

**Ökonomische Fragestellungen mit vielen
Einflussgrößen als Netzwerke**

Frank Brand

Paper No. 29, 07/2006

Working Papers of the
Institute of Management Berlin
Berlin School of Economics (FHW Berlin)
Badensche Str. 50-51, D-10825 Berlin

Editors:
Prof. Dr. Gert Bruche
Prof. Dr. Hansjörg Herr
Prof. Dr. Friedrich Nagel
Prof. Dr. Sven Ripsas

ISSN 1436 - 3151

- All rights reserved -

Frank Brand beendete seine Promotion 1998 an der Technischen Universität Berlin und arbeitete danach als wissenschaftlicher Mitarbeiter über Themen aus der Mustererkennung in einer Münchner Firma, die vom Nobelpreisträger Gerd Binnig gegründet wurde. Seine Hauptinteressensgebiete sind u. a. Mathematische Modellierung, Evolutionäre Optimierungsverfahren, Computeralgebrasysteme (Mathematica) sowie die Analyse und Steuerung komplexer dynamischer Systeme. Seit 2003 lehrt und forscht Frank Brand an der Berlin School of Economics mit den Schwerpunkten Wirtschaftsmathematik und Statistik.

Frank Brand, Fachhochschule für Wirtschaft, Fachbereich I, Badensche Str. 50-51, 10825 Berlin, Germany. Email: fbrand@fhw-berlin.de

Zusammenfassung

Systemtheoretische Ansätze für die Untersuchung von Fragestellungen mit einer großen Anzahl von miteinander in Beziehung stehenden Einflussgrößen oder Variablen werden vorgestellt. Diese dergestalt verknüpften Größen werden auch als Netzwerke bezeichnet. Fokussiert wird auf die Eingangsdaten, die notwendigerweise zur Verfügung stehen müssen, um eine grundlegende Untersuchung solcher Netzwerke zu ermöglichen. Neben der strukturellen, d. h. Verknüpfungsinformation werden noch Eingangsdaten über verstärkende oder abschwächende Regelkreise sowie Zeitverzögerungen berücksichtigt.

Vorgestellt wird die Notwendigkeit der Bestimmung von geschlossenen Regelkreisen in Netzwerken, was bei komplexen Netzwerken leider nicht immer vollständig möglich ist. Die Analyse dieser Regelkreisinformationen erlauben i. d. R. erste Aussagen über die Informationsweiterleitung in Netzwerken.

Die Vorgehensweise bei der Analyse von komplexen Systemen wird demonstriert am Beispiel nationaler Ökonomien, im Gebiet der Marktforschung sowie an einem Regionalplanungsmodell.

Abstract

This article presents a system theoretic approach applied to problems with a large number of variables being connected. Such systems are classified as networks. The main focus is on the input data to allow for analyzing these networks. Information on the structural setting as well as the underlying circuits and time delays between different variables is used to understand the network treated in a graph theoretic setting.

We demonstrate the effort of having access to all closed circuits in a graph representation, the so called Hamiltonian cycles. As the network size increases it may not be possible to generate all Hamiltonian cycles due to the algorithmic complexity of the calculations needed.

The procedure for analyzing networks is applied to examples in the area of national economies, marketing research and regional planning.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Systemtheorie	7
3.	Mathematische Beschreibung von Netzwerken	9
3.1.	Adjazenz- / Influenz- / Zeitverzögerungsmatrix	9
3.2.	Bestimmung von Regelkreisen in Graphen	10
4.	Beispiele	12
4.1.	Funktionale nationale Ökonomien	12
4.2.	Strategische Marktforschung	15
4.3.	Regionalplanungsmodell	17
5.	Zusammenfassung und zukünftige Forschungsschwerpunkte	19
6.	Danksagung	20
7.	Literatur	21
8.	Anhänge	22
9.	Working Papers des Business Institute Berlin an der Fachhochschule für Wirtschaft Berlin	26

1. Einleitung

• *Systemische Methoden*

In den letzten Jahrzehnten haben sich verschiedene Forschungszweige herausgebildet, die für sich in Anspruch nehmen, komplexe dynamische Systeme zu beschreiben. Ebenso wurde behauptet, solche Systeme steuern zu können. Fragestellungen, gekennzeichnet durch stark vernetzte Komponenten, sind beispielhaft:

- Modellierung funktionaler bzw. dysfunktionaler nationaler Ökonomien
- Kapitalverflechtungen in Deutschland in der zeitlichen Entwicklung
- Simulation komplexer Krankheitsverläufe bei Mensch und Tier (Multifaktorielle Krankheiten)
- Katastrophenmanagement
- Stadt- und Regionalplanung
- Sicherheits- und Risikoanalysen

Die existierenden Ansätze, komplexe Systeme zu beschreiben und zu analysieren, lassen sich grob in drei Klassen einteilen. Die *qualitativen* Ansätze (Vester, Probst/Gomez, Senge), *Komplexes Problemlösen* (Dörner, Funke) und *System Dynamics / Systems Thinking* (Forrester).

Vester ist wohl der bekannteste deutsche Vertreter der qualitativen Ansätze, der als Bezugspunkt für seine Methode biologische Systeme verwendet, die als Beispiel von stark vernetzten Systemen gelten (Vester, 2002). Er fokussiert insbesondere die praktische Steuerung von Systemen und orientiert sich an acht seiner Meinung nach wichtigen Prinzipien der Natur, die das Überleben garantieren (ebd.).

Probst/Gomez haben in ihren frühen Arbeiten die typischen Denkfehler des Problemlösens in komplexen Situationen herausgearbeitet. Ihnen stellen sie die Bausteine einer Methodik des ganzheitlichen Problemlösens gegenüber (Probst/Gomez, 1991). Diesen Autoren gemeinsam ist das Herausarbeiten von Systembeziehungen, die Darstellung der Gesamtvernetzung eines Systems in einem (in mathematischer Sprache) Graphen, der zumeist als Wirkungsdiagramm bezeichnet wird. Zudem wird unterschieden zwischen positiven (verstärkenden bzw. eskalierenden) und negativen (stabilisierenden bzw. dämpfenden) Rückkopplungskreisen. Neben der Untersuchung, an welchen Stellen im System man überhaupt sinnvoll eingreifen kann, sehen sie die Möglichkeit des Durchspielens verschiedener möglicher Entwicklungsszenarien in Form von Simulationen vor. Besonderes Augenmerk legen sie auf die

Identifikation derjenigen Variablen im System, mit Hilfe derer sich das System aktiv steuern lässt. Der Kognitionspsychologe Dörner hat unter dem Schlagwort „Komplexes Problemlösen“ mittels computersimulierter Szenarien versucht, das menschliche Bearbeiten von und Handeln in komplexen Situationen zu verstehen (Dörner, 1989). Er kommt nach über zehnjähriger Forschung in seinem *Lohhausen*-Projekt zu der Erkenntnis, dass es keine isolierbaren und damit benennbaren kognitiven Eigenschaften zu geben scheint, die Menschen zu guten Problemlösern macht. Quantitative Simulationsmodelle wurden von Forrester vorgestellt (Forrester, 1968). Im Mittelpunkt seiner Analysen stehen so genannte Bestandsgrößen, die sich durch Zu- und Abflüsse im Laufe der Zeit ändern. Zudem gelingt es mit diesem Vorgehen, zeitliche Verzögerung zu modellieren. Sie haben bei der Untersuchung realer Gegebenheiten einen entscheidenden Einfluss auf das Systemverhalten.

• *Zentrale Fragestellungen*

Das Forschungsthema *Komplexe Systeme* beinhaltet verschiedene Fragen, die bei der Analyse und Steuerung von Bedeutung sind, so z. B.

- Wie können (ökonomische) Fragestellungen in Termini von komplexen Systemen bzw. Netzwerken dargestellt werden?
- Lassen sich allgemeine Gesetzmäßigkeiten über die Grenzen von Anwendungsgebieten hinweg finden und benennen?
- Welche Möglichkeiten existieren, komplexe Systeme von aussen oder innen zu steuern?

• *Wissenschaftlicher Diskussionsstand*

Als Nachteil der Ansätze in Vester's Arbeiten lässt sich festhalten, dass viele von ihm formulierten Prinzipien und Folgerungen starken Schlagwortcharakter aufweisen. Zudem zeigen sie wenige quantitative Aspekte, so dass von modernen Simulations- und Optimierungsansätzen und -programmen kein Gebrauch gemacht werden konnte.

Die Methoden von Probst/Gomez stellen zwar einen praxisorientierten Ansatz dar, sind aber in der Beschreibung von Systemen überwiegend auf rein qualitative Aspekte beschränkt.

Forrester's Arbeiten sind die am stärksten quantitativ orientierten; gleichwohl sind sie zu einer Zeit entstanden, in der die Möglichkeiten mathematischer Modellierung mit geeigneten Mathematikprogrammen noch nicht existierte. Zudem wurde bisher weder von der Darstellung eines komplex vernetzten Systems in Form eines mathematischen Graphen als auch von den sich ergebenden mathematischen Methoden nur wenig oder kein Gebrauch gemacht.

- *Neue Ansätze*

Vor etwa zehn Jahren kamen mit Computeralgebrasystemen wie z. B. Mathematica Mathematikprogramme auf den Markt, die es erlauben, mathematische Ausdrücke zu erzeugen, zu manipulieren und weiter zu verarbeiten, die weit über das hinausgehen, was ein Mensch zu leisten imstande wäre. Formeln von 1000 DIN-A4 Seiten Länge können mit solch einem System problemlos bearbeitet werden. Zudem stellen sie die umfassendste Sammlung mathematischen Wissens dar, welche zur Zeit verfügbar ist.

Vorteile der neue Ansätze

Alle mathematischen Teilgebiete, insbesondere auch die Graphentheorie, haben in solchen Computeralgebrasystemen ihren festen Platz. Damit steht in einer integrierten Umgebung ein Werkzeug zur Verfügung für die symbolische und numerische Verarbeitung von mathematisch modellierbaren Fragestellungen genauso wie die Visualisierung und eine moderne Programmiersprache.

Bei der Modellierung, Analyse und Steuerung komplexer dynamischer Systeme kann nun also erstmals ein Programm verwendet werden, welches eine Modellierung in der geforderten Genauigkeit und Flexibilität erlaubt. Insbesondere gilt dies für die funktionale Beschreibung der Wirkung einer Variablen auf eine andere.

Der Kern der Simulation eines solchen Systems besteht in der korrekten Verknüpfung von jeweils zwei aufeinander wirkenden Variablen. Nur wenn die Beschreibung solch einer Variablenbeziehung so genau wie nötig vorgenommen wird, darf von Simulationsergebnissen erwartet werden, dass sie die realen Verhältnisse und daraus resultierenden Fragestellungen hinreichend gut modellieren.

Außer einigen Simulationsprogrammen in industriellen Umgebungen existiert zur Zeit kein Werkzeug, mit dem eine einfache und rasche Beschreibung, Modellierung und

mathematische Bearbeitung von stark vernetzten und somit auch ökonomischen Fragestellungen möglich wäre.

- *Ziele dieses Beitrages*

Neben der korrekten Beschreibung von hochgradig vernetzten Systemen in Termini der Struktur, der Wirkung und den zeitlichen Verzögerungen bei der Wirkung einer Variablen auf eine andere soll in diesem Beitrag das Zusammenwirken all dieser Informationen und der daraus folgende Informationsgewinn über das zugrunde liegende System beschrieben werden. Denn diese Informationen liefern letztendlich die Möglichkeit für eine verbesserte Vorhersagefähigkeit von Simulationen. Zudem darf man sich die Gewinnung einer moderneren und präziseren Beschreibung der Wechselwirkungen von Faktoren/Einflussgrößen in komplexen ökonomischen Zusammenhängen erhoffen.

Dieser Beitrag beschreibt die Verknüpfung der in der Literatur gut beschriebenen qualitativen Ansätze mit den Methoden des System Dynamics – all dies unter Verwendung des Computeralgebrasystems Mathematica. Zudem will dieser Beitrag hinführen auf Verfahren, mit denen man einerseits komplexe Systeme darstellen kann sowie die Komponenten von Systemen in ihrem Zusammenhang mit anderen sie umgebenden Komponenten analysieren kann.

Im Abschnitt zwei wird zunächst der Inhalt des Begriffs *System* präzisiert. Der dritte Abschnitt führt die zur Beschreibung von Systemen, die in Form von Graphen dargestellt werden bzw. zu verstehen oder interpretieren sind, nötigen mathematischen Konstrukte und Formalismen ein. Dem Thema „Regelkreis in Graphen“ wird dabei besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Schließlich werden im Abschnitt vier die vorgestellten Methoden teilweise und exemplarisch angewandt auf verschiedene Beispiele, die den Themenkreisen Ökonomie, Strategische Marktforschung und Regionalplanung entstammen.

2. Systemtheorie

Unter einem System versteht man nun allgemein das Zusammenwirken von Größen (auch Variablen genannt). Dabei ist die Abgrenzung bzw. Abgrenzbarkeit gegenüber der "Aussenwelt" mittels einer Systemgrenze ein notwendiger das System erst definierender Aspekt. Wichtig ist hierbei zum einen, dass das Gesamtsystem nicht ausreichend beschrieben werden kann durch die Betrachtung isolierter monokausaler

Wechselwirkungen von Teilen des Systems. Andererseits ist die Annahme, dass ein abgeschlossenes System vorliege, normalerweise nicht tragfähig und auch nicht vernünftig.

Die grundlegenden Eigenschaften solcher Systeme sind die *hohe Zahl von Variablen* und/oder der *Grad der Vernetzung* bzw. Wechselwirkungen der Teilkomponenten (Abb. 1). Die Teile eines Systems werden in Anhängigkeit vom Grad der Ausdifferenzierung Variable, Elemente oder auch Subsysteme genannt. Jedes Subsystem kann natürlich seinerseits wieder mit den gleichen Methoden als eigenständiges System betrachtet werden.

Ein System wird definiert durch die Komponenten (auch Knoten, Element oder Variable genannt) sowie durch Verknüpfungen (auch Kanten oder Relation genannt). Systeme können einerseits Informationen von außerhalb des Systems aufnehmen und sind auch in der Lage, Informationen nach außen abzugeben.

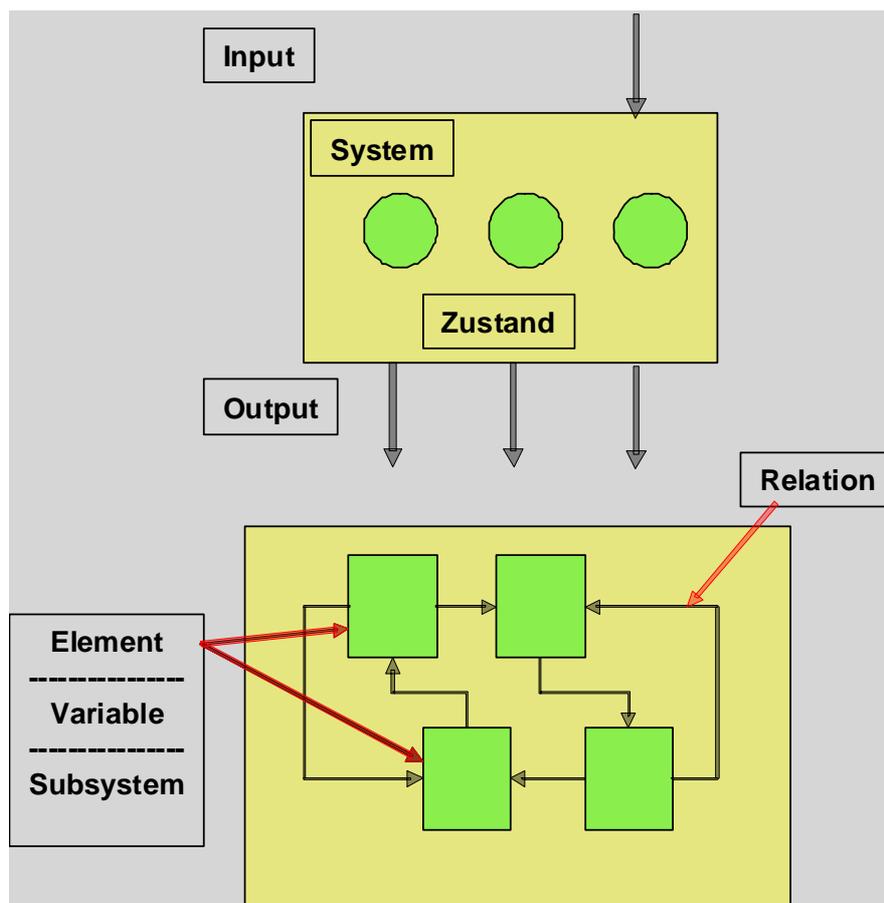


Abb. 1: Ein System dargestellt durch seine Subsysteme mit Verbindungen.

3. Mathematische Beschreibung von Netzwerken

3.1. Adjazenz- / Influenz- / Zeitverzögerungsmatrix

Die mathematische Darstellung eines Graphen kann geschehen in der Form einer so genannten Adjazenzmatrix A.

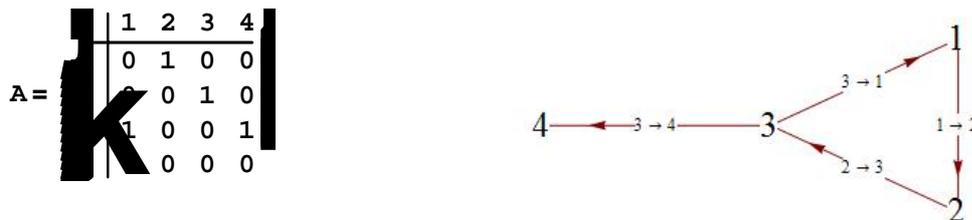


Abb. 2: Die Adjazenzmatrix A (links) und der zugehörige Graph (rechts). In der Adjazenzmatrix sind diejenigen Komponenten von Null verschieden, die im Graphen einer Kante entsprechen. Hier sind dies die Übergänge $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$, $3 \rightarrow 1$ und $3 \rightarrow 4$.

Für eine tiefer gehende Beschreibung von Netzwerken wird jeder Kante eine Wirkung bzw. ein Einfluss von einem Knoten (einer Variablen im Netzwerk) auf einen anderen zugeschrieben. Die resultierende Influenzmatrix I (Abb. 3) unterscheidet sich von der Adjazenzmatrix nicht bzgl. ihrer Struktur sondern nur in den Werten, welche (in der einfachsten Form) neben Null auch die Zahlen ± 1 , ± 2 bzw. ± 3 enthalten kann. Dabei beschreiben 1 schwache, 2 mittelstarke und 3 starke Wirkungen von einer Variablen auf eine andere. Ein wesentlicher Aspekt vernetzter Systeme ist die Zeitverzögerung, mit der die Wirkung eintritt (Abb. 3).



Abb. 3: Die Einflussmatrix I (links) und die Zeitverzögerungsmatrix T (rechts). Beispielsweise beschreibt die -3 in der Komponente (1,2) der Einflussmatrix I, dass die Variable 1 eine stark negative Wirkung auf die Variable 2 hat. Die entsprechende Komponente der Zeitverzögerungsmatrix informiert darüber, dass die Wirkung auf die Variable 2 nach 12 Zeiteinheiten (ZE) eintritt.

3.2. Bestimmung von Regelkreisen in Graphen

Das Problem der Bestimmung von Regelkreisen ist mathematisch die Bestimmung so genannter Hamiltonkreise für einen Graphen mit n Knoten. Das Auffinden eines Hamiltonkreises ist NP-schwer – dies bedeutet, dass (bisher) kein Algorithmus existiert, der diese Aufgabe in nicht-exponentieller Zeit bewältigen könnte (Nitzsche, 2005). Die Informationen, die allerdings in diesem Kontext erforderlich ist, ist das Auffinden aller Regelkreise auch für alle Subgraphen eines gegebenen Graphen. Dies ist in der Regel nicht immer möglich.

Hat man alle Regelkreise aber gefunden, steht der Verknüpfung mit den Informationen in der Einfluss- und Zeitverzögerungsmatrix nichts mehr im Wege. Die Zusammenhänge zeigt die Abb. 4.

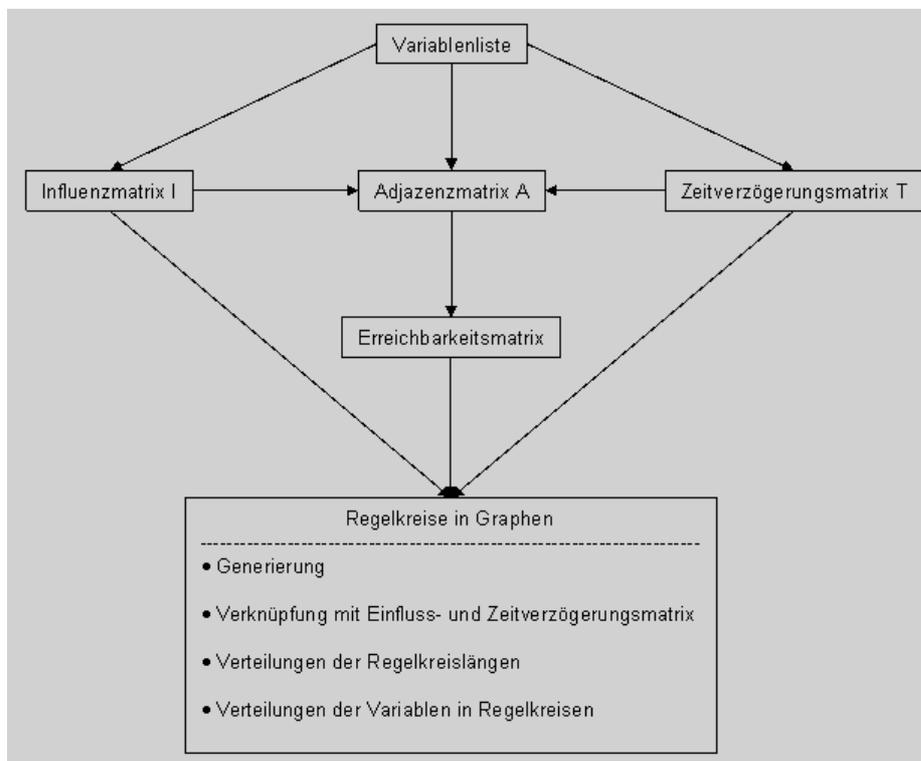


Abb. 4: Die Verknüpfung der Informationen aus Adjazenz-, Influenz- und Zeitverzögerungsmatrix erlaubt die Analyse und Bewertung der im zugehörigen Graphen auftretenden Regelkreise.

Der so genannten Erreichbarkeitsmatrix E kommt in diesem Kontext besondere Bedeutung zu, da in dieser Matrix die Information enthalten ist, auf wie vielen verschiedenen Wegen man in einem gegebenen Graphen von einem Knoten A (in unserem Kontext von einer Variablen) zu einem anderen Knoten B gelangen kann. Formal

wird E bestimmt durch die Summe der Potenzen der zum Graphen gehörigen Adjazenzmatrix A, also

$$E = \sum_{i=1}^n A^i$$

Für einen Graphen mit vier Knoten und geringem Vernetzungsgrad zeigt die Abb. 5 exemplarisch die Anzahl aller möglichen Wege in diesem Graphen.

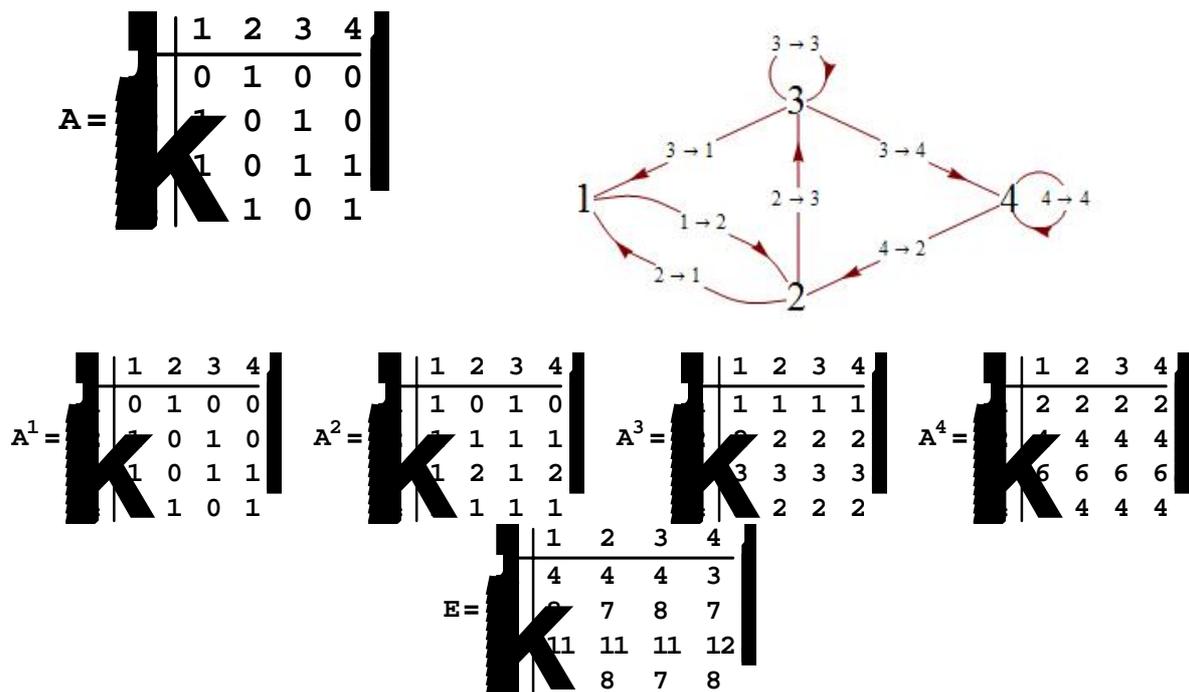


Abb. 5: Die Adjazenzmatrix A (links oben) und der zugehörige Graph (rechts oben). In der mittleren Zeile sind die Potenzen der Adjazenzmatrix A wiedergegeben – die erste Potenz von A ist natürlich mit der Adjazenzmatrix A identisch. Die Summe aller Potenzen der Adjazenzmatrix ergibt die Erreichbarkeitsmatrix E. Die Komponente (3,4) in der Matrix E mit dem Wert 12 besagt, dass im obigen Graphen 12 verschiedene Wege vom Knoten 3 zum Knoten 4 existieren. Die Summe aller Komponenten von E beträgt 120 – diese Anzahl von verschiedenen Wegen existiert in obigem Graph.

Von besonderem Interesse in dieser Menge von maximal möglichen Wegen sind nun solche, die geschlossen und gerichtet sind. Diese werden als Hamiltonsche Kreise bezeichnet. Sie treten auch im Zusammenhang mit Rundreiseproblemen (Traveling Salesman Problem) auf. Allerdings ist die Lösung eines Rundreiseproblems ein Weg, der alle Knoten genau einmal besucht und geschlossen ist. Für die Analyse des in dieser Arbeit vorgelegten Problems werden alle Hamiltonsche Kreise für alle möglichen Subgraphen benötigt, was ungleich schwerer zu bewerkstelligen ist. Mit

Hilfe des Computeralgebrasystems Mathematica ist ein Algorithmus erarbeitet worden, der es gestattet, alle Hamiltonsche Kreise eines Graphen auch noch für Größenordnungen praktischer Probleme zu bestimmen. Die Beschreibung des Algorithmus ist zu technisch und wird an dieser Stelle unterdrückt.

4. Beispiele

Die folgenden Beispiele verdeutlichen zumeist jeweils nur einen speziellen Aspekt der Analyse des betrachteten Systems.

4.1. Funktionale nationale Ökonomien

Dieses Beispiel für ein komplexes System ist entstanden aus Diskussionen mit den FHW-KollegInnen Herr, Heine und Mahnkopf (Herr et. al. 2006) sowie als Versuch der Visualisierung der in Heine et. al. (2006) zusammengetragenen Fakten und des dort vorgestellten Beziehungsgeflechtes der Beschreibung nationaler Ökonomien. Von den Autoren werden funktionale und dysfunktionale Ökonomien unterschieden – in dieser Arbeit wird nur der funktionale Fall als komplexes System vorgestellt. Insgesamt resultieren 16 Variablen mit einer auf den ersten Blick geringen Vernetzung zwischen den einzelnen Variablen (Abb. 6).

Mit Hilfe computeralgebraischer Methoden wurden nun die in diesem Graphen enthaltenen Regelkreise bestimmt. In dem einfach aussehenden Graphen aus Abb. 6 sind bereits 48 Regelkreise enthalten – eine komplette Übersicht in Form der den Variablen zugeordneten Nummern findet sich im Anhang A. Zwei dieser Regelkreise werden hier nun stellvertretend genauer betrachtet (Abb. 7, 8).

Durch die Möglichkeit, gefundene Regelkreise mit den Informationen über Wirkungsstärken und Zeitverzögerungen zu verknüpfen, lassen sich die Regelkreise einschließlich der Zusatzinformationen sehr anschaulich interpretieren. Die Variablen der Regelkreise sind im Allgemeinen Steuerungsgrößen im politischen bzw. ökonomischen Geschehen. Ändert sich im ersten Regelkreis die Variable *Preisniveau* oder wird von außen geändert, hat dies einen Einfluss auf den *Zinssatz*, welcher wiederum die *Konsumnachfrage* beeinflusst. Schließlich wirkt aber die Konsumnachfrage wieder zurück auf die Variable *Preisniveau*. Die weitere Analyse ergibt, dass der so beschriebene Prozess natürlich zeitverzögert abläuft (da Wirkungen nicht sofort eintreten) und nach ca. 13 Monaten an Änderungen der Variablen *Preisniveau* registrierbar werden. Zusätzlich kann noch die Aussage getroffen werden, dass

dieser Prozess in diesem speziellen Regelkreis eine abschwächende Wirkung hat – dies wird bestimmbar aus den Vorzeichen der Einzelwirkungen.

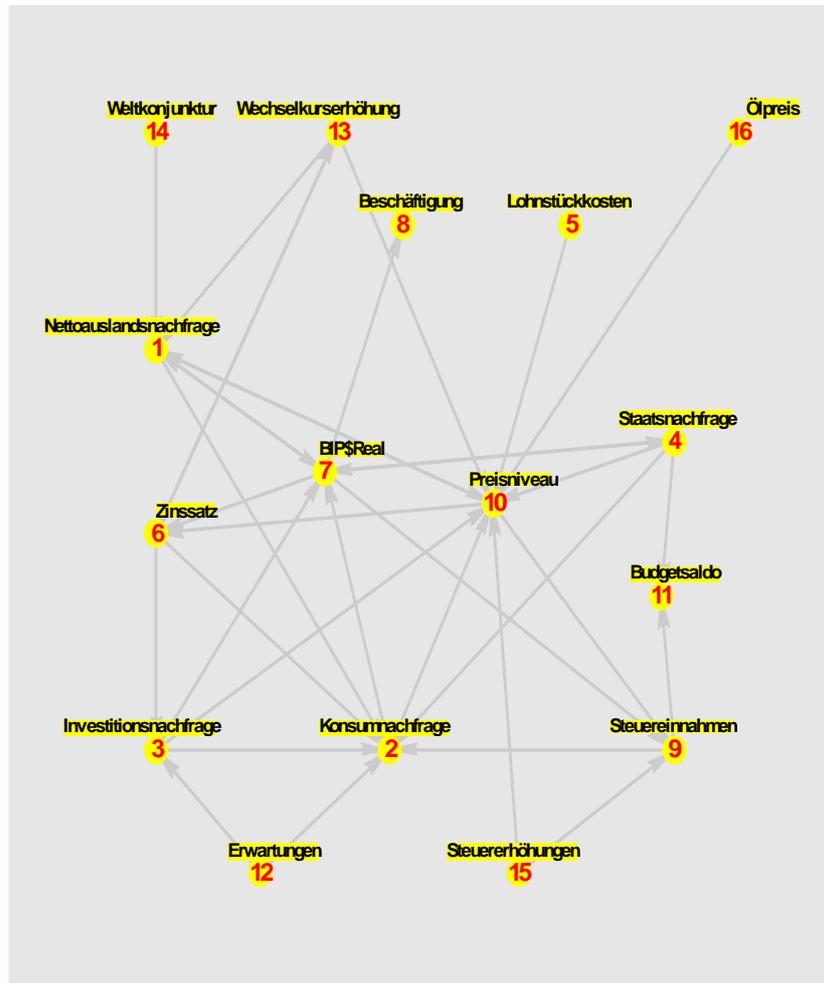


Abb. 6: Graph zur Beschreibung einer funktionalen nationalen Ökonomie nach Herr et. al. (2006) sowie Heine et. al. (2006). Die Variablen Konsumnachfrage (2), BIP (7) sowie Preisniveau (10) sind offenbar sehr stark vernetzt, d. h. sie stehen mit den anderen Variablen in intensiver Wechselwirkung.



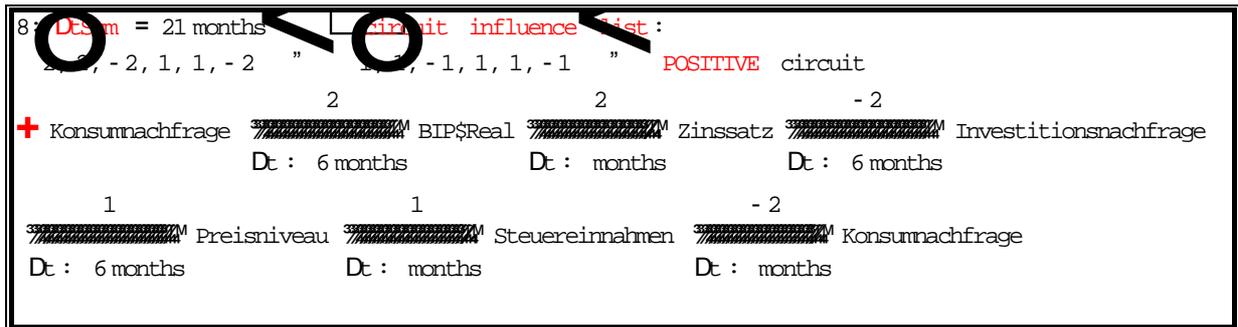
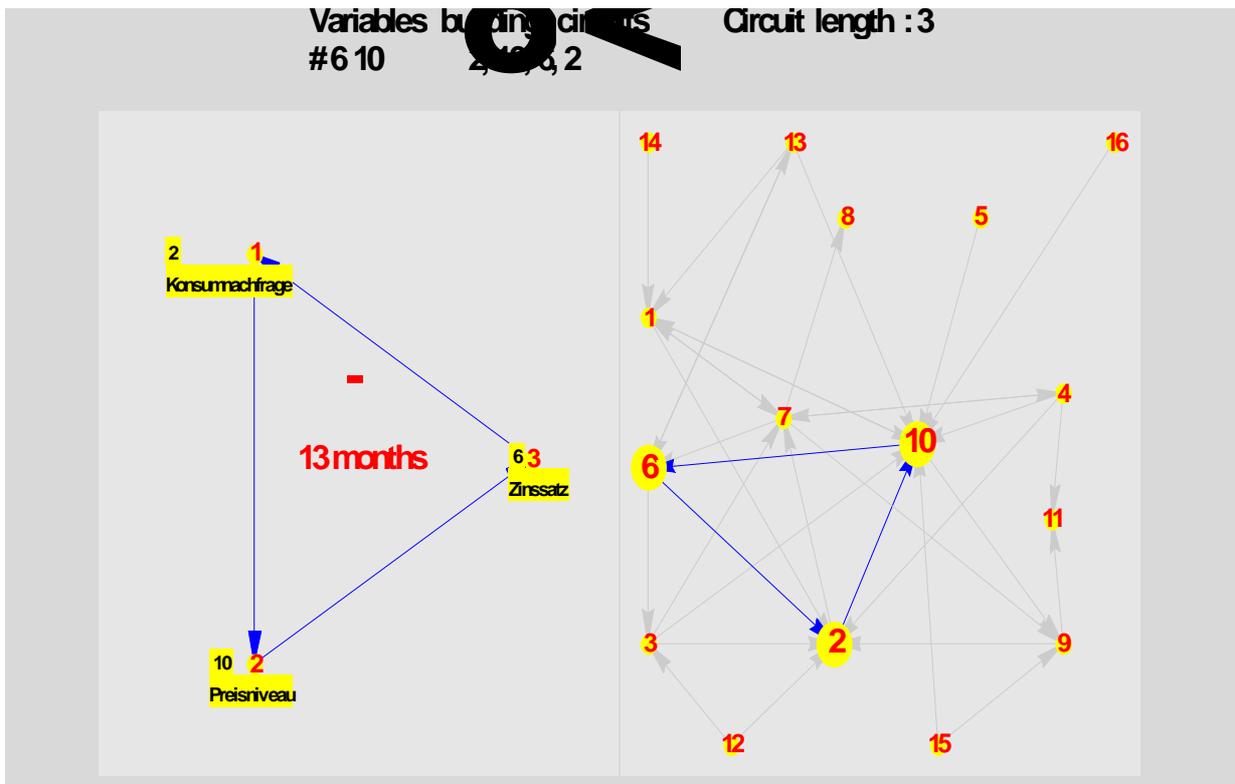


Abb. 7: Zwei der berechneten 48 Regelkreise mit den Längen 3 (oben) sowie 6 (unten).

Beim Vergleich der Eigenschaften aller gefundenen Regelkreise fällt auf, dass vermehrt verstärkende Regelkreise mit vielen Variablen auf einer langen Zeitskala einer kleineren Zahl abschwächender Regelkreise mit wenigen Variablen auf kürzeren Zeitskalen gegenüberstehen. Vester charakterisiert solche Systeme als tendenziell nicht stabil (Vester, 2002).



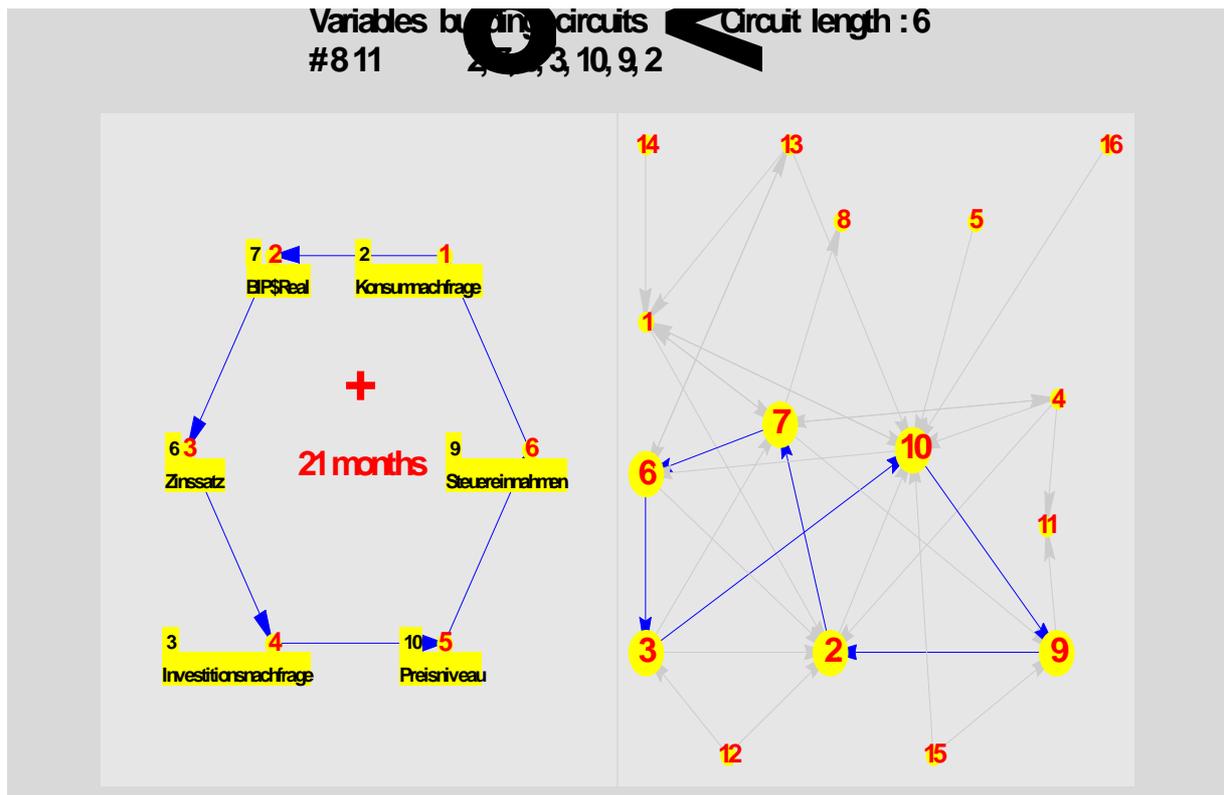


Abb. 8: Zwei der berechneten 48 Regelkreise mit den Längen 3 (oben) sowie 6 (unten). Im rechten Teil der Abbildungen sind die originäre Vernetzung und jeweils der Regelkreis gezeigt. Links ist der Regelkreis mit den durchlaufenden Variablen entgegen des Uhrzeigersinns dargestellt. Verstärkende (abschwächende) Regelkreise sind gekennzeichnet durch „+“ („-“). Zusätzlich ist die zeitliche Dauer für einen Durchlauf dieses Regelkreises in Monaten angegeben.

Durch die Aufbereitung der Gesamtheit aller gefundenen Regelkreise lässt sich also eine Übersicht gewinnen über die Vernetztheit des zugrunde liegenden Graphen. Ebenso lassen sich diejenigen Variablen identifizieren, die in mehreren Regelkreisen eingebunden sind und somit bei einer Änderung nach verschiedenen langen Zeitintervallen starke Änderungen in den Werten anderer Variablen hervorrufen können. Dieses Verhalten ist unabhängig davon, ob diese Änderungen ihren Ursprung außerhalb oder innerhalb des Systems hatten.

4.2 . Strategische Marktforschung

Bei der von Weber beschriebenen Modellierung eines komplexen Systems geht es darum, im Rahmen der strategischen Marktforschung ein neues Premium-Pils in einem schon vorhandenen Markt zu platzieren (Weber, 1996). Mittels einer Expertenrunde erarbeitet er den für diesen Prozess zur Beschreibung benötigten Variablen-satz inklusive der Vernetzung zwischen diesen Variablen (Abb. 9).

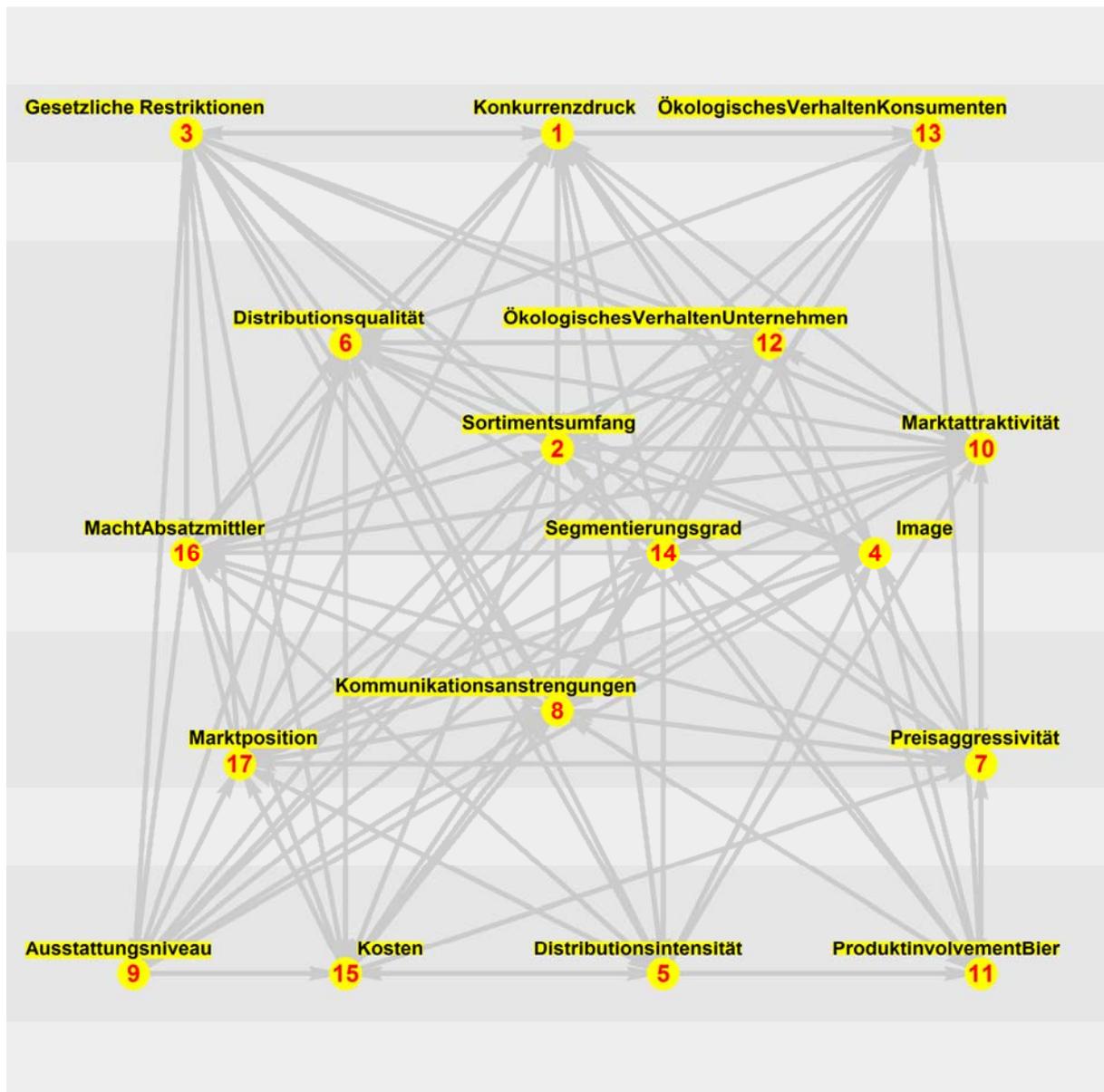


Abb. 9: Variablen und Vernetzung zu dem Thema Strategische Marktforschung, speziell bei der Einführung einer neuen Biersorte in einen bereits etablierten Biermarkt. Die 16 Variablen sind extrem stark vernetzt. Eine vorsichtige Abschätzung liefert die Vermutung, dass in diesem Netzwerk einige hundert Regelkreise enthalten sein könnten.

Es fällt sofort auf, dass der Vernetzungsgrad zwischen den 16 Variablen um ein Vielfaches höher ist als im Beispiel der Nationalökonomien. Dies hat dramatische Auswirkungen. Zur Zeit ist es noch nicht möglich, alle Regelkreise zu bestimmen, da der dafür verwendete mathematische Algorithmus mit seinem schlechten Zeitverhalten keine Lösungen mit vertretbarem Zeitaufwand liefern kann. Für eine Untermenge von Verknüpfungen (d. h. nur die starken Wirkungen wurden berücksichtigt), erhält Weber „161 negative bzw. stabilisierende und 142 positive bzw. selbstverstärkende Regelkreise“ (Weber, S. 196).

4.3. Regionalplanungsmodell

In seinem letzten Buch beschreibt Vester (2002, S. 57) das Wirkungsgefüge eines Regionalplanungsmodells. Von diesem Modell ist ausschließlich die Adjazenzmatrix bekannt – Informationen über das Vorzeichen der Wirkungen einer Variablen auf andere als auch über die Zeitverzögerungen im System werden von Vester nicht mitgeteilt. Mit bloßem Auge erkennt man einen geringen Grad der Vernetzung. Allerdings ist nicht sofort zu erkennen, ob kurze oder lange Regelkreise dominieren.

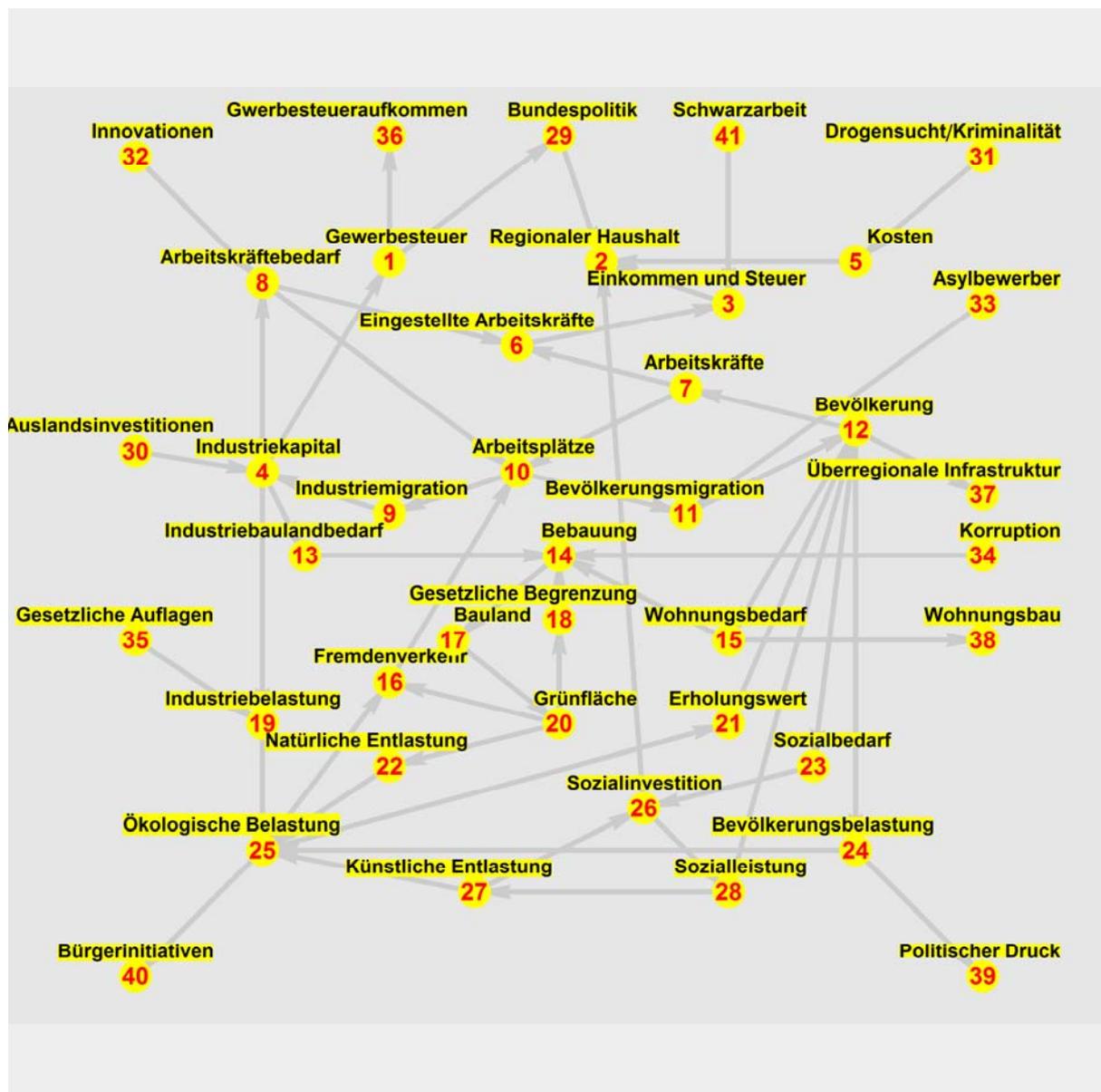


Abb. 10: Regionalplanungsmodell nach Vester (2002)

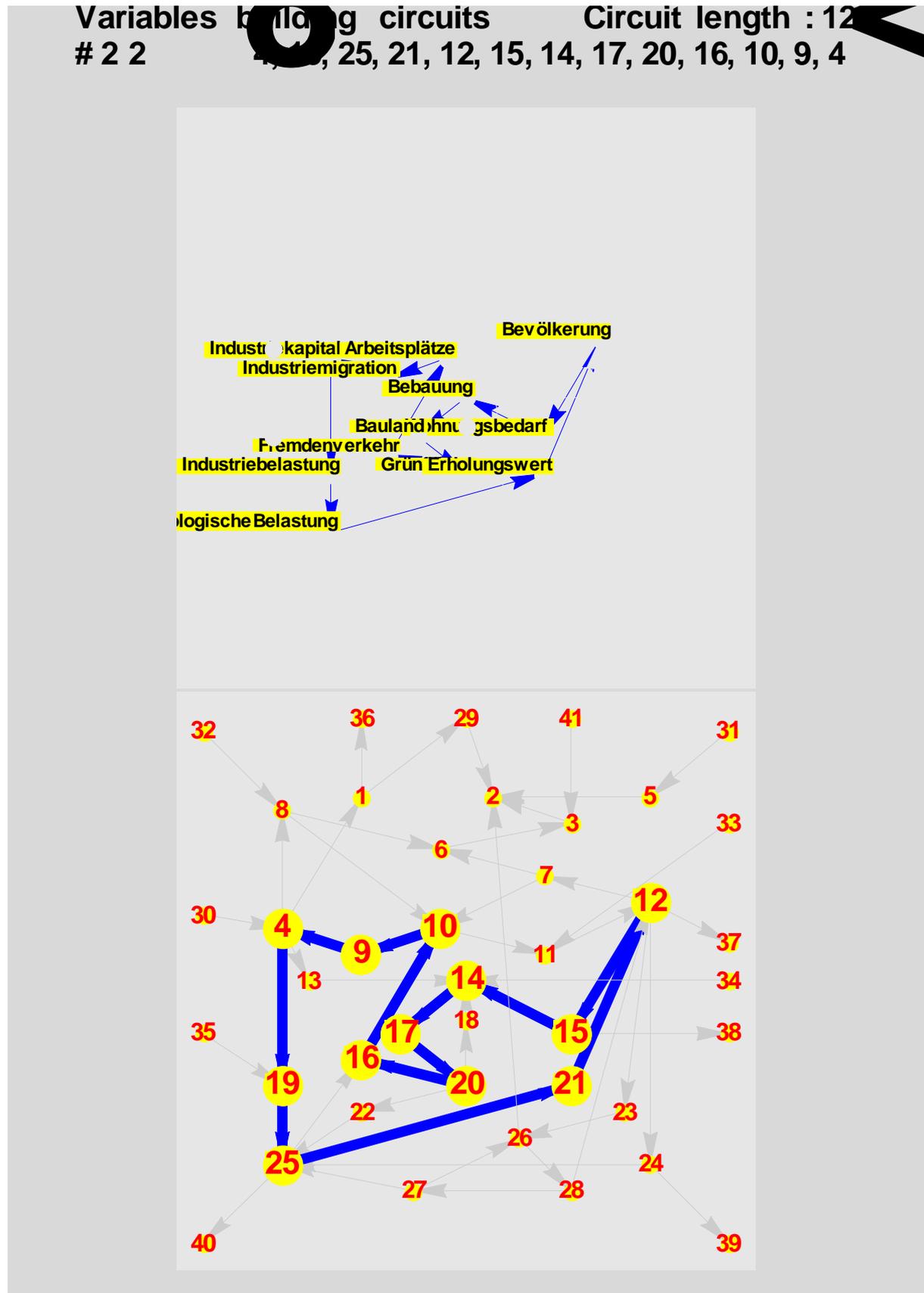


Abb. 11: Darstellung einer der längsten Regelkreise im Regionalplanungsmodell. Er wird gebildet aus der Abfolge von 12 Variablen.

Alle 18 Regelkreise konnten bestimmt werden (vgl. Anhang B). Auffallend ist die große Anzahl langer Regelkreise, d. h. solcher Regelkreise, die viele Variablen enthalten und somit schwer zu kontrollieren sind. Abb. 11 zeigt einen der beiden längsten berechneten Regelkreise – Angaben über die Dauer für das Durchlaufen von Informationen können leider nicht gemacht werden. Ebenso ist nicht bekannt, ob dieser Regelkreis eine verstärkende oder abschwächende Wirkung hat.

5. Zusammenfassung und zukünftige Forschungsschwerpunkte

Es wurde gezeigt, wie komplexe Systeme, d. h. Fragestellungen, die mit einer großen Zahl von Einflussgrößen und starker Vernetzung dieser Größen, beschrieben werden können. Erste Schritte zur vollständigen Bestimmung von Regelkreisen mit dem Computeralgebrasystem Mathematica wurden gemacht. Für sehr stark vernetzte Systeme gelingt es nicht immer, alle Regelkreise zu berechnen.

Was bleibt zu tun?

Zunächst gilt es, die bisher bekannten Verfahren zur Bestimmung von Regelkreisen so zu optimieren, dass mindestens typische Systeme mit bis zu 50 Variablen und einer mittleren Vernetzung noch hinreichend schnell bzgl. ihres Regelkreisverhaltens analysiert werden können.

Die nächsten Schritte bestehen in der mathematischen Formulierung der Verbindungen (= Kanten in dem zugrunde liegenden Graphen) zwischen den Variablen. Zum Teil sind diese die Kanten definierenden Zusammenhänge schon aus der Theorie bekannte Funktionen, bspw. die Abhängigkeit der Umsatzerlöse von den Kosten und der Stückzahl. Sind solche funktionalen Zusammenhänge noch nicht bekannt, so müssen sie für zu bearbeitende Fragestellungen gewonnen werden z. B. über Regressionsansätze.

Um der Frage der Steuerung komplexer Systeme nachzugehen, ist das Zeitverhalten zu untersuchen. Dazu sind Monte-Carlo-Simulationen durchzuführen und die Resultate statistisch auszuwerten. Steuerung bedeutet in diesem Kontext, jede Variable daraufhin zu untersuchen, ob eine Änderung von außen (das sind Einflüsse von außerhalb der Systemgrenzen) oder von innen durch andere Variablen zu einem

geänderten Systemverhalten führen kann. Es wird zu untersuchen sein, welche Einflüsse zu stabilem bzw. instabilem Verhalten führen können. Diese Erkenntnisse sollten zu einem tieferen Verständnis für die zeitverzögerten Wirkungen bei einer beabsichtigten Einflussnahme auf das zu betrachtende System führen,

Die Resultate der weiteren Forschung sollten eine leichtere Handhabung und Analyse komplexer dynamischer Systeme ermöglichen, so dass u. a. an einen einfach zu realisierenden Aufbau von Unternehmensplanspielen oder makroökonomischen Spielen mit wirtschaftspolitischen Strategien gedacht werden kann.

6. Danksagung

Dieser Artikel wäre ohne die tatkräftige Unterstützung von Kollegen und Kolleginnen nicht geschrieben worden.

Günther Ossimitz (Salzburg) klärte mich auf über die Historie des in seinen Untersuchungen verwendeten Hilu-Beispiels. Andreas Brandt (Mettmann) hat dankenswerterweise zur funktionalen Beschreibung der Verbindungen im Marktforschungs-Beispiel beigetragen.

Hans-Jörg Herr (FHW Berlin), Michael Heine (FHTW Berlin) und Silke Mahnkopf (FHW Berlin) haben im Rahmen einer Diskussion und Modellierung über funktionale und dysfunktionale nationale ökonomische Regime mit Ihren Fragen viele Anstöße zur Entwicklung neuer Methoden gegeben. Ihnen allen sei herzlich dafür gedankt.

Schließlich wurde diese Arbeit von der Forschungskommission der FHW Berlin mit einer Deputatsermächtigung unterstützt.

7. Literatur

Bertalanffy, L. von (1968/69) : *General System Theory. Foundations, Development, Applications*, New York: Braziller.

Brodbeck, K.-H. (2000) : *Die fragwürdigen Grundlagen der Ökonomie*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Dörner, D. (1989) : *Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*, Reinbek: Rowohlt.

Forrester, J. (1968) : *Principles of Systems*, Cambridge/MA: The MIT Press.

Funke, J. (1985) : *Problemlösen in komplexen computersimulierten Realitätsbereichen*, Sprache und Kognition, 4, 1985(3), 113-129.

Herr, H. / Heine, M. / Mahnkopf, S. (2006) : *Persönliche Mitteilung*, Berlin

Heine, M. / Herr, H. / Kaiser, C. (2006) : *Wirtschaftspolitische Regime westlicher Industrienationen, Nomos*

Malik, F. (2002) : *Strategie des Managements komplexer Systeme*, Bern, Stuttgart, Wien: Haupt Verlag.

Nitzsche, M. (2005) : *Graphen für Einsteiger*, Wiesbaden: Vieweg

Ossimitz, G. (2000) : *Entwicklung systemischen Denkens - Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen*. München: Profil Verlag.

Probst, G. / Gomez, P. (Hrsg.) (1991) : *Vernetztes Denken: Ganzheitliches Führen in der Praxis*. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Rapoport, A. (1988) : *Allgemeine Systemtheorie: Wesentliche Begriffe und Anwendungen*, Darmstadt: Verlag Darmstädter Blätter.

Senge, P. M. (1990) : *The Fifth Discipline: the Art and Practice of the Learning Organization*, New York: Doubleday.

Vester, F. (2002) : *Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität*. Der neue Bericht an den Club of Rome, München: dtv.

Voigt, E. (2000) : *Ludwig von Bertalanffy: Die Verwissenschaftlichung des Holismus in der Systemtheorie*, Überarbeitete Fassung eines Vortrages auf der 9. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Geschichte und Theorie der Biologie vom 29. Juni bis 2. Juli 2000 in Neuburg an der Donau.

Weber, G. (1996): *Strategische Marktforschung*, München, Wien: Oldenburg Verlag.

