

Siebert, Horst

Article — Digitized Version

Lern- und suchtheoretische Aspekte neuen technischen Wissens

Schmollers Jahrbuch für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Provided in Cooperation with:

Kiel Institute for the World Economy – Leibniz Center for Research on Global Economic Challenges

Suggested Citation: Siebert, Horst (1969) : Lern- und suchtheoretische Aspekte neuen technischen Wissens, Schmollers Jahrbuch für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, ISSN 0036-6234, Duncker & Humblot, Berlin, Vol. 89, Iss. 5, pp. 513-539

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/3566>

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.

12. Okt. 1970
Wirtschaft
Mat.

Lern- und suchtheoretische Aspekte neuen technischen Wissens

Von Horst Siebert, Münster

Neues technisches Wissen ist in den Wachstumsmodellen der 50er Jahre häufig als *deus ex machina* behandelt und in der Variation des Kapitalkoeffizienten oder in der Veränderung des Effizienzparameters der Cobb-Douglas-Funktion berücksichtigt worden. Mit der Kaldor-schen technischen Fortschrittsfunktion¹, dem Embodiment-Effekt neuen technischen Wissens bei Kapital² und Arbeit³, der Einführung des Lern-aspekts in die makroökonomische Produktionsfunktion⁴ und der Analyse der Determinanten der Inventionstätigkeit⁵ beginnt jedoch der Versuch, den Wachstumsfaktor „neues technisches Wissen“ detailliert und als endogene Variable zu erfassen. Zwei für die Explikation neuen Wissens relevante Ansatzpunkte werden im folgenden dargestellt: neues technisches Wissen als das Resultat von Lernvorgängen und als das Ergebnis von Suchprozessen.

I. Die Grundstruktur eines Lernmodells

Wird neues technisches Wissen als das Ergebnis eines nicht gesteuerten Lernprozesses interpretiert, so resultiert es aus den akkumulierten Erfahrungen, die man durch sich nachträglich als falsch oder als richtig erweisende Aktionen gemacht hat. Lernen ist eine intervenierende Variable zwischen den Begriffen Wiederholung, Aktivität, Ver-

¹ Nicholas Kaldor: A Model of Economic Growth. *Economic Journal*, Vol. 67 (1957). S. 591—624.

² Robert M. Solow: Technical Progress, Capital Formation and Economic Growth. *American Ec. Rev.*, Papers and Proceedings, Vol. 52 (1962) S. 76—86.

³ Edward F. Denison: The Sources of Economic Growth in the United States and the Alternatives before Us. Committee on Economic Development, Supplementary Paper No. 13, New York 1962. — Vgl. auch Richard B. Nelson: Aggregate Production Functions and Medium-Range Growth Projections. *American Ec. Rev.*, Vol. 54 (1964). S. 575—606.

⁴ Kenneth J. Arrow: The Economic Implications of Learning by Doing. *Review of Economic Studies*, Vol. 29 (1962). S. 155—173. — Eytan Sheshinski: Tests of the "Learning by Doing" Hypothesis. *Review of Economics and Statistics*, Vol. 49 (1967). S. 568—577.

⁵ National Bureau Committee for Economic Development (Hrsg.): The Rate and Direction of Inventive Activity. Princeton 1962.

halten, Praxis, Training und Beobachtung auf der einen Seite und Veränderungen des Verhaltens auf der anderen Seite⁶. Lernmodelle, die sowohl von der Psychologie⁷ als auch von der Mathematik⁸ her entwickelt worden sind, basieren auf einem Stimulus-Reaktions-Mechanismus, bei dem ein Akteur auf Stimuli der Realität reagiert und dadurch sein Verhalten ändert⁹. Lernmodelle analysieren also, durch welche Prozesse die Stimulusumgebung das Verhalten eines Akteurs beeinflußt.

Die Grundstruktur eines Lernmodells¹⁰ wird durch die folgenden sechs Axiome¹¹ gekennzeichnet:

Axiom 1: Ein Akteur wird mit einer Stimulusmenge N konfrontiert, deren Elemente die Stimuli eines Lernaktes wiedergeben.

Als Stimulus sind alle Komponenten einer empirischen oder experimentellen Situation anzusehen, in der sich ein Akteur befindet. Bei Experimenten, von denen die Lerntheorie in der Regel ausgeht, stellen die Umgebung der Versuchsperson und Veränderungen in dieser Umgebung (Signale, Farbzeichen, Stromstöße) Stimuli dar. Analog ist bei der Auffindung neuen technischen Wissens der Stimulus eines Lernaktes die ökonomische Situation. Die Menge N definiert den ökonomischen Aktionsraum eines Akteurs und die Variablen seiner Umgebung, die den Akteur beeinflussen können. Ihre Elemente, die die Werte und Dimensionen der Stimuli repräsentieren, umfassen Preise, Produktmengen, Kosten, Gewinne usw.

$$(1) \quad N = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_k\}$$

Axiom 2: Der Akteur betrachtet in jeder Periode des Lernaktes nur eine Teilmenge S der gesamten Stimulussituation N als relevant. Der

⁶ Ernest R. Hilgard und D. G. Marquis: *Conditioning and Learning*; bearbeitet von Gregory A. Kimble. London 1961. S. 3.

⁷ Hilgard, Marquis: a.a.O. — Hobart O. Mowrer: *Learning Theory and Behavior*. New York 1960. — Hobart O. Mowrer: *Learning Theory and the Symbolic Process*. New York 1960.

⁸ Patrick Suppes und Richard C. Atkinson: *Markov Learning Models for Multi-person Interactions*. Stanford 1960. — Robert R. Bush und William K. Estes (Hrsg.): *Studies in Mathematical Learning Theory*. Stanford 1959. — Richard C. Atkinson, Gordon H. Bower und Edward J. Crothers: *An Introduction to Mathematical Learning Theory*. New York 1965.

⁹ Bush und Estes (Hrsg.): a.a.O., S. 3.

¹⁰ Zur Grundstruktur eines Lernmodells vgl. Suppes und Atkinson: a.a.O., S. 2 bis 3. — William K. Estes: *Component and Pattern Models with Markovian Interpretations*. In: Bush und Estes (Hrsg.): a.a.O., S. 9–10. — Atkinson, Bower und Crothers: a.a.O., S. 28 ff.

¹¹ In der Literatur werden noch eine Reihe weiterer Axiome aufgeführt. Zu den Axiomen vgl. Suppes und Atkinson: a.a.O., S. 5. — Atkinson, Bower und Crothers: a.a.O., S. 353. — William K. Estes und Patrick Suppes: *Foundations of Linear Models*. In: Bush und Estes (Hrsg.): *Studies in Mathematical Learning Theory*, a.a.O., S. 143.

Akteur bildet also ein Stimulussample S , das definiert ist als die Menge

$$(2) \quad S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$$

wobei

$$(3) \quad S \subset N$$

Die Gesamtmenge der potentiellen Stimuli N wird in zwei Teilmengen S und \bar{S} zerlegt, wobei \bar{S} das Komplement von S in bezug auf N ist, d. h.

$$(4) \quad \bar{S} = \{n : n \in N \text{ \& } n \notin S\}$$

Die Teilmenge S stellt den relevanten Aktionsraum eines Akteurs dar. In der ökonomischen Interpretation heißt dies, daß nicht alle Variablen, nicht alle Preise und Produktmengen, sondern nur einzelne Größen aus der Menge N in einer Periode eines Lernakts wirksam werden. Ein relevanter Stimulus kann etwa darin gesehen werden, daß ein Unternehmen vom Markt Signale empfängt, die die Produktion eines bestimmten Produktes empfehlen. Die Investitionstätigkeit ist ein anderes Beispiel für einen solchen Lernstimulus. In der makroökonomischen Produktionsfunktion werden von *Arrow*¹² und *Sheshinski*¹³ die akkumulierten Investitionen oder das akkumulierte Produktionsniveau als die entscheidenden Stimuli für Lernakte angesehen. Ähnlich geht man in den von der Ingenieurwissenschaft entwickelten Lernfunktionen¹⁴ davon aus, daß die akkumulierten Produktionsniveaus die Stimuli der Lernakte sind.

Eine Auswahlfunktion¹⁵ bestimmt, welche Elemente der Menge potentieller Stimuli tatsächlich wirksam werden. Diese Funktion gibt die Wahrscheinlichkeit an, daß ein potentieller Stimulus n in das Stimulussample S aufgenommen wird. Eine mögliche Funktion ist beispielsweise, daß jedes der n Stimuluselemente die gleiche Chance hat, in das Sample zu kommen, die Wahrscheinlichkeit also $1/n$ ist. Oder die Stimuli werden nach einem Zielkriterium geordnet, und es werden diejenigen Stimuli zuerst relevant, die in bezug auf ein Ziel besonders

¹² *Arrow*: a.a.O.

¹³ *Sheshinski*: a.a.O.

¹⁴ *Lee E. Preston* und *E. C. Keachie*: Cost Functions and Progress Functions: An Integration. *American Ec. Rev.*, Vol. 54 (1964). S. 100—107. — *Werner Z. Hirsch*: Firm Progress Ratios. *Econometrica*, Vol. 24 (1956). S. 136—143. — *Dieter Schneider*: „Lernkurven“ und ihre Bedeutung für Produktionsplanung und Kosten-theorie. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Bd. 17 (1965). S. 501—515.

¹⁵ *Atkinson* u. a.: a.a.O., S. 350.

interessieren. Im folgenden wird vereinfachend unterstellt, daß das Stimulussample in jeder Periode des Lernaktes nur ein einziges Stimuluselement enthält. Wir gehen also von einem Ein-Element-Modell¹⁶ aus.

Axiom 3: Die dem Akteur zur Verfügung stehenden Verhaltensweisen werden in sich gegenseitig ausschließende, exhaustive Reaktionsklassen eingeteilt.

Ökonomisch bestehen Reaktionen des Akteurs in bestimmten Handgriffen bei manueller Arbeit, in Produktionstechniken, in Organisationsformen, in Absatzmethoden usw. Die Reaktion stellt also eine mögliche, aber nicht unbedingt die richtige Problemlösung dar. Die möglichen Reaktionen sind durch die Menge R beschrieben:

$$(5) \quad R = \{r_1, r_2, \dots, r_j\}$$

Um die Struktur des Lernmodells zu vereinfachen, wird hier unterstellt, daß ein Akteur in jeder Periode nur zwei Reaktionen r_1 und r_2 hat.

