

WESTFÄLISCHE WILHELMS-UNIVERSITÄT MÜNSTER
VOLKSWIRTSCHAFTLICHE DISKUSSIONSBEITRÄGE

Beitrag Nr. 281

Vorläufige Fassung! Nicht im Handel!
Bitte nur mit Zustimmung des Autors zitieren!

**Neuro-Fuzzy-Systeme zur Abbildung
Erfahrungsregel-basierter Erwartungen
in Konjunkturmodellen**

von

Stefan Kooths

Münster 1999

Institut für industriewirtschaftliche Forschung

Universitätsstraße 14-16 • D-48143 Münster • Tel.: 0251/83-22922 • Fax: 0251/83-22924

e-mail: kooths@uni-muenster.de • <http://www-wiwi.uni-muenster.de/kooths>

Zusammenfassung

Traditionelle Erwartungsbildungshypothesen fußen in der makroökonomischen Theoriebildung oftmals auf restriktiven Annahmen hinsichtlich des unterstellten Wissensstandes und der Lernfähigkeit von Wirtschaftssubjekten. In dem Beitrag wird davon ausgegangen, daß Menschen eine ungefähre Vorstellung über ökonomische Beziehungen haben, ohne die genauen Funktionalformen zu kennen. Fuzzy-Regeln werden eingesetzt, um diese vagen Kenntnisse abzubilden. Durch neuronale Verfahren wird Wirtschaftssubjekten ermöglicht, Erfahrungen zu sammeln. Ein Hybrid-Ansatz aus beiden Technologien bildet den „Neuro-Fuzzy-Erwartungsgenerator (NFEG)“, der in die makroökonomische Simulationssoftware MAKROMAT-nfx integriert ist. Mit dieser läßt sich konjunkturtheoretisch analysieren, wie Neuro-Fuzzy-generierte Erwartungen im Zusammenspiel mit dem ökonomischen System auf exogene Schocks reagieren.

Abstract

Expectations modelling in macroeconomic theory is often done under restrictive assumptions regarding people's ability to learn and the level of their knowledge. This approach assumes that people know something about economic dependencies but that they are not informed of the exact formulas. Fuzzy-rules represent the people's vague knowledge about the economic system. Neuro-methods are applied to train this knowledge. Both techniques are hybridized as a neuro-fuzzy-system called the "Neuro-Fuzzy Expectation Generator (NFEG)." This module is connected to a business cycle simulation model using MAKROMAT-nfx. This software allows us to analyze how the NFEG interacts with the economic system when the later is exposed to exogenous shocks.

JEL-Classification: C6, C8, E3

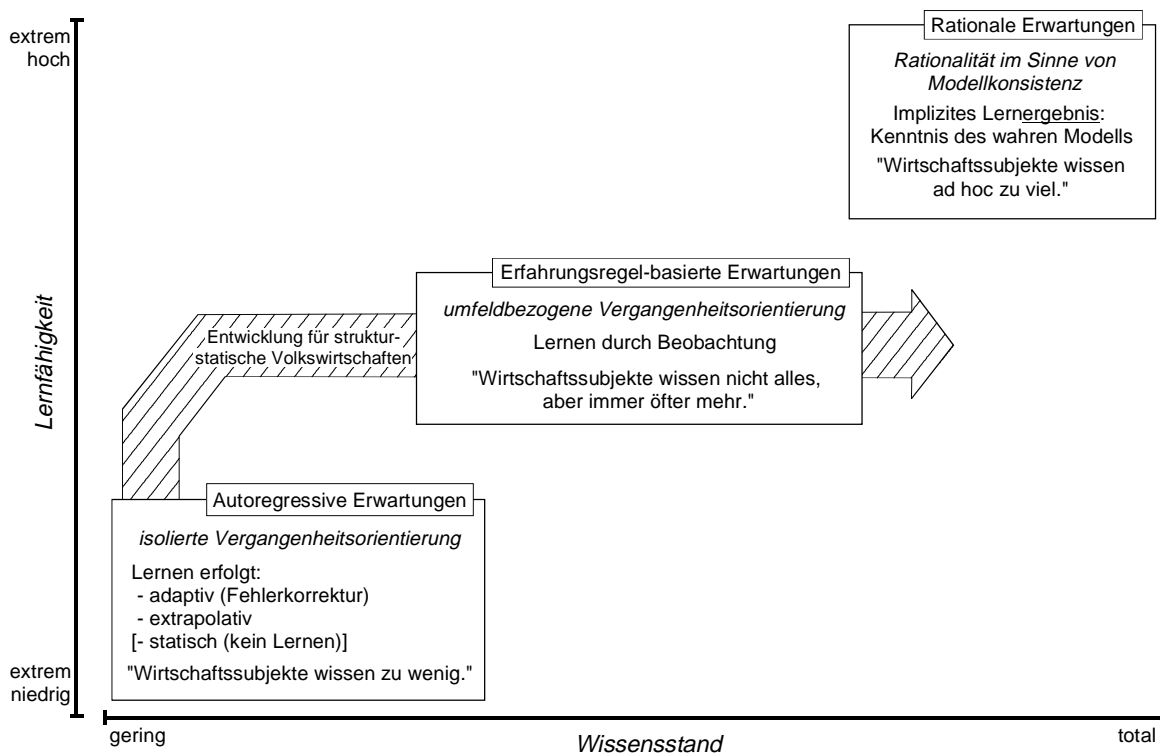
Gliederung

1. Problemstellung und Lösungsidee	1
2. Konjunkturmodell	3
2.1 Wirkungszusammenhänge und stilisierte Form	3
2.2 Simulation der Konjunkturdynamik bei traditioneller Erwartungsbildung	5
3. Erfahrungsregel-basierte Erwartungen mit Neuro-Fuzzy	8
3.1 Design des Fuzzy-Erwartungsgenerators	8
3.2 Erfahrungserwerb durch neuronale Lernverfahren	11
3.3 Simulation	16
4. Weiterentwicklung und Anwendungen	22

1. Problemstellung und Lösungsidee

Erwartungen spielen für den Konjunkturprozeß eine überragende Rolle. Ihre herkömmliche Abbildung in theoretischen Konjunkturmodellen bewegt sich aber nur an den Rändern eines Spektrums von autoregressiven Ansätzen einerseits und sogenannten rationalen Erwartungen andererseits. Im ersten Fall ergeben sich bei Störungen des gesamtwirtschaftlichen Gleichgewichts meist regelmäßige Schwingungen, die sich bei jeder neuen Störung in mechanisch gleicher Weise wiederholen, ohne daß die Wirtschaftssubjekte aus ihren Erfahrungen lernen. Bei rationalen Erwartungen wird den Akteuren hingegen die Kenntnis aller relevanten ökonomischen Zusammenhänge unterstellt, so daß in diesem Fall die Auswirkungen von Konjunkturstörungen oft nur extrem kurzlebig sind. Beide Ansätze verfehlen eine realistische Abbildung des Prognoseverhaltens von Wirtschaftssubjekten aufgrund der jeweils extremen Annahmen, die implizit über den Wissensstand und die Lernfähigkeit von Menschen zugrundegelegt werden (vgl. Abb. 1).

