BEPREISUNG VON GRUNDLAGENFORSCHUNG

Vortrag von Tobias Höink
am 01.06.1999

basierend auf der Veröffentlichung
Economic returns of research
von
Didier Sornette und Daniel Zajdenweber

Einleitung

Grundlagenforschung liefert enormen wirtschaftlichen Nutzen

Beispiele:

- moderne Kommunikation
- Laser in Medizin und Industrieanwendungen
- Mathematik
- Atomuhren (aus Relativitätstheorie und Quantenmechanik)
- Internet

Grundlagenforschung liefert

- Gewinne für Investoren
- öffentlichen Nutzen

mögliche Methode zur Erfassung des Systems:

- Einbettung von Wissenschaft in den sozialen Kontext („Ökologie der Wirtschaft“)
- nichtlineare Beziehungen führen zu extremen Phänomenen

Kann ein ähnliches Verhalten nicht den wissenschaftlichen Nutzen aus Grundlagenforschung charakterisieren?

Vertreter für die Verteilung von wirtschaftlichem Nutzen aus Forschung

Problem:

- Errungenschaften von F&E sind schwierig zu messen
- Quantifizierung des Einflusses von Grundlagenforschung

Vorschlag:

- Vertreter für die Verteilung von Einkommen zur besseren Anschauung: Show-Business
- Gemeinsamkeiten:
  - Zutaten für den Erfolg: Talent, harte Arbeit, Geduld, Investition, moderne Technik, Glück
  - Einkommen ist konzentriert auf einige wenige

<u>Beispiel Filmindustrie:</u> Verteilung der Einnahmen der erfolgreichsten Filme der letzten Jahre

- Die Entscheidung über Finanzierung ist ähnlich der F&E Investitionsrechnung.
- Es gibt eine Beziehung zwischen Kosten und den möglichen Einkünften.
- allerdings: Der Erfolg in Abhängigkeit der Bruttoeinnahmen ist nicht immer vorhersagbar und kann stark variieren.

Diagramm 1a:

$$P(W)\, dW = \mu\, (W/W_{min})^{-(1+\mu)}\ \ dW/W_{min} \qquad (1)$$

für $W_{min} < W < \infty$ und $\mu = 1{,}3 \pm 0{,}1$

Forschung als Option im Entscheidungsprozeß

- herkömmliche Methoden scheitern beim Versuch der Investitionsrechnung für F&E

- Forschung hält die Option auf spätere Weiterinvestition und damit auf Erträge offen
  →formale Formulierung als Finanz-Option-Problem

- ähnliche Methode für Grundlagenforschung möglich

- Black-Scholes-Mertons`s Modell ungeeignet

- bis jetzt keine allumfassende Theorie bekannt

- Zusammenfassung dieses Problems mit Lindy-Effekt:
  Erwartungswert $\langle W \rangle$ basiert auf Ereignissen größer als W_0

  $$\langle W \rangle = \mu\,(\mu - 1)\,W_0 \qquad (\text{für } \mu > 1)$$

  ⇒ "Zukunft ist proportional zur Gegenwart"

Natur des aus Forschung gewonnenen Nutzens

- Problem:
  - Erträge nicht deterministisch
  - keine offensichtliche Abhängigkeit der Erträge von der Investitionsmenge
  - in kurzem Zeitfenster unvorhersehbare und zeitweise aussetzende Erträge

- Verteilung von jährlichen Erträgen
  <u>Annahmen:</u>
  - große Fluktuationen werden von (1) gut modelliert
  - alle Gewinne werden zum Zeitpunkt der Entdeckung abgerechnet
  - Entdeckung im Zeitintervall $[n, n+1[\ \Rightarrow$ Gewinn
  - keine Entdeckung im Zeitintervall $[n, n+1[\ \Rightarrow$ Verlust
  - Gewinne resultieren aus zwei Mechanismen:
    a) extreme Ereignisse ("lucky discoveries")
    b) häufig auftretende kleinere Entdeckungen

  Anm.: potentielle Bedeutung von langzeitigen Investitionen durch "fat tail" impliziert

- Zusammenhang: Investitionen $F \Leftrightarrow$ Verteilung der Erträge
  <u>Annahmen:</u>
  - Änderung von F bewirkt nur Änderung von W_{min}
  - Potenzgesetz-Verteilung hat Ursache nicht in Investitionsmenge
  - $W_{min}(F)$ ähnlich neoklassischer Produktions-Funktionen
    einfachstes Modell: $W_{min}(F) = c\, F^b$ (2)
    mit c: Produktivität; $0 < b \leq 1$
  - $F = f\ N_P$ mit N_P Bruttoinlandsprodukt (3)
    Förderungsrate f = konstant