Axiom 4: Jedes Stimuluselement ist auf eine bestimmte Reaktion r konditioniert.

Die Konditionierung stellt eine feste und starre Beziehung zwischen einem Stimuluselement und einer Reaktion dar. Wird der potentielle Stimulus, der in einer festen Relation zu einer potentiellen Reaktion steht, als relevant ausgewählt, so wirkt er sich auf Grund der Konditionierung in einer konkreten Reaktion aus. Mit der Auswahl eines potentiellen Stimuluselements ist also auch eine Reaktion des Akteurs determiniert.

In der ökonomischen Interpretation bedeutet die Konditionierung, daß ein Akteur auf die Änderung einer Variablen, etwa auf eine Preiserhöhung, mit einer bestimmten Verhaltensweise, z. B. einer Mengenausdehnung, antwortet. Die Preiserhöhung ist dann auf eine Mengenänderung konditioniert.

Der Begriff der Konditionierung ist nicht mit dem Begriff der Gesetzmäßigkeit gleichzusetzen. Bei der Gesetzmäßigkeit im Sinne der ökonomischen Theorie handelt es sich um eine Hypothese terminalen Verhaltens¹⁷, d. h. desjenigen Verhaltens, das am Ende eines Lernprozesses, aber nicht an seinem Beginn oder in einzelnen Stufen zu erwarten ist. So ist etwa die übliche Angebotsfunktion eine solche Hypothese terminalen Verhaltens, das im Sinn der Lerntheorie erst nach

¹⁶ Suppes und Atkinson: Markov Learning Models for Multiperson Interactions, a.a.O., S. 14.

¹⁷ Atkinson u. a.: a.a.O., S. 309.

einer Serie von Reaktionen erreicht wird. Die Lerntheorie ist dagegen daran interessiert, das Zustandekommen eines terminalen Verhaltens, also seine Vorstufen zu erklären, in diesem Beispiel, wie ein Akteur nach einer Reihe von Preis-Mengen-Reaktionen schließlich das Angebotsgesetz findet.

Da jedes Stimulus-Element in bezug auf eine Reaktion konditioniert ist, scheint das Lernmodell von einem starr festgelegten Verhalten des Akteurs auszugehen. Die Variabilität¹⁸ des Verhaltens eines Akteurs wird aber durch Axiom 2 sichergestellt. Denn: die Stimulussamples zu unterschiedlichen Zeitpunkten differieren. Damit sind auf Grund der Konditionierung auch die Reaktionen des Akteurs zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlich. Die damit mögliche Variabilität des Verhaltens ist jedoch für eine gegebene Menge von Konditionierungen definiert und beinhaltet noch keine Verhaltensänderung durch einen Lernakt. Das nächste Axiom bringt nun die Verbindung zum Lernen.

Axiom 5: In jeder Periode kann eine Verstärkung einer Reaktion erfolgen.

Die Verstärkung einer Reaktion impliziert ein Ereignis, das zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit dieser Reaktion führt¹⁹. Die Verstärkung ist als ein feed back der Realität auf das Verhalten des Akteurs zu interpretieren. Im Experiment besteht die Verstärkung oft darin, daß dem Akteur die richtige Reaktion mitgeteilt wird²⁰. In der Realität muß der Akteur die Verstärkung selbst erkennen, und zwar daran, inwieweit die Realisierung seiner Zielvariablen durch seine Reaktion positiv oder negativ beeinflußt wird. In dem Erkennen der Verstärkung, d. h. der Belohnung eines Akteurs durch die Realität, liegt denn auch der entscheidende Schritt, der richtigen Problemlösung näher zu kommen.

Axiom 6: Die Verstärkung einer Reaktion führt mit Wahrscheinlichkeit c zu einer neuen Konditionierung desjenigen Stimuluselements, das im Stimulussample S enthalten ist.

Am Ende der Periode eines Lernversuchs kann das gesampelte Stimuluselement neu konditioniert werden, d. h. es kann auf eine andere Reaktion festgelegt werden. Die Elemente derjenigen Stimuli, die nicht in S enthalten sind, also \bar{S} aus N , werden nicht neu konditioniert. Unter der Annahme eines Ein-Element-Modells wird also nur ein Stimuluselement neu konditioniert.

Die Konditionierung des Elements s_1 in der Periode t ist durch die Zufallsvariable C_t definiert:

¹⁸ Estes: a.a.O., S. 9.

¹⁹ Estes und Suppes: Foundations of Linear Models, a.a.O., S. 141.

²⁰ Die Verstärkung muß sich nicht auf diejenige Reaktion beziehen, mit der ein Akteur gerade reagiert.

$$(6) \quad C_t = \begin{cases} 1 : \text{wenn in Periode } t \text{ das Element } s_1 \text{ auf die Reaktion } r_1 \text{ kon-} \\ \quad \text{ditioniert ist} \\ 2 : \text{wenn in Periode } t \text{ das Element } s_1 \text{ auf die Reaktion } r_2 \text{ kon-} \\ \quad \text{ditioniert ist} \end{cases}$$

Die Konditionierung erscheint als die zentrale Variable des Lernmodells, da mit der Konditionierung die Reaktion des Akteurs gegeben ist. Der Akteur durchläuft bei einem Lernprozeß eine Reihe von Konditionierungen²¹, bei denen jeweils die Verstärkungen seiner Reaktionen berücksichtigt werden. Die Variable C_t gibt das Wissen eines Akteurs in alternativen Stadien t eines Lernprozesses wieder. Die zeitliche Dimension des Wissensstandes eines Akteurs in bezug auf ein Problem ist damit als die Sequenz von Konditionierungen definiert:

$$(7) \quad W = \{ C_{t_0}, C_{t_1}, \dots, C_{t_r} \}$$

Durch die Neukonditionierung von Stimuluselementen ändert sich das Verhalten des Akteurs, da die Neukonditionierung die Wahrscheinlichkeit von Reaktionen beeinflusst. Der Lernprozeß besteht in der Beziehung zwischen den Stimulus-Elementen der Ausgangslage und den neuen Reaktionen. Die Gesetzmäßigkeiten des Lernens sind also die Regeln, welche die Veränderung der Reaktionen eines Akteurs erklären²².

Schaubild 1 faßt die Grundstruktur des dargestellten Lernmodells in schematischer Form zusammen.

II. Ableitung einer Lernfunktion

1. Um den Lernprozeß zu verdeutlichen, wird aus den Axiomen eine Lernfunktion abgeleitet, und zwar unter der vereinfachenden Annahme, daß die Verstärkung der beiden Reaktionen r_2 und r_1 nicht zufällig ist²³. Hat der Akteur zu Beginn einer Periode die Reaktion r_1 gewählt, so wird diese mit der Wahrscheinlichkeit v verstärkt oder mit der Wahrscheinlichkeit $1 - v$ nicht verstärkt. $1 - v$ ist die Verstärkungswahrscheinlichkeit (Belohnungswahrscheinlichkeit) der Reaktion r_2 . Außerdem wird die Wahrscheinlichkeit c eingeführt, die die Wirksamkeit einer Verstärkung in einer neuen Konditionierung angibt.

²¹ Vgl. Atkinson u. a.: An Introduction to Mathematical Learning Theory, a.a.O., S. 33.

²² Estes: Component and Pattern Models with Markovian Interpretations, a.a.O., S. 11.

²³ Suppes and Atkinson: Markov Learning Models for Multiperson Interactions, a.a.O., S. 11. — Atkinson u. a.: An Introduction to Mathematical Learning Theory, a.a.O., S. 356.

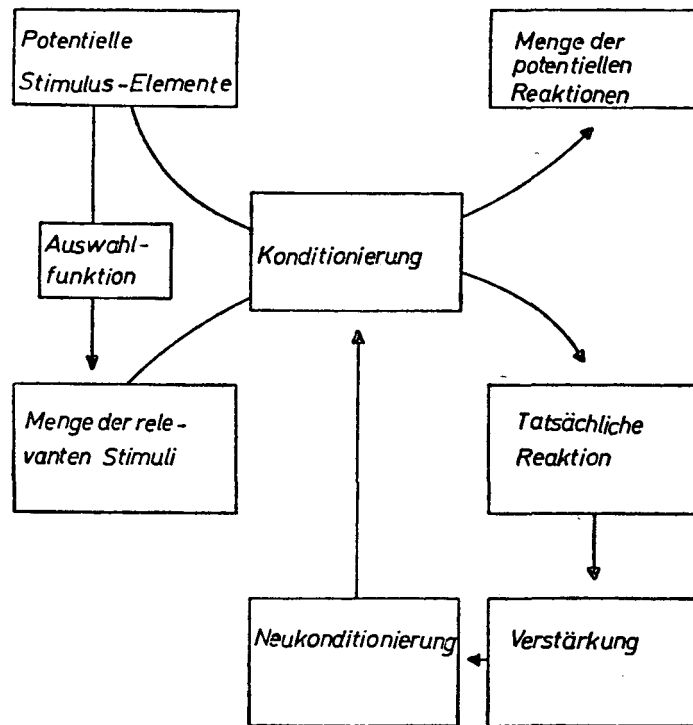


Schaubild 1

Lernen als eine Änderung des Verhaltenspotentials besteht in dem Übergang der Konditionierung von einer Reaktion r_1 auf die Reaktion r_2 (Schaubild 2). Die Reaktion r_1 kann entweder mit v verstärkt oder mit $1 - v$ nicht verstärkt werden. Wird die Reaktion r_1 mit $1 - v$ nicht verstärkt (unterer Ast des Schaubildes 2), so impliziert dies eine Verstärkung der Reaktion r_2 . Ob der Akteur auf diese neue Reaktion übergeht, hängt davon ab, ob die Verstärkung mit c wirksam wird oder mit $1 - c$ nicht wirksam wird. Im letzten Fall bleibt der Akteur bei seiner Reaktion r_1 .

Bei einer Verstärkung der Reaktion r_1 (oberer Ast) gilt: Wird die Verstärkung von r_1 wirksam, so ist die Reaktion r_1 . Wird sie nicht wirksam, so bleibt die ursprüngliche Reaktion erhalten. Das ist aber ebenfalls r_1 .

