine wertbezogene Produktionsfunktion kann aus der Beziehung für die Wirtschaftlichkeit abgeleitet werden. Das  $f$  aus der ersten mengenbezogenen Produktionsfunktion ist dann als  $w$  für den Wertschöpfungsfaktor/die Wirtschaftlichkeit zu interpretieren:

$$(11) w = E / K \rightarrow E = w (K) \quad 0 \leq w \leq \infty$$

mit

$w$  = Wertschöpfungsfaktor/Wirtschaftlichkeit

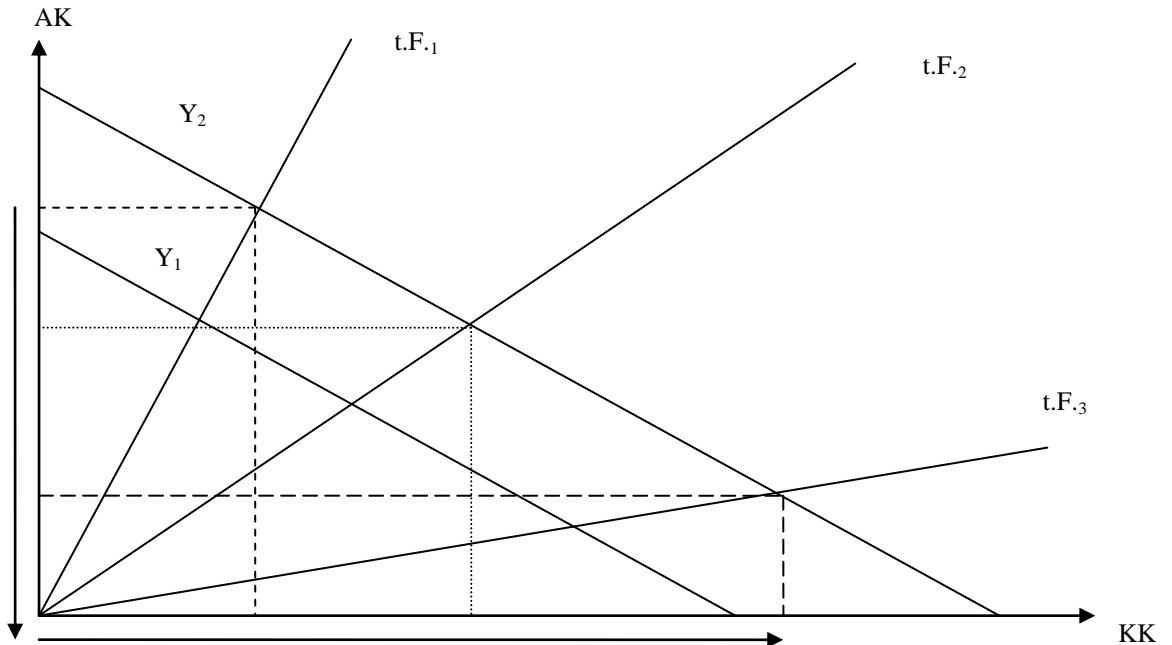
$E$  = Erlös =  $Y$

$K$  = Kosten

Die Auswirkungen des technischen Fortschritts auf eine wertbezogene Produktionsfunktion durch den Einsatz einer besseren Produktionstechnologie zeigen sich an einer Steigerung des Wertes des Outputs und/oder einer Senkung des Wertes des Inputs. Es resultiert daraus eine Steigerung des Wertschöpfungsfaktors bzw. der Wirtschaftlichkeit. Technischer Fortschritt bewirkt also eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit und/oder eine Veränderung des Verhältnisses der Werte (Kosten) der Einsatzmengen der beiden Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital.

Dieser Wirkungszusammenhang lässt sich auch grafisch darstellen (vgl. Abb. 3).

Abb. 3 Auswirkungen des technischen Fortschritts – dargestellt am Beispiel einer wertbezogenen Produktionsfunktion



Quelle: eigene Darstellung

Aus Abb. 3 geht hervor, dass sich mit sich entwickelndem technischen Fortschritt (von t.F.<sub>1</sub> bis t.F.<sub>3</sub>), also der Verbesserung der Produktionstechnologie, das Verhältnis der Werte (Kosten) der Einsatzmengen von Arbeit und Kapital verändert. Es wird immer mehr Wert an Arbeit durch Wert an Kapital substituiert. Man spricht davon, dass der technische Fortschritt arbeitssparend und kapitalintensiv ist. Es wird immer schwieriger, neue Arbeitsplätze durch Wachstum (von Y<sub>1</sub> auf Y<sub>2</sub>) zu schaffen. Die immer weniger werdenden neuen Arbeitsplätze erfordern immer mehr Kapitaleinsatz. Schließlich übersteigen die Kosten für Kapital die Kosten für Arbeit. Es ist dann nicht mehr sinnvoll den technischen Fortschritt zu realisieren. Es kommt zu einer zweiten Technologiefalle.

(12)  $AK < KK \rightarrow$  Technologiefalle 2

Wenn die Technologiefalle 2 auftritt, werden durch neue Technologien geschaffene Arbeitsplätze zu teuer. Der technische Fortschritt wird daher nicht in Innovationen umge-



setzt.

Ferner kann die bereits vom Adam Smith<sup>11</sup> beschriebene Arbeitsteilungsfalle auftreten. Der immer steigende Kapitaleinsatz erfordert eine immer größere Produktionsmenge, um Produkte zu akzeptablen Preisen auf den Markt bringen zu können. Diese Aussage gilt, da sich der Preis nach den Durchschnittskosten richtet, die wiederum gemäß dem Gesetz der Massenproduktion bei großen Stückzahlen sinken.

$$(13) p = K/x + GA$$

$$(14) K = AK + KK; GA = \text{konstant}$$

mit

$p$  = Preis für das entsprechende Produkt

$K$  = Kosten

$AK$  = Kosten der eingesetzten Arbeit

$KK$  = Kosten des eingesetzten Kapitals

$x$  = Produktionsmenge

$GA$  = Gewinnaufschlag

Die Arbeitsteilungsfalle tritt bei kleinen, gesättigten, wettbewerbsintensiven und krisengeschwächten Märkten auf.

Die Substitution von Arbeit durch Kapital bei fortschreitender Verbesserung der Produktionstechnologien endet theoretisch, wenn nur noch Kapital im Produktionsprozess eingesetzt wird. Die reale Grenze der Substitution von Arbeit durch Kapital ist offen. Sie liegt dort, wo die durch neue Technologien geschaffenen Arbeitsplätze zu teuer werden, um realisiert zu werden. Zum heutigen Zeitpunkt zeichnet sich eine Tendenz ab, die eine Abkehr von der früher vertretenen Idee der „papier- und menschenlosen Fabrik“ aufzeigt. Es ist eine überholte Idee. Eine kleine Zahl von Menschen wird auch weiterhin arbeiten müssen (z.B. Ärzte, Verwaltungsmitarbeiter, Fahrer von Verkehrsmitteln, Ausbilder wie Lehrer, Professoren etc.). In vielen Produktionsprozessen ist Arbeit nicht total durch

---

11 Vgl. Smith, A.: Untersuchung über Wesen und Ursachen des Reichtums der Völker, 1. Bd. (aus dem Englischen übersetzt von M. Streissler, hrsg. v. E.W. Streissler), Düsseldorf 1999, S. 89 – 100, insbes. S. 89, 92

Kapital zu ersetzen.

Die Grenze der Substitution von Arbeit durch Kapital kann hier nur normativ durch eine Hypothese determiniert werden. Die Grenze kann sich nur in der Realität einpendeln. Hier wird als Arbeitshypothese unterstellt, dass sich ein Verhältnis zwischen 20 zu 80 bzw. 10 zu 90 (20 : 80 bzw. 10 : 90) von Arbeit zu Kapital einpendelt.