Abb. 1 — Wissensstand, Lernfähigkeit und Erwartungsbildung von Wirtschaftssubjekten



Anmerkung:
 "... " gibt die Beurteilung der jeweiligen Erwartungsbildungshypothese wieder

Wirtschaftssubjekte sind zwar in der Lage, aus Erfahrungen zu lernen; die so gewonnenen Erkenntnisse reichen aber nicht so weit, daß sie die komplexe Wirklichkeit vollständig durchschauen könnten. Vielmehr ist es so, daß sie sich einem komplexen System gegenübersehen, über dessen Wirkungsweise Vermutungen in Form unscharfer Regeln aufgestellt werden. Eine typische Erwartungsregel könnte lauten: „Bei bislang normaler Inflation wird aufgrund der steigenden Beschäftigung zukünftig ein etwas stärkerer Preisauftrieb erwartet.“ Diese Regeln

müssen anpassungsfähig sein in dem Sinne, daß die Wertebereiche der unscharfen Begriffe wie ‘normale Inflation’ und ‘hohe Beschäftigung’ abhängig sind von den im Zeitablauf tatsächlich beobachteten Werten der jeweiligen Größen. So wird etwa heutzutage unter hoher Beschäftigung etwas anderes verstanden als noch vor zwanzig Jahren. Unscharfe Regeln sind charakteristisch für Fuzzy-Systeme. Lernfähigkeit zeichnet Neuronale Netze aus. Es ist daher naheliegend, beide Verfahren zu kombinieren.¹ Für die modellhafte Umsetzung werden Fuzzy-Regelsätze formuliert, die zu Trainingszwecken in eine äquivalentes Neuronales Netz umgesetzt werden, das nach dem Lernprozeß wieder in Fuzzy-Regeln zurückübersetzt werden kann. Für den theoretisch orientierten Modellbauer ist dabei die ökonomische Interpretierbarkeit der Regeln von besonderer Bedeutung. Dies verbietet den Einsatz rein neuronaler Ansätze, die zwar u. U. eine höhere Lernfähigkeit erzielen, aufgrund ihres Black-Box-Charakters aber modelltheoretisch völlig ungeeignet sind. Ferner ist bei der Anwendung neuronaler Lerntechniken darauf zu achten, daß diese das Fuzzy-Erwartungsregelsystem nicht ökonomisch entarten lassen. Zu diesem Zweck wird in dem Beitrag ein modifiziertes Error-Backpropagation-Verfahren vorgestellt.

Der hier vorgeschlagene Ansatz soll „Erfahrungsregel-basierte Erwartungsbildung“ genannt werden. Für die analytische Umsetzung dieses Erwartungskonzepts wurde die makroökonomische Simulationsumgebung MAKROMAT-nfx entwickelt, in die ein Neuro-Fuzzy-Erwartungsgenerator (NFE-Generator) integriert ist.² Mit dieser Software lassen sich in einem theoretischen Modell Konjunkturstörungen erzeugen und die Auswirkungen verschiedener Erwartungsbildungshypothesen beobachten.

Im nächsten Abschnitt wird zunächst das für die Simulationsstudien verwendete Konjunkturmodell skizziert. Da das zugrundeliegende Gleichungssystem vollständig durch die Software dokumentiert wird, konzentriert sich die Darstellung auf die groben Zusammenhänge zur Charakterisierung des Modells. Die stilisierte Variante erlaubt einen ersten groben Einblick in die dynamischen Eigenschaften des Modells. Simulationen mit traditioneller Erwartungsbildung runden die Modellvorstellung ab. Der dritte Abschnitt erläutert die theoretische Konzeption des Neuro-Fuzzy-Erwartungsgenerators und zeigt exemplarisch dessen Einsatz in Verbindung mit dem vorgestellten Konjunkturmodell. Am Schluß der Arbeit wird ein Blick auf das Weiterentwicklung- und Anwendungspotential Neuro-Fuzzy-generierter Erwartungen geworfen.

¹ Zu den Vorteilen eines kombinierten Neuro-Fuzzy-Ansatzes siehe SERAPHIN (1994), S. 148 ff.

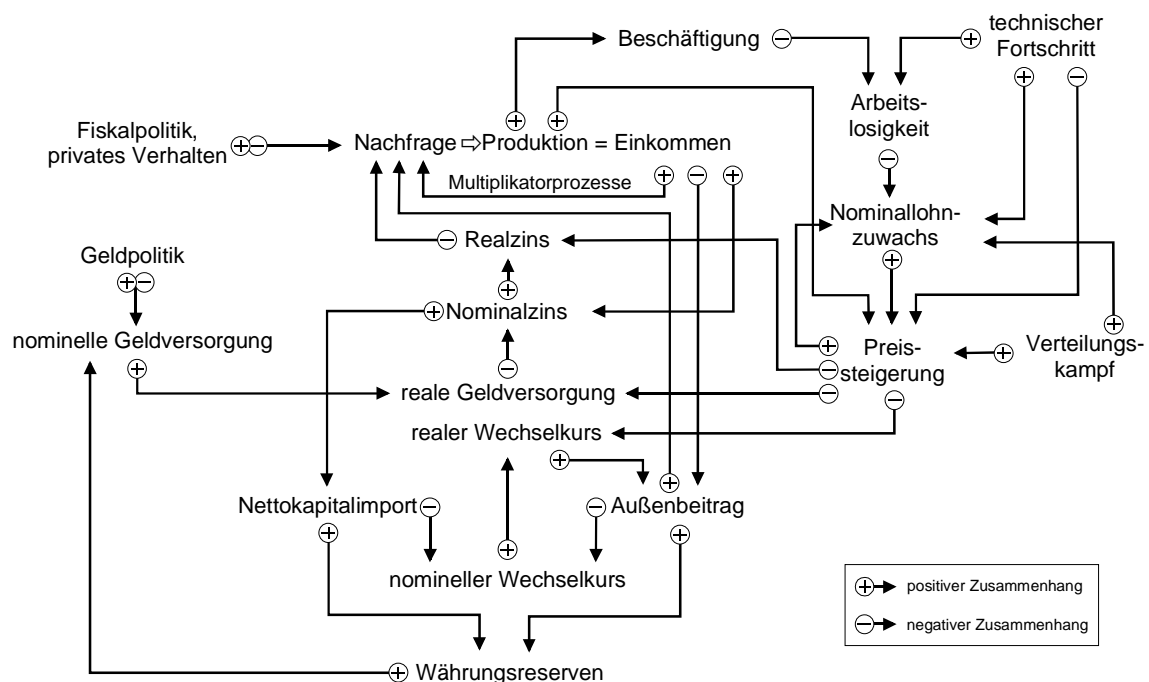
² Die Software läuft unter dem Betriebssystem Microsoft Windows NT 4.0 und kann kostenlos über die MAKROMAT-Webzentrale unter <http://makromat.uni-muenster.de> bezogen werden.