Aus Schaubild 2 lassen sich die Übergangswahrscheinlichkeiten p_{11} und p_{12} ableiten. Durch die entsprechende Darstellung mit der Ausgangs-

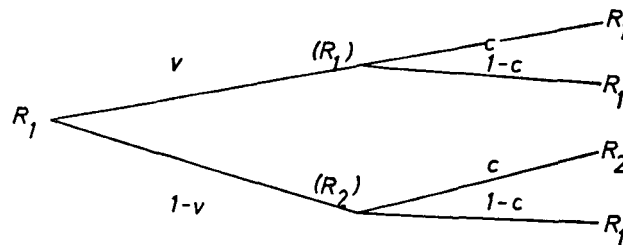


Schaubild 2

situation r_2 kann die folgende Matrix der Übergangswahrscheinlichkeiten gewonnen werden²⁴.

	1	2
1	$vc + v(1-c)$	$(1-v)c$
2	vc	$1-cv$

Es zeigt sich, daß unter den gemachten Annahmen die Übergangswahrscheinlichkeiten von einer Periode zur anderen konstant sind. Die Übergangswahrscheinlichkeiten sind unabhängig von der Anzahl der Perioden, und der Prozeß hat kein Gedächtnis für seine Geschichte. Es handelt sich um eine Markov-Kette.

2. Definieren wir $u_1^{(t)}$ als die nicht konditionale, d. h. absolute Reaktionswahrscheinlichkeit für die Reaktion r_1 in der Periode t , so ist der Lernprozeß durch eine Änderung dieser Reaktionswahrscheinlichkeit von der Ausgangsperiode zur Periode t gekennzeichnet. Die Reaktionswahrscheinlichkeit $u_1^{(t)}$ ist gegeben²⁵ durch

$$(8) \quad u_1^{(t)} = v + (u_1^{(1)} - v)(1-c)^{t-1}$$

²⁴ Zu der Ableitung vgl. Suppes und Atkinson: a.a.O., S. 12 ff. — Atkinson u. a.: a.a.O., S. 357 f.

²⁵ Gleichung (8) wird wie folgt abgeleitet: Bezeichnen

$p_{ij}^{(n)}$ die Wahrscheinlichkeit, daß der Akteur in Periode $r+n$ mit Reaktion j antwortet, wenn er bei Versuch r mit i reagiert hat,

$p_{11}^{(n-1)}$ die Wahrscheinlichkeit, daß der Akteur in Periode $1+(n-1)=n$ mit R_1 reagiert, wenn bei Versuch 1 er ebenfalls mit Reaktion 1 reagiert hat, und

$p_{21}^{(n-1)}$ die Wahrscheinlichkeit, daß der Akteur in Periode $1+(n-1)=n$ mit Reaktion R_1 reagiert, wenn er bei Versuch 1 mit Reaktion 2 reagiert hat, so gilt für den Fall mit nur zwei Reaktionen:

$$(1) \quad u_1^{(n)} = u_1^{(1)} p_{11}^{(n-1)} + u_2^{(1)} p_{21}^{(n-1)}$$

Diese Gleichung beschreibt die Reaktionswahrscheinlichkeit eines Akteurs in der Periode t als eine Funktion der ursprünglichen Wahrscheinlichkeit dieser Reaktion $u_1^{(1)}$, der Verstärkungswahrscheinlichkeit v für die Reaktion r_1 und der Wahrscheinlichkeit c , daß diese Verstärkung auch wirksam wird. Werden diese Wahrscheinlichkeiten als Parameter betrachtet, so ist die absolute Reaktionswahrscheinlichkeit von der Anzahl der Perioden t abhängig. Die Gleichung ist in Schaubild 3 dargestellt.

Zunächst sei unterstellt, daß

$$(9) \quad u_1^{(1)} > v$$

Gleichung (1) muß mit Hilfe der Parameter v und c spezifiziert werden. Dazu müssen $p_{11}^{(n-1)}$ und $p_{21}^{(n-1)}$ durch v und c ausgedrückt werden.

Es wird definiert:

$$(2) \quad p_{ij}^{(1)} = p_{ij}$$

und

$$(3) \quad p_{ij}^{(n+1)} = \sum_r p_{ir} \cdot p_{rj}^{(n)}$$

Für $p_{11}^{(2)}$ ergibt sich:

$$(4) \quad p_{11}^{(2)} = p_{11} \cdot p_{11} + p_{12} \cdot p_{21}$$

Durch Einsetzen der entsprechenden Werte aus der Übergangsmatrix resultiert:

$$(5) \quad p_{11}^{(2)} = [v c + (1 - c)]^2 + c (1 - v) c v = v + (1 - v) (1 - c)^2$$

Entsprechend ergibt sich für

$$(6) \quad p_{11}^{(n-1)} = v + (1 - v) (1 - c)^{n-1}$$

Durch analoges Vorgehen kann $p_{12}^{(n-1)}$ bestimmt werden.

Durch Einsetzen in (1) und unter Beachtung von

$$(7) \quad u_2^{(1)} = 1 - u_1^{(1)}$$

ergibt sich

$$(8) \quad u_1^{(n)} = u_1^{(n)} [v + (1 - v) (1 - c)^{n-1}] + (1 - u_1^{(1)}) [v - v (1 - c)^{n-1}]$$

Aus (8):

$$(9) \quad u_1^{(n)} = v + (u_1^{(1)} - v) (1 - c)^{n-1}$$

Zur Ableitung vgl. Suppes und Atkinson: Markov Learning Models for Multiperson Interactions, a.a.O., Kap. 1.

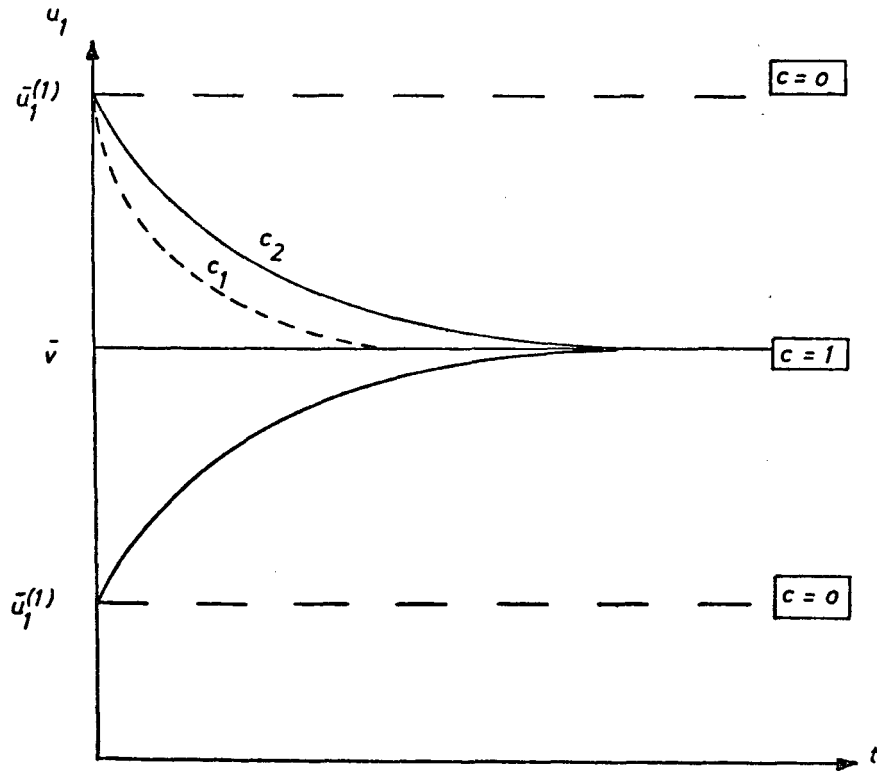


Schaubild 3

Diese Annahme impliziert, daß die Wahrscheinlichkeit einer r_1 -Reaktion in der ersten Periode größer ist als die Belohnung dieser Reaktion in der Realität. Der Akteur überschätzt die Bedeutung dieser Reaktion für die Wirklichkeit. Durch einen Lernprozeß wird über eine Serie von Perioden die Reaktionswahrscheinlichkeit immer mehr der Belohnungswahrscheinlichkeit v angepaßt. Da $0 < c < 1$ und da $0 < 1 - c < 1$, wird der Ausdruck $(1 - c)^{t-1}$ bei größer werdendem t immer kleiner. Nach einer Serie von Handlungen stimmt die Einschätzung der Realität durch den Akteur mit der Wirklichkeit selbst, d. h. mit der Belohnungswahrscheinlichkeit v , überein. Die ursprüngliche Reaktionswahrscheinlichkeit $u_1^{(1)}$ beeinflußt das Verhalten des Akteurs nicht mehr.

Geht man davon aus, daß in der Ausgangslage

$$(10) \quad u_1^{(1)} < v ,$$

so unterschätzt der Akteur die Bedeutung der Reaktion r_1 in der Realität, d. h. in Wirklichkeit ist die Belohnung dieser Reaktion größer, als der Akteur glaubt. In diesem Fall ist der Ausdruck $(u_1^{(1)} - v)$ negativ. Mit zunehmenden t wird der Ausdruck $(1 - c)^{t-1}$ geringer, so daß als Grenzwert wieder v erreicht wird.

Aus der Diskussion der Gleichung (8) ergibt sich, daß die Wirksamkeit der Verstärkung c der Lernparameter des Modells ist. Entsprechend ist $1 - c$ die Wahrscheinlichkeit des Nichtlernens. Wird z. B. unterstellt, daß $c = 0$ ist, so bleibt die ursprüngliche Reaktionswahrscheinlichkeit in allen Perioden erhalten. Die beiden Horizontalen stellen diesen Sonderfall des Nichtlernens dar. Kein Lernen liegt auch vor, wenn $c = 1$. Dann entspricht die anfängliche Reaktionswahrscheinlichkeit genau der Verstärkungswahrscheinlichkeit v . Der Akteur hat das Lernergebnis von Anfang an richtig getroffen und bleibt bei dieser Reaktion. Je näher der Lernparameter bei 1 liegt, um so schneller nähert sich die Reaktionswahrscheinlichkeit des Akteurs der Belohnungswahrscheinlichkeit, und um so schneller ist das neue Wissen erreicht.

Die abgeleitete Lernfunktion verdeutlicht den Lernprozeß eines einzelnen Akteurs als die Annäherung seiner Reaktionswahrscheinlichkeit an die Belohnungswahrscheinlichkeit der Realität über eine Reihe von Perioden. Der Akteur nähert sich dem neuen Wissen immer stärker an, indem er schließlich mit der gleichen Wahrscheinlichkeit die Reaktion r_1 zeigt, wie diese auch verstärkt wird.

3. In einer realistischeren Betrachtung verläuft der Weg der Problemlösung wesentlich komplizierter, da mehr als zwei Reaktionen möglich sind, da mehr als ein Stimulus relevant sein kann und da die Verstärkungswahrscheinlichkeit nicht konstant zu sein braucht. Grundsätzlich ist eine Erweiterung des Lernmodells um diese Faktoren möglich²⁶.

Ferner untersucht das Modell den Lernprozeß eines einzelnen Akteurs in bezug auf eine einzige Problemlösung. Unbeantwortet bleibt die Frage, wie der Lernprozeß verläuft, wenn ein Akteur gleichzeitig oder zu früheren Perioden andere Lernprozesse vollzieht oder durchgeführt hat. In diesem Fall kann ein Erfahrungstransfer von einer Situation auf eine andere Situation eintreten, so daß positive externe Effekte von Lernprozessen zu berücksichtigen sind.

Die Interdependenz von Lernprozessen wird auch relevant, wenn nicht ein Akteur, sondern mehrere Akteure lernen und die Belohnung bei einem Akteur von den Reaktionen eines anderen Akteurs ab-

²⁶ Frank Restle: A Survey and Classification of Learning Models. In: *Bush und Estes* (Hrsg.): a.a.O., S. 417 ff. — *Suppes und Atkinson*: Markov Learning Models for Multiperson Interactions, a.a.O., S. 14 f. — *Atkinson u. a.*: An Introduction to Mathematical Learning Theory, a.a.O., Kap. 8.

hängt²⁷. In diesem Zusammenhang ist auch die Frage zu stellen, ob der Lernprozeß eines Akteurs von einem anderen imitiert wird und wie die Diffusion²⁸ von Lernergebnissen in einer Volkswirtschaft zu erklären ist.

Das vorstehende Lernmodell unterstellt, daß der Akteur sein Verhalten an der Verstärkung der Realität korrigiert. Im Gegensatz zu diesem manifesten Lernen oder „learning by doing“²⁹ kann der Akteur auch latent³⁰ lernen, wenn er mit einer Stimulussituation konfrontiert wird und ein Stimulussample bildet, ohne eine Verstärkung seiner Reaktion zu erfahren. Eine spätere Konfrontation mit der gleichen Stimulusmenge kann dann eine schnellere Änderung der Reaktionswahrscheinlichkeiten herbeiführen.

III. Neues Wissen als Ergebnis eines Suchprozesses

In dem dargestellten Lernmodell lernt der Akteur über den feedback der Realität auf seine Ziele. Diese Rückkoppelung der Wirklichkeit auf die Zielerfüllung kann vom Akteur aber auch systematisch und geplant gesucht werden. Die Wirksamkeit der Verstärkung c ist dann nicht mehr konstant, sondern eine Funktion des Sucheinsatzes. Mit der Einführung dieser Interpretation wird die lerntheoretische Argumentation verlassen und neues Wissen als Resultat eines Suchprozesses aufgefaßt.

Das Suchergebnis — das neue technische Wissen — ist nicht beliebig und zufällig, sondern von einer Reihe von Faktoren abhängig. Seine Determinanten sind 1. die Problemstruktur der Realität, 2. der gegebene Wissensstand einer Volkswirtschaft, 3. die Höhe der Suchmittel, 4. die zeitliche Aufteilung der Suchmittel und 5. die Erwartungen über den Nutzen der Suchresultate und über die Suchkosten.

²⁷ Atkinson u. a.: An Introduction to Mathematical Learning Theory, a.a.O., Kap. 7. — Suppes and Atkinson: Markov Learning Models for Multiperson Interactions, a.a.O. — Herbert A. Simon: A Comparison of Game Theory and Learning Theory. Psychometrika, Vol. 21 (1956), wieder abgedruckt in: Herbert A. Simon: Models of Man. Social and Rational. New York 1957. — Patrick Suppes and I. Merrill Carlsmith: Experimental Analysis of a Duopoly Situation from the Standpoint of Mathematical Learning Theory. International Economic Review, Vol. 3 (1962) S. 60—78.

²⁸ Zur Diffusionsproblematik vgl. Everett M. Rogers: Diffusion of Innovation. New York 1962. — Klaus Kiefer: Die Diffusion von Neuerungen. Tübingen 1967. — Horst Siebert: Zur interregionalen Verteilung neuen technischen Wissens. Zeitschrift für die gesamten Staatswissenschaften, Bd. 123 (1967). S. 231—263.

²⁹ Mowrer: Learning Theory and the Symbolic Processes, a.a.O., S. 12.

³⁰ Eine wichtige Beispielgruppe für latentes Lernen ist der Transfer eines Stimulus-Reaktions-Mechanismus von einer Situation S_1 auf eine andere Situation S_2 . Ein solcher Transfer kann nur dann vorgenommen werden, wenn beide Situationen gemeinsame oder ähnliche Elemente haben. Es bestehen dann externe Effekte zwischen zwei Lernprozessen (Mowrer: a.a.O., S. 40 f., 64, 66).

1. Ebenso wie Lernen kann das Suchverhalten als die Reaktion eines Akteurs auf Stimuli der Realität angesehen werden. Ein Suchprozeß wird eingeleitet, wenn sich traditionelle Regelungen in bezug auf ein Anspruchsniveau als ungenügend erweisen³¹. Traditionelle Lösungen müssen zu einer „Krise“ führen, in der ein Problem mit herkömmlichen Verfahren nicht hinreichend zu bewältigen ist. Eine solche Krise liegt etwa vor, wenn traditionelle Regelungen soziale Spannungen verursachen³², wenn ein Unternehmen sein Anspruchsniveau in bezug auf die Gewinnerzielung wegen starken Kostendrucks nicht realisieren kann oder wenn tatsächliche oder potentielle Nachfrageentwicklungen eine Absatzchance eröffnen, die mit herkömmlichen Produktionsmethoden nicht ausgenutzt werden kann. Die Inventionschancen sind damit eine Funktion der Probleme, die gegen Lösungen mit traditionellen Mitteln resistent sind. Die Wahrscheinlichkeit einer Invention wird also von der *Problemstruktur der Realität*³³ beeinflußt.

2. Die Suchergebnisse werden auch von dem bestehenden Wissensstand einer Gesellschaft determiniert. Das Aufdecken neuen Wissens ist eine Serie von Schritten ins Ungewisse³⁴, bei denen die Informationsgrenze einer Volkswirtschaft in kleinen diskreten Schritten erweitert wird. Jeder Schritt bringt zusätzliche Information und reduziert damit die Unsicherheit über die technischen Produktionsmöglichkeiten. Die Suche nach neuem Wissen ist ein Prozeß sequentieller Informationsgewinnung³⁵, bei dem ein neuer Suchschritt jeweils das Resultat des vorherigen Suchschritts berücksichtigt. Bei diesem Prozeß der sequentiellen Informationssuche ist der Wissensstand einer Gesellschaft der Startpunkt des Suchwegs. Er ist zusammen mit der Problemstruktur der Scheinwerfer, mit dem das unbekannte Suchfeld abgetastet wird und mit dem die Fragestellungen der Forschung formuliert werden.

Neues Wissen ist aber nicht nur eine „Projektion von bereits Bekanntem auf Unbekanntes“³⁶, sondern auch das Resultat einer Konfrontation bisher unverbundener, aber gegebener Informationsmengen.

³¹ Thomas S. Kuhn: *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago 1962. S. 64, 91.

³² Vgl. dazu die Versuche, sozialen Wandel aus einer Theorie des sozialen Konflikts zu erklären. Lewis A. Coser: *The Functions of Social Conflict*. New York 1956. S. 18.

³³ Die Problemstruktur der Realität schlägt sich auch in dem Zeitdruck nieder, unter dem eine Problemlösung gefunden werden muß. James G. March und Herbert A. Simon (with the collaboration of Harold Gnetzkow): *Organizations*. New York 1958. S. 116.

³⁴ Erich Kaufer: *Die Ökonomie von Forschung und Entwicklung*. In: Ernst J. Mestmäcker (Hrsg.): *Wettbewerb als Aufgabe — Nach zehn Jahren Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen*. Bad Homburg 1969. S. 414.

³⁵ March und Simon: *Organizations*, a.a.O., S. 115.

³⁶ Helmut Klages: *Rationalität und Spontaneität. Innovationswege der modernen Großforschung*. Gütersloh 1967. S. 78.

Ähnlich wie ein Modell in seiner expliziten Ausgangsstruktur implizit bestimmte Aussagen bereits logisch enthält, beinhaltet auch ein Wissensstand implizit eine Reihe von Aussagen, die bisher in expliziter Form nicht bekannt sind. Dieses neue Wissen wird durch die Gegenüberstellung bisher nicht verbundener Informationsmengen sichtbar³⁷. Der Wissensstand einer Gesellschaft ist sowohl Startpunkt von Suchprozessen ins Unbekannte als auch bei der Konfrontation von Informationsmengen Ausgangspunkt des neuen Wissens.

Da der Wissensstand definitiv strukturiert ist, kann neues Wissen zu einem Zeitpunkt nicht in alle Richtungen gleichzeitig gefunden werden³⁸. Die einem Wissensstand inhärenten Entwicklungsmöglichkeiten neuen Wissens sind nicht zufällig, sondern hängen von der Struktur des gesellschaftlichen Wissensstandes ab.

Ein Suchprozeß ist durch einen Graphen darstellbar, wobei die Knotenpunkte des Graphen Forschungsereignisse und die Kanten die Wege zwischen einzelnen Forschungsergebnissen kennzeichnen. Jede Kante symbolisiert einen Schritt ins Ungewisse, so daß mit zunehmender Entfernung von dem Startpunkt *A* des Suchprozesses die Ungewißheit der Forschungsergebnisse zunimmt. Knotenpunkte, die durch eine Raute dargestellt sind, enthalten Forschungsergebnisse, bei denen eine Entscheidung über den einzuschlagenden zukünftigen Forschungsweg erforderlich wird³⁹.

In der These der Abhängigkeit der Suchresultate von den akkumulierten und realisierten Suchergebnissen der Vergangenheit kommt die zumindest partielle Irreversibilität der technischen Entwicklung zum Ausdruck. Ein Suchergebnis legt eine Einbahnstraße der Entwicklung fest, von der zwar in der Zukunft eine Reihe von Verästelungen als neue Entwicklungspfade abzweigen, auf der man aber nicht mehr zurückfahren kann. Wird ein Entwicklungspfad *ABCDEF* ausgewählt, so wird er in der Regel im Verlauf der Zeit so stark ausgebaut, daß ein

³⁷ John Friedmann: A General Theory of Polarized Development. The Ford Foundation, Urban and Regional Advisory Program in Chile. Santiago 1967. S. 11 (vervielfältigt). Die Wahrscheinlichkeit, neues Wissen zu finden, ist damit auch von dem Kommunikationssystem einer Gesellschaft und speziell des Wissenschaftssektors abhängig, da das Kommunikationssystem die Konfrontationswahrscheinlichkeit unverbundener Informationsmengen beeinflußt.

³⁸ Talcott Parsons: The Social System. Glencoe 1951. S. 336.

³⁹ Graphen oder Flußdiagramme werden in der Regel nicht zur Explikation von Forschungsaktivitäten, sondern für die Entscheidung über Strategien angewandt. Die Kanten enthalten dann Information über die Suchzeit, die Suchkosten oder die a-priori Erfolgswahrscheinlichkeit. Mit Hilfe von Netzwerktechniken, z. B. PERT, kann der zeitkritische, kostenkritische oder erfolgskritische Pfad bestimmt werden. Vgl. Howard Eisner: A Generalized Network Approach to the Planning and Scheduling of a Research Project. Operations Research, Vol. 10 (1962). S. 115—125. Ferner Käufer: a.a.O., S. 432.

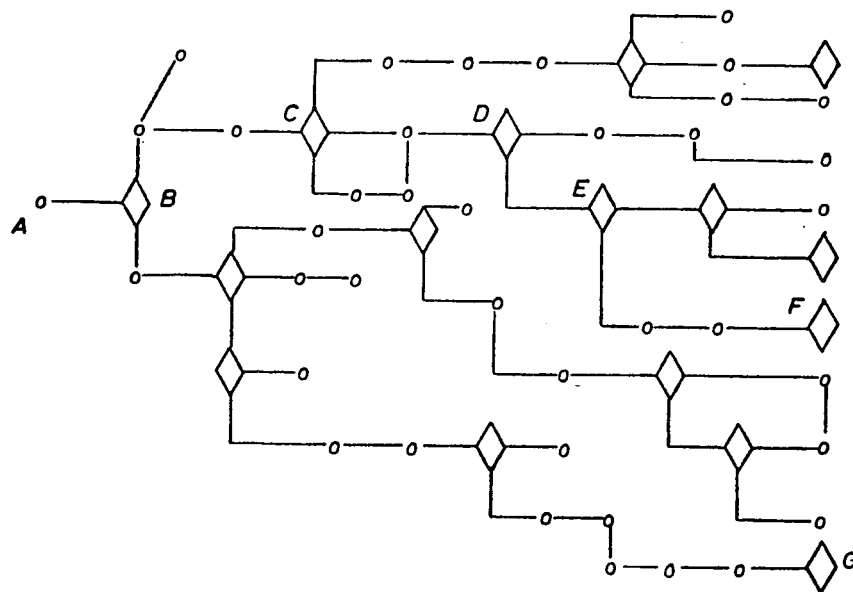


Schaubild 4

alternativer potentieller Entwicklungspfad nicht mehr beschriftet werden kann, weil die bereits in den Entwicklungspfad investierten Mittel und die darauf ausgerichtete Struktur der Wirtschaft eine Umkehr unmöglich machen. Wird z. B. in der Richtung AF gesucht, so sind andere Suchresultate, beispielsweise der Punkt G , nicht mehr allein mit den reinen Suchkosten für G erreichbar. Die Suchkosten umschließen dann auch die Abschreibungen für die bereits realisierte Strategie AF und die Umstellungskosten auf die neuen Suchresultate. Damit besteht eine starke Tendenz, nicht wieder von A aus mit der Suche zu beginnen, sondern die Suche von dem neuen Wissensniveau F fortzusetzen.

Die möglichen Vorteile, Weiterentwicklungen und Startchancen des Suchens auf dem Pfad AG bleiben weitgehend unentdeckt. Diese Irreversibilität ist nur dann nicht gegeben, wenn sich die beiden Entwicklungspfade AF und AG in der Zukunft kreuzen und Übergänge möglich sind. Eine solche Austauschbarkeit von Entwicklungspfaden muß aber keineswegs vorliegen.

Aus den beiden Determinanten Problemstruktur der Realität und Struktur des Wissensstandes läßt sich auch das Phänomen der simultanen Erfindung erklären, bei der gleiche oder ähnliche Inventionen

unabhängig voneinander zu gleichen oder nahezu gleichen Zeitpunkten gemacht werden⁴⁰.

3. Das Suchergebnis ist ferner abhängig von der *Höhe der eingesetzten Suchmittel*. Je größere Mengen Suchressourcen eingesetzt werden, um so höher sind ceteris paribus auch die Chancen, Inventionen zu tätigen. Dieser Zusammenhang zwischen Suchergebnis und Sucheinsatz wird in der mittlerweile zahlreichen Literatur über R & D-Ausgaben ausführlich behandelt⁴¹, in der technisches Wissen als ein Gut angesehen wird, das wie jedes andere Produkt „den Gesetzen von Angebot und Nachfrage“⁴² unterliegt und dessen Produktion steuerbar ist. Die Vertreter dieses Ansatzes schlagen folgerichtig eine Produktionsfunktion für technisches Wissen vor, die die Abhängigkeit des Gutes technisches Wissen von Inputs, in unserer Terminologie von den Suchressourcen, angeben soll.

Ungelöst ist die Frage, ob ein vermehrter Sucheinsatz mit abnehmenden Informationserträgen einhergeht. Stigler⁴³ hat diese These beispielsweise für das Suchen eines Konsumenten im Markt nach dem günstigsten Angebotspreis bejaht. Diese Hypothese unterstellt jedoch ein isoliertes Suchproblem. Einzelne Suchprozesse sind aber nicht unabhängig voneinander, sondern durch externe Effekte miteinander verknüpft. Ein Suchergebnis fließt deshalb dem Wissensstand einer Gesellschaft nicht wie einem Reservoir zu und erhöht nicht additiv das Wissensniveau. Die Zunahme des Wissensstandes ist eher dem Wachstum einer organischen Struktur zu vergleichen⁴⁴. Neues Wissen beeinflusst wegen seiner Rückwirkungen auf einzelne Elemente des Wissensstandes die Relevanz einzelner Informationsmengen und damit die Struktur des Wissensstandes. Selbst wenn bei einem einzelnen Suchprozeß — also in isolierter Analyse — abnehmende marginale Sucherträge vorliegen, kann daraus bei einer starken Interdependenz von

⁴⁰ Thomas S. Kuhn: Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery. In: Bernhard Barber und Werner Hirsch (Hrsg.): *The Sociology of Science*. New York 1962. S. 486—515.

⁴¹ Edwin Mansfield: *The Economics of Research and Development: A Survey of Issues, Findings and Needed Future Research*. In: Wroe Alderson, Vern Terpestra und Stanley Shapiro (Hrsg.): *Patents and Progress. The Sources and Impact of Advancing Technology*. Homewood, Ill., 1965. S. 107 ff. — Jora R. Minasian: *The Economics of Research and Development*. In: *National Bureau Committee for Economic Development* (Hrsg.): a.a.O., S. 100. — Zvi Griliches: Comment. Ebenda, S. 346 f. — Fritz Machlup: *The Supply of Inventors and Inventions*. Ebenda, S. 143—169. — Ders.: *The Production and Distribution of Knowledge in the United States*. Princeton 1962. S. 145.

⁴² Kaufer: a.a.O., S. 403, 411.

⁴³ George Stigler: *The Economics of Information*. *Journal of Political Economy*, Vol. 69 (1961). S. 215.

⁴⁴ Kenneth E. Boulding: *The Image: Knowledge in Life and Society*. Ann Arbor 1956. S. 17. — Ders.: *The Economics of Knowledge and the Knowledge of Economics*. *American Economic Review. Papers and Proceedings*, Vol. 56 (1966). S. 5.

Wissenselementen nicht auf gesamtwirtschaftlich abnehmende Grenzerträge des Suchens nach neuem Wissen geschlossen werden.

4. Die Suchergebnisse hängen aber nicht allein von der globalen Höhe des Sucheinsatzes ab, sondern von der zeitlichen Sequenz von Sucheinsätzen. Eine solche zeitliche Sequenz von Sucheinsätzen bezeichnen wir als *Strategie*. Eine mögliche Suchmethode ist beispielsweise die Strategie des parallelen Suchens⁴⁵. Bei dieser Vorgehensweise besteht zu Beginn eines Suchprozesses keine hinreichende Information über die alternativen Wege der Problemlösung. Man verwendet dann einen gegebenen Sucheinsatz zunächst parallel auf alternative Suchwege, bricht nach einer Zeitspanne das parallele Suchen ab, vergleicht die Suchergebnisse und wählt den Suchweg aus, der mit der verbesserten Information die niedrigsten Kosten bei gleichem Nutzen erwarten läßt. Diese Suchmethode ist bei der Entwicklung militärischer Produkte angewandt worden, bei denen in der Regel die gewünschten Attribute eines Produkts, wie Wendigkeit und Schnelligkeit eines Flugzeugtyps, vorgegeben sind und zusätzliche Information in den ersten Forschungsstufen mit verhältnismäßig geringen Kosten gewonnen werden kann.

Eine andere Suchmethode⁴⁶ ist die Goldschürferstrategie, die im übrigen eine Erfahrungsregel bei der Suche nach Bodenschätzen ist. Sie besagt, daß ein einmaliger Sucherfolg an einer Stelle zu weiteren Suchakten in der Umgebung dieses Fundortes führt, obwohl die Suchmittel auch an anderen Stellen eingesetzt werden könnten. Dieses „clustering of success“⁴⁷ scheint nach den Arbeiten von Thomas S. Kuhn⁴⁸ auch kennzeichnend für die Naturwissenschaft und überhaupt für die wissenschaftliche Forschung zu sein, bei der eine neue Erkenntnis in allen Variationen und allen analogen Anwendungen durchgespielt und in ein bestehendes Gebäude integriert wird, ehe man nach einem weiteren fundamentalen Satz sucht.

⁴⁵ Richard R. Nelson: Uncertainty, Learning, and the Economics of Parallel Research and Development Efforts. *Review of Economics and Statistics*, Vol. 43 (1961). S. 351—364. — Thomas Marshak: *Strategy and Organization in a System Development Project*. Rand Corporation P — 1901, 1960. — Käufer: a.a.O., S. 426.

⁴⁶ Eine interessante Klassifizierung der Suchstrategien findet sich bei Helmut Klages (Rationalität und Spontaneität, a.a.O., S. 130). Er unterscheidet (1) die technisch-artefakt bezogene Entwicklung mit eindeutiger Zielvorgabe; (2) die nomologisch orientierte Jagd bei eindeutiger Zielvorgabe, (3) die Aussiebung, d. h. das systematische Abtasten eines Suchareals und (4) die überraschungsoffene Entdeckung mit variablen Forschungszielen zur Ausnutzung der Serendipität. — Zur Analyse des Suchverhaltens bei Problemlösungen vgl. auch March und Simon: *Organizations*, a.a.O., S. 48 ff., 179 f.

⁴⁷ John C. Griffiths: *Exploration for Natural Resources*. *Operations Research*, Vol. 14 (1966). S. 194.

⁴⁸ Kuhn: *The Structure of Scientific Revolutions*, a.a.O., Kap. 6—9.

Eine wichtige Strategieentscheidung für die Erweiterung des Wissenshorizonts einer Gesellschaft ist die Allokation der Ressourcen auf die Gebiete Lehre und Forschung⁴⁹. Die Forschung wirkt sich im Vergleich zur Lehre direkt auf die Erweiterung des Wissensstandes einer Gesellschaft aus. Die Lehre hat neben der Distribution bestehenden Wissens die Funktion, Forscher für die Zukunft auszubilden; sie hat über die Bereitstellung von Forschern einen indirekten Effekt auf den Wissensstand einer Gesellschaft. Der Wissensstand kann also dadurch erweitert werden, daß entweder die Forschungstätigkeit erhöht wird, indem eine größere Anzahl Wissenschaftler für die Forschung eingesetzt wird oder indem die Ausbildung zukünftiger Forscher forciert wird, d. h. daß zunächst einmal mehr Wissenschaftler in der Lehre tätig werden. Die zu verfolgende Strategie ist abhängig von dem Zeithorizont, der der Entscheidung zugrunde liegt⁵⁰. Eine Erweiterung des Wissensstandes für eine kürzere Periode erfordert den Einsatz zusätzlicher junger Wissenschaftler in der Forschung. Wird eine langfristige Erweiterung des Wissensstandes angestrebt, so sind zunächst Wissenschaftler in der Lehre einzusetzen, damit im Endpunkt der Planungszeit die Anzahl der Forscher gesteigert werden kann. Bei der Allokation von menschlichen Ressourcen auf die Aktivitäten Lehre und Forschung können bei langfristiger Orientierung auch Umschaltungen⁵¹ von einer Strategie (maximaler Einsatz von Wissenschaftlern in der Lehre) zu einer anderen Strategie (maximaler Einsatz von Wissenschaftlern in der Forschung) vorgenommen werden.

Die Strategiewahl umschließt auch die Verteilung der Suchmittel auf die einzelnen Suchstufen bei der Auffindung neuen Wissens. Diese Suchstufen⁵² sind (1) die reine Forschung, also die Produktion einer Idee, (2) die angewandte Forschung, d. h. die Übertragung dieser Idee auf praktische Probleme, z. B. durch die Herstellung eines Prototyps, und (3) die Entwicklung des Produkts oder des Verfahrens bis zur Produktionsreife und seine Umsetzung in die Produktionsaktivität. Die Vervollkommenheit eines Produkts erfordert dabei wesentlich höhere Forschungsmittel als das Auffinden einer neuen Idee⁵³. Eine reine

⁴⁹ Zu diesem Allokationsproblem vgl. die Allokationsmodelle von *Stoikov*, *Intriligator* und *Smith*: Vladimir *Stoikov*: The Allocation of Scientific Effort: Some Important Aspects. *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 78 (1964). S. 307—323. — Michael D. *Intriligator* und Bruce L. R. *Smith*: Some Aspects of the Allocation of Scientific Effort between Teaching and Research. *American Economic Review. Papers and Proceedings*, Vol. 54 (1966). S. 494—507.

⁵⁰ *Intriligator* u. *Smith*: a.a.O., S. 497.

⁵¹ *Intriligator* u. *Smith*: a.a.O., S. 502.

⁵² Über die Dauer der einzelnen Suchstufen vgl. Robert E. *Johnston*: Technical Progress and Innovation. *Oxford Economic Papers*, Vol. 14, 1966. S. 161.

⁵³ Über die Ausgaben in verschiedenen Suchstufen vgl. *Kaufer*: a.a.O., S. 422/3.

Vermehrung des Wissensstandes ist also auf Kosten der Realisierung neuen Wissens möglich. Damit wird ein weiteres Allokationsproblem bei dem Einsatz von Suchmitteln sichtbar: die Aufteilung der Suchmittel auf die Produktion von Ideen und auf die technische Vervollkommnung dieser Ideen.

5. Die Auffindung neuen Wissens ist schließlich auch eine Funktion der erwarteten Nutzen und Kosten der Suchresultate. Bei zweckrationalem Suchverhalten wird dasjenige Suchobjekt verfolgt, das bei gegebenem Sucheinsatz den höchsten Suchnutzen oder die höchste Nutzen-Kosten-Relation erwarten läßt.

Bei der Bestimmung eines Suchoptimums entsteht jedoch das Problem, wie der Suchnutzen ex ante ermittelt werden kann, wenn das gesuchte Objekt erst gefunden werden soll. Eine Bewertung alternativer Suchwege wird erst möglich, wenn zumindest grobe Information über den einzuschlagenden Suchweg und das Suchergebnis vorliegt. Der Suchnutzen ist auch nur für eine isolierte Problemlösung abzuschätzen. Die Existenz von externen Effekten zwischen Suchprozessen läßt sich bei der Bestimmung des Suchnutzens kaum berücksichtigen. Solche externen Effekte, die den Nutzen eines Suchergebnisses erhöhen, indem sie eine andere (zukünftige) Suche erleichtern oder zu Ergebnissen führen, die man nicht erwartet hat⁵⁴, sind aber oft gegeben. Umgekehrt läßt sich vorstellen, daß neues technisches Wissen durch spätere Suchprozesse entwertet wird. Der Suchnutzen kann deshalb auch nur für einen gegebenen Zeithorizont und in der Regel für ein ceteris paribus definiert werden.

Ferner variieren bei Suchproblemen nicht nur die Suchresultate je nach Suchobjekt, sondern auch die Suchkosten. Die Suchkosten bestehen nicht allein in dem Einsatz von Suchressourcen, sondern als Opportunitätskosten auch in der entgangenen Gelegenheit eines anderen Suchergebnisses⁵⁵. Verfolgt ein Akteur einen bestimmten Sucherfolg, so muß er bei Knappheit der Suchmittel auf ein anderes Suchprojekt verzichten. Dieses Suchergebnis läßt sich zwar später erreichen; dann kann der Sucherfolg aber entwertet sein, wenn bereits eine andere Entscheidungseinheit das Suchergebnis gefunden und einen Vorsprung in der wirtschaftlichen Verwertung erreicht hat, der durch den Patentschutz noch verhärtet wird. Die Suchkosten einer Problemlösung bestehen also auch in dem Risiko des Verlusts eines anderen Suchergebnisses.

⁵⁴ Vgl. das Problem der Serendipität bei Klages: Rationalität und Spontaneität, a.a.O., S. 38/39.

⁵⁵ Vgl. I. Mac Queen und R. G. Miller: Optimal Persistence Policies. Operations Research, Vol. 8 (1960). S. 362.

IV. Die formale Struktur des Suchproblems

Die formale Struktur eines Suchproblems kann durch die mathematische Suchtheorie⁵⁶ beschrieben werden, wie sie für militärisches Suchen und das Entdecken von Bodenschätzen entwickelt worden ist.

Gegeben sei ein Suchraum, der z. B. durch eine Menge kombinatorischer Suchmöglichkeiten definiert ist oder in anderer Weise vom Wissensstand her eingegrenzt ist. Ein Suchobjekt, d. h. eine Problemlösung, liege in diesem Suchfeld. Der Standort des Suchobjekts sei durch einen Parameter X gekennzeichnet, wobei X eine Zufallsvariable ist.

Die Wahrscheinlichkeit, daß die gesuchte Problemlösung zwischen den Stellen x und $x + dx$ des Suchraums liegt, ist eine gegebene Funktion $g(x)$

$$(11) \quad g(x) dx = \Pr(x \leq X \leq x + dx)$$

Die Eigenschaften der Verteilungsfunktion $g(x)$ sind spezifiziert durch

$$(12) \quad g(x) \geq 0$$

und

$$(13) \quad \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) dx = 1$$

Bedingung (13) impliziert, daß sich das gesuchte Objekt notwendigerweise in dem Suchraum befinden muß. Es kann auch unterstellt wer-

⁵⁶ Zur mathematischen Suchtheorie vgl. den Übersichtsartikel von B. O. Koopman: *The Theory of Search*. *Operations Research*, Vol. 4 (1956). S. 324—346; S. 503—531; Vol. 5 (1957). S. 613—626. Vgl. ferner A. Charnes und W. W. Cooper: *The Theory of Search. Optimum Distribution of Search Effort*. *Management Science*, Vol. 5 (1958). S. 44—50. — James M. Dobbie: *Surveillance of a Region by Detection and Tracking Operations*. *Operations Research*, Vol. 12 (1964). S. 379—394. — E. N. Gilbert: *Optimal Search Strategies*. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, Vol. 7 (1959). S. 413—424. — B. Gluss: *Approximately Optimal one-Dimensional Search Policies in which Search Costs Vary through Time*. *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 8 (1961). S. 277—283. — John C. Griffiths: *Exploration for Natural Resources*. *Operations Research*, Vol. 14 (1966). S. 189 bis 209. — Jaques de Guenin: *Optimum Distribution of Effort: An Extension of the Koopman Basic Theory*. *Operations Research*, Vol. 9 (1961). S. 1—7. — B. O. Koopman: *Hide and Seek Games*. In: *Proceedings of the NATO Conference on Search and Detection*, held in La Spezia, Italy 1963. — Mac Queen und Miller: *Optimum Persistence Policies*, a.a.O., S. 362—380. — M. Sandelinas: *On an Optimal Search Procedure*. *The American Mathematical Monthly*, Vol. 68 (1961). S. 133—134.

den, daß nicht bekannt ist, ob die gesuchte Problemlösung in dem Suchraum liegt⁵⁷.

Der Sucheinsatz in bezug auf die Suchstellen zwischen x und dx ist durch $\varphi(x) dx$ gegeben, wobei die Suchdichte gekennzeichnet ist durch

$$(14) \quad \varphi(x) \geq 0$$

und

$$(15) \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) dx = \Phi$$

Bedingung (15) drückt aus, daß der gesamte Sucheinsatz eine positive Konstante Φ nicht überschreiten darf.

$p[\varphi(x)]$ ist die Wahrscheinlichkeit des Findens mit einem Sucheinsatz $\varphi(x)$, wenn die gesuchte Problemlösung tatsächlich in x liegt. Diese Funktion bringt zum Ausdruck, daß ein Akteur an einer Stelle x sucht, an der sich das gesuchte Objekt auch befindet, er es aber nicht entdeckt⁵⁸. Je mehr Suchmittel eingesetzt werden, je höher also $\varphi(x)$ ist, desto eher wird das Objekt wahrgenommen.

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Objekt, das zwischen x und $x + dx$ liegt, gefunden wird, ist dann

$$(16) \quad g(x) p[\varphi(x)] dx$$

Die Wahrscheinlichkeit des Erfolgs P ist demnach eine Funktion der Suchdichte

$$(17) \quad P = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) p[\varphi(x)] dx = P(\varphi)$$

Das Suchproblem besteht nun darin, die Suchdichte $\varphi(x)$ zu finden, die die Erfolgswahrscheinlichkeit $P(\varphi)$ unter Beachtung der Bedingungen (14) und (15) maximiert.

⁵⁷ Dann wird unterstellt, daß das Objekt eine Wahrscheinlichkeit α hat, in dem Raum zu sein, wobei $\alpha < 1$. Bedingung (13) wird dann

$$\int_{-\infty}^{+\infty} g(x) dx = \alpha$$

$\alpha < 1$ steht für den Fall, daß das Objekt u. U. nicht in dem Raum ist.

⁵⁸ Ebenso wie beim Lernen in dem Erkennen der Belohnungswahrscheinlichkeit c ist auch beim Suchen ein Erkennen erforderlich. Formal ergibt sich eine Ähnlichkeit

V. Implikationen des lern- und suchtheoretischen Ansatzes

Wird neues technisches Wissen als das Resultat von Lern- und Suchprozessen interpretiert, so lassen sich eine Reihe von Implikationen dieser Ansätze aufzeigen:

1. Eine Unternehmung mit Produktionsgeschichte hat den Vorteil des frühen Starts, da sie in der Zeit über das Lernen Erfahrung sammeln und durch den Einsatz von Suchressourcen neues Wissen entwickeln kann. Die akkumulierte Erfahrung und die angesammelten Suchergebnisse schlagen sich in einer Reduzierung der Durchschnittskosten nieder. Die Durchschnittskosten nehmen in einem mehrdimensionalen Schaubild nicht allein mit zunehmendem Output ab, sondern auch mit den eingesetzten Suchmitteln und mit der akkumulierten Produktionstätigkeit, wenn die Produktionstätigkeit als der entscheidende Stimulus für Lernakte angesehen wird⁵⁹. Lern- und Suchprozesse stellen also Erklärungsansätze für economies of scale dar.

Aus der These des frühen Starts folgt, daß neu gegründete Unternehmen den Nachteil des zu spät Gekommenen haben und im Vergleich zu den eingesessenen Unternehmen mit höheren Stückkosten beginnen müssen. Der lern- und suchtheoretische Ansatz kann also dazu herangezogen werden, die Geschlossenheit von Märkten zu erklären. Die These vom Vorteil des frühen Starts zieht allerdings nur dann, wenn das neue technische Wissen tatsächlich einem Unternehmen verbleibt und kein Diffusionsprozeß auf andere Produktionseinheiten einsetzt. Diese Bedingung ist aber keineswegs immer gegeben. Wenn das neue Wissen beispielsweise im Produktionsfaktor Arbeit verkörpert ist, so ist neues Wissen über die Mobilität von Arbeit

in der Behandlung dieses Erkennungsproblems beim lern- und suchtheoretischen Ansatz. In der militärischen Suchtheorie wird z. B. das Problem diskutiert, daß ein Sucher mit einer Serie von Suchbemühungen (z. B. Blicken) an einer Stelle sucht. Die Wahrscheinlichkeit des Findens mit einem Blick ist q . Für die Wahrscheinlichkeit des Entdeckens in der Periode n , p_n , wird die Formel benutzt:

$$(1) \quad p_n = 1 - (1 - q)^n$$

Aus

$$(2) \quad 1 - p_n = (1 - q)^n$$

folgt, daß $(1 - q)^n$ die Wahrscheinlichkeit des Nichtentdeckens ist. Dieser Ausdruck nimmt mit zunehmendem n ab. Wenn $q = 0$, so ist $p_n = 0$. Ein Erkennen ist nicht möglich. Je näher q an 1, um so schneller wird das Suchobjekt erkannt. Gleichung (1) entspricht in ihrer Struktur Gleichung (8), die den Lernprozeß beschreibt. Das Erkennen des Suchobjekts folgt also einer ähnlichen Gesetzmäßigkeit wie das Erkennen der Belohnungswahrscheinlichkeit beim Lernen. Zu Gleichung (1) vgl. Koopman: *The Theory of Search*, a.a.O., S. 505.

⁵⁹ Zu der Beziehung zwischen Lernfunktionen und Kostenfunktionen vgl. Preston und Keachie: *Cost Functions and Progress Functions*, a.a.O.

beweglich und steht auch dem Neuankömmling zur Verfügung. Bestehen also externe Effekte zwischen dem Lernen und Suchen verschiedener Unternehmen, so muß die These vom Vorteil des frühen Starts eingeschränkt werden. Ein völlig neuer Start kann für eine Unternehmung unter der Berücksichtigung mobiler Erfahrungen und Suchergebnisse anderer Unternehmen sogar ein erheblicher Vorteil sein.

2. Die These vom frühen Start kann nicht nur für die Erklärung der Kostenvorteile einzelner Unternehmen herangezogen werden. Auch die komparativen Produktionsvorteile von Volkswirtschaften⁶⁰ lassen sich neben der unterschiedlichen Ausstattung mit Kapital und Arbeit als akkumulierte Erfahrungsvorteile und angesammelte Sucherfolge interpretieren, wobei in diesem Fall infolge internationaler Kommunikationsschranken das Diffusionsproblem nicht in gleicher Intensität wie bei Unternehmen auftritt. Die Anwendung der These vom frühen Start auf die internationale Spezialisierung führt dann zu einer lern- und suchtheoretischen Begründung von *Lists* Schutzzollargumenten für junge Volkswirtschaften und junge Industrien.

3. Ist neues technisches Wissen das Resultat von Lern- und Suchprozessen, so kann die makroökonomische Produktionsfunktion nicht mehr in der Form

$$(18) \quad O = A(t) F(K, L)$$

geschrieben werden, wobei O das Produktionsergebnis, K Kapital, L Arbeit, F die Produktionsfunktion und A die Produktivitätsfunktion bezeichnen. Die Produktivitätsfunktion ist nicht allein abhängig von der Zeit t , sondern auch von den eingesetzten Suchmitteln S und von den Lernstimuli, die durch die akkumulierte Produktionstätigkeit oder Investitionstätigkeit G angegeben werden⁶¹. Die gesamtwirtschaftliche Produktionsfunktion ist dann:

$$(19) \quad O = A(t, S, G) F(K, L)$$

Die Wachstumsrate einer Volkswirtschaft ist gegeben durch:

$$(20) \quad \frac{\dot{O}}{O} = \alpha \frac{\dot{K}}{K} + (1 - \alpha) \frac{\dot{L}}{L} + a \frac{\dot{G}}{G} + b \frac{\dot{S}}{S} + \gamma$$

⁶⁰ Sheshinski: Tests of "Learning by Doing" Hypothesis, a.a.O., S. 568.

⁶¹ Vgl. die von Sheshinski angegebene makroökonomische Produktionsfunktion unter der Berücksichtigung des Lernphänomens (a.a.O., S. 569).

Variable mit Punkten kennzeichnen die Ableitungen dieser Größen nach der Zeit. α und $(1 - \alpha)$ sind die Produktionselastizitäten von Kapital und Arbeit. $\gamma = \frac{1}{A} \cdot \frac{dA}{dt}$ ist der Zeitfaktor technischen Wissens; $a = \frac{G}{A} \cdot \frac{dA}{dG}$ gibt den gesamtwirtschaftlichen Lernkoeffizienten wieder; $b = \frac{S}{A} \cdot \frac{dA}{dS}$ steht für den Einfluß der Suchressourcen auf die Produktivität.

Ein alternativer Ansatz besteht darin, die Ergebnisse der Lernprozesse und Suchprozesse in einer Verkörperung neuen technischen Wissens in den Faktoren Kapital und Arbeit zu berücksichtigen. Empirische Information über die Bedeutung der Lerneffekte und der Suchressourcen für die Wachstumsrate einer Volkswirtschaft ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Wirtschaftspolitik, da erst nach Kenntnis des Gewichts der einzelnen Wachstumsdeterminanten für die gesamtwirtschaftliche Wachstumsrate eine zweckrationale Beeinflussung dieser Variablen möglich ist. Gehen wir z. B. davon aus, daß die akkumulierte Investition der entscheidende Stimulus für das Lernen ist, so wird der Beitrag des Kapitals zur gesamtwirtschaftlichen Wachstumsrate unterschätzt, wenn die Auswirkung der akkumulierten Investition auf das Lernen nicht berücksichtigt wird.

Ferner zwingt die Möglichkeit, nicht konsumiertes Einkommen langfristig substitutional auf Realinvestitionen und auf die Suche nach neuem Wissen⁶² zu verwenden, zu einer Analyse der Wachstumswirkungen dieser Einkommensverwendungen. Dabei ist zu beachten, daß diese Ausgabenarten langfristig in einer starken Substitutionsbeziehung stehen. Erst aus der Gegenüberstellung der Wachstumseffekte von Realinvestition und Suchinvestition läßt sich eine zweckrationale Wachstumspolitik gestalten.

4. Wird neues technisches Wissen als das Resultat eines Lernprozesses interpretiert, so läßt sich mit diesem Ansatz auch ein Phänomen erklären, das bisher nur eine geringe Aufmerksamkeit in der Wachstumstheorie erhalten hat, aber dennoch für die langfristige Entwicklung eminent wichtig ist⁶³: Durch welche Prozesse wird bestehendes technisches Wissen verlernt? Ein solches Verlernen⁶⁴ liegt immer dann vor, wenn ein Akteur eine neue Konditionierung erhält und eine alte Konditionierung aufgegeben wird. Wir sind geneigt, den Übergang

⁶² Als weitere wachstumsrelevante Art der Einkommensverwendung sind die Ausbildungsinvestitionen zu berücksichtigen, von denen hier abstrahiert wird.

⁶³ Man denke z. B. an den Untergang des technischen Niveaus des Römischen Reiches.

⁶⁴ Zum Verlernen vgl. auch *Mowrer: Learning Theory and the Symbolic Process*, a.a.O., S. 16.

von einer Konditionierung zu einer anderen als Fortschritt zu bezeichnen; es ist jedoch denkbar, daß eine Konditionierung aufgegeben wird, ohne durch eine neue ersetzt zu werden. Um dieses Phänomen zu erfassen, braucht in das Lernmodell nur das Axiom eingeführt zu werden, daß die Konditionierung zwischen Stimuluselement und Reaktion verblaßt, wenn das Stimuluselement in einer bestimmten Zeitspanne nicht wieder in das Stimulussample aufgenommen und nicht verstärkt wird. Damit kann die Lerntheorie auch den Untergang bestehenden technischen Wissens durch Verlernen in den Griff bekommen.

5. Wenn das erlernte oder durch einen Suchprozeß gefundene neue technische Wissen einem einzelnen Akteur nicht zugewiesen werden kann und durch Diffusionsprozesse andere Produktionseinheiten erreicht, so entstehen positive externe Effekte der Lern- und Suchprozesse für die Volkswirtschaft. Neues Wissen hat infolge der externen Effekte den Charakter eines öffentlichen Guts⁶⁵, da das Ausschlußprinzip des Preises nicht zieht. Der private Nutzen der eingesetzten Suchmittel ist geringer als der gesamtwirtschaftliche Nutzen. Der private Einsatz von Suchmitteln wird deshalb unter dem gesamtwirtschaftlichen Optimum liegen, wenn nicht staatliche Eingriffe wie das Patentwesen den öffentlichen Gutscharakter einschränken und das öffentliche Gut in ein privates Gut transformieren. Die gleiche Überlegung läßt sich für die Lernergebnisse anwenden. Der Stimulus für Lernen sei die Produktions- oder die Investitionstätigkeit einer Unternehmung. Lernen sei also eine Funktion akkumulierter Produktions- oder Investitionstätigkeit. Wenn das erlernte neue Wissen einer einzelnen Unternehmung nicht zugewiesen werden kann, so ist der private Nutzen der Investitions- oder Produktionstätigkeit, die ja die Lernergebnisse induzieren, geringer als der gesamtwirtschaftliche Nutzen⁶⁶. Die private Produktionstätigkeit oder die Privatinvestitionen liegen dann unter dem gesamtwirtschaftlichen Optimum.

Das öffentliche Gut „Lernergebnis“ kann u. U. juristisch weniger leicht gefaßt werden als das Suchergebnis, da Lernergebnisse z. B. auch alle Erfahrungsregeln umfassen. Die Patentierung als Weg zur Transformierung eines öffentlichen Guts in ein privates wird in diesem Fall wesentlich komplizierter. Es muß die Frage offen bleiben, ob andere Verfahren gefunden werden können, die es erlauben, die Zuweisung eines Lernergebnisses auf einen Akteur zu bewerkstelligen, oder ob

⁶⁵ Karl Shell: Toward a Theory of Inventive Activity and Capital Accumulation. American Economic Review. Papers and Proceedings, Vol. 56 (1966). S. 68.

⁶⁶ Arrow: The Economic Implications of Learning by Doing, a.a.O., S. 168. — Sheshinski: Tests of the "Learning by Doing" Hypothesis, a.a.O., S. 568.

das gesamtwirtschaftliche Optimum⁶⁷ auf anderem Weg (Subventionen) zu erreichen ist.

6. Lern- und suchtheoretische Aspekte neuen technischen Wissens stellen zwei unterschiedliche Erklärungsversuche dar. Lernen ist ein im Prinzip ungeplanter Vorgang, bei dem ein Akteur auf Stimuli der Realität reagiert und seine Reaktionen an der Zielerfüllung revidiert. Suchen ist dagegen ein geplanter Prozeß, bei dem nach neuem Wissen in der Form neuer Produkte, neuen organisatorischen Wissens und neuer Kombination von Produktionsfaktoren bewußt gesucht wird. Beide Erklärungsversuche schließen sich nicht notwendigerweise aus, da sie sich auf unterschiedliche Phänomene beziehen können. So wird in der Flugzeugindustrie nach neuen Typen z. B. auf parallelem Weg systematisch gesucht⁶⁸, und im gleichen Sektor läßt sich beobachten, daß beim Zusammenbau von Flugzeugen mit steigender Stückzahl Lerneffekte auftreten⁶⁹.

Grundsätzlich ließe sich auch das Suchen nach neuen Flugzeugtypen als Lernprozeß interpretieren. Der Konstrukteur lernt dann an seinen Fehlern und Erfolgen in bezug auf die Flugtüchtigkeit eines Prototyps oder eines fertigen Produkts. Ein solches Aufdecken neuen Wissens durch ein trial-and-error-Lernen erweist sich jedoch als ein kostspieliges Vorgehen. In der modernen zweckrational handelnden Wirtschaft wird deshalb zumindest ein Teilbereich der Lernphänomene substituiert, indem nach der Belohnungswahrscheinlichkeit der Wirklichkeit gesucht wird, bevor eine negative Zielerfüllung einsetzt. Das Ziel des Suchverhaltens ist also, Lernprozesse zumindest teilweise zu antizipieren und ein Lernen am Mißerfolg zu vermeiden.

Mit der zunehmenden Bedeutung des Suchverhaltens, die nach *Galbraith*⁷⁰ an der heute vorherrschenden hohen subjektiven Gewißheit über die Existenz von Suchlösungen bei starker Ungewißheit über die Suchwege zu erkennen ist, wird der lerntheoretische Erklärungsversuch an Gewicht für die Explikation neuen technischen Wissens verlieren. Eine völlige Substitution des lerntheoretischen Ansatzes durch Suchprozesse ist aber nicht zu erwarten. Einmal ist das Suchverhalten nicht für alle Problembereiche kennzeichnend, da eine vollständige Antizipation aller Problemlösungen durch Suchen wegen mangelnder Suchmittel und unzureichender Zukunftsinformation kaum möglich

⁶⁷ Zum Problem eines Allokationsoptimums vgl. K. J. Arrow: Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In: National Bureau Committee for Economic Development (Hrsg.): a.a.O., S. 609 ff.

⁶⁸ Vgl. Nelson: Uncertainty, Learning, and the Economics of Parallel Research and Development, a.a.O., S. 355.

⁶⁹ T. P. Wright: Factors Affecting the Cost of Airplanes. Journal of the Aeronautical Sciences, Vol. 3 (1936). S. 122—128.

⁷⁰ John K. Galbraith: The New Industrial State. London 1967. S. 19.

sein wird und immer Bereiche existieren, in denen neues Wissen erst beim Handeln erlangt werden kann. Zum anderen besteht eine wichtige Interdependenz zwischen Suchverhalten und Lernen: Man kann auch bei der Suche nach neuem Wissen Sucherfahrung sammeln und damit beim Suchen — lernen.

Summary

Learn Theoretical and Search Theoretical Aspects of New Technical Knowledge

New technical knowledge is explained as the outcome of learning processes and search behavior. A stimulus-sample model is constructed from some basic axioms. Learning is defined as a change in the conditioning of a stimulus-sample to a specific reaction. A learning curve is derived that describes the learning process as a change in the absolute probability of an actor for a specific reaction.

In a learning model an actor requires new knowledge by discovering a feed back of reality on his goal realization. This feed back can also be searched for systematically. New technical knowledge then becomes a result of a search process. The determinants of search behavior are discussed. The search result depends on (1) the problem structure of reality, (2) the existing stock of knowledge, (3) the amount of search resources used and (4) the timing of the search means. The formal structure of a search problem is discussed and the search for new technical knowledge is compared to military search problems.

Whereas learning is not anticipated, searching is a planned process. Over the phases of economic development learning processes are substituted by search behavior. A complete substitution is, however, unlikely. First, both approaches refer to different phenomena. Thus, in the air plane industry, the search strategy of parallel development is used; and in the same industry learning occurs in the construction of air frames, i. e. with a rising number of air frames constructed the time requirement per air frame decreases. Second, a comprehensive anticipation of problem solution through search cannot be expected due to lacking information on the future. Third, learning can take place in the process of search. — The article discussed the economic implications of the learn theoretical and search theoretical explanations of new technical knowledge.