8. Anhänge

A)

Variablen und Matrizen zu „Funktionale nationale Ökonomien“

Variablensatz

0	"Nettoauslandsnachfrage"
1	"Konsumnachfrage"
2	"Investitionsnachfrage"
3	"Staatsnachfrage"
4	"Lohnstückkosten"
5	"Zinssatz"
6	"BIP\$Real"
7	"Beschäftigung"
8	"Steuereinnahmen"
9	"Preisniveau"
10	"Budgetsaldo"
11	"Erwartungen"
12	"Wechselkurserhöhung"
13	"Weltkonjunktur"
14	"Steuererhöhungen"
15	"Ölpreis"

Adjazenzmatrix A

A =		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Influenzmatrix I

I =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	2	0	0	0	0	2	0	0	2	-2	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
5	0	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
6	-1	0	0	-1	0	2	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
9	0	-1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Zeitverzögerungsmatrix T

T =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	12	0	0	0	0	6	0	0	6	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	0	0	0	0	0	0
2	0	12	0	0	0	0	6	0	0	6	0	0	0	0	0	0
3	0	12	0	0	0	0	6	0	0	6	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	1	0	0	6	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	6	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Berechnete 48 Regelkreise mit Variablennummern

{1,7,1}, {1,10,1}, {4,7,4}, {6,13,6}, {1,2,7,1}, {1,2,10,1}, {2,7,4,2}, {2,7,6,2}, {2,7,9,2}, {2,10,6,2}, {2,10,9,2}, {3,7,6,3}, {3,10,6,3}, {6,13,10,6}, {1,7,4,10,1}, {1,7,6,13,1}, {1,10,6,13,1}, {2,7,6,3,2}, {2,10,6,3,2}, {1,2,7,4,10,1}, {1,2,7,6,13,1}, {1,2,10,6,13,1}, {1,7,4,2,10,1}, {1,7,6,2,10,1}, {1,7,6,3,10,1}, {1,7,6,13,10,1}, {1,7,9,2,10,1}, {1,10,6,2,7,1}, {1,10,6,3,7,1}, {1,10,9,2,7,1}, {2,7,4,10,6,2}, {2,7,4,10,9,2}, {3,7,4,10,6,3}, {1,2,7,6,3,10,1}, {1,2,7,6,13,10,1}, {1,2,10,6,3,7,1}, {1,7,4,10,6,13,1}, {1,7,6,3

{2,10,1}, {1,10,6,3,2,7,1}, {2,7,4,10,6,3,2}, {2,7,6,3,10,9,2}, {2,7,6,13,10,9,2}, {2,10,6,3,7,4,2}, {2,10,6,3,7,9,2}, {1,2,7,4,10,6,13,1}, {1,7,4,2,10,6,13,1}, {1,7,9,2,10,6,13,1}, {1,10,9,2,7,6,13,1}}

B)
 Variablen und Adjazenzmatrix zu „Regionalplanung“

Variablensatz

1	Gewerbesteuer
2	Regionaler Haushalt
3	Einkommen und Steuer
4	Industriekapital
5	Kosten
6	Eingestellte Arbeitskräfte
7	Arbeitskräfte
8	Arbeitskräftebedarf
9	Industriemigration
10	Arbeitsplätze
11	Bevölkerungsmigration
12	Bevölkerung
13	Industriebaulandbedarf
14	Bebauung
15	Wohnungsbedarf
16	Fremdenverkehr
17	Bauland
18	Gesetzliche Begrenzung
19	Industriebelastung
20	Grünfläche
21	Erholungswert
22	Natürliche Entlastung
23	Sozialbedarf
24	Bevölkerungsbelastung
25	Ökologische Belastung
26	Sozialinvestition
27	Künstliche Entlastung
28	Sozialleistung
29	Bundespolitik
30	Auslandsinvestitionen
31	Drogensucht Kriminalität
32	Innovationen
33	Asylbewerber
34	Korruption
35	Gesetzliche Auflagen
36	Gwerbsteueraufkommen
37	Überregionale Infrastruktur
38	Wohnungsbau
39	Politischer Druck
40	Bürgerinitiativen
41	Schwarzarbeit

Adjazenzmatrix A

9. Working Papers des Business Institute Berlin an der Fachhochschule für Wirtschaft Berlin

- 1 Bruche, Gert / Pfeiffer, Bernd: Herlitz (A) – Vom Großhändler zum PBS-Konzern – Fallstudie, Oktober 1998
- 2 Löser, Jens: Das globale Geschäftsfeld „Elektrische Haushaltsgroßgeräte“ Ende der 90er Jahre – Fallstudie, Oktober 1998
- 3 Lehmann, Lutz Lars: Deregulation and Human Resource Management in Britain and Germany – Illustrated with Coca-Cola Bottling Companies in Both Countries, March 1999
- 4 Bruche, Gert: Herlitz (B) - Strategische Neuorientierung in der Krise - Fallstudie, April 1999
- 5 Herr, Hansjörg / Tober, Silke: Pathways to Capitalism - Explaining the Difference in the Economic Development of the Visegrad States, the States of the Former Soviet Union and China, October 1999
- 6 Bruche, Gert: Strategic Thinking and Strategy Analysis in Business - A Survey on the Major Lines of Thought and on the State of the Art, October 1999, 28 pages
- 7 Sommer, Albrecht: Die internationale Rolle des Euro, Dezember 1999, 31 Seiten
- 8 Haller, Sabine: Entwicklung von Dienstleistungen - Service Engineering und Service Design, Januar 2000
- 9 Stock, Detlev: Eignet sich das Kurs-Gewinn-Verhältnis als Indikator für zukünftige Aktienkursveränderungen?, März 2000
- 10 Lau, Raymond W.K.: China's Privatization, June 2000
- 11 Breslin, Shaun: Growth at the Expense of Development? Chinese Trade and Export-Led Growth Reconsidered, July 2000, 30 pages
- 12 Michel, Andreas Dirk: Market Conditions for Electronic Commerce in the People's Republic of China and Implications for Foreign Investment, July 2000, 39 pages
- 13 Bruche, Gert: Corporate Strategy, Relatedness and Diversification, September 2000, 34 pages
- 14 Cao Tingui: The People's Bank of China and its Monetary Policy, October 2001, 21 pages
- 15 Herr, Hansjörg: Wages, Employment and Prices. An Analysis of the Relationship Between Wage Level, Wage Structure, Minimum Wages and Employment and Prices, June 2002, 60 pages

- 10 Herr, Hansjörg / Priewe, Jan (eds.): Current Issues of China's Economic Policies and Related International Experiences – The Wuhan Conference 2002 - , February 2003, 180 pages
- 11 Herr, Hansjörg / Priewe, Jan: The Macroeconomic Framework of Poverty Reduction An Assessment of the IMF/World Bank Strategy, February 2003, 69 pages
- 12 Wenhao, Li: Currency Competition between EURO and US-Dollar, June 2004, 18 pages
- 13 Kramarek, Maciej: Spezifische Funktionen des Leasings in der Transformationsperiode, Juni 2004, 32 Seiten
- 14 Godefroid, Peter: Analyse von Multimedia-Lern/Lehrumgebungen im Fach Marketing im englischsprachigen Bereich – inhaltlicher Vergleich und Prüfung der Einsatzfähigkeit an deutschen Hoschulen, September 2004, 48 Seiten
- 15 Kramarek, Maciej: Die Attraktivität des Leasings am Beispiel polnischer Regelungen der Transformationsperiode, April 2005, 33 Seiten
- 16 Pan, Liu / Tao, Xie: The Monetary Policy Transmission in China – „Credit Channel” and its Limitations
- 17 Hongjiang, Zhao / Wenxu, Wu / Xuehua, Chen: What Factors Affect Small and Medium-sized Enterprise's Ability to Borrow from Bank: Evidence from Chengdu City, Capital of South-western China's Sichuan Province, May 2005, 23 pages
- 18 Fritsche, Ulrich: Ergebnisse der ökonometrischen Untersuchung zum Forschungsprojekt Wirtschaftspolitische Regime westlicher Industrienationen, März 2006, 210 Seiten
- 19 Körner, Marita: Constitutional and Legal Framework of Gender Justice in Germany, 2006, 14 pages
- 20 Godefroid, Peter: Analyse von Multimedia-Lern/Lehrumgebungen im Fach Marketing im englischsprachigen Bereich – inhaltlicher Vergleich und Prüfung der Einsatzfähigkeit an deutschen Hoschulen, September 2004, 48 Seiten
- 21 Kramarek, Maciej: Die Attraktivität des Leasings am Beispiel polnischer Regelungen der Transformationsperiode, April 2005, 33 Seiten
- 22 Pan, Liu / Tao, Xie: The Monetary Policy Transmission in China – „Credit Channel” and its Limitations
- 23 Hongjiang, Zhao / Wenxu, Wu / Xuehua, Chen: What Factors Affect Small and Medium-sized Enterprise's Ability to Borrow from Bank: Evidence from Chengdu City, Capital of South-western China's Sichuan Province, May 2005, 23 pages

- 24 Fritsche, Ulrich: Ergebnisse der ökonometrischen Untersuchung zum Forschungsprojekt Wirtschaftspolitische Regime westlicher Industrienationen, März 2006, 210 Seiten
- 25 Körner, Marita: Constitutional and Legal Framework of Gender Justice in Germany, 2006, 14 pages
- 26 Tomfort, André: The Role of the European Union for the Financial Integration of Eastern Europe, June 2006, 20 pages
- 27 Gash, Vanessa / Mertens, Antje / Gordo, Laura Romeu: Are Fixed-Term Job Bad for Your Health? A Comparison between Western Germany and Spain, November 2006, 29 pages
- 28 Kamp, Vanessa / Niemeier, Hans-Martin / Müller, Jürgen: Can we Learn From Benchmarking Studies of Airports and Where do we Want to go From Here?, 43 pages
- 29 Brand, Frank: Ökonomische Fragestellungen mit vielen Einflussgrößen als Netzwerke. 28 pages

Special Edition:

Ben Hur, Shlomo: A Call to Responsible Leadership. Keynote Speech at the FHW Berlin MBA Graduation Ceremony 2006. November 24th, 2006, Berlin City Hall, 13 pages