Die Technologiefälle 2 und die Arbeitsteilungsfälle verdeutlichen, dass eine Arbeitsteilung zwischen Arbeit und Kapital gefunden werden muss, die bei der weiteren Entwicklung des technischen Fortschritts bzw. weiteren Verbesserungen der Produktionstechnologien berücksichtigt werden sollte. Im Rahmen des Logistikkonzeptes „super lean production“ wird die Arbeitsteilung durch die folgende Regel festgelegt:<sup>12</sup>

Leichte, feine, saubere und ungefährliche Arbeit ist von Menschen auszuführen; für schwere, grobe, schmutzige und gefährliche Arbeit sind Maschinen einzusetzen.

Diese Arbeitsteilung wurde in Japan entwickelt, weil viele neue Technologien zu störanfällig und zu teuer sind.

Die Darstellung der Auswirkungen des technischen Fortschritts anhand mengen-, mengen-zeit- sowie wertbezogener Produktionsfunktionen hat gezeigt, dass der technische Fortschritt spürbaren Einfluss auf die Verwendung und Verteilung der Produktionsfaktoren (Arbeit und Kapital) in einer Volkswirtschaft hat. Es ist daher im Folgenden näher auf die Auswirkungen des technischen Fortschritts einzugehen.

#### **4. Die Auswirkungen von technischem Fortschritt auf die Innovation von Unternehmen**

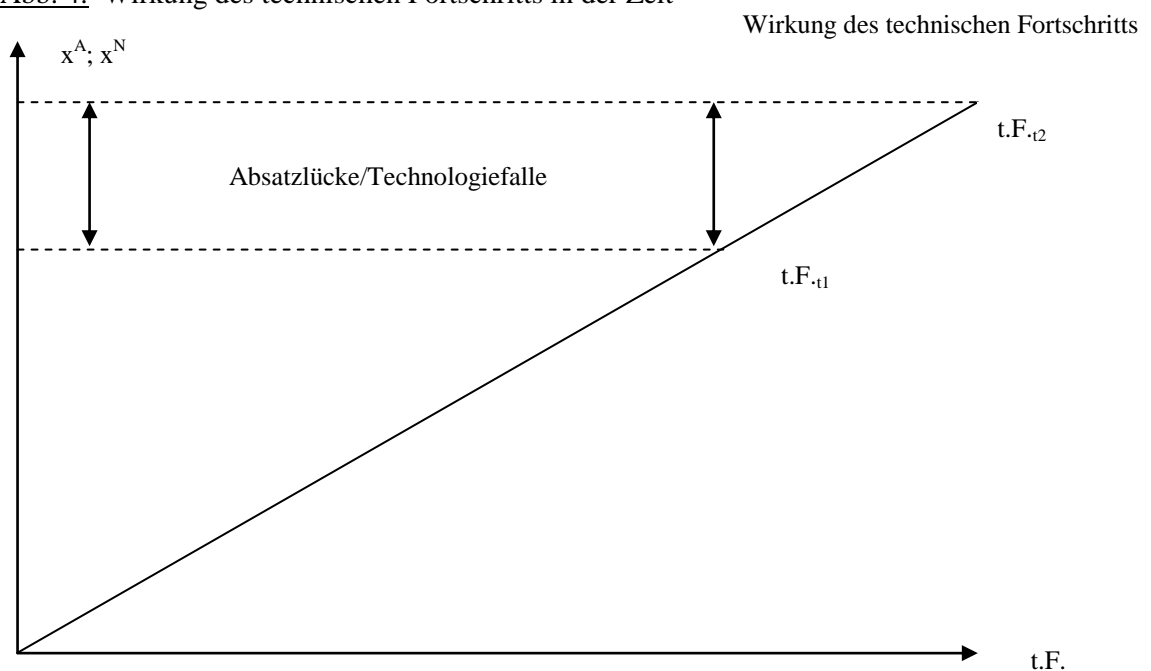
Anhand der mengenbezogenen und der mengen-zeitbezogenen Produktionsfunktionen wurde gezeigt, dass der technische Fortschritt die Produktivität und die Produktionsgeschwindigkeit erhöht. Die Unternehmen haben die Möglichkeit, eine größere Produktmenge (= Angebotsmenge) herzustellen. Die Unternehmen können bei andauerndem technischen Fortschritt das Gesetz der Massenproduktion zu ihrem Vorteil nutzen. Die

---

<sup>12</sup> Vgl. Kojima, T.: Die zweite Lean Revolution, Landsberg 1995, S. 27 - 54, insbes. S. 42 - 44; vgl. auch Witte, H.: Logistik, München, Wien 2001, S. 59

wertbezogenen Produktionsfunktionen zeigen, dass die größere Produktmenge (Angebotsmenge) zu höheren Gewinnen und einer größeren Wertschöpfung/einem höheren Wertschöpfungsfaktor führt, wenn der Markt es zulässt. Dies ist der Fall, wenn die größere Produktionsmenge (Angebotsmenge,  $x^A$ ) abgesetzt werden kann. Der technische Fortschritt setzt Unternehmen unter Druck, die Absatzmenge zu vergrößern und neue Nachfrager/Märkte zu erschließen.

**Abb. 4:** Wirkung des technischen Fortschritts in der Zeit



Quelle: eigene Darstellung

In Abb. 4 ist die Wirkung des technischen Fortschritts auf die Angebotsmenge ( $x^A$ ) dargestellt. Sie erhöht sich mit der Zeit bei andauerndem technischen Fortschritt. Die Unternehmen müssen die Nachfrage-/Absatzmenge ( $x^N$ ) erhöhen, sonst kommt es zu einer Absatzlücke.

Bei zeitlichen/saisonalen Schwankungen der Nachfrage treten temporär Nachfragerlücken auf, die die Unternehmen durch (zeitliche) Preisdifferenzierung überbrücken können.

Die permanente Absatzlücke ist irgendwann nicht mehr vermeidbar. Dies ist spätestens der Fall, wenn weltweit alle Nachfrager von einem Unternehmen versorgt werden können

und der technische Fortschritt zur weiteren Erhöhung der Produktionsmenge führt. Man kann von einer auftretenden Technologiefalle sprechen.

Es ist davon auszugehen, dass Unternehmen zunächst bestrebt sind, technischen Fortschritt zu verwirklichen und Innovationen befürworten. Aufgrund von Wettbewerbsdruck bestehen eine Innovationswilligkeit und auch ein Innovationsdruck.

Bei andauerndem technischen Fortschritt und geringer werdenden Möglichkeiten die Absatzmenge zu erhöhen sowie neue Märkte zu erschließen, sinkt die Innovationswilligkeit wieder. Es entsteht eine Innovationsunwilligkeit und schließlich eine Innovationsunmöglichkeit aufgrund der Technologiefalle.

## **5. Die Auswirkungen von technischem Fortschritt auf die Wertschöpfung von Unternehmen**

Um die Auswirkungen des technischen Fortschritts auf die Wertschöpfung von Unternehmen zu untersuchen, wurde von wertbezogenen Produktionsfunktionen ausgegangen. Zudem ist festzulegen, in welchem Umfeld sich die Unternehmen bewegen. Es ist grundsätzlich zwischen drei Umfeldern, dem Modell der vollkommenen Konkurrenz, dem Modell der unvollkommenen Konkurrenz und der Realität, zu unterscheiden. Im Modell der vollkommenen Konkurrenz sind der Gewinn und die Wertschöpfung begrenzt. Der Gewinn ist null und die Wertschöpfung beträgt ebenfalls null. Der Wertschöpfungsfaktor/die Wirtschaftlichkeit ist eins. Im Umfeld der vollkommenen Konkurrenz hat der technische Fortschritt keinen Einfluss auf die Wertschöpfung und die Wirtschaftlichkeit bzw. den Wertschöpfungsfaktor der Unternehmen.

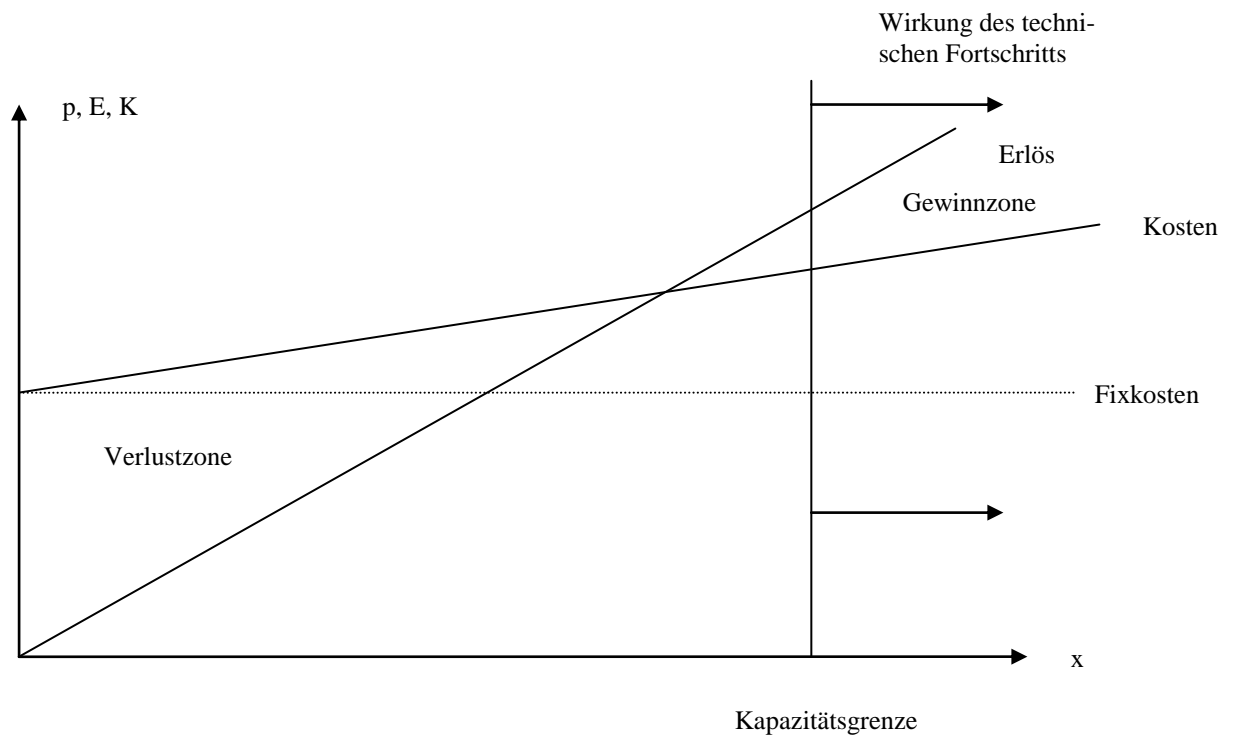
Im Umfeld der unvollkommenen Konkurrenz und im Umfeld der Praxis sind der Gewinn sowie die Wertschöpfung nicht begrenzt. Die Wertschöpfung kann negativ sein, dann ist auch der Gewinn negativ. Es wird Verlust erwirtschaftet. Der Verlust aus der Produktion eines Gutes kann in einer Wirtschaftsperiode maximal so hoch sein wie die Fixkosten. Dies ist z.B. der Fall, wenn nicht produziert wird ( $x = 0$ ). Die Wertschöpfung ist theoretisch bis unendlich steigerbar. Der Gewinn ist dann auch unendlich. Praktisch werden die Wertschöpfung und der Gewinn durch die Kapazitätsgrenze, die maximale Produktionsmenge eines Unternehmens, begrenzt. Diese Grenze wird durch andauernden technischen

Fortschritt theoretisch und durch Innovationen praktisch gegen unendlich verschoben.

Die Grenze ist dort, wo ein Unternehmen die Weltnachfrage versorgt.

Die beschriebenen Zusammenhänge sind in Abb. 5 veranschaulicht.

Abb. 5: Zusammenhang zwischen technischem Fortschritt, Wertschöpfung und Gewinn im Umfeld „Realität“



Quelle: eigene Darstellung

Formal lassen sich die Zusammenhänge wie folgt anhand der Gleichungen für den Gewinn, den Erlös, die Kosten und den Wertschöpfungsfaktor/die Wirtschaftlichkeit darstellen:

$$(15) \quad G = E - K$$

mit

G = Gewinn; negativer Gewinn = Verlust (V)

E = Erlös

K = Kosten

$$(16) \quad E = p \bullet x$$

mit

$p$  = Preis

$x$  = Produktionsmenge

$$(17) \quad K = k_v(x) + k_f$$

mit

$k_v(x)$  = variable Kosten

$k_f$  = Fixkosten

$$(18) \quad w = E / K$$

mit

$w$  = Wertschöpfungsfaktor/Wirtschaftlichkeit

$$(19) \quad G = 0 \quad \text{wenn} \quad E = K \quad \text{dann} \quad w = 1$$

$$(20) \quad G > 0 \quad \text{wenn} \quad E > K \quad \text{dann} \quad w > 1 \rightarrow G_{\max} = \infty \rightarrow w_{\max} = \infty$$

$$(21) \quad G < 0 \quad \text{wenn} \quad E < K \quad \text{dann} \quad w < 1 \rightarrow G_{\min} = V_{\max} = -k_f \rightarrow w_{\min} = 0$$

Die Darstellung der Auswirkungen des technischen Fortschritts auf den Wertschöpfungsfaktor, die auf das Umfeld „Modell der unvollkommenen Konkurrenz“ und das Umfeld „Realität“ bezogen sind, hat allerdings ein Problem. Da der Wertschöpfungsfaktor größer als eins ist, kommen keine Marktgleichgewichte zustande. Die hergestellten Güter sind zu teuer, um von allen Wirtschaftssubjekten gekauft zu werden. Die Wirtschaftskrise ist vorprogrammiert. Um die Wirtschaftskrise zu verhindern, muss der Gewinn und die Wertschöpfung auf null sowie der Wertschöpfungsfaktor auf eins begrenzt werden.<sup>13</sup> Nur bei Gültigkeit dieser Bedingungen können die Wirtschaftssubjekte die gesamte hergestellte Gütermenge kaufen. Es werden Marktgleichgewichte hergestellt. Dann hat der technische Fortschritt keinen Einfluss auf die Wertschöpfung und den Wertschöpfungsfaktor. Die Wertschöpfung ist immer gleich Null und der Wertschöpfungsfaktor ist im-

mer gleich eins.

Im Umfeld der unvollkommenen Konkurrenz hat der technische Fortschritt nur Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit bzw. den Wertschöpfungsfaktor und die Wertschöpfung der Unternehmen, wenn keine Marktgleichgewichte vorliegen.

Schließlich zeigt Abb. 5, dass durch technischen Fortschritt die Kapazitätsgrenze der Unternehmen nach rechts verschoben wird. Die Unternehmen können mehr produzieren. Damit steigen die Wertschöpfung und die Gewinne sowie der Wertschöpfungsfaktor/die Wirtschaftlichkeit, wenn Krisen zugelassen sind bzw. keine Begrenzung von Wertschöpfung und Gewinnen zur Verhinderung von Krisen vorgenommen wird.

## 6. Schlussbemerkungen

Es konnte gezeigt werden, dass die Umsetzung des andauernden technischen Fortschritts in Innovationen im Umfeld der „unvollkommenen Konkurrenz“ und der „Realität“ prinzipiell zu einer unendlich hohen Produktivität, Produktionsgeschwindigkeit und Wertschöpfung sowie einem unendlich hohen Gewinn führt. Der technische Fortschritt wird aufgrund eines Innovationsdrucks umgesetzt und führt zu steigender Wertschöpfung. Eine Begrenzung dieses Prozesses entsteht beim Auftreten der Technologiefalle 1 und 2 sowie der Arbeitsteilungsfalle.

Im Umfeld der „vollkommenen Konkurrenz“ sind Gewinne und Wertschöpfung der Unternehmen begrenzt. Der technische Fortschritt hat keinen Einfluss auf die Wertschöpfung. Innovationen werden aufgrund des Wettbewerbsdrucks von den Unternehmen durchgesetzt.

Im Umfeld der „unvollkommenen Konkurrenz“ und der „Realität“ gibt es joch ein Problem. Ein Wertschöpfungsfaktor von größer eins bewirkt keine Marktgleichgewichte, sondern Wirtschaftskrisen. Daher sollte eine Begrenzung des Wertschöpfungsfaktors auf

---

<sup>13</sup> Vgl. Witte, H.: Modelle der Nachhaltigkeit, in: Witte, H.: The Szczecin School of „simple“ Economics, Szczecin 2010, S. 57 – 67, hier S. 65

eins und des Gewinns bzw. der Wertschöpfung auf null durchgesetzt werden. Diese Bedingung kann systembedingte Wirtschaftskrisen verhindern. Als Maßnahme gegen die dargestellten Technologiefallen ist die Bedingung nicht zu verstehen. Die Technologiefalle entsteht nicht aufgrund von monetären Marktungleichgewichten, sondern aufgrund von ungleichwichtigem Wachstum von Produktions- und Nachfragemenge bzw. der Begrenzung der weltweiten Nachfrage.

Die in der Überschrift gestellte Frage, ob der technische Fortschritt eine Begrenzung der Innovation und der Wertschöpfung der Unternehmen darstellt, kann gemäß der hier getroffenen Aussagen für die reale Wirtschaft eindeutig mit „ja“ beantwortet werden. Diese Schlussfolgerung gilt, weil es in der Realität keine Begrenzung der Wertschöpfung bzw. der Gewinne gibt. Die Wertschöpfung wird nur beeinflusst, wenn keine Marktgleichgewichte bestehen. Im Umfeld der „vollkommenen Konkurrenz“ sind die Gewinne und die Wertschöpfung begrenzt. Daher gibt es in diesen Umfeldern keinen Einfluss des technischen Fortschritts auf die Wertschöpfung.

Der technische Fortschritt führt in allen drei genannten Umfeldern, der vollkommenen Konkurrenz, der unvollkommenen Konkurrenz und der Realität, aufgrund von bestehendem Wettbewerbsdruck zu Innovationen.

## **Literatur**

- Harrod, R.: Dynamische Wirtschaftstheorie, Frankfurt/New York 1976
- Harrod, R.F.: Towards a Dynamic Economics, London, New York 1956 (reprint)
- Hicks, J.R.: Theory of Wages, London 1932
- Kaldor, N.: A Model of Economic Growth, in: The Economic Journal, Vol. XLVII (1957), S. 591 - 624
- Kennedy, C.J.: Technical Progress and Investment, in: The Economic Journal, Vol. 71 (1961), S. 292 – 299
- Kennedy, C.J./Thirlwall, A.P.: Technical Progress, in: Surveys of Applied Economics, Vol. 1 (1973), S. 115 - 176
- Kojima, T.: Die zweite Lean Revolution, Landsberg 1995
- Krelle, W.: Produktionstheorie, Tübingen 1969



- Sato, R./Beckmann, M.J.: Neutral Inventions and Production Functions, in: Review of Economic Studies, Vol. 35 (1968), S. 57 – 66
- Smith, A.: Untersuchung über Wesen und Ursachen des Reichtums der Völker, 1. Bd. (aus dem Englischen übersetzt von M. Streissler, hrsg. v. E.W. Streissler), Düsseldorf 1999
- Solow, R.M.: A Contribution to the Theory of Economic Growth, in: Quarterly Journal of Economics, Vol. LXX (1956), S. 65 - 94
- Solow, R.M.: Technical Chance and the Aggregate Production Function, in: The Review of Economics and Statistics, Vol. XXXIX (1957), S. 312 - 320
- Weizsäcker, C.C.v.: Zur ökonomischen Theorie des technischen Fortschritts, Göttingen 1966
- Witte, H.: Logistik, München, Wien 2001
- Witte, H.: Modelle der Nachhaltigkeit, in: Witte, H.: The Szczecin School of „simple“ Economics, Szczecin 2010, S. 57 – 67