2. Konjunkturmodell

2.1 Wirkungszusammenhänge und stilisierte Form

Das zu Simulationszwecken verwendete Modell berücksichtigt explizit den Gütermarkt, den Wertpapiermarkt (Geld- und Kapitalmarkt) sowie den Arbeitsmarkt und stellt den Inflations-Einkommens-Zins-Zusammenhang in den Vordergrund.³ Es ist kurz- und mittelfristig ausgerichtet, so daß Wachstumsprozesse außer Betracht bleiben. Aus den für die Sektoren formulierten Verhaltensfunktionen ergibt sich das in Abb. 2 wiedergegebene Wirkungsschema.

Abb. 2 — Wirkungsschema des Konjunkturmodells



Grob lassen sich die Modellzusammenhänge wie folgt charakterisieren: Die Güteranbieter richten ihre Produktion (X) an der Nachfrage (N) aus. Preise werden auf der Grundlage der Lohnstückkosten auslastungsabhängig gesetzt (Mark-up-Pricing). Nominallohnänderungen (gwN)⁴ werden somit c. p. vollständig in Preissteigerungen überwältigt. Das Arbeitsproduktivitätswachstum (ga) dämpft ceteris paribus den Preisauftrieb, autonome Erhöhungen der Preisaufschläge (j_V) zur Primäreinkommensumverteilung wirken preistreibend. Die Inflationsrate (gP) läßt sich somit zusammenfassend wie folgt darstellen:

$$(1) \quad gP = gwN - ga + j_V$$

³ Siehe hierzu DIECKHEUER (1998), Kap. 9, sowie JARCHOW (1998), Abschnitt V.1. Zur den Grundlagen der Zinsbestimmung in diesem Modell siehe KOOTHS (1994).

⁴ Ein vorangestelltes „g“ kennzeichnet Wachstumsraten.

Die Zuwachsrates der Nominallohne ergibt sich zum einen aus dem Reallohnsicherungsmotiv (Überwälzung der erwarteten Inflationsrate gP^{erw} in die Nominallohne zu $w_{gP} \cdot 100\%$) und zum anderen aus der Arbeitsmarktlage, wiedergegeben durch die Arbeitslosenquote u , die via Arbeitsproduktivität von der Güterproduktion und dem exogenen Arbeitsangebotspotential (A^{pot}) abhängt. Mit u^{nat} als natürlicher Arbeitslosenquote, w_v als Verteilungskampfaufschlag und w_{ga} als Parameter für die Teilhabe am technischen Fortschritt ergibt sich für die Lohnbildungsfunktion:

$$(2) \quad gwN = w_{gP} \cdot gP^{erw} + w_u \cdot (u^{nat} - u) + w_v + w_{ga} \cdot ga$$

Berücksichtigung von (2) in (1) und Umrechnung von u in X ergibt die Inflationsgleichung der Modellvolkswirtschaft als modifizierte Phillipskurve:

$$(3) \quad gP = w_{gP} \cdot gP^{erw} + \frac{w_u}{a A^{pot}} (X - X^{nat}) + (j_v + w_v) + (w_{ga} - 1) \cdot ga$$

Auflösen nach X ergibt die gesamtwirtschaftliche Angebotsfunktion:

$$(4) \quad X = X^{nat} + \varphi \cdot [gP - w_{gP} \cdot gP^{erw} - (j_v + w_v) + (1 - w_{ga}) \cdot ga] \quad \text{mit: } \varphi = \frac{a \cdot A^{pot}}{w_u}$$

Für die Nachfrageseite sind drei Haupteinflußkanäle von Bedeutung. Zum einen kann es autonom bedingte Nachfrageschwankungen geben (ΔN^{aut}), die zum Beispiel ein geändertes fiskalpolitisches Verhalten reflektieren. Ferner spielt die Geldpolitik über die autonome Festlegung der nominellen Geldmengenwachstumsrate (gMN) eine wichtige Rolle für die Nominalzinsentwicklung (i), die zusammen mit den Inflationserwartungen die realzinsabhängige Güternachfrage beeinflusst. Mißt man die Gesamteffekte der drei Einflußfaktoren über ihre jeweiligen Einkommensmultiplikatoren, so läßt sich die Nachfrageentwicklung – ausgehend vom Vorperiodenniveau – folgendermaßen ausdrücken:

$$(5) \quad N = N_{-1} + \mu_{N^{aut}} \cdot \Delta N^{aut} + \mu_{gM} \cdot (gMN - gP) + \mu_{gP^{erw}} \cdot \Delta gP^{erw}$$

Über die Gleichgewichtsforderung, daß sich Produktion und Gesamtnachfrage entsprechen sollen, lassen sich die Angebots- und Nachfragesphären zusammenführen:

$$(6) \quad X \stackrel{!}{=} N$$

Nimmt man an, daß Gewerkschaften eine Reallohnsicherungspolitik durchsetzen können ($w_{gP} = 1$), so ist das langfristige Einkommensniveau auf den Wert X^{nat} fixiert und unabhängig von der Inflationsrate. Diese entspricht langfristig der nominellen Geldmengenwachstumsrate. Liegt ein solches Gleichgewicht zum Zeitpunkt $t = 0$ vor und ändert nun die Zentralbank in $t = 1$ dauerhaft das Wachstum der nominellen Geldversorgung ($\Delta gMN_1 \neq 0$), so ergibt sich bei

einfacher adaptiver Inflationserwartung ($gP^{\text{erw}} = gP_{-1}$) aus (4), (5) und (6) folgender zeitlicher Einkommensverlauf:⁵

$$(7) \quad Y_t = X_t = X^{\text{nat}} + \left(\sqrt{\frac{\phi}{\mu_{gM} + \phi}} \right)^t \left[\sqrt{\phi \cdot \mu_{gM}} \cdot \Delta gMN_1 \cdot \sin \left(t \cdot \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{\mu_{gM}}{\mu_{gM} + \phi}} \right) \right) \right]$$

Man erhält einen Schwingungsprozeß um das Niveau X^{nat} , dessen Amplitude kontinuierlich abnimmt. Dieser Prozeß würde sich bei jeder neuen Änderung der Geldpolitik in grundsätzlich ähnlicher Weise wiederholen, solange Inflationserwartungen rein adaptiv gebildet werden. Bei rationalen, d. h. modellkonsistenten, Erwartungen ($gP^{\text{erw}} = gMN$) würde indes ein geldpolitisches Umsteuern überhaupt keinen konjunkturellen Effekt auslösen, sofern die Wirtschaftssubjekte sofort von der geldpolitischen Kursänderung erfahren könnten.

