

Seifert-Vogt, Hans Günter; Völker, Rainer

**Working Paper**

## Marktschranken und Innovationswahrscheinlichkeit im Umweltbereich

Diskussionsbeiträge - Serie I, No. 242

**Provided in Cooperation with:**

Department of Economics, University of Konstanz

*Suggested Citation:* Seifert-Vogt, Hans Günter; Völker, Rainer (1988) : Marktschranken und Innovationswahrscheinlichkeit im Umweltbereich, Diskussionsbeiträge - Serie I, No. 242, Universität Konstanz, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und Statistik, Konstanz

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/75140>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

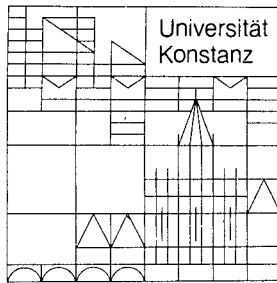
Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



**Fakultät für  
Wirtschaftswissenschaften  
und Statistik**

---

Hans Günter Seifert-Vogt  
Rainer Völker

**Marktschranken und  
Innovationswahrscheinlichkeit  
im Umweltbereich**

Diskussionsbeiträge

---

MARKTSCHRANKEN UND INNOVATIONS-  
WAHRSCHEINLICHKEIT IM UMWELTBEREICH

Hans Günter Seifert-Vogt  
Rainer Völker

Serie I - Nr. 242

A 9 281 / 89  
Weltwirtschaft  
Kiel

November 1988

Hans Günther Seifert-Vogt\* / Rainer Völker

MARKTSCHRANKEN UND INNOVATIONS-  
WAHRSCHEINLICHKEIT IM UMWELTBEREICH

1. EINLEITUNG

Der Staat/die Gesellschaft wird im Zeichen der Umweltkrise prinzipiell an der Innovation von Produkten bzw. Technologien interessiert sein, die sich aus ökologischer Sicht verbessert gegenüber bisherigen Gütern und Produktionsverfahren erweisen. Im Rahmen einer marktwirtschaftlich orientierten Ökonomie stellt sich die Frage, welche Wettbewerbsbedingungen am schnellsten "mehr an Umweltqualität" liefern. Nach dem Credo der reinen Marktwirtschaftler sollte die freie Konkurrenz den Wettbewerbsdruck erzeugen, bei dem ein neues Produkt bzw. eine neue Technologie, deren früher Besitz zumindest temporäre Extraprofite garantiert, schnell eingeführt wird. Wie verschiedene Arbeiten zeigen (vgl. z.B. im entscheidungstheoretischen Spektrum DASGUPTA/STIGLITZ 1980,

---

\* Sonderforschungsbereich 178

LEE/WILDE 1980), gilt diese Aussage nicht uneingeschränkt. Die angesprochenen Arbeiten beziehen sich allerdings fast immer auf einen statischen Kontext und berücksichtigen nicht den Aspekt potentieller Konkurrenz und damit nicht die strategischen Verhaltensweisen bereits am Markt etablierter Unternehmen! Diese Unternehmen besitzen natürlich Anreize, andere Firmen vom Markt fernzuhalten bzw. ihre eigenen Aktionen so zu gestalten, daß ihre Profitsituation auch nach Marktzutritt sich möglichst günstig darstellt.

Wir werden im Rahmen eines einfachen Modells zunächst aufzeigen, wie genau jene strategischen Verhaltensweisen der Unternehmen *trade-off*-Situationen liefern können - und zwar im folgenden Sinne: Besteht für etablierte Firmen die Gefahr potentieller Konkurrenz (etwa durch Änderung der gesetzlichen Bestimmungen, Hilfen zur Neugründung von Unternehmen, durch "Öffnung der Grenzen" etc.), so können diese Firmen darauf z.B. reagieren, daß sie vermehrte F&E-Anstrengungen (im Vergleich zu der Situation, bei der sie als uneingeschränkte Monopolisten oder Oligopolisten agieren könnten) unternehmen, um bessere Produkte herzustellen und Marktzutritt zu verhindern. Durch die veränderte Gewinnsituation tritt aber wiederum eine gewisse Innovationssaturiertheit ein, die zukünftige Weiterentwicklungen verzögert - ebenfalls in Relation zu einem uneingeschränkten Monopol bzw. Oligopol.

Die Frage nach geeigneten Wettbewerbsbedingungen zur Forcierung von Innovationen ist sicher von zentraler Bedeutung; was neue, bessere Umweltqualitäten betrifft, so kommt allerdings noch ein sehr wichtiger Aspekt hinzu: In marktwirtschaftlichen Systemen werden Firmen eine Innovation, die mehr an Umweltqualität liefert, nur dann forciert bzw. überhaupt einführen, wenn es sich für sie als

potentiell lohnend erweisen sollte. Da Konsumenten nicht unbedingt bereit (öffentliches Gut-Problem) und/oder aufgrund ihrer Einkommenssituation nicht fähig sind, mehr Nachfrage nach (umwelt-)qualitätsmäßig besseren Gütern oder (indirekt) nach Produktionsverfahren auszuüben, greifen staatliche Instanzen oft - mit dem eingangs genannten Ziel vor Augen - lenkend in den Marktprozeß ein. Dazu werden sehr oft den Unternehmen, die potentiell umweltverträgliche Güter hervorbringen können, entweder direkt (Subventionen für F&E) oder indirekt (finanzielle Hilfen für die Verbraucher oder aber Verbote umweltschädlicher, bisheriger Alternativprodukte resp. -technologien) Gewinnanreize gesetzt.

Wie wir nun ebenfalls im Rahmen unseres Modells zeigen werden, müssen in Anbetracht des strategischen Verhaltens etablierter Unternehmen Gewinnanreize nicht den "intuitiven", gewünschten Effekt besitzen: Wird eine "Umweltbranche" durch erwähnte staatliche Maßnahmen profitabel (oder auch "überhaupt erst" profitabel), haben zwar etablierte Produzenten und *Outsider* Anreize, sich verstärkt in dieser Branche bzw. diesem Markt zu engagieren. Allerdings - so wird hier demonstriert - werden jene Anreize bei etablierten Firmen u.U. ein relativ stärkeres Gewicht bekommen. Erfolgreiche Marktabschreckung zur Sicherung der Profite und - damit einhergehend - die verzögerte Einführung besserer Umweltqualitäten sind dann u.U. die Folge.

Zur Gliederung des Artikels: In Abschnitt 2 und 3 wird unser allgemeines Basismodell, mit dem wir unsere verschiedenen, kurz angesprochenen Aussagen ableiten, vorgestellt und die wesentlichen Fragestellungen für die folgenden Abschnitte werden skizziert. Abschnitt 3 vergleicht explizit die Fälle, bei denen etablierte Firmen (wir beschränken uns hier aus Demonstrationsgründen auf

eine *Insider-Firma*) uneingeschränkt agieren können bzw. sich potentieller Konkurrenz ausgesetzt sehen. Die Abschnitte 5 und 6 untersuchen die Auswirkungen, die Gewinnanreize zur "forcierenden Einführung" umweltverträglicherer Produkte und Technologien besitzen. Abschnitt 7 schließlich gibt eine kurze Zusammenfassung und macht auf potentielle Erweiterungen und die wirtschaftspolitische Problematik aufmerksam.

## 2. DER MODELLANSATZ<sup>3)</sup> UND ÜBERBLICK ÜBER DIE ERGEBNISSE

Wir betrachten eine Firma I in zwei verschiedenen ökonomischen Umgebungen. In beiden Fällen produziert die Firma in der Ausgangssituation ein bestimmtes Gut in einer bestimmten Umweltqualität und mit einer bestimmten Umwelttechnik. Der Planungshorizont der Firma beträgt jeweils 2 Perioden. In Periode 1 kann sie die ökologische Verträglichkeit ihres Produkts durch bestimmte F&E-Aufwendungen<sup>4)</sup>  $a$  mit Kosten  $K(a)$  in "geringem Ausmaß" verbessern. Dies liefert ihr den Perioden-1-Bruttoprofit  $\Pi(y_1, a)$ , der zusätzlich von der Höhe von staatlichen Unterstützungszahlungen  $y_1$  an die Firma und/oder die Käufer zum Zweck besserer Umweltqualität abhängt. Zu Beginn von Periode 2 steht die Idee zu einer drastischen Verbesserung der Umweltverträglichkeit des Gutes zur Verfügung. In der 1. ökonomischen Umgebung, die im folgenden als der Monopolfall bezeichnet wird, kann sich Firma I durch zusätzliche neue F&E-Aktivitäten allein um den Erwerb des Patents für dieses "neue" Produkt bemühen, d.h. konkret: sie kann

---

3) Vgl. zu ähnlichen Ansätzen FUDENBERG/TIROLE (1984), VÖLKER (1988), Kap. VI.

4) F&E steht im folgenden für "Forschung und Entwicklung".

durch Aufwendungen von Kosten  $x$  die Wahrscheinlichkeit  $q(x)$  dafür steuern, daß sie das Patent erhält. Dieses ist mit einem Brutto-Profit  $\Pi(y_2)$  in Periode 2 verbunden, der wiederum von staatlichen Anreizzahlungen  $y_2$  abhängt. Falls die Firma I trotz ihrer F&E-Aufwendungen in Form der Wahl der Wahrscheinlichkeit  $q(x)$  das Patent nicht erhält, darf sie weiterhin das "alte" Produkt anbieten, erhält dafür allerdings dann nur noch den Profit  $\Pi(0, a)$ . Im Monopolfall beträgt demnach der erwartete Gesamtgewinn der Firma I

$$(1) \quad w^I(a, x) = \Pi(y_1, a) - K(a) + g(x)\Pi(y_2) + (1-g(x))\Pi(0, a) - x$$

In der 2. ökonomischen Umgebung, im folgenden als Konkurrenzfall tituliert, sieht sich die Firma I in der 2. Periode u.U. einem potentiellen Mitbewerber, einer Firma E, um das Patent gegenüber. Um gegebenenfalls den Markteintritt von E zu verhindern, kann I bereits in Periode 1 gewisse vorbereitende F&E-Maßnahmen ergreifen, welche ihre Erfolgswahrscheinlichkeiten im Patentrennen verbessern, konkret: durch F&E-Aufwendungen in Periode 1 in Höhe von  $x_1$  und in Periode 2 von  $x_2$  beträgt I's Erfolgswahrscheinlichkeit im Patentrennen  $p(x_1, x_2)$ .