Abschluß des Modells

- Durchschnittsertrag pro Jahr:

$$< W > = \int_{W_{\min}}^{\infty} dW\, W\, P(W) = \tfrac{\mu}{\mu-1} W_{\min} \overset{\mu=1,3}{\approx} 4W_{\min} \tag{4}$$

- Bruttoinlandsprodukt zur Zeit n:

$$N_P(n) = (1 - f)\, N_P(n-1) + v_{n-1}\, c\, [\, f\ N_P(n-1)\,]^b \tag{5}$$

mit v_{n-1}: Zufallszahl zwischen 1 und ∞

- mit Formeln (2) und (3): $W_{min} = c\, [\, f\ N_P(n-1)\,]^b$

- $b = 1$

$$\Rightarrow N_P(n) = (1 - f + c\ f\ v_{n-1})\, N_P(n-1) \tag{6}$$

⇒ aufsummierter Ertrag *R(n):*

$$R(n) \equiv \ln\left(\frac{N_P(n)}{N_P(0)}\right) = \sum_{i=0}^{n-1} \ln(1 - f + c f v_i) \approx c\left(\sum_{i=0}^{n-1} v_i - n\right) f \tag{7}$$

mit $c < \sum_{i=0}^{n-1} v_i > = cn \dfrac{\mu}{\mu - 1} \overset{\mu=1,3}{\approx} 4\, c\, n$

⇒ Durchschnittsertrag pro Einheit:

$$R \equiv 1/n\ \ < R(n) > = (\, 4\, c - 1\,)\, f \tag{8}$$

Konsequenzen:

- Produktivität c > ¼ : Nation profitiert von Forschung
- Durchschnittsertrag ~ Förderungsquote *(R ~ f)*
- Durchschnittsertrag ~ Produktivität *(R ~ c)*
  ⇒ vernünftige Politik: Erhöhen von *c*
- $\sum_{i=0}^{n-1} v_i$ auch in Potenzverteilung ⇒ *R(n)* fluktuiert stark

- $b < 1$ (sinkende Ertragsrate)

  $\Rightarrow R = ... = (\mu\, c\, f^{\,b})/(\mu - b)\ \ [N_{P\,min}]^{b-1} - f$ (10)

  - R steigt bei kleinem f
  - R sinkt bei großem f
  - optimale Förderungsrate $f^{\,*} = [\mu\, c\, b\,/(\mu - b)]^{1/(1-b)}\ [N_{P\,min}]^{-1}$
  - übrige Konsequenzen gelten weiterhin

- $\mu < 1$ (Situation noch dramatischer)
  - $< W > = \frac{\mu}{\mu - 1} W_{\min} \rightarrow \infty$
  - $R(n)$ wird nach (7) kontrolliert durch die größten Erträge des gesamten Zeitraums
  - noch schwieriger für Entscheider, da noch längere Zeiten ohne bahnbrechende Entdeckung

Fluktuierende Entdeckungsraten

eine Analyse der Fluktuationen ergibt:

- $\mu > 1$: nur Fluktuationen in der Anzahl der Ereignisse bestimmen die Fluktuationen von W

- $\mu < 1$: Anzahl und Bedeutung der Entdeckungen verstärken die Fluktuationen von W

- längere Förderungen bewirken Verstärkung der Fluktuationen, aber auch der Durchschnittserträge

Zusammenfassung / Bemerkungen

- Ziel: quantitative Bewertung des Nutzens und des Ertrages von Forschung

- Identifizierung der Ursprünge von Schwierigkeiten
  - Einfluß von Forschung ist unscharf und zeitverzögert
  - Anzahl und Größe von Entdeckungen sind ungewiß und unvorhersehbar

- Verteilung der Erträge sehr weit (Beispiel: Show Business)

- quantitative Schätzungen müssen auf das Problem zugeschnitten sein (keine Gaußschen Annahmen, nur Langzeit-Analysen)

- benötigt: Kompromiß zwischen kurzen Plänen und Zeit zur Entwicklung neuer Gedanken

- Eingliederung dieses Problems in große Anzahl natürlichen und sozialen Prozessen mit gleichem Verhalten

- Phänomene typisch für selbst-ähnliche Systeme