Die in der Differenzgleichung (7) zum Ausdruck kommende Anpassungsprozeß an eine (monetäre) Störung des Inflation-Einkommen-Gleichgewichts stellt aufgrund der stark vereinfachenden Annahmen allerdings nur eine stilisierte Form der ausgelösten Konjunkturdynamik dar. Insbesondere unterstellt die Verwendung von Multiplikatoren, daß Einkommensmultiplikatorprozesse zwischen zwei Tarifverhandlungen, in denen die Inflationserwartungsüberwälzung vollzogen wird, vollständig abgeschlossen werden (der Zeitindex in (7) bezieht sich auf Tarifvertragslaufzeiten). Tatsächlich benötigen diese Prozesse aber eine längere Anpassungszeit, die von der Simulationssoftware berücksichtigt wird. Im folgenden Abschnitt wird daher gezeigt, wie sich die Konjunkturdynamik bei einer zeitlich differenzierteren Vorgehensweise darstellt.

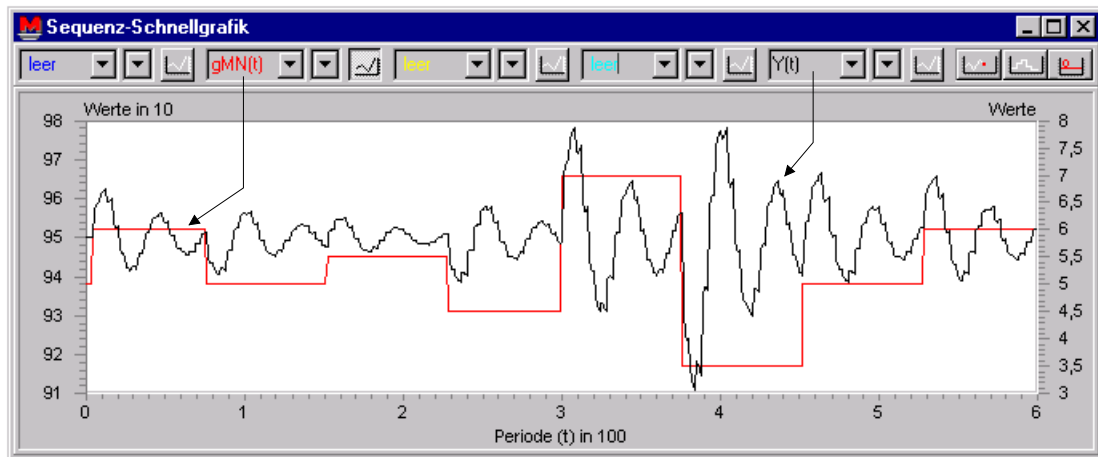
2.2 Simulation der Konjunkturdynamik bei traditioneller Erwartungsbildung

Zu Simulationszwecken sei im folgenden ein Analyseintervall von 600+1 Perioden betrachtet. Die Periodenlänge richtet sich an dem Zeitraum aus, für das die Einkommenserwartungen der Güternachfrage bzw. die Nachfrageerwartungen der Güteranbieter konstant sind, und entspricht somit der Anpassungsfrist für einen Schritt des Einkommensmultiplikatorprozesses. Tarifverträge mögen für einen Zeitraum von vier Perioden geschlossen werden. Dies sei zugleich der Zeithorizont der Geldpolitik (Konstanz des Geldmengenziels). In der Ausgangssituation ($t = 0$) liegt ein gesamtwirtschaftliches Gleichgewicht vor. Dieses wird ab $t=1$ durch geldpolitische Kurswechsel insgesamt acht mal gestört (Variation des Geldmengenwachstums). Eine geänderte Wachstumsrate der nominellen Geldversorgung wird für einen Zeitraum von jeweils 75 Perioden aufrechterhalten, um den jeweiligen Anpassungsprozeß ausreichend lange beobachten zu können. Für den Fall adaptiver Inflationserwartungen erhält man

⁵ Die Berechenbarkeit des Einkommensverlaufs darf nicht zu der Annahme verleiten, die Wirtschaftssubjekte könnten diese Formel ebenfalls berechnen und hieran Einkommens- und Inflationserwartungen bilden. Zum einen beschreibt die Formel nur einen idealtypischen Verlauf (s. Erläuterungen zu den Simulationsergebnissen) und zum anderen enthält sie Größen, die den Wirtschaftssubjekten unbekannt oder nicht hinreichend genau bekannt sind.

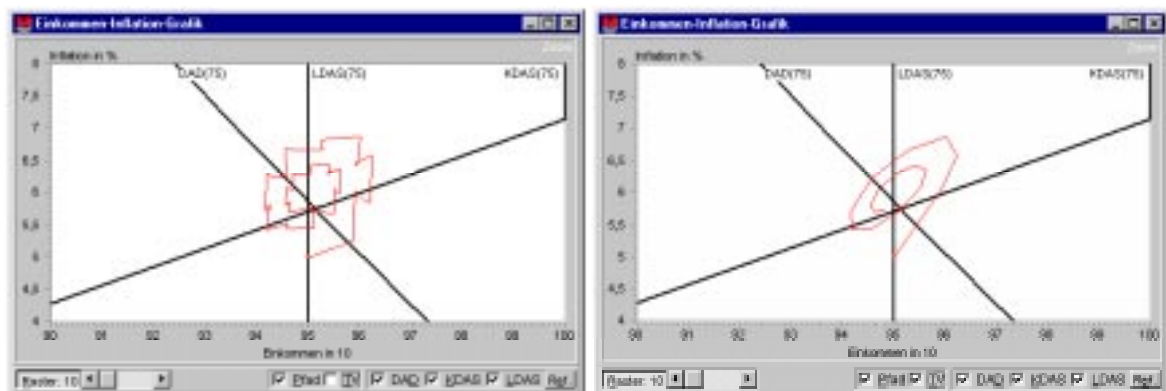
für dieses Modell die in Abb. 3 wiedergegebenen Sequenzgrafik (Modelldatei: „Demo-nfx1 (adaptiv).MM5“)⁶.