Falls sich Firma E, bei vollständiger Information über  $x_1$  für Markteintritt, IN, mit Eintrittskosten von  $e$  entscheidet, so müssen I und E in Periode 2 unabhängig voneinander über die Höhe ihrer F&E-Aufwendungen  $x_2$  resp.  $z$  (für E) entscheiden. Bezeichnen wir E's Erfolgswahrscheinlichkeit mit  $q(z)$ , so ergeben sich bei Markteintritt die folgenden Profitfunktionen:

$$(2) \quad W_I^{IN}(a, x_1, x_2, z) = \Pi(y_1, a) - K(a) - x_1 + p(x_1, x_2)(1-q(z))\Pi(y_2) \\ + (1-p(x_1, x_2))(1-q(z))\Pi(0, a) - x_2$$

$$(3) \quad W_E(x_1, x_2, z) = q(z)(1-p(x_1, x_2))\Pi(y_2) - z - e$$

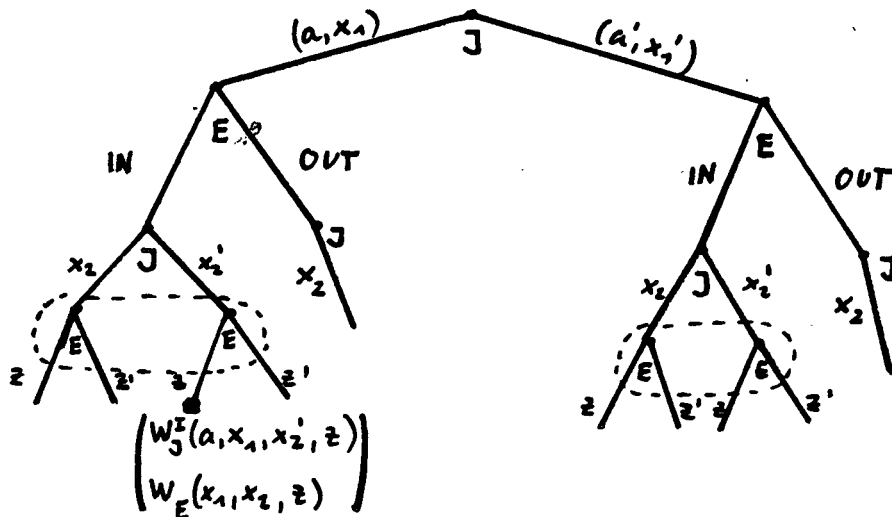


Hierbei unterstellen wir: Falls beide Firmen das Patent erwerben, so werden durch Konkurrenz auf dem Produktmarkt ihre Gewinne auf Null gedrückt. Falls nur eine Firma im Patentrennen erfolgreich ist, so verdrängt sie die andere Firma vom Markt. Außerdem besitzt aber Firma I einen "Inkumbent-Vorteil" dergestalt, daß sie ihr altes Produkt weiter vertreiben darf, wenn beide Firmen sich erfolglos um das neue Patent bemüht haben.

Falls sich Firma E, bei vollständiger Information über  $x_1$ , gegen Markteintritt - im folgenden durch OUT symbolisiert - entscheidet, so beträgt ihr Profit Null, während sich der erwartete Gesamtgewinn des Inkumbents I analog zu (1) ergibt gemäß

$$(4) \quad W_I^{OUT}(a, x_1, x_2) = \Pi(y_1, a) - K(a) - x_1 + p(x_1, x_2) \Pi(y_2) \\ + (1 - p(x_1, x_2)) \Pi(0, a) - x_2.$$

Für den Fall diskreter Entscheidungsalternativen läßt sich die "Spielsituation" im Konkurrenzfall durch folgenden Spielbaum darstellen



Figur 1: Die "Spielbaum"-Darstellung des Szenarios im Konkurrenzfall

Wir werden mit  $(a_M, x_M)$  die Lösung des Monopolfalls und mit  $(a_K, (x_{1K}, x_{2K}), z_K)$  die Lösung des Konkurrenzfalls bezeichnen. Im Monopolfall (rsp. Konkurrenzfall) ist dann die Wahrscheinlichkeit  $P_M$  (rsp.  $P_K$ ), daß das neue umweltfreundliche Produkt auf den Markt kommt, durch

$$(5) \quad P_M = q(x_M)$$

rsp. durch

$$(6) \quad P_K = p(x_{1K}, x_{2K}) + q(z_K) - p(x_{1K}, x_{2K})q(z_K)$$

gegeben.

In den nächsten Abschnitten soll nun dieser Modellansatz zur Untersuchung folgender Fragen verwendet werden:

- 1) Angenommen, der Staat kann durch wirtschaftspolitische Maßnahmen (wie Abbau oder Aufbau von Handelshemmnissen, günstige Existenzgründungsdarlehen, u.ä.) zwischen der im Monopolfall und der im Konkurrenzfall dargestellten Marktform wählen: Kann dann einer der beiden Marktformen ein eindeutiger Vorzug gegeben werden, gemessen an den Relationen  $a_K > a_M$  und  $P_K > P_M$  bzw.  $a_K < a_M$  und  $P_M < P_K$ ? Wir werden zeigen, daß man i.a. keine derartige eindeutige Rangfolge festlegen kann, sondern daß vielmehr von folgender Trade-off-Beziehung ausgegangen werden muß:

$$(7a) \quad a_K > a_M \text{ und } P_M > P_K$$

oder

$$(7b) \quad a_K < a_M \text{ und } P_M < P_K$$

(vgl. Abschnitt 4). D.h. entweder wird im Konkurrenzfall mehr für die kleine Verbesserung der Umweltqualität in der 1. Periode getan als im Monopolfall, was aber dann bewirkt, daß im Konkurrenzfall die Wahr-

scheinlichkeit für die drastische Qualitätsverbesserung geringer ist als im Monopolfall, oder umgekehrt. Offensichtlich ist also die eine Marktform der anderen (*ceteris paribus*) nicht eindeutig überlegen.

- 2) Wenn der Staat durch direkte oder indirekte Maßnahmen versuchen möchte, auf die Gewinnsituation der Inkumbent-Firma I in Periode 1 Einfluß zu nehmen, dann stellt sich die Frage, wie derartige, im Modell durch  $y_1$  erfaßte Veränderungen das Gesamtergebnis beeinflussen. Wir werden in Abschnitt 5 zeigen, daß Erhöhungen von  $y_1$  in beiden Marktformen in dieselbe Richtung wirken.

Es ergibt sich jedoch auch hier ein Trade-off: die Erhöhung der Anreize der 1. Periode führt zu einer Verbesserung (rsp. Verschlechterung) der Umweltqualität des in dieser Periode produzierten Gutes, aber gleichzeitig zu einer Verringerung (rsp. Erhöhung) der Wahrscheinlichkeit für die drastische Verbesserung in der 2. Periode. In welche Richtung diese Wirkungen gehen, hängt davon ab, wie die Veränderung von  $y_1$  die Grenzprofite (in Abhängigkeit von  $a$ ) der 1. Periode beeinflusst; sind diese Wirkungen beispielsweise positiv, so erhält man durch Erhöhung von  $y_1$  zwar den gewünschten Effekt für die 1. Periode, handelt sich dabei aber einen negativen Nebeneffekt für die 2. Periode ein.

Konkret ergeben sich die folgenden Vorzeichenbeziehungen

$$(8a) \quad \text{sign } \frac{dP_M}{dy_1} = \text{sign } \frac{dP_K}{dy_1} = - \text{sign } \frac{da_M}{dy_1} = - \text{sign } \frac{da_K}{dy_1}$$

$$(8b) \quad \text{sign } \frac{da_M}{dy_1} = \text{sign } \frac{\delta^2}{\delta y_1 \delta x_2} \Pi(y_1, a_M)$$

- 3) Der dritte wichtige Fragenkomplex, der behandelt werden wird, betrifft die Wirkungen von Maßnahmen zur Verbesserung der Gewinnsituation in der 2. Periode, d.h. zur Erhöhung von  $\Pi(y_2)$  durch staatliche Einflußnahme auf den Profitparameter  $y_2$ . Wir zeigen in Abschnitt 6: Eine Erhöhung von  $y_2$  führt zu einer Verringerung der Innovationsaktivität  $a$  in beiden Marktformen, also  $da_M/dy_2 < 0$  und  $da_K/dy_2 < 0$ . Eindeutig positiv wirkt sich eine Erhöhung von  $y_2$  im Monopolfall auf die Innovationswahrscheinlichkeit  $P_M$  aus, ( $dP_M/dy_2 > 0$ ).

Im Konkurrenzfall hingegen ist "Vorsicht geboten". Wir werden an einem vereinfachten, nicht unplausiblen Beispiel demonstrieren, daß hier eine Erhöhung von  $y_2$  u.U. genau den gegenteiligen Effekt haben kann, nämlich zu einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit für die Einführung des neuen umweltfreundlichen Produktes. Und zwar kann eine Erhöhung von  $y_2$  die Inkumbent-Firma zu einer solchen Steigerung der Vorbereitungsmaßnahmen  $x_{1K}$  führen, daß sich zwar insgesamt  $p(x_{1K}, x_{2K})$  erhöht, jedoch für den potentiellen Konkurrenten Markteintritt dadurch nicht mehr profitabel ist, so daß insgesamt  $P_K$  gegenüber der Ausgangssituation sinkt.

Im zunächst folgenden Abschnitt 3 werden die wichtigsten formalen Annahmen und Zusammenhänge des Modells aufgeführt, auf denen die genannten Modellergebnisse beruhen. (Die Beweise dieser Aussagen werden im Appendix nachgeholt).

### 3. DIE MODELLANNAHMEN UND DIE WICHTIGSTEN FOLGERUNGEN

#### 3.1. DER ANNAHMENKATALOG

a) Der Variationsbereich jeder der im Modell auftretenden Variablen  $a, x, x_1, x_2, z, y_1, y_2$  und  $e$  sei die Menge der nichtnegativen reellen Zahlen.

b) Die Profitfunktionen  $\Pi(y_1, a)$ ,  $\Pi(y_2)$ , die Kostenfunktion  $K(a)$  und die Wahrscheinlichkeitsfunktionen  $p(x_1, x_2)$  resp.  $q(z)$  seien zweimal stetig differenzierbar.

c) Zur Vereinfachung setzen wir

$$\Pi(0, a) \equiv a \quad \text{und} \quad \Pi(y_2) = y_2$$

(dies bedeutet für die hergeleiteten Aussagen nur unwesentliche Einschränkungen).

d) Für die Profitfunktion  $\Pi(y_1, a)$  und die Kostenfunktion  $K(a)$  gelten die üblichen Eigenschaften

$$\frac{\delta \Pi}{\delta y_1} > 0, \quad \frac{\delta \Pi}{\delta a} > 0, \quad K'(a) > 0,$$

$$\frac{\delta^2 \Pi}{\delta a^2} < 0, \quad K''(0) > 0$$

Wir benützen im folgenden die Nettogewinnfunktion  $\Pi^N(y_1, a) := \Pi(y_1, a) - K(a)$ .

e) Für die Wahrscheinlichkeitsfunktionen gelte

$$0 < q'(z) < 1 \quad \forall \quad z > 0,$$

$$q(0) = 0, \quad \lim_{z \rightarrow \infty} q(z) = 1$$

$$q'(z) > 0, \quad q''(z) < 0$$

$$p(0, 0) = 0, \quad \lim_{x_2 \rightarrow \infty} p(x_1, x_2) = 1 \quad \forall \quad x_1$$

$$\frac{\delta p}{\delta x_i} > 0 \quad (i=1, 2), \quad \frac{\delta^2 p}{\delta x_i^2} < 0 \quad \text{für} \quad x_1, x_2 > 0$$

Diese Annahmen sprechen für sich und erscheinen plausibel. Man beachte, daß die Wahrscheinlichkeitsfunk-

tionen des Inkumbent im Monopolfall und des Entrant im Konkurrenzfall identisch sind.

### 3.2. DAS LÖSUNGSVERFAHREN

- a) Im Monopolfall wird unterstellt, daß sich  $a_M$  und  $x_M$  als Lösung des Maximierungsproblems

$$\max_{a, x} w_I(a, x) = \Pi^N(y_1, a) + q(x)y_2 + (1-q(x))a - x$$

ergibt, und daß diese Lösung ein inneres Optimum darstellt, so daß sie sich als Lösung der folgenden beiden Gleichungen schreiben läßt

$$(9a) \quad \frac{\delta \Pi^N}{\delta a}(y_1, a_M) + (1-q(x_M)) = 0$$

$$(9b) \quad q'(x_M)(y_2 - a_M) - 1 = 0$$

Für spätere Zwecke ist es nützlich, die folgende äquivalente Charakterisierung von  $(a_M, x_M)$  zur Verfügung zu haben.

Für jedes  $a$  bezeichne  $x^*(a)$  die Lösung des Maximierungsproblems der 2. Periode

$$\max_x [q(x)y_2 + (1-q(x))a - x]$$

charakterisiert durch die Bedingung 1. Ordnung

$$(10) \quad q'(x^*(a))(y_2 - a) - 1 = 0$$

Damit erhält man  $a_M$  als Lösung

$$a_M = \arg \max_a \bar{w}_I(a)$$

mit

$$(11) \quad \bar{w}_I(a) := w_I(a, x^*(a)),$$

charakterisiert durch die Gleichung

$$(12) \quad \frac{\delta \Pi^N}{\delta a} (y_1, a_M) + (1 - q(x^*(a_M))) = 0$$

Aus (10) ergibt sich offensichtlich (unter Verwendung von  $q'' < 0$ )

$$(13) \quad \frac{dx^*}{da} < 0$$

d.h. eine Erhöhung der F&E-Aufwendungen  $a$  des Inkumbent in der 1. Periode führt im Monopolfall dazu, daß Firma I sich in Periode 2 weniger intensiv um die Erlangung des Patents für das umweltfreundliche Produkt bemüht.

b) Im Konkurrenzfall muß ein mehrstufiges Spiel gelöst werden. Hierbei verwenden wir das Lösungskonzept eines teilspielperfekten Gleichgewichtspunkts, d.h. das Spiel wird durch Rückwärtsinduktion gelöst. Dieses Verfahren wird nun etwas mehr im Detail beschrieben.

ba) Für gegebenes  $(x_1, a)$  und gegebene IN-Entscheidung muß der Nash-Gleichgewichtspunkt  $(x_2^{IN}(x_1, a), z^{IN}(x_1, a))$  des Patentrennens zwischen I und E in Periode 2 bestimmt werden. Unsere Annahmen, speziell 3.1e), garantieren die Existenz eines solchen Gleichgewichts. Wir unterstellen im folgenden, daß ein eindeutiger GP existiert,<sup>5)</sup> und sich dieser als innere Lösung durch folgendes Gleichungssystem charakterisieren läßt:

$$(14a) \quad \frac{\delta p}{\delta x_2} (1 - q(z))(y_2 - a) - 1 = 0$$

---

5) Hinreichend für die eindeutige Existenz des Gleichgewichtspunkts sind die Relation

$$(15) \quad |D| > 0$$

und zusätzliche Regularitätsannahmen. Hierbei bezeichnet  $|D|$  die Determinante  $\delta^2 p / \delta x_2^2 (1 - q(z))(1 - p(\cdot)) q''(z) - (\delta p / \delta x_2 q'(z))^2$ ; vgl. näher den Appendix.

$$(14b) \quad q'(z)(1-p(x_1, x_2))y_2 - 1 = 0$$

Hierbei beschreibt (14a) die Reaktionskurve  $x_2 = R_I(z)$  des Inkumbent und (14b) die Reaktionskurve  $z = R_E(x_2)$  des Entrant.

Wir halten für spätere Zwecke fest (vgl. Appendix, Abschnitt 2)

(16) Für zunehmendes  $a$  verschiebt sich  $R_I(\cdot)$  nach unten, während  $R_E(\cdot)$  unverändert bleibt

$$(17) \quad \frac{dx_2^{IN}}{da} < 0, \quad \frac{dz^{IN}}{da} > 0$$

Im folgenden benützen wir zur Kennzeichnung der Gleichgewichtsprofite aus dem Patentrennen bei gegebenem  $(x_1, a)$  und bei IN die Bezeichnungen

$$(19a) \quad \bar{W}_I^{IN}(a, x_1) := W_I^{IN}(a, x_1, x_2^{IN}(a, x_1), z^{IN}(a, x_1))$$

$$(19b) \quad \bar{W}_E(a, x_1) := W_E(x_1, x_2^E(a, x_1), z^E(a, x_1))$$

bb) Als nächstes betrachten wir das andere Teilspiel, welches bei gegebenem  $(x_1, a)$  und bei gegebener OUT-Entscheidung der Firma E darin besteht, daß der Profit der Firma E gleich null ist, während die Firma I praktisch wie im Monopolfall (bei der stufenweisen Charakterisierung) zu gegebenem  $(x_1, a)$  eine optimale F&E-Aufwendung  $x_2$  zum Erwerb des Patents treffen muß. Es sei

$$(20) \quad x_2^{0UT}(a, x_1) := \arg \max_{x_2} W_I^{0UT}(a, x_1, x_2)$$

Wir setzen wiederum voraus, daß diese Lösung ein inneres Optimum darstellt, so daß sie sich (analog zu (10)) durch die Gleichung

$$(21) \quad \frac{\delta p}{\delta x_2}(x_1, x_2^0(x_1, a))(y_2 - a) - 1 = 0$$



charakterisieren läßt. Hieraus läßt sich (unter Verwendung von  $\delta^2 p / \delta x_2^2 < 0$ ) herleiten:

$$(22) \quad \frac{\delta x_2^{OUT}}{\delta a} < 0; \quad (\text{vgl. (13)})$$

$$(23) \quad \text{sign} \frac{\delta x_2^{OUT}}{\delta x_1} = \text{sign} \frac{\delta^2 p}{\delta x_1 \delta x_2} .$$

Der optimale Profit der Firma I bei gegebenem  $(x_1, a)$  und bei OUT ist damit durch

$$(24) \quad \bar{W}_I^{OUT}(a, x_1) := W_I^{OUT}(a, x_1, x_2^{OUT}(a, x_1))$$

gegeben.

bc) Nun läßt sich determinieren, wie sich Firma E bei gegebenem  $(x_1, a)$  zwischen IN und OUT entscheidet. Offensichtlich gilt:

$$(25) \quad \left[ \begin{array}{l} d_E(x_1, a) = \text{IN resp. OUT, genau dann wenn} \\ - \\ W_E(a, x_1) > 0 \quad \text{resp.} \quad \leq 0 \end{array} \right.$$

Wir setzen

$$(26) \quad x_2^*(a, x_1) := \left[ \begin{array}{l} x_2^{OUT}(a, x_1), \text{ falls } \bar{W}_E(a, x_1) \leq 0 \\ \text{IN} \\ x_2(a, x_1), \text{ falls } W_E(a, x_1) > 0 \end{array} \right.$$

d.h.  $x_2^*$  beschreibt für gegebenes  $(a, x_1)$  die optimale Wahl der F&E-Aufwendung von Firma I in Periode 2. Schließlich sei der zugehörige optimale Profit durch

$$(27) \quad \bar{W}_I(a, x_1) := W_I(a, x_1, x_2^*(a, x_1))$$

gegeben.

bd) Die Gesamtlösung  $(a_K, (x_{1K}, x_{2K}), z_K, d_E)^6$  des Konkurrenzfalles läßt sich damit wie folgt kennzeichnen:

---

6) Hierbei steht  $d_E$  für die optimale Entscheidung zwischen IN und OUT gemäß (25).

$$(28) \quad (a_K, x_{1K}) = \arg \max_{a, x_1} \bar{W}_I(a, x_1)$$

$$(29) \quad d_E = \begin{cases} \text{IN, falls } \bar{W}_E(a_K, x_{1K}) > 0 \\ \text{OUT, falls } \bar{W}_E(a_K, x_{1K}) \leq 0 \end{cases}$$

$$(30) \quad z_K = \begin{cases} 0, \text{ falls } d_E = \text{OUT} \\ z^{IN}(a_K, x_{1K}) \text{ falls } d_E = \text{IN} \end{cases}$$

$$(31) \quad x_{2K} = \begin{cases} x_2^{OUT}(a_K, x_{1K}), \text{ falls } d_E = \text{OUT} \\ x_2^{IN}(a_K, x_{1K}), \text{ falls } d_E = \text{IN} \end{cases}$$

Falls  $(a_K, x_{1K})$  eine innere Lösung von (28) ist, und der zugehörige Lösungspfad zu  $d_E = \text{IN}$  führt, so erhält man die folgenden Bestimmungsgleichungen für  $(a_K, x_{1K})$  (unter Berücksichtigung von (14)):

$$(32a) \quad \frac{\delta \Pi^N}{\delta a} (y_1, a_K) + (1-p(x_{1K}, x_{2K}))(1-q(z_K)) - q'(z_K)(p(x_{1K}, x_{2K})y_2 + (1-p(x_{1K}, x_{2K}))a) \frac{\delta z^{IN}}{\delta a} = 0$$

$$(32b) \quad -1 + \frac{\delta p}{\delta x_1} (1-q(z_K))(y_2 - a) - q'(z_K)(p(x_{1K}, x_{2K})y_2 + (1-p(x_{1K}, x_{2K}))a) \frac{\delta z^{IN}}{\delta x_1} = 0$$

Ist dagegen  $(a_K, x_{1K})$  eine innere Lösung von (28) und führt der zugehörige Lösungspfad zu  $d_E = \text{OUT}$ , so lauten die Bestimmungsgleichungen (unter Berücksichtigung von (21)):

$$(33a) \quad \frac{\delta \Pi^N}{\delta a} (y_1, a_K) + (1-p(x_{1K}, x_{2K})) = 0$$

$$(33b) \quad -1 + \frac{\delta p}{\delta x_1} (y_2 - a) = 0$$

#### 4. DER TRADEOFF ZWISCHEN DEN INNOVATIONSAKTIVITÄTEN $(a_K, p_K)$ UND $(a_M, p_M)$

Um zu untersuchen, ob der Konkurrenzfall dem Monopolfall eindeutig überlegen oder unterlegen in Bezug auf die Innovationsaktivitäten der 1. und 2. Periode ist, ist es sinnvoll, im Konkurrenzfall von einem Lösungspfad auszu-

gehen, bei welchem sich Firma E für  $d_E = IN$  entscheidet, d.h. wo es in Periode 2 zu einer echten Konkurrenz um das Patent für das umweltfreundliche Produkt kommt. Da es im folgenden nicht um die Diskussion der bereits in Periode 1 getätigten F&E-Aufwendungen  $x_{1K}$  geht, unterdrücken wir in diesem Abschnitt das Argument  $x_1$  in der Erfolgswahrscheinlichkeitsfunktion, d.h. wir setzen jetzt

$$(34) \quad p(x_{2K}) := p(x_{1K}, x_{2K})$$

Wir gehen weiter davon aus, daß  $a_K$  und  $a_M$  innere Lösungen sind, so daß also  $a_M$  durch

$$(35) \quad \frac{\delta \pi_N}{\delta a} (y_1, a_M) + (1 - P_M) = 0$$

und  $a_K$  durch

$$(36)^7) \quad \frac{\delta \pi_N}{\delta a} (y_1, a_K) + (1 - P_K) - Q = 0$$

gegeben ist. Hieraus kann die folgende Proposition abgeleitet werden

**Proposition 1:** Falls  $a_K > a_M$  ist, so wird  $P_M > P_K$  sein.

**Beweis:** Da  $a_M$  bzw.  $a_K$  ein inneres Optimum der reduzierten

Profitfunktion  $\bar{w}_I$  (aus (11)) bzw.  $\bar{W}_I$  (aus (27))

ist, folgt aus  $a_K > a_M$  die Relation

$$(36) \quad \frac{d}{da} \bar{w}_I(a_K) \leq 0 = \frac{d}{da} \bar{W}_I(a_K)$$

bzw.

$$(37) \quad 1 - q(x^*(a_K)) \leq 1 - P_K - Q$$

---

7)  $P_K = 1 - (1 - p(x_{2K}))(1 - q(z_K))$  und  $Q$  der letzte Term in (32a).

Da  $Q$  wegen (17) positiv und wegen (13)  $x^*(a_M) > x^*(a_K)$  ist, folgt aus (37) und  $q' > 0$  die behauptete Relation  $P_M > P_K$ .

Damit ist ein Teil des Tradeoffs zwischen der Aktivität zur geringfügigen Verbesserung der Umweltqualität in Periode 1 und der Wahrscheinlichkeit für die Einführung des neuen umweltfreundlichen Produkts in Periode 2 aufgezeigt. Soll letztere im Konkurrenzfall höher sein als im Monopolfall, so wird erstere im Konkurrenzfall niedriger sein als im Monopolfall.

Diese Konklusion läßt zwar rein logisch noch Raum für die Möglichkeit  $a_M > a_K$  und  $P_M > P_K$ , also die eindeutige Überlegenheit des Monopolfalls. Doch muß vor allzu großen Hoffnungen gewarnt werden; denn z.B. für den Spezialfall von Erfolgswahrscheinlichkeitsfunktionen

$$(38)^8) \quad p(x_2) = \frac{x_2}{1+x_2}, \quad q(z) = \frac{z}{1+z}$$

erhalten wir

Proposition 2: Gilt für die Erfolgswahrscheinlichkeiten (38), so erhält man folgende Relationen

$$(39a) \quad a_K < a_M$$

$$(39b) \quad P_K > P_M$$

Der Beweis erfordert etwas mühsame Rechenarbeit und wird daher in den Appendix verschoben.

---

8) Es ist leicht nachprüfbar, daß diese Spezifizierungen mit den Annahmen 3.1.e) verträglich sind.

## 5. GEWINNANREIZE FÜR ETABLIERTE UNTERNEHMEN ZUR VERBESSE- RUNG DER GEGENWÄRTIGEN UMWELTQUALITÄT

In diesem und dem nächsten Abschnitt soll untersucht werden, in welche Richtung Erhöhungen der Gewinnanreize  $y_1$  resp.  $y_2$  das Gesamtergebnis beeinflussen. Zunächst wird der Effekt einer Variation des Parameters  $y_1$  analysiert.

Wir beginnen mit dem Monopolfall, und verwenden hierzu die Charakterisierung der Lösung  $(a_M, x_M)$  durch die Bedingungen 1. Ordnung (9a) und (9b). Auf die übliche Art und Weise erhält man (s. Appendix, Abschnitt 1)):

$$(40a) \quad \frac{da_M}{dy_1} = - \frac{q''(x_M)(y_2 - a_M)}{|B|} \frac{\delta^2 \Pi}{\delta y_1 \delta a}$$

$$(40b) \quad \frac{dx_M}{dy_1} = - \frac{q'(x_M)}{|B|} \frac{\delta^2 \Pi}{\delta y_1 \delta a}$$

Hierbei ist  $|B|$  die Determinante der Hessematrix von  $w_1$  an der Optimumstelle; somit ist  $|B|$  positiv. Desweiteren ist  $q'' < 0$  und  $q' > 0$ . Da  $P_M = q(x_M)$ , ist  $dP_M/dy_1 = q'(x_M)dx_M/dy_1$ . Dies führt zu

Proposition 3: Im Monopolfall sind die Wirkungsrichtungen einer Veränderung von  $y_1$  durch

$$(41a) \quad \text{sign} \frac{da_M}{dy_1} = \text{sign} \frac{\delta^2 \Pi}{\delta y_1 \delta a}, \text{ und}$$

$$(41b) \quad \text{sign} \frac{dP_M}{dy_1} = - \text{sign} \frac{\delta^2 \Pi}{\delta y_1 \delta a}$$

gegeben.

Im Konkurrenzfall beschränken wir uns - um hier die wesentlichen Punkte herauszuarbeiten - auf den wichtigen Fall unseres Modells, bei dem die Firma I nur eine strategische Variable (nämlich die Variation von  $a$ ) in

ihr Kalkül einbezieht.<sup>9)</sup> Außerdem unterstellen wir eine solche Konstellation des Profitparameter und der Eintrittskosten für Firma E, daß wir einen Lösungspfad mit  $d_E = IN$  als optimale Entscheidung erhalten, und daß die zugehörigen Variablen-Werte  $a_K$ ,  $x_{2K}$  und  $z_K$  allesamt innere Lösungen darstellen.

In der folgenden Proposition wird dann zusammenfassend ausgesagt, welche Effekte auf  $a_K$  und  $P_K$  bei Erhöhung von  $y_1$  zu erwarten sind.

Proposition 4: Im Konkurrenzfall sind die Wirkungsrichtungen einer Veränderung von  $y_1$  durch

$$(42a)^{10)} \quad \text{sign} \frac{da_K}{dy_1} = \text{sign} \frac{\delta^2 \Pi}{\delta y_1 \delta a}, \text{ und}$$

$$(42b) \quad \text{sign} \frac{dP_K}{dy_1} = \text{sign} \frac{\delta^2 \Pi}{\delta y_1 \delta a} \cdot \text{sign} [(1-q(z_K))q''(z_K) + (q'(z_K))^2]$$

Es ist uns nicht gelungen, das Vorzeichen des Ausdrucks in der eckigen Klammer in (42b) allgemein festzulegen, doch haben Beispielrechnungen etwa für  $q(z) = z/(1+z)$  ein negatives Vorzeichen ergeben, so daß wir starke Vermutungen für folgende Relation haben

$$(42b)^* \quad \text{sign} \frac{dP_K}{dy_1} = - \text{sign} \frac{\delta^2 \Pi}{\delta y_1 \delta a}$$

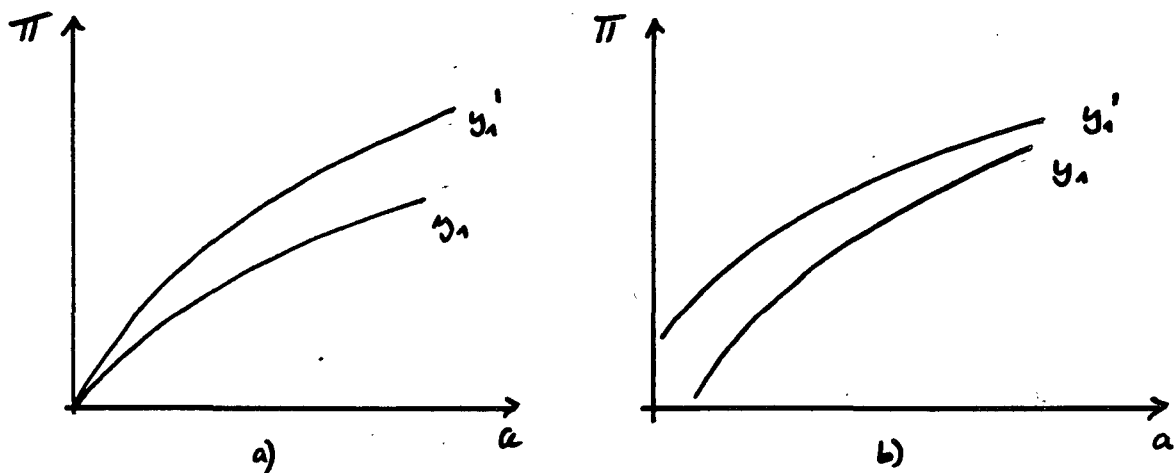
Der Beweis von Proposition 4 wird in den Appendix, Abschnitt 4, verschoben.

---

9) Wir unterdrücken dann  $x_1$  in der Erfolgswahrscheinlichkeit des Inkumbent, d.h. schreiben wieder  $p(x_2) = p(x_1, x_2)$ . Es ist aber zugelassen, daß für  $x_2 = z$  gilt:  $p(x_2) > q(z)$ , d.h. daß I mit einem quasi "natürlichen" technologischen Vorsprung ins Patentrennen geht.

10) Die Beziehung (42a) gilt auch im allgemeinen Modell, d.h. auch wenn  $x_1$  als strategische Variable des Inkumbent in Betracht gezogen wird.

Im Monopolfall und (bei Gültigkeit von (42b)\*) auch im Konkurrenzfall steht eine der Förderung von Umweltqualität verpflichtete Wirtschaftspolitik vor einem gewissen Dilemma, wenn durch Gewinnanreize in der 1. Periode steuernd eingegriffen werden soll. Denn entweder, nämlich wenn für die Bruttoprofite  $\Pi(y_1, a)$  die in Figur 3a) unterstellte Situation mit  $y_1' > y_1$  vorliegt,



Figur 2: Mögliche Verläufe der Profitfunktion in Periode 1 bei verschiedenen Gewinnanreizen  $y_1$  resp.  $y_1'$ ,  $y_1' > y_1$ .

dann reagieren die F&E-Aufwendungen  $a$  der Firma I in Periode 1 für die "kleine Verbesserung" positiv auf eine Erhöhung von  $y_1$ . Dies führt jedoch zwangsläufig zu einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit, daß in Periode 2 mindestens eine Firma das umweltfreundliche Produkt auf den Markt bringt. Mit diesem Dilemma würde man intuitiv wohl auch rechnen. Unsere Herleitungen haben aber auch gezeigt, daß es genau umgekehrt laufen kann: dann nämlich, wenn die Situation aus Figur 3b) vorliegt. Interes-

sant dürfte hierbei u.a. sein, daß es u.U. möglich ist, durch Erhöhung der Gewinnanreize in der 1. Periode die F&E-Anstrengungen der 2. Periode in eine positive Richtung zu lenken.

Im nächsten Abschnitt soll nun untersucht werden, ob man generell davon ausgehen kann, daß verstärkte Gewinnanreize in der 2. Periode zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit für die Einführung des umweltfreundlichen Produkts führt.

## 6. GEWINNANREIZE ZUR "SCHNELLEREN" INNOVATION UND EINFÜHRUNG NEUER UMWELTVERTRÄGLICHER PRODUKTE UND TECHNOLOGIEN

Es entspricht sicher traditionellem ökonomischen Denken, daß bei Erhöhung der Profitanreize in der 2. Periode sich die F&E-Anstrengungen der Firmen, die versuchen in einem Patentrennen durch entsprechende Einflußnahme auf die Erfolgswahrscheinlichkeiten ihren erwarteten Gewinn zu maximieren, verstärken. Tatsächlich finden wir diese Intuition im Monopolfall auch bestätigt.

Proposition 5: Im Monopolfall gilt für die Wirkungsrichtungen der Innovationsaktivitäten  $a_M$  und  $P_M$

$$(43a) \quad \frac{da_M}{dy_2} < 0 \quad \text{und}$$

$$(43b) \quad \frac{dP_M}{dy_2} > 0$$

Beweis: Im Appendix (Abschnitt 1) wird gezeigt

$$(44a) \quad \frac{da_M}{dy_2} = - \frac{q'(x_M)}{|B|}$$

$$(44b) \quad \frac{dx_M}{dy_2} = \frac{\frac{\delta^2 \pi^N}{\delta a^2} q'(x_M)}{|B|}$$



Hierbei ist wieder wie in (40)  $|B|$  die Determinante der Hesse-Matrix von  $w_1$ , also eine positive Zahl. Somit folgt aus (44a) unmittelbar (43a). Zum Nachweis von (43b) zerlegen wir

$$(45) \quad \frac{dP_M}{dy_2} = q'(x_M) \left( \frac{\delta x_M}{dy_2} + \frac{\delta x_M}{\delta a} \frac{da_M}{dy_2} \right)$$

Nach (13) ist  $\delta x_M / \delta a$  negativ, und daher folgt aus (44a,b) sofort (43b).

Im Konkurrenzfall sind aber die Dinge nun nicht mehr so einfach. Zwar läßt sich für den in Abschnitt 5 betrachteten Spezialfall, wo die vorbereitenden F&E-Anstrengungen der Firma I in Periode 1 keine strategische Variable darstellen, zumindest mit den Erfolgswahrscheinlichkeiten gemäß (38) das zu Proposition 5 analoge Ergebnis zeigen. Dieses intuitiv zu vermutende Resultat muß sich aber keineswegs dann einstellen, wenn die etablierten Firmen durch "F&E-Erfahrung" in der ersten Periode ihre Erfolgswahrscheinlichkeit der zweiten Periode erhöhen können. Dieses Phänomen, also die Reduktion zukünftiger F&E-Grenzkosten durch schon getätigte F&E-Anstrengung, besitzt zweifellos empirische Evidenz und läßt sich nun in unserem Modellrahmen einfach dadurch erfassen, daß  $x_1$  als strategische Variable ebenfalls berücksichtigt wird. Gerade durch eine Festlegung ("*commitment*") auf ein hohes  $x_1$  - als Reflex auf eine Erhöhung von  $y_2$  -, welches *ceteris paribus* die Erfolgswahrscheinlichkeit von I im Patentrennen erhöht, kann evt. die Firma E vom Markteintritt abgeschreckt werden, was bei dem geringeren  $y_2$  wegen dem damit verbundenen geringeren  $x_1$  nicht der Fall war. Es kann dann zumindest nicht mehr ausgeschlossen werden, daß bei geringerem  $y_2$  das Konkurrenz-Patentrennen zu einer höheren Wahrscheinlichkeit  $P_K$  führt als das Einzelrennen des Inkumbent bei erhöhtem  $y_2$ .

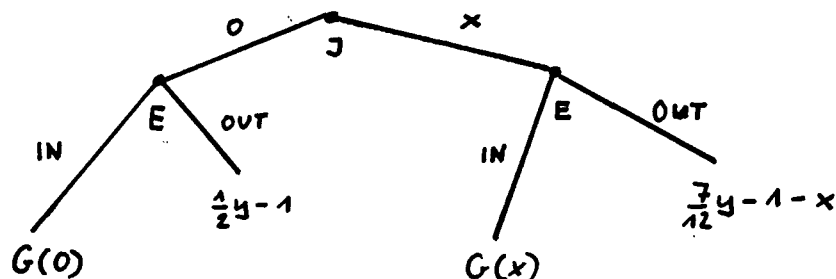
Nun dürfte klar sein, daß es i.a. schwierig ist, die verschiedenen gegenläufigen Effekte quantitativ so zu bestimmen, daß sich ein eindeutiger Gesamteffekt konstatieren läßt. Da es aber unser Anliegen dieses Artikels ist, auf mögliche "Streiche" aufmerksam zu machen, die bei strategischen Konkurrenzsituationen der "üblichen ökonomischen Intuition" gespielt werden können, wollen wir eine entsprechende Analyse zumindest für einen Spezialfall durchführen.

Zu diesem Zweck gehen wir zu einer diskreten Formulierung unseres Modells über, und zwar folgendermaßen: Statt 3.1.a) wird nun angenommen

$$\begin{aligned} a &\equiv 0, & y_1 &\equiv 0, & \Pi^N(y_1, a) &= 0 \\ x_1 &\in \{0, x\}, & x_2, z &\in \{0, 1\} \\ q(0) &= 0, & q(1) &= 1/2 \\ p(0, 0) &= 0, & p(0, 1) &= 1/2 \\ p(x, 0) &= 0, & p(x, 1) &= 7/12 \\ e &= 1 \end{aligned}$$

Statt  $y_2$  schreiben wir  $y$ , und nehmen an, daß  $y$  genügend groß ist, so daß es im OUT-Fall für den Inkumbent immer profitabel ist,  $x_2 = 1$  zu wählen.

Dann läßt sich der Spielbaum aus Figur 1 so vereinfachen:



Figur 3: Der Spielbaum der speziellen Konkurrenzsituation

Hierbei ist  $G(0)$  das dem Patentrennen entsprechende Bimatrix-Spiel

$$G(0) \equiv z^I$$

E \ I		$x_2^I$	
		0	1
0			-1
		0	$1/2y-1$
1			$1/4y-2$
		0	$1/4y-1$

und  $G(x)$  das analoge Patentrennen-Bimatrix-Spiel

$$G(x) \equiv z^I$$

E \ I		$x_2^I$	
		0	1
0			-1
		-x	$7/12y-1-x$
1			$5/24y-2$
		-x	$7/24y-1-x$

Nun ist sowohl für

$$y = y' := 9$$

als auch für

$$y = y'' := 47/5$$

der Nash-GP sowohl von  $G(0)$  als auch von  $G(1)$  durch

$$z^{IN} = 1, \quad x_2^{IN} = 1$$

gegeben.

Bei  $y = y'$  und auch bei  $y = y''$  ist die entsprechende Auszahlung für die Firma E in  $G(0)$  positiv, und in  $G(x)$  negativ. Also wählt bei  $y = y'$  und bei  $y = y''$  die Firma E bei  $x_1 = 0$  die Entscheidung IN und bei  $x_1 = x$  die Entscheidung OUT. Für I ergeben sich dann

$$\bar{W}_I(x_1 = 0 | y = y') = 9/4 - 1 = 1,25$$

$$\bar{W}_I(x_1 = x | y = y') = 63/12 - 1 - x = 4,25 - x$$

bzw.

$$\bar{W}_I(x_1 = 0 | y = y'') = 47/20 - 1 = 1,35$$

$$\bar{W}_I(x_1 = x | y = y'') = 329/60 - 1 - x$$

Nun läßt sich offensichtlich ein  $x$  finden, nämlich  $x$  mit

$$3 < x < \frac{329}{60} - \frac{47}{20} = \frac{188}{60} = \frac{47}{15}, \text{ so daß die Relationen}$$

$$\bar{W}_I(x_1=0 | y=y') > \bar{W}_I(x_1=x | y=y') \text{ aber}$$

$$\bar{W}_I(x_1=0 | y=y'') < \bar{W}_I(x_1=x | y=y'')$$

bestehen. Für ein solches  $x$  lautet die Lösung dann bei  $y = y'$ :  $x_{1K} = 0$ , IN und  $P_K(y') = 1/2 + 1/2 - 1/4 = 3/4$ , aber bei  $y = y''$ :  $x_{1K} = x$ , OUT und  $P_K(y'') = 7/12$ .

Es ist also denkbar, daß eine Erhöhung des Profitparameters  $y_2$  von  $y'$  auf  $y''$  dazu führt, daß die entsprechende Wahrscheinlichkeit für die Einführung des umweltfreundlichen Patents kleiner wird.

## 7. SCHLUSSBETRACHTUNGEN

Wesentliches Ziel unserer Ausführungen war das Aufzeigen einiger sicherlich nicht a priori intuitiver Wirkungszusammenhänge, die es bei der umweltinnovationsfördernden Gestaltung der Wirtschaftspolitik in marktwirtschaftlichen Systemen zu beachten gilt: Wir demonstrierten, daß durch die Förderung potentieller Konkurrenz eine Tradeoff-Situation zustandekommt. Diese besteht darin, daß "gegenwärtig verfügbare" Umweltinnovationen (also z.B. eine "ganz brauchbare" Entschwefelungsanlage, Katalysatorautos etc.) - im Vergleich zur Situation ohne potentielle Konkurrenz - entweder nun relativ "schneller" eingeführt werden, dafür nun potentiell bessere, "zukünftige"

(also z.B. eine fast 100% reinigende Anlage, ein wasserstoffbetriebenes Auto etc.) nun relativ "langsam" et vice versa. Ursache dieser Ergebnisse sind die möglichen wettbewerbsstrategischen Verhaltensweisen etablierter Unternehmen, die ihre Aktionen in Anbetracht potentieller Konkurrenz verändern - entweder um Markteintritt zu verhindern oder um sich auf neue Konkurrenten "einzurichten". Jene Strategien etablierter Unternehmen generierten auch unser zweites zentrales Ergebnis: Gewinnanreize (gleich welcher Form) müssen nicht dazu führen, daß bestimmte Umweltinnovationen bzw. das "Angehen" neuer Umweltmärkte/-branchen früher stattfindet; auch das Gegenteil kann der Fall sein! Irgendwelche klaren wirtschaftspolitischen Implikationen lassen sich aufgrund der komplexen Tradeoff-Situation bzw. der nicht immer eindeutigen komparativ-statischen Ergebnisse schwerlich finden; ein "fallweises" Vorgehen ist zwar hier angezeigt, doch wegen der sicherlich kaum zu erreichenden vollständigen Information des Staates über Kostenstruktur, technologisches Potential der Unternehmen und vor allem über potentielle Wettbewerber nur sehr schwierig zu bewerkstelligen. Allerdings - und wenigstens das sollte durch unsere Erarbeitungen deutlich werden - ist es eben vermehrt anzustreben, das "Allheilmittel" "Förderung von Konkurrenz" oder das von vielen Marktwirtschaftlern vielleicht nicht geliebte, aber dennoch ob scheinbar keiner Alternativen akzeptierte Lenkungsinstrument "Gewinnanreize" nicht aufgrund naiver ökonomischer Überlegungen a priori gutzuheißen.

Selbstverständlich gelten die hier aufgezeigten Wirkungszusammenhänge nicht nur für den Bereich von Umweltinnovationen. Verbesserte Umweltgüter oder -technologien sind ja auch nur "eine Kategorie" im innovativen Spektrum ei-

nes ökonomischen Systems. Die hier abgeleiteten Ergebnisse hätten somit auch prinzipiell vor anderen innovations- bzw. investitionstheoretischen Fragestellungen u.U. Bestand. Charakteristisch für den Umweltbereich erscheint uns allerdings gerade der Versuch, durch Subventionen der Unternehmen (direkt oder indirekt über die Verbraucher) ökologische Verbesserungen zu forcieren. Unter diesem Aspekt erhalten unsere diesbezüglichen Ergebnisse wiederum eine spezifische Komponente.

Zu erwähnen sind noch zwei weitere Resultate: Vereinfachend wurde hier zwar von einer ansässigen Firma und einem Entrant ausgegangen. Die wesentlichen strategischen Zusammenhänge und Resultate lassen sich jedoch auch auf mehrere Inkumbents/Entrants übertragen: Auch hier haben ja etablierte Firmen ein Interesse, wenn nicht die Monopolsituation so aber ihren Marktanteil zu behaupten! Auch hier treten nach unseren Überlegungen u.U. die abgeleiteten "konstraintuitiven" Effekte hervor. Schließlich ließe sich unser Grundmodell auch entsprechend anderen relevanten umweltökonomischen Problemsituationen uminterpretieren: Angenommen die ansässige Firma produziere in der ersten Periode ("in der Gegenwart") nun ein auf jeden Fall umweltschädigendes Produkt bzw. mit einer umweltschädigenden Technologie; prinzipiell stünde nun für die Zukunft die Idee eines umweltverträglichen Produkts bzw. einer umweltverträglichen Technologie zur Verfügung, welche entweder von der etablierten oder von der Outsider-Firma hergestellt bzw. implementiert werden könnte. Schränkt der Staat durch Steuern, Umweltzertifikate etc. (dies entspräche einfach einer Senkung von  $y_1$ ) die Produktion des Periode-1-Produktes ein (wie man weiß, ein üblicher Vorgang bzw. aus statischer allokatationstheoretischer Sicht ein üblicher Vorschlag), so verzögert er u.U.

genau damit die Einführung des erwünschten Gutes bzw. der erwünschten Technologie! Die Aussage gilt genau dann, wenn  $\delta^2 \pi / \delta y_1 \delta a < 0$ , also die absoluten Profite bei hohen Optimalwerten der Periode-1-Investition  $a$  durch Steuern weniger sinken als bei niedrigen Werten von  $a$ . Dies wiederum ist z.B. dann der Fall, wenn die etablierte Firma das umweltschädigende Produkt mit "economics of scale" herstellt und mit Hilfe der Investitionsvariablen  $a$  die Produktionskosten und -grenzkosten gesenkt werden können.

#### LITERATUR

- DASGUPTA, P./STIGLITZ, J.E. (1980): Uncertainty, Industrial Structure and the Speed of R&D. *Bell Journal of Economics*, 11, 1-28.
- FUDENBERG, D./TIROLE, (1984): The Fat-Cat Effect, The Puppy-Dog Play, and the Lean and Hungry Look. *AEA Papers and Proceedings*, 74, 2, 361-366.
- LEE, T.K./WILDE, L. (1980): Market Structure and Innovation: A Reformulation. *Quarterly Journal of Economics*, 194, 429-436.
- VÖLKER, R. (1988): Innovationsentscheidungen und Marktstruktur, Kap. VI. Unveröffentlichte Dissertation.

## APPENDIX

In diesem Anhang sollen eine Reihe technischer Details behandelt werden, auf welche im Text Bezug genommen wurde, die dort aber aus darstellerischen Gründen nicht vertieft werden konnten.

## 1. DIE KOMPARATIVE STATIK IM MONOPOLFALL

Ausgangspunkt hierfür sind die Bestimmungsgleichungen für das innere Optimum  $(a_M, x_M)$  der Profitfunktion

$$w_I(a, x) = \pi^N(y_1, a) + q(x)y_2 + (1-q(x))a - x$$

Diese lauten dann<sup>11)</sup>

$$(A.1.) \quad \begin{aligned} (9a) \quad & \frac{\delta \pi^N}{\delta a}(y_1, a_M) + (1-q(x_M)) = 0 \\ (9b) \quad & q'(x_M)(y_2 - a_M) - 1 = 0 \end{aligned}$$

Implizite Differentiation nach  $y_1$  und  $y_2$  führt in Matrix-Darstellung zu

$$(A.2.) \quad \begin{bmatrix} \frac{\delta^2 \pi^N}{\delta a^2}(y_1, a_M) & -q'(x_M) \\ -q'(x_M) & q''(x_M)(y_2 - a_M) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{da_M}{dy_1} & \frac{da_M}{dy_2} \\ \frac{dx_M}{dy_1} & \frac{dx_M}{dy_2} \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} -\frac{\delta^2 \pi^N}{\delta y_1 \delta a}(a_M, y_1) & 0 \\ 0 & -q'(x_M) \end{bmatrix}$$

Bezeichnen wir mit  $B$  die Hessematrix, und mit  $|B|$  deren (positive!) Determinante, so ergeben sich die Formeln

$$(40a) \quad \frac{da_M}{dy_1} = - \frac{\frac{\delta^2 \pi^N}{\delta y_1 \delta a}(a_M, y_1) q''(x_M)(y_2 - a_M)}{|B|}$$

11) Beachte: Aus der 2. Gleichung folgt:  $a_M < y_2$ .



$$(40b) \quad \frac{dx_M}{dy_1} = - \frac{\frac{\delta^2 \pi^N}{\delta y_1 \delta a} q'(x_M)}{|B|}$$

$$(44a) \quad \frac{da_M}{dy_2} = - \frac{q'(x_M)}{|B|}$$

$$(44b) \quad \frac{dx_M}{dy_2} = - \frac{\frac{\delta^2 \pi^N}{\delta a^2} q'(x_M)}{|B|}$$

## 2. ANALYSE DES PATENTRENNENS IM KONKURRENZFALL

Im Hauptteil wurde bei der Behandlung des Konkurrenzfalls stets davon ausgegangen, daß für jede Kombination  $b=(a, x_1)$  von Festlegungen von I in Periode 1 gilt:

(A.3) Es gibt genau einen Nash-GP des Patentrennspiels  $G(b)$  mit den Auszahlungsfunktionen

$$H_I(x_2, z) = (p(x_1, x_2)y_2 + (1-p(x_1, x_2))a)(1-q(z)) - x_2$$

$$H_E(x_2, z) = q(z)(1-p(x_1, x_2))y_2 - z.$$

(A.4) Dieser Gleichgewichtspunkt ist eine innere Lösung, d.h. läßt sich durch das Gleichungssystem

$$(14a) \quad \frac{\delta p}{\delta x_2} (1-q(z))(y_2-a) - 1 = 0$$

$$(14b) \quad q'(z)(1-p(x_1, x_2))y_2 - 1 = 0$$

beschreiben.

(A.5) Die Determinante  $|D|$  der Jacobi-Matrix  $D$  des Gleichungssystems (14) ist positiv.

Es sollen nun hinreichende Bedingungen angegeben werden, welche die wünschenswerten Eigenschaften (A.3), (A.4) und (A.5) garantieren.

Lemma 1: Für die Reaktionsfunktionen  $R_I(\cdot|b)$  und  $R_E(\cdot|b)$

in jedem Spiel  $G(b)$  gelte:

$$(A.6) \quad 0 < R_E(0|b) < \hat{z}(b), \text{ und}$$

$$0 < R_I(0|b) < \hat{x}_2(b)$$

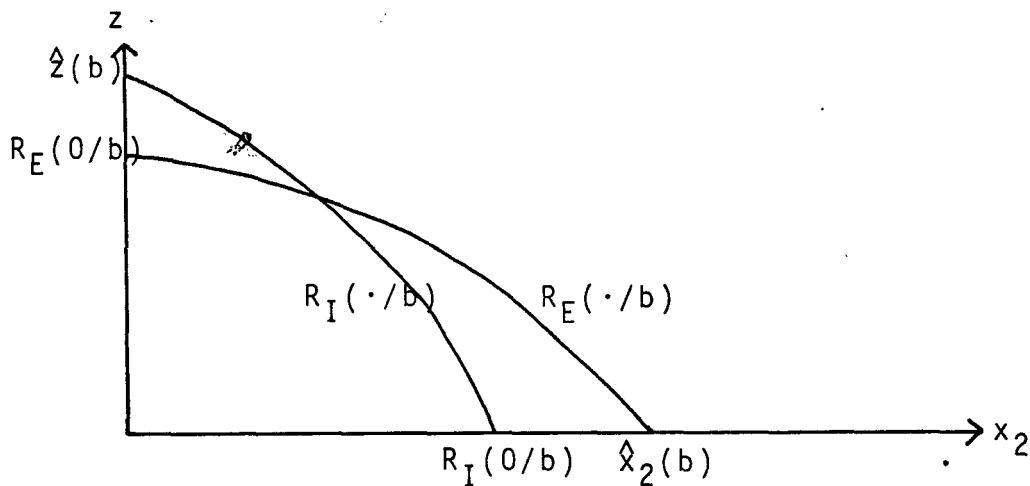
(Hierbei sind  $\hat{z}(b)$  bzw.  $\hat{x}_2(b)$  der kleinste  $z$ - bzw.  $x_2$ -Wert, für welchen  $R_I(z|b)$  resp.  $R_E(x_2|b) = 0$  ist, vgl. Figur 5).

$$(A.7) \quad \left| \frac{\delta^2 p}{\delta x_2^2} \right| (1-p(x_1, x_2)) > \left( \frac{\delta p}{\delta x_2} \right)^2$$

$$|q''(z)|(1-q(z)) > (q'(z))^2$$

Dann sind (A.3), (A.4) und (A.5) erfüllt. Insbesondere sind die Reaktionsfunktionen in

$[0, \hat{z}(b)]$  resp.  $[0, \hat{x}_2(b)]$  strikt abnehmend, und in jedem Schnittpunkt der Reaktionskurven verläuft  $R_I(\cdot|b)$  steiler als  $R_E(\cdot|b)$ .



Figur 4: Die Reaktionskurven im Patentrennen

Beweis: Die Reaktionsfunktionen<sup>12)</sup>  $R_I$  resp.  $R_E$  sind gegeben durch

$$R_E(x_2) = \begin{cases} 0, & x_2 \geq \hat{x}_2 \\ \text{Lösung } z \text{ von (14b); vgl. (A.4)} & \end{cases}$$

$$R_I(z) = \begin{cases} 0, & z \geq \hat{z} \\ \text{Lösung } x_2 \text{ von (14a); vgl. (A.4)} & \end{cases}$$

Die Annahmen 3.1e) garantieren, daß  $R_E$  und  $R_I$  für  $x_2 \leq \hat{x}_2$  und  $z \leq \hat{z}$  strikt abnehmende Funktionen sind; denn es ergibt sich dort aus (14a) resp. (14b)<sup>13)</sup>

$$(A.8) \quad \begin{aligned} R_I'(z) &= p'(R_I(z))q'(z)/p''(R_I(z))(1-q(z)) \\ R_E'(x_2) &= q'(R_E(x_2))p'(x_2)/q''(R_E(x_2))(1-p(x_2)) \end{aligned}$$

Damit folgt aus (A.6), daß sich die Reaktionskurven  $R_E$  und  $R_I$  mindestens einmal im Inneren des Rechtecks  $[0, \hat{x}_2] \times [0, \hat{z}]$  schneiden, d.h. daß es mindestens einen inneren Nash-GP gibt, der sich somit durch das Gleichungssystem (14) charakterisieren läßt.

Sei nun  $(x_2, z)$  mit  $z = R_E(x_2)$  ein Nash-GP. Hierfür gilt wegen (A.7) die Relation

$$(A.9) \quad \frac{p''(x_2)}{p'(x_2)} \frac{q''(R_E(x_2))}{q'(R_E(x_2))} > \frac{p'(x_2)}{1-p(x_2)} \frac{q'(R_E(x_2))}{1-q(R_E(x_2))}$$

Im Zusammenhang mit (A.8) folgt dann, daß

$$R_E'(x_2) > (R_I^{-1})'(x_2) = 1/R_I'(R_I^{-1}(x_2)),$$

d.h. daß  $R_E$  flacher verläuft als  $R_I$ . Also kann es höchstens einen Nash-GP geben.

12) Der Parametervektor  $b$  wird unterdrückt.

13) Wir schreiben  $p'$  und  $p''$  für  $\delta p/\delta x_2$  und  $\delta^2 p/\delta x_2^2$ .

Insgesamt sind somit (A.3) und (A.4) aus (A.6), (A.7) und den Grundannahmen des Modells aus 3.1 hergeleitet.

Die Jacobi-Determinante  $|D|$  des Gleichungssystems (14) lautet mit  $z = R_E(x_2)$

$$|D| = [p''(x_2)(1-q(z))q''(z)(1-p(x_2)) - (p'(x_2)q'(z))^2]y_2(y_2-a)$$

Also folgt aus (A.7) via (A.9) sofort  $D > 0$ ; somit ist auch (A.5) gezeigt.

Bemerkungen: 1) (A.6) ist notwendig für die Existenz eines inneren Nash-GP. Die Bedingung besagt, daß es für beide Firmen im Patentrennen  $G(b)$  optimal ist, eine von Null verschiedene Investition  $x_2$  resp.  $z$  zu tätigen, gegeben daß die jeweils andere Firma eine optimale Investition als Reaktion auf die eigene Nullinvestition vornimmt. - Es dürfte offensichtlich sein, daß somit durch (A.6) nur pathologische Spezialfälle ausgeschlossen sind.

2) (A.7) garantiert in unserem Modell die (globale (!)) "Reaktionskurvenstabilität". Bei Gültigkeit von (A.6) ist (A.7) notwendig für die Eindeutigkeit des (inneren) Nash-GP. Es ist erhellend, festzustellen, daß (A.7) äquivalent zu einer Aussage über die Relationen von Elastizitäten ist. Bezeichnen wir beispielsweise mit  $r(z) = 1-q(z)$  die Wahrscheinlichkeit für Mißerfolg bei einer F&E-Aufwendung in Höhe von  $z$ . Damit läßt sich die 2. Relation in (A.7) ausdrücken als: Die Elastizität von  $r$  ist an jeder Stelle größer als die von  $r'$ .

Lemma 3: Die Annahmen (A.3), (A.4) und (A.5) implizieren

$$(16) \quad \frac{\delta R_I}{\delta a} < 0, \quad \frac{\delta R_E}{\delta a} = 0$$

$$(17) \quad \frac{dx_2^I}{da} < 0, \quad \frac{dz^I}{da} > 0$$

$$(18) \quad \text{sign} \frac{\delta x_2^I}{\delta x_1} = \text{sign} \frac{\delta^2 p}{\delta x_1 \delta x_2} = - \text{sign} \frac{\delta z^I}{\delta x_1}$$

Beweis: Aus (14a) folgt

$$\frac{\delta^2 p}{\delta x_2^2} \frac{\delta R_1}{\delta a} (1-q(z))(y_2-a) - \frac{\delta p}{\delta x_2} (1-q(z)) = 0$$

Wegen  $\delta p / \delta x_2 > 0 > \delta^2 p / \delta x_2^2$  folgt damit die 1. Relation in (16).- Die 2. Relation ergibt sich unmittelbar aus (14b). Zum Beweis von (17) und (18) differenzieren wir (14) implizit nach  $a$  und  $x_1$ . Dies führt in Matrix-Darstellung zu

$$(A.10) \quad D \begin{bmatrix} \frac{dx_2^I}{da} & \frac{dx_2^I}{dx_1} \\ \frac{dz^I}{da} & \frac{dz^I}{dx_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\delta p}{\delta x_2} (1-q(z)) & - \frac{\delta^2 p}{\delta x_1 \delta x_2} (y_2-a) \\ 0 & q'(z) \frac{\delta p}{\delta x_1} y_2 \end{bmatrix}$$

mit

$$D = \begin{bmatrix} \frac{\delta^2 p}{\delta x_2^2} (1-q(z))(y_2-a) & - q'(z) \frac{\delta p}{\delta x_2} (y_2-a) \\ - q'(z) \frac{\delta p}{dx_2} y_2 & q''(z) (1-p(x_1, x_2)) y_2 \end{bmatrix}$$

Hieraus ergibt sich (17), wegen  $|D| > 0$ ,  $q'' < 0 < \delta p / \delta x_2$  und  $q' > 0$ .

Ebenso folgt (18) aus diesen Ungleichungen.

### 3. BEWEIS VON PROPOSITION 2

Die zu beweisende Aussage ist: Falls die Erfolgswahrscheinlichkeiten durch

$$(38) \quad p(x_2) = \frac{x_2}{1+x_2}, \quad q(z) = \frac{z}{1+z}$$

gegeben sind, bestehen die Relationen

$$(39a) \quad a_K < a_M, \quad \text{und}$$

$$(39b) \quad P_K > P_M$$

Beweis:<sup>14)</sup> Bei den speziellen Wahrscheinlichkeitsfunktionen lassen sich die Bestimmungsgleichungen (10) für  $x^*(a)$  und (11) für  $(x_2^I(a), z^I(a))$  explizit lösen, und zwar ergibt sich:

$$(A.11) \quad x^*(a) = u^{1/2} - 1$$

$$(A.12) \quad x_2^I(a) = u^{2/3} y^{-1/3} - 1$$

$$z^I(a) = y^{2/3} u^{-1/3} - 1$$

Hieraus erhält man<sup>15)</sup>

$$(A.13) \quad 1-p_M(a) := 1-q(x^*(a)) = u^{-1/2}$$

$$(A.14) \quad 1-p_K(a) := (1-p(x^I(a)))(1-q(z^I(a))) = u^{-1/3} y^{-1/3}$$

Da  $x^*(a)$  ein inneres Optimum sein soll, folgt aus (A.13)  $u^{1/2} > 1$ , und hieraus wegen  $y > u$  weiter:  $y > u^{1/2}$ . Daraus kann man leicht ableiten  $u^{-1/2} > u^{-1/3} y^{-1/3}$ , so daß also für alle  $a$

$$(A.15) \quad 1-p_M(a) > 1-p_K(a)$$

gilt. Dies impliziert, da  $Q$  wegen (17) positiv ist:

$$(A.16) \quad \frac{d\bar{w}_I}{da}(a_K) > 0 = \frac{d\bar{w}_I}{da}(a_M)$$

Da  $d^2\bar{w}_I/da^2 \leq 0$  ist, folgt hieraus  $a_K < a_M$ , also (39a).

Nun ist wegen (39a), (A.15),  $q' > 0$  und  $dx^*/da < 0$ :

$$P_M = q(x^*(a_M)) < q(x^*(a_K)) = p_M(a_K) < P_K,$$

d.h. es gilt auch (39b).

14) Wir setzen im folgenden Beweis  $y := y_2$  und  $u := y - a = y_2 - a$ .

15) Beachte  $p_M(a_M) = P_M$  und  $p_K(a_K) = P_K$ .

## 4. BEWEIS VON PROPOSITION 4

Die zu beweisende Aussage lautet: Im Konkurrenzfall sind die Wirkungsrichtungen einer Veränderung von  $y_1$  durch

$$(42a) \quad \text{sign } \frac{da_K}{dy_1} = \text{sign } \frac{\delta^2 \Pi}{\delta y_1 \delta a} \quad \text{und}$$

$$(42b) \quad \text{sign } \frac{dP_K}{dy_1} = \text{sign } \frac{\delta^2 \Pi}{\delta y_1 \delta a} \text{ sign } A$$

$$\text{mit } A := (1-q(z_K))q''(z_K) + (q'(z_K))^2$$

gegeben.

Beweis: Übliche implizite Differentiation der Bestimmungsgleichung (32a) für  $a_K$  - unter Vernachlässigung von  $x_1$  liefert

$$(A.17) \quad \frac{da_K}{dy_1} = - \frac{\delta^2 \Pi}{\delta y_1 \delta a} / \bar{W}_I''(a_K)$$

wobei  $\bar{W}_I''(a_K)$  die 2. Ableitung von  $\bar{W}_I$  nach  $a$  an der Stelle  $a_K$  ist. Diese ist negativ, wenn  $a_K$  ein inneres Optimum sein soll. Also gilt (42a).

Für  $R_K := 1 - P_K = (1-p(x_{2K}))(1-q(z_K))$  erhält man

$$(A.18) \quad \frac{dR_K}{dy_1} = - \frac{da_K}{dy_1} \frac{y_2 p'(x_{2K})^2 R_K}{|D|} A$$

Da  $|D| > 0$  ist, folgt hieraus sofort (42b).