

Unternehmerische Innovationstheorien – Wissensentstehungs- und -ausbreitungsprozesse in der Industrieökonomik

von
Andreas Pyka





1. Erste Gehversuche in der Industrieökonomik der 1950er Jahre – optimale F&E-Ausgaben
2. Modifikationen des Grundmodells – Spillovers, absorptive Fähigkeiten und Innovationskooperationen
3. Ein neuer Weg in der Neo-Schumpeterianischen Industrieökonomik – Innovationsnetzwerke

Innovation im Blickwinkel der Industrieökonomik – Die 1950er Jahre



- Die Ergebnisse der theoretischen und empirischen Wachstumsforschung zeigten, dass die wesentliche Wachstumskomponente im technischen Fortschritt zu sehen ist, der als exogener Fortschritt in den wachstumstheoretischen Modellen berücksichtigt wird.
- Weil sich technischer Fortschritt vor allem auf der Unternehmensebene beobachten lässt, war damit die Industrieökonomik aufgefordert, Fragen des technischen Fortschritts und der Innovation in ihr Forschungsprogramm aufzunehmen.
- Die Besonderheiten des Innovationsprozesses wurden auf den vorhandenen Modellapparat zurechtgeschnitten:
 - i) Agenten verhalten sich im Sinne des Optimalprinzips.
 - ii) Die Analyse ist auf Gleichgewichte ausgerichtet.
 - iii) Unsicherheit spielt keine Rolle.
 - iv) Vollständiger Wettbewerb ist Benchmark.

Innovation im Blickwinkel der Industrieökonomik – Die 1950er Jahre



Konsequenz:

Innovationsprozesse werden wie risikobehaftete Investitionsprozesse behandelt.

Das lineare Innovationsbild beherrscht das Denken. Innovationen kommen von außen.



„It is as though mother nature has a patent on all techniques of production with unit costs $c(x)$, ($x > 0$) and that society has to pay x to purchase the right to use the technique of production with unit costs $c(x)$.“ (Dasgupta/Stiglitz, 1980, S. 272)

Wissen spielt keine Rolle; Innovationsprozesse werden als F&E-Ausgaben abgebildet.

Investiere so lange in F&E bis der Grenzinnovationsertrag dem letzten dafür aufgewendeten Euro entspricht:

$$\frac{\partial c_i(r_i)}{\partial r_i} - r_i = 0$$



- Um abnehmenden Grenzerträgen und damit abnehmenden Wachstumsraten zu entgehen, erfindet die neue Wachstumstheorie technologische Spillover-Effekte.
- Wissen wird als öffentliches Gut behandelt und kommt somit nicht nur den innovierenden Firmen zugute, sondern verbessert die Kostensituation aller Unternehmen.
- Spillover-Effekte sind positive Rückkopplungen im wirtschaftlichen Wachstumsprozess.
- Auf der makroökonomischen Ebene erfahren Spillover-Effekte damit eine positive Interpretation, die auf der industrieökonomischen Ebene jedoch problematisch ist.



Ist technologisches Know-how ein öffentliches Gut, dann treten sog. Spillover-Effekte auf.

Definition: Technologische Spillover-Effekte sind positive Externalitäten, die im Innovationsprozess entstehen können. Es handelt sich um die unfreiwillige Weitergabe von Wissen an Dritte, die sich nicht an den Entstehungskosten des Wissens beteiligen.

$$y_i = f(x_i, \dots, x_n, r_i, Z_i)$$

$$Z_i = \beta \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m r_j$$

y_i := Output des Unternehmens i

x_i := Inputfaktoren in der Produktion des Unternehmens i

r_i := F&E-Aufwendungen des Unternehmens i

Z_i := Spillover-Pool des Unternehmens i

β := Spillover-Parameter; β zwischen 0 (privates Gut) und 1 (öffentliches Gut)

r_j := F&E-Aufwendung eines anderen Unternehmens j



Bei Vorliegen von öffentlichen Gut-Eigenschaften gilt: $\beta = 1$

→ **free-rider-Problematik**

$$\frac{\partial r_i}{\partial \beta} < 0; \quad r_i = 0 \text{ wenn } \beta = 1$$

Negative Interpretation der Spillover-Effekte als anreiz-reduzierend: Die unternehmerischen Anreize in F&E zu investieren, fallen niedriger aus als die sozial-optimalen Anreize.

Marktversagen:

- Staat als Produzent (Grundlagenforschung)
- Sicherung der intellektuellen Eigentumsrechte
- Subventionierung von Forschung im Industriesektor



Alternativ findet sich auch das **Mülltonnenmodell**:

Öffentlichen Gut-Eigenschaften liegen vor: $\beta = 1$

Dennoch gilt:

$$\frac{\partial r_i}{\partial \beta} = 0;$$

D.h. die Anreize der Unternehmen in Forschung und Entwicklung zu investieren, werden durch das Vorliegen von Öffentlichen-Gut-Eigenschaften nicht tangiert.

M.a.W. das Wissen ist für eigene Belange nicht verwendbar; Dritte können daraus jedoch ökonomische Erträge herstellen.

Problematisch aufgrund der Homogenitätsannahmen (repräsentative Firma, homogene Technologien etc.)



Eigenschaften von technologischem Know-how:

- i) unternehmensspezifisch (tacit)
- ii) technologie-spezifisch (lokal)
- iii) kumulativ und komplex (absorptive Fähigkeiten)

Aus i. und ii. folgt, dass β in der Regel kleiner als 1 ist.

Aus iii. folgt, dass selbst wenn $\beta = 1$ gelten sollte, nicht sichergestellt ist, ob Dritte das Know-how verwenden können. Notwendig dafür sind absorptive Fähigkeiten μ_i :

$$y_i = f(x_i, \dots, x_n, r_i, \mu_i \cdot Z_i)$$

$$Z_i = \beta \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m r_j$$

$$\mu_i = g(r_i)$$



Zwischenergebnis 1:

Anreizreduzierende Effekte fallen somit deutlich niedrigerer aus (in Übereinstimmung mit empirischen Ergebnissen bspw. Yale-Studie).

Methoden	Prozeß- innovationen	Produkt- innovationen
Patentschutz	3,52	4,33
Geheimhaltung	4,31	3,57
Zeitlicher Vorsprung	5,11	5,41
Lernkurveneffekte	5,02	5,09
Absatzbegleitende Maßnahmen	4,55	5,59

Levin/Klevorick/Nelson/Winter (1987, 794)



Ein neuer Begriff taucht auf:

Technologische Komplementaritäten

Unterschiedliche Technologien stehen häufig nicht unverbunden nebeneinander, sondern beeinflussen sich wechselseitig.

cross-fertilization Effekte, z.B. Opto-Elektronik, Bio-Informatik ...

General Purpose Technologies, z.B. Computer, Massenproduktion, Dynamo ...



Beim Vorliegen von technologischen Komplementaritäten rücken bei der Betrachtung von Spillover-Effekten, deren **Ideen-schaffenden** Wirkungen in den Vordergrund. (T_i := technologisches Potential)

$$y_i = f(x_i, \dots, x_n, r_i, T_i, \mu_i \cdot Z_i)$$

$$Z_i = \beta \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m r_j$$

$$T_i = T_i(r_i, Z_i)$$

$$\mu_i = g(r_i)$$

$$\begin{aligned} &> 0 && \text{bei technologischen Komplementaritäten} \\ \frac{\partial T_i}{\partial Z_i} &= 0 && \text{bei unverbundenen Technologien} \\ &< 0 && \text{bei technologischen Substituten} \end{aligned}$$



Zwischenergebnis 2:

Die detailliertere Betrachtung von technologischem Know-how führt zu einem veränderten Verständnis technologischer Spillover-Effekte: Aus anreizreduzierenden können ideenschaffende Spillover-Effekte werden.

Konsequenzen für die Technologiepolitik:

- Förderung von Spillover-Effekten
- Technologietransfer
- Innovationskooperationen



Dieses Ergebnis findet sich praktisch 1:1 in der industrieökonomischen Modellierung des Innovationsprozesses der 1980er Jahre wieder.

Z.B. Levin/Reiss (1988), Cost-reducing and demand creating R&D with Spillovers, Rand Journal of Economics, Vol. 19, 538-556.

$$\frac{r \& d}{1 - r \& d} = \alpha_{r_i} + \frac{1}{n} \lambda_i \alpha_{\sum r_j}$$

$r\&d$:= F&E-Kosten-Umsatzanteil

α_{r_i} := Elastizität der Kostenreduktion bezüglich der eigenen F&E-Aufwendungen

$\alpha_{\sum r_j}$:= Elastizität der Kostenreduktion bezüglich des Spilloverpools

λ_i := $\partial \sum r_j / \partial r_i$

Die *wissensbasierte* Wende in den 1990er Jahren



Anstelle der F&E-Ausgaben als Approximation des Innovationsprozesses rücken die unternehmerische Wissensbasis und Lernprozesse in den Vordergrund:

- „Firms cannot produce and use innovations by dipping freely into a general ‚stock‘ or ‚pool‘ of technological knowledge.“ (Dosi, 1988, S. 225)
- „In particular, spillovers might as reasonably be linked to the internal capabilities or decisions of agents as they are to any features of senders or what is being sent, not least because it is the decision to access knowledge stocks of others which creates the possibility of a spillover. Further, the internal capability of the searching firm often determines how large and useful the spillover is likely to be, almost regardless of what is sent.“ (Geroski, 1995, S. 80)



- Das Konzept der technologischen Spillovers wird immer mehr in Frage gestellt.
- Aufgrund der Eigenschaften von technologischem Wissen (tacit, local, complex) scheint eine unfreiwillige Weitergabe des Wissens als unplausibel.
- Die Arbeiten zu den absorptiven Fähigkeiten verdeutlichen, dass die Empfänger für die Nutzung externen Wissens entscheidende Fähigkeiten mitbringen müssen.
- Competence-Difficulty-Gap (Heiner 1983) rückt die echte Unsicherheit des Innovationsprozesses (statt Risiko) wieder in den Mittelpunkt der Betrachtung.

„In particular, what often appears to be an involuntary flow of knowledge between firms may be nothing more than a pair of draws from a narrow but common pool shared by a group of agents within a common set of problems.“
(Geroski, 1995, S. 85)



- Was sich makroökonomisch als Rettung der Wachstumstheorie erwiesen hat, führte auf der industrieökonomischen Ebene in die Sackgasse.
- Statt Spillover-Effekten rücken in der modelltheoretischen Analyse Innovationskooperationen in den Mittelpunkt.
- Z.B. D'Aspremont und Jacquemin (1988, *AER*): Präkompetitive F&E-Kooperationen führen in Industrien, die durch hohe Spillovers gekennzeichnet sind, zu Wohlfahrtsverbesserungen.
- In der neo-schumpeterianischen Industriedynamik ist man bereit, eine radikalere Abkehr vom traditionellen Modellrahmen zu wagen und Innovationsprozesse in ihrer Komplexität abzubilden.
- „Inventions hardly function in isolation ... Technologies depend upon one another and interact with one another in ways that are not apparent to the casual observer, and often not to the specialist. ... The growing productivity of industrial economies is the complex outcome of large numbers of interlocking mutually reinforcing technologies, the individual components of which are of very limited economic consequences by themselves.“ (Rosenberg, 1982, S.56)

... und der Beginn der Innovationsnetzwerke und -systeme



- „The dominant mode of innovation is systemic. Systemic innovation is brought about through the fission and fusion of technologies; it triggers a series of chain reactions in a total system. ... The interactive process of information creation and learning is crucial for systemic innovation ... The characteristic trait of the new industrial society is that of **continuous interactive innovation** generated by the linkages across the borders of specific sectors and specific scientific disciplines.“ (Imai/Baba, 1991, S. 389)
- Innovationsnetzwerke entstehen aus dem Geflecht bi- und multilateraler Kooperationen, in denen Unternehmen Wissen miteinander austauschen und gemeinsam entwickeln.
- In der modernen Innovationsforschung gelten Innovationsnetzwerke im allgemeinen als vorteilhafte Organisationsform des unternehmerischen Innovationsprozesses.



- In der Literatur zu Innovationsnetzwerken steht der Wissensentstehungs- und -ausbreitungsprozess im Vordergrund.
- Für eine wirklichkeitsnahe Abbildung dieser Prozesse in Netzwerken ist ein einfacher Rückgriff auf die F&E-Ausgaben nicht möglich (z.B. Innovationsnetzwerke in der biopharmazeutischen Industrie umfassen regelmäßig große etablierte Unternehmen (LDFs) und kleine Start-ups (DBFs)).
- Mit der Analyse von Innovationsnetzwerken rückt somit die Struktur und die Dynamik der unternehmerischen Wissensbasis in den Mittelpunkt.

Wie kann man sich aus einer modelltheoretischen Sicht der Wissensbasis einer Unternehmung annähern?

Eine empirische Betrachtung der unternehmerischen Wissensbasis

UNIVERSITÄT HOHENHEIM



Lexikographische Analyse der Wissensbasis von Rhône-Poulenc:

Daten: ungefähr 6000 Patente von 1985 bis 2003

Häufigkeit und Co-Zitierung der technologischen Klassen nach dem IPC (4-digit)

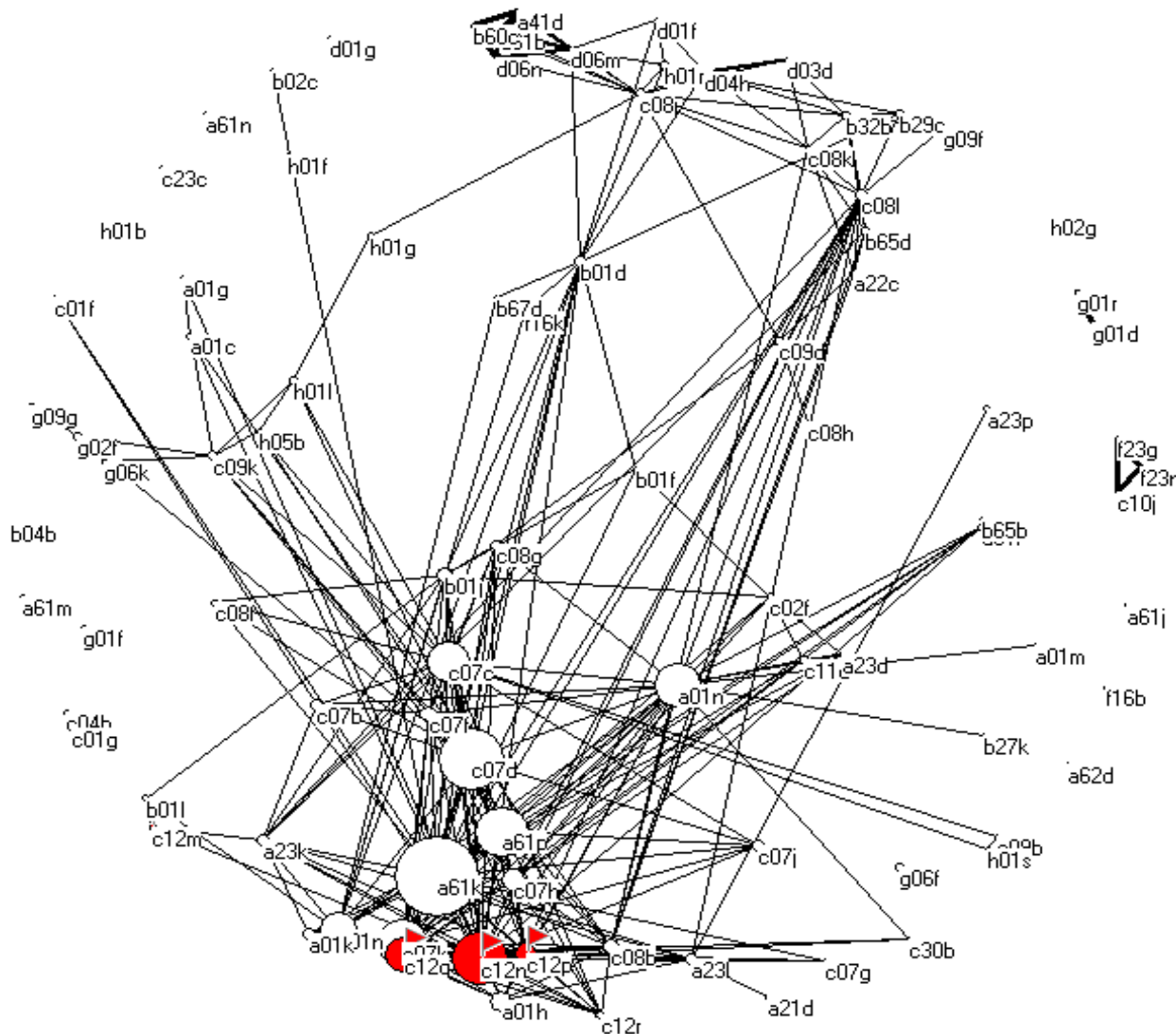
⇒ Wissensnetzwerk (nur technologisches Wissen), welches die Analyse der Entstehung, Ausbreitung und Einbettung von neuem Wissen in die Wissensbasis eines Unternehmens erlaubt.

IPC Subclasses Aventis



2000 - 2003

- 157 different nodes (IPC subclasses)
- 557 connections
- 2008 patents



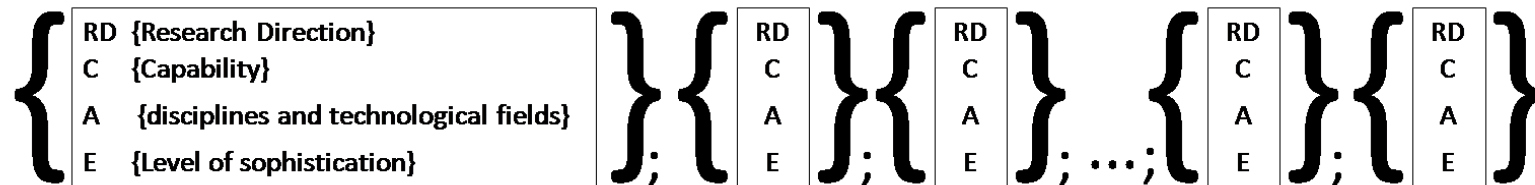
Frequency of IPC subclasses "BIOTECH"

name	freq.	sel.	them
c12m	6	▲	
c12n	437	▲	
c12p	71	▲	
c12q	180	▲	

Agenten-basierte Modellierung der unternehmerischen Wissensbasis

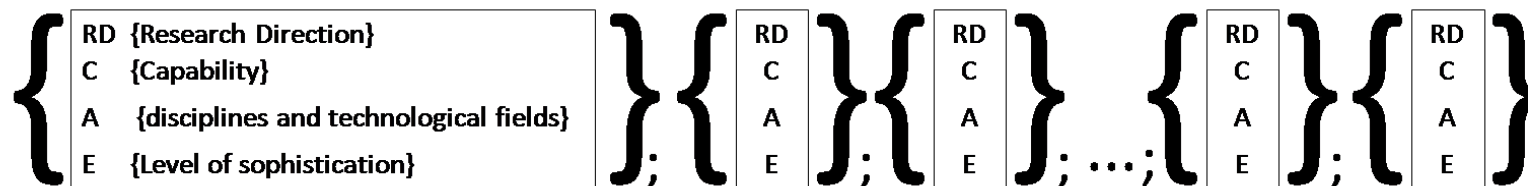


- SKIN (Simulation of Knowledge and Innovation Networks) von Petra Ahrweiler, Nigel Gilbert und Andreas Pyka
- Das Wissen eines Unternehmens wird als so genanntes **Kene** modelliert: Ein Kene ist eine Menge von Wissensselementen mit variabler Größe.
- Jede Einheit (Quadrupel) setzt sich aus der Forschungsausrichtung RD, den Kompetenzen C, deren jeweiligen Ausprägung A sowie der Expertise E zusammen.





- RD (research direction) $\in \{0, \dots, 9\}$ 0:= pure basic research; 9 := pure applied research
- C (capabilities) $\in \{0, \dots, 1000\}$ Kompetenz in einem wissenschaftlichen Feld z.B. organisch Chemie ~ 3-digit IPC code C07 (organic chemistry)
- A (ability) $\in \{0, \dots, 10\}$ spezifische Ausprägung z.B. Herstellung von Peptiden ~ 4-digit IPC code C07K (preparation of peptides)
- E (expertise) $\in \{0, \dots, 40\}$ 0:= not available

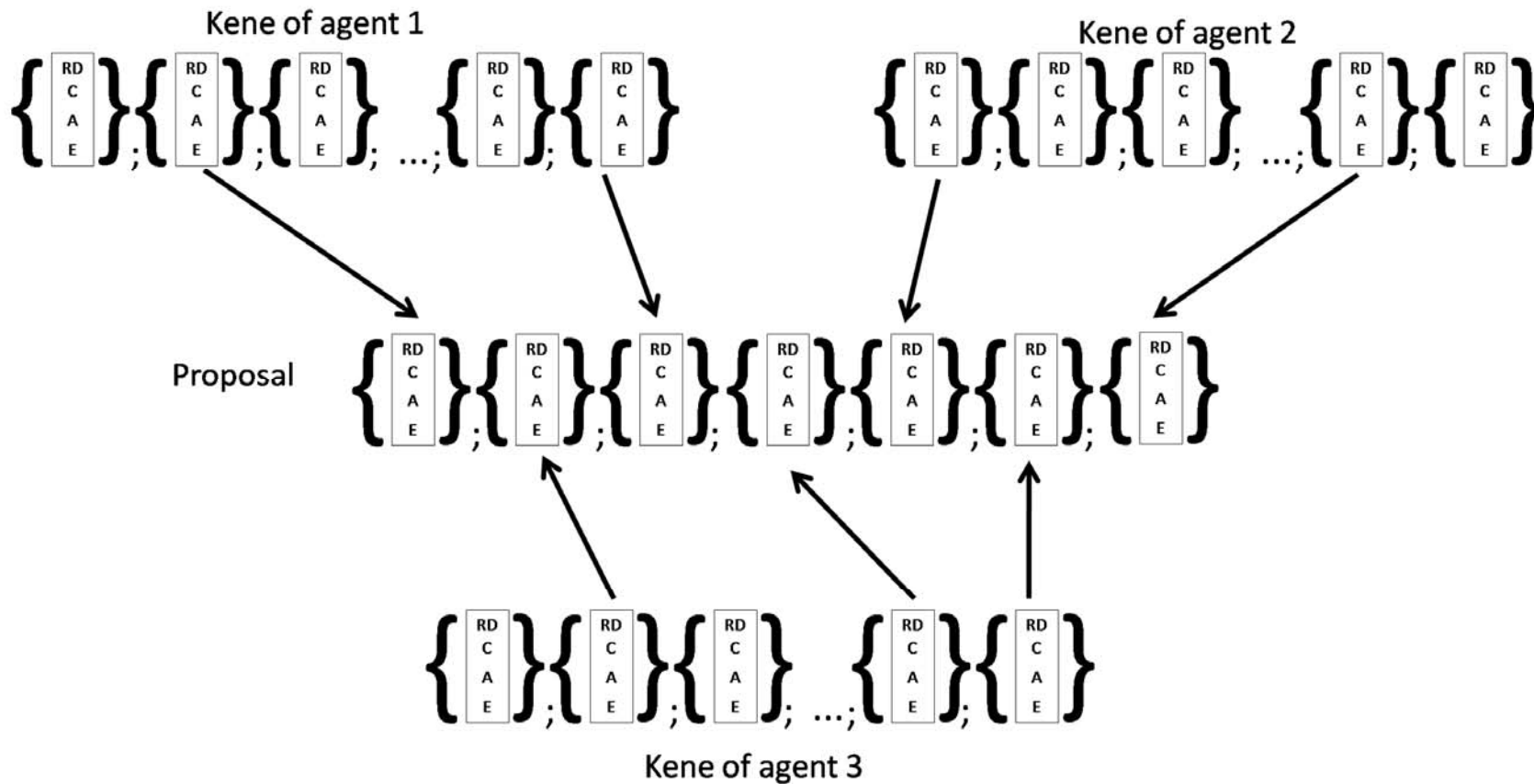




- Radical Research -> Neue Wissensgebiete (C) werden erprobt
- Incremental Research -> Neue Ausprägung des Wissens (A) wird ausprobiert
- Anwendung des Wissens -> Expertise (E) wird aufgebaut