Abb. 3 — Einkommensschwankungen als Reaktion auf Änderungen der Geldpolitik (adaptive Erwartungen)



In Abb. 3 erkennt man die typischen zyklischen Anpassungsprozesse in Folge monetärer Störungen wieder. Während die Amplituden abhängig sind von der Stärke des durch das monetäre umsteuern ausgelösten Impulses, läßt das Prozeßmuster der Anpassung die jeweils gleiche Regelmäßigkeit erkennen. Die für adaptive Erwartungen typische Anpassungszyklik wird deutlich, wenn man sich von der Simulationssoftware den Anpassungspfad im Einkommen-Inflation-Raum für die erste Störung darstellen läßt und dabei nur diejenigen Perioden verbindet, in denen Tarifverhandlungen geführt werden (siehe Abb. 4). Ein ähnliches Bild ergäbe die Darstellung des Anpassungsprozesses gemäß der sterilen Differenzgleichung (7).

Abb. 4 — Anpassungspfad im Einkommen-Inflation-Raum für alle Perioden (links) und für Tarifverhandlungsperioden (rechts)

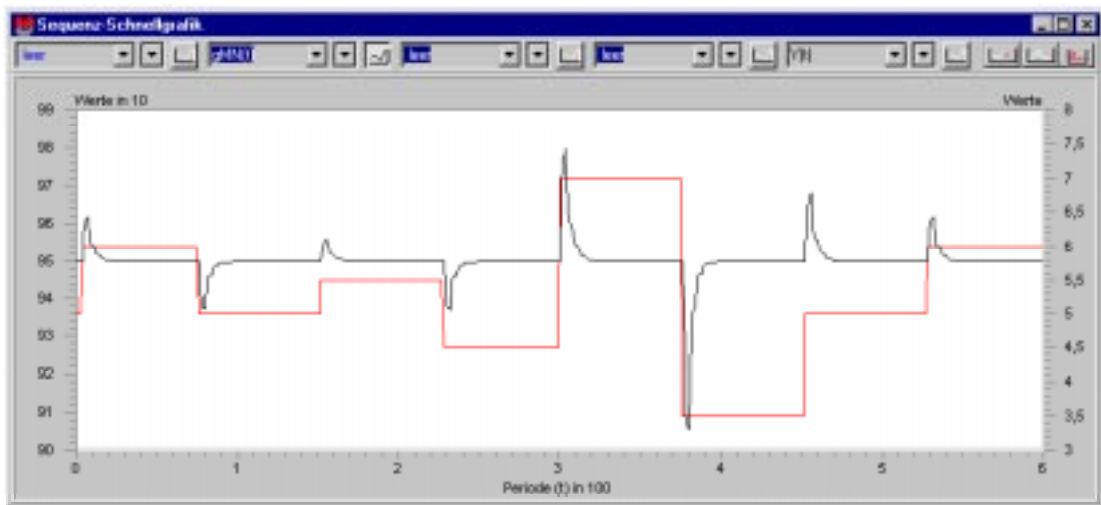


Für den Fall rationaler Erwartungen ($gP^{erw} = gMN_{-1}$) erhält man von MAKROMAT-nfx das in Abb. 5 wiedergegebene Bild (Modelldatei: „Demo-nfx1 (rational).MM5“). Die Tatsache, daß trotz rationaler Erwartungsbildung kurzfristig reale Effekte durch die Geldpolitik bewirkt

⁶ Die Modelldate(i)n sowie eine Skizze für den Aufbau der Konjunktursimulation findet man in der MAKROMAT-Webzentrale unter der nfx-Rubrik „Demo“. Eine Kurzbeschreibung der makroökonomischen Simulationssoftware MAKROMAT liefert KOOHNS (1999).

werden, liegt zum einen daran, daß die Wirtschaftssubjekte den monetären Kurswechsel nur mit einperiodiger Verzögerungen erkennen können (kurzfristige monetäre Täuschungsmanöver also möglich sind). Zum anderen werden die Erwartungen nur rational im Sinne von langfristiger Modellkonsistenz gebildet. Da in dem zugrundeliegenden Simulationsmodell nominalzinsabhängige Geldnachfrage vorliegt, unterschätzen (überschätzen) langfristig rationale Erwartungen kurzfristig die auftretenden Inflationseffekte bei einer expansiven (kontraktiven) Änderung der nominellen Geldversorgung aufgrund der damit verbundenen kontraktiven (expansiven) realen Geldmengeneffekte.

Abb. 5 — Einkommenschwankungen als Reaktion auf Änderungen der Geldpolitik (rationale Erwartungen)



Auch bei rationalen Erwartungen treten bei wiederholten geldpolitischen Störungen regelmäßige Anpassungserscheinungen auf. Man beachte, daß die Wirtschaftssubjekte trotz der zwischenzeitlich auftretenden Prognoseirrtümer an ihren monokausalen Erwartungen festhalten und keinerlei Reaktionen hinsichtlich der (zum Teil erheblichen)⁷ Erwartungsfehler ausgelöst werden.

Es wurde eingangs bereits darauf hingewiesen, daß die beiden traditionellen Erwartungsbildungshypothesen wenig realistisch sind. Nachfolgend wird daher ein Verfahren vorgestellt, das einen Weg zwischen diesen beiden Extremformen des den Wirtschaftssubjekten unterstellten Prognoseverhaltens beschreitet, indem Erfahrungsregel-basierte Erwartungen mittels Neuro-Fuzzy-Systemen modelliert werden. Wie ein solcher Ansatz modelliert und trainiert werden kann, soll im nächsten Abschnitt gezeigt werden.⁸

⁷ So beläuft sich z. B. die Inflationsrate nach dem expansiven Schock in Periode $t = 300$ in den Perioden 304, 305, 306 auf 10,10 %, 9,39 %, 8,98 % und ist damit beträchtlich vom neuen Gleichgewichtswert (7 %) entfernt.

⁸ Hier kann nur ein grober Abriß der verwendeten Neuro-Fuzzy-Technologie geliefert werden. Zu Einzelheiten und Alternativen der vorgestellten Variante siehe KOOTHS (1998), Kap. 2.