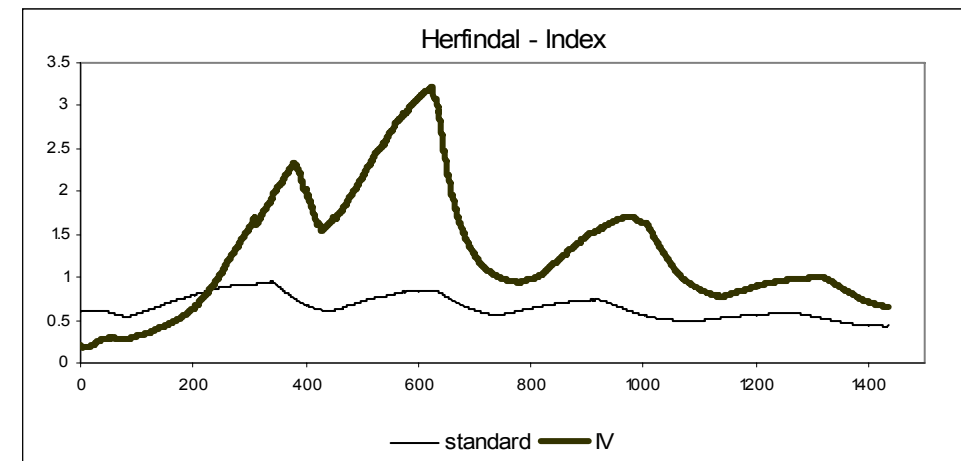
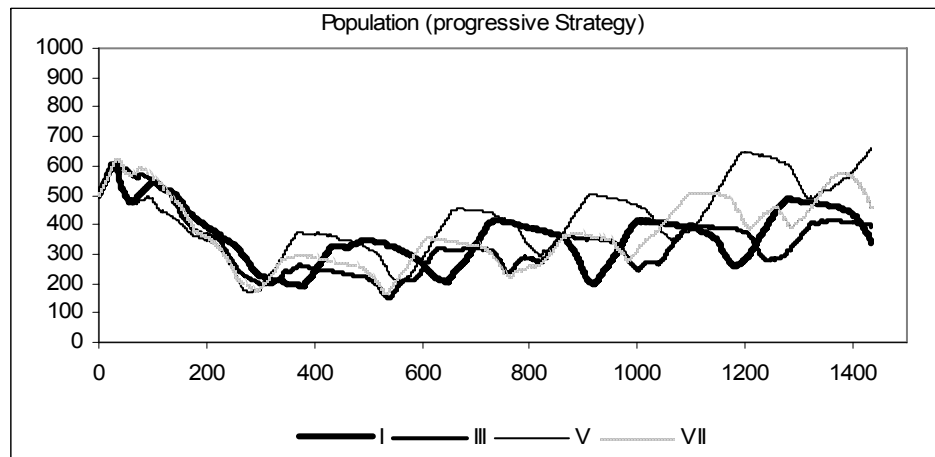
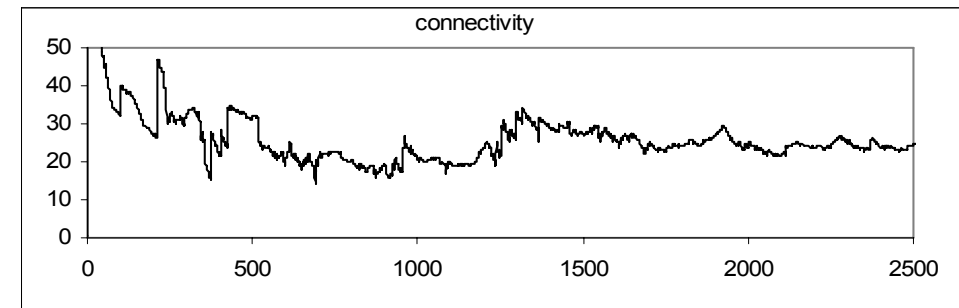
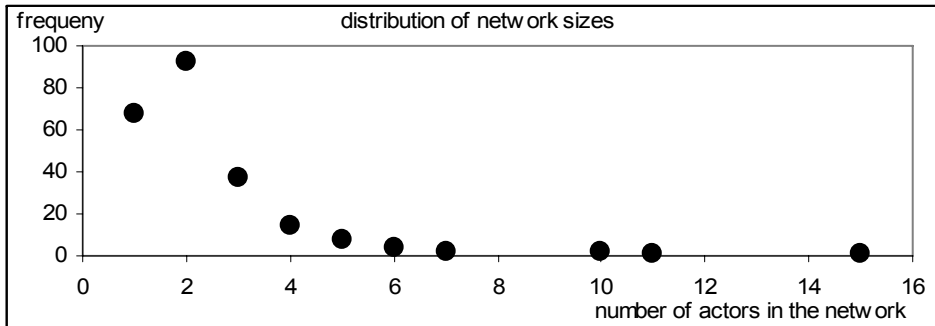
Kombination von Kenen





- Die Integration von externem Wissen sowie die Erfolgswahrscheinlichkeit gemeinsamer Innovationsprojekte wird durch den jeweiligen „Wissensabstand“ bestimmt.
- Sehr unterschiedliches Wissen (große Distanz) -> Erfolgswahrscheinlichkeit niedrig; potentiell großes Ausmaß der Innovation.
- Sehr ähnliches Wissen (kleine Distanz) -> Erfolgswahrscheinlichkeit hoch; potentiell geringes Ausmaß der Innovation.

Einige Ergebnisse





- Die Einbeziehung des Innovationsphänomens stellt die Industrieökonomik vor große Herausforderungen.
- Im ökonomischen Mainstream wird der Versuch unternommen, Innovationsprozesse durch unternehmerische F&E-Ausgaben zu approximieren.
- Technologisches Wissen wird als zumindest teilweise öffentliches Gut behandelt.
- Neo-Schumpeterianische Ansätze gehen einen radikaleren Weg: Aufgabe des traditionellen Modellierungsrahmens (Gleichgewichte, homogene Technologien, vollkommen rationale Akteure). Wissen wird in seiner vernetzten Struktur abgebildet; Unsicherheit, Irrtum etc. werden explizit thematisiert.