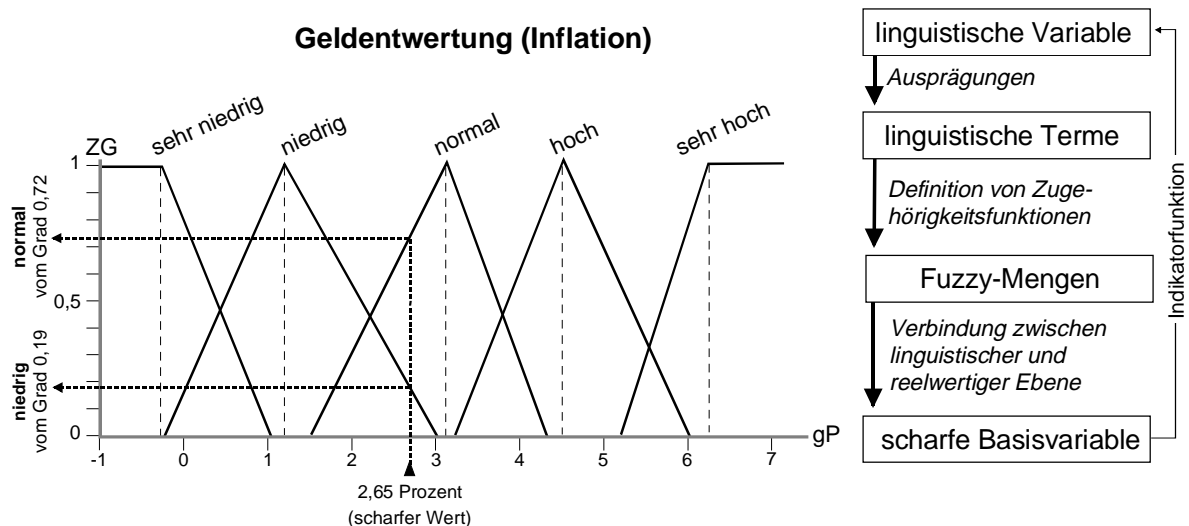
3. Erfahrungsregel-basierte Erwartungen mit Neuro-Fuzzy

3.1 Design des Fuzzy-Erwartungsgenerators

Aufgabe des Fuzzy-Erwartungsregelsystems ist es, aus beobachtbaren Zeitreihendaten, eine theoriegeleitete Prognose der zukünftigen Entwicklung bestimmter entscheidungsrelevanter Größen des ökonomischen Prozesses zu generieren. Die Formulierung der vermuteten Abhängigkeiten erfolgt auf rein sprachlicher Ebene, und der Erwartungsbildungsprozess berücksichtigt explizit die dabei auftretende Unschärfe in der Einschätzung der ökonomischen Lage.

In dem vorgestellten Konjunkturmodell ist die Inflationsrate eine der entscheidenden Prognosekandidaten, da sie sowohl für die Lohnpolitik (Reallohnsicherung) als auch für die Güternachfrage (Realverzinsung) eine wichtige Rolle spielt. Aus diesem Grunde sei sie hier exemplarisch für die Betrachtung Erfahrungsregel-basierter Erwartungen ausgewählt. Die zu prognostizierende Erwartungsgröße hat in ihrer fuzzifizierten Form fünf unscharfe Ausprägungen (,sehr niedrig‘, ,niedrig‘, ,normal‘, ,hoch‘ und ,sehr hoch‘), die als linguistische Terme bezeichnet werden. Zwischen den scharfen Werten einer Größe und ihren linguistischen Termen werden durch die Definition von Zugehörigkeitsfunktionen Fuzzy-Mengen⁹ geschaltet, die darüber Auskunft geben, zu welchem Grade (ZG) eine bestimmte Ausprägung zutrifft. So wird in dem Beispiel aus Abb. 6 ein scharfer Inflationswert von 2,65 % zum Grade 0,19 als ,niedrig‘ und zum Grade 0,72 als ,normal‘ angesehen (Zugehörigkeitsgrade zu verschiedenen linguistischen Termen müssen sich nicht zu eins ergänzen, da es nur auf die relative Zugehörigkeit ankommt).

Abb. 6 — Fuzzifizierung der Inflationsmessung



⁹ Diese können entweder triangulär oder gaußförmig gestaltet sein. Sie sind in beiden Fällen durch dieselben Parameter charakterisiert: Das Zentrum kennzeichnet den repräsentativen Wert des Terms, während die Weite die Ausdehnung des Terms bestimmt (nicht-symmetrische Fuzzy-Mengen weisen eine linke und eine rechte Weite auf). Für eine vollständige Abdeckung müssen trianguläre Fuzzy-Mengen randgesättigt ausgestaltet werden (unendlich große Außenweiten). Diese Modellierung ist für gaußförmige Fuzzy-Mengen optional.

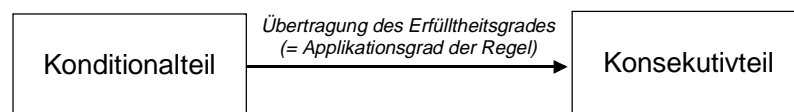
Die Variablen, von denen die Wirtschaftssubjekte annehmen, daß sie einen Einfluß auf die Erwartungsgröße haben, werden Determinanten genannt. Welche und wieviele Determinanten einer Erwartungsgröße zugeordnet werden, ist exogen festzulegen. Im folgenden soll von einem Beispiel mit zwei Determinanten ausgegangen werden, bei dem zu Beginn einer Periode t aus den (bekannten) Werten der aktuellen Arbeitslosenquote und der zur Zeit beobachteten nominellen Geldmengenwachstumsrate auf die (unbekannte) zukünftige Geldentwertung bis zum Ende der Periode t geschlossen wird. Für die Determinanten werden aus Gründen der Übersichtlichkeit jeweils nur drei linguistische Terme („niedrig“, „normal“ und „hoch“) formuliert. Die Verknüpfung der linguistischen Terme der Determinanten mit denen der Erwartungsgröße erfolgt über Fuzzy-Regeln, die nach einem Wenn-Dann-Schema aufgebaut sind. Abb. 7 verdeutlicht das Grundprinzip der mit Fuzzy-Regeln möglichen Fuzzy-Inferenz am Beispiel der vor dem Hintergrund der Phillipskurventheorie denkbaren einfachen Erwartungsregel, daß bei hoher Arbeitslosigkeit c.p. mit niedriger Inflation zu rechnen ist.

Abb. 7 — Fuzzy-Regeln und Fuzzy-Inferenz: Grundprinzip

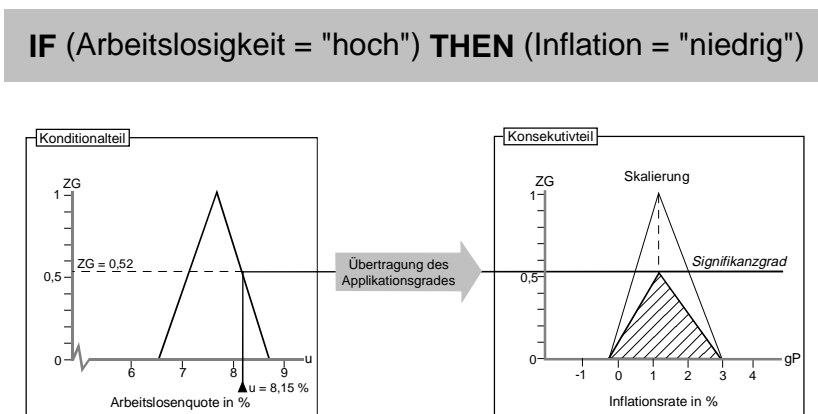
a) Stilisierte Form einer Fuzzy-Regel



b) Inferenzprinzip



c) Beispiel (Regelauswertung mittels Skalierungsverfahren)



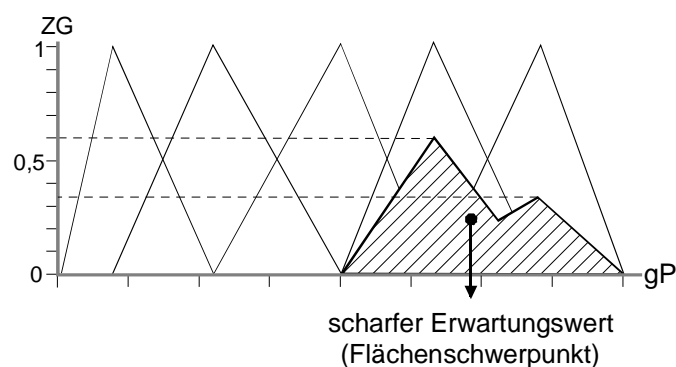
Das Besondere an Fuzzy-Regeln ist, daß sie – im Gegensatz zu Implikationen der Prädikatenlogik – graduell erfüllt und wirksam sein können. Da die Aussage „die vorliegende Arbeitslosigkeit ist hoch“ nur entsprechend ihrem Zugehörigkeitsgrad Fuzzy-wahr ist (im Beispiel der vorstehenden Abbildung wird eine Arbeitslosenquote von 8,15 % zum Grade 0,52 für hoch gehalten), gilt auch die aus dieser Bedingung gefolgerte Prognose nur zu diesem Signifikanzgrad. Wählt man das Skalierungsverfahren für die Regelauswertung, so wird die dem Konsequativterm entsprechende Fuzzy-Menge gemäß dem ermittelten Signifikanzgrad gestaucht.

Das in Abb. 7 dargestellte Beispiel stellt nur den einfachen Fall einer einzelnen eindimensionalen Erwartungsregel dar. Für das eingangs dieses Abschnitts formulierte Prognoseverhalten (Inflationserwartung in Abhängigkeit der Arbeitsmarktlage und der Geldpolitik) müssen Fuzzy-Regeln mit multidimensionalem Konditionalteil verwendet werden (Beispiel: „Bei hoher Arbeitslosigkeit und niedriger Wachstumsrate der nominellen Geldmenge wird mit sehr niedriger Inflation gerechnet.“). Der Applikationsgrad einer solchen Erwartungsregel ist nun abhängig vom gleichzeitigen Vorliegen „hoher Arbeitslosigkeit“ und „niedriger nomineller Geldmengenwachstumsrate“, die über einen Fuzzy-Und-Operator miteinander verknüpft sind. Die Auswertung einer solchen multidimensionalen Fuzzy-Regel wird Aggregation genannt. Ein gebräuchliches Aggregationsverfahren stellt die Multiplikation der Zugehörigkeitsgrade der einzelnen Determinantenterme dar.

Mit einer einzelnen Fuzzy-Regel ist der Raum möglicher Beobachtungen und Einschätzungen der ökonomischen Situation nur ausschnittsweise beschrieben. Das Bündel an Fuzzy-Regeln, mit denen für jeden beliebigen Beobachtungswert eine mögliche Inflationsprognose abgeleitet werden kann, heißt Regelbasis. Im vorliegenden Fall einer zweidimensionalen Regelbasis mit jeweils drei linguistischen Termen pro Determinante sind insgesamt $3 \times 3 = 9$ Fuzzy-Regeln erforderlich, um den Möglichkeitenraum vollständig abzudecken. Hierbei kann es vorkommen, daß verschiedene Fuzzy-Regeln einen identischen Konsekutivterm aufweisen. Dies macht ein Akkumulationsverfahren zur Bestimmung des Signifikanzgrades des mehrfach vorkommenden Konsekutivterms erforderlich. Hierfür läßt sich das limitierte Summenverfahren verwenden, das die Applikationsgrade der verschiedenen Regeln kumuliert, wobei der resultierende Signifikanzgrad des Konsekutivterms auf eins begrenzt wird.

Am Ende des Fuzzy-Inferenzverfahrens steht eine unscharfe Aussage in Form einer Fuzzy-Inferenzermengung. Diese könnte beispielsweise lauten, daß die erwartete Inflation zum Grade 0,6 für „hoch“ und zum Grade 0,34 für „sehr hoch“ gehalten wird (vgl. Abb. 8). Solche Aussagen bringen zwar die unscharfe Einschätzung der Wirtschaftssubjekte zum Ausdruck, sie müssen jedoch für konkrete ökonomische Entscheidungen noch stärker verdichtet werden. Soll zum Beispiel die Inflationsprognose in die Tarifverhandlungen einfließen, so ist eine scharfe Kennzahl erforderlich. Für dessen Ermittlung stehen verschiedene Defuzzifizierungsmethoden zur Wahl, die zum Ziel haben, den repräsentativen scharfen Wert der Fuzzy-Inferenzermengung zu ermitteln. Im Beispiel aus Abb. 8 wurde hierzu das Center-of-Area-Verfahren gewählt.

Abb. 8 — Fuzzy-Inferenzermengung und Center-of-Area-Defuzzifizierungsverfahren



Zusammenfassend läßt sich die Fuzzy-Erwartungsbildung bei gegebener Regelbasis folgendermaßen beschreiben:

- (1) Fuzzifizierung von Determinanten und Erwartungsgröße
- (2) Fuzzy-Inferenz
 - Aggregation (Ermittlung der Applikationsgrade der Regeln)
 - Akkumulation (Ermittlung der Signifikanzgrade der Konsekutivterme)
 - Inferenz i.e.S. (Erzeugung der Fuzzy-Inferenzermengung)
- (3) Defuzzifizierung

In Anlehnung an Fuzzy-geregelte technische Systeme (Fuzzy-Control) zeigt Abb. 9 die Interaktion der Fuzzy-Erwartungsbildung mit dem ökonomischen Modell.

Abb. 9 — Erwartungsbildung als Fuzzy-kontrollierter Regelkreis

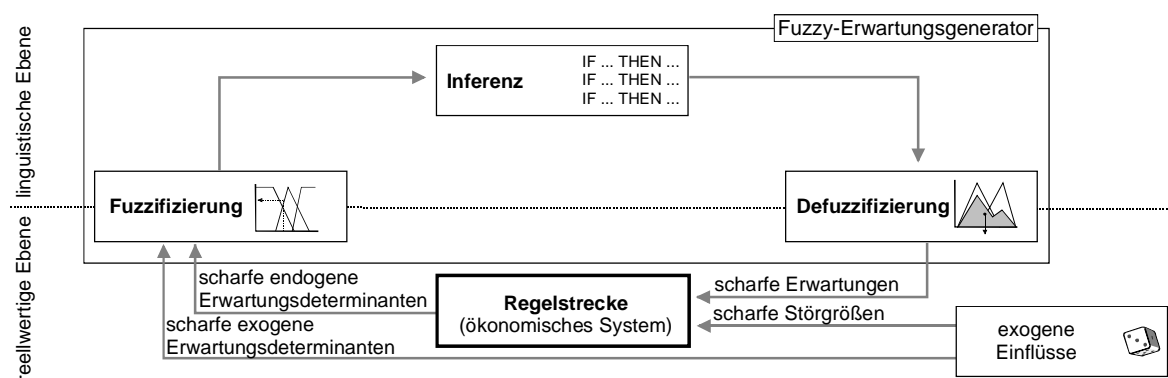


Abb. 9 weist auf die Schwäche reiner Fuzzy-Systeme zur Erwartungsbildung hin, da sie keinen Rückwirkungskanal für den Fall von Prognosefehlern aufweisen. Diese sind jedoch bei menschlicher Erwartungsbildung völlig normal und führen in der Regel zu einer Änderung des bisherigen Prognoseverhaltens (Fehlerkorrekturbemühungen). Zu diesem Zweck ist es sinnvoll, das Fuzzy-System um Lernverfahren zu ergänzen, die auf Prognosefehler reagieren. Die hierzu verwendete Technologie skizziert der folgende Abschnitt.

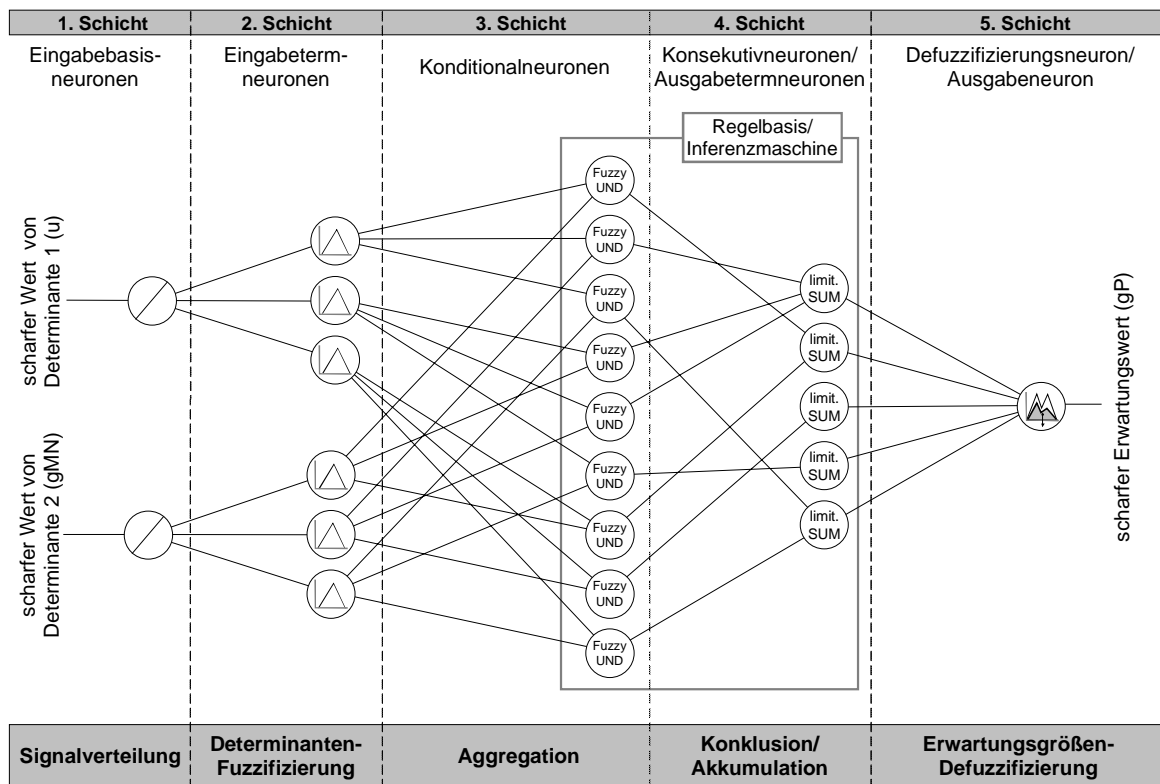
3.2 Erfahrungserwerb durch neuronale Lernverfahren

Der hier beschrittene Weg sieht den Ausbau des Fuzzy-Erwartungsgenerators zu einem hybriden Neuro-Fuzzy-System vor. Für die verwendete Neuro-Fuzzy-Technologie wird grundlegend auf einen Ansatz von Lin und Lee zurückgegriffen.¹⁰ Kennzeichnend für das Verfahren ist ein Netzaufbau, bei dem jeder der insgesamt fünf Schichten jeweils eine Funktion im Fuzzy-Inferenzprozeß zugeordnet wird (vgl. zum folgenden Abb. 10). Neuronen der ersten Schicht (Eingabebasisneuronen) sind Sensoren zur Außenwelt, deren einzige Aufgabe darin besteht, die scharfen Beobachtungswerte für die Determinanten an die zuständigen Neuronen der zweiten Schicht (Eingabeterminneuronen) weiterzuleiten, die die Fuzzifizierung der scharfen Inputwerte vornehmen. Damit ist für das obige Beispiel jeweils ein Eingabebasisneuron

¹⁰ Vgl. LIN/LEE (1991) und LIN (1994). Einführend siehe NEUNER/TRESP (1994) sowie NAUCK/KLA-WONN/KRUSE (1994), S. 231 ff.

mit genau drei Eingabeterminneuronen verbunden, von denen jeweils eines für einen Fuzzy-Term der zugehörigen Determinante steht.

Abb. 10 — Neuro-Fuzzy-System zur Erwartungsbildung



Die Parameter der für die Determinantenfuzzifizierung verwendeten Zugehörigkeitsfunktionen lassen sich als Gewichte an den Verbindungen zwischen erster und zweiter Schicht auffassen. Sie entsprechen den Zentren und Weiten der termrepräsentierenden Fuzzy-Mengen. Die fuzzifizierenden Neuronen der zweiten Schicht liefern die von ihnen ermittelten Zugehörigkeitswerte des scharfen Inputs zu den von ihnen repräsentierten Fuzzy-Termen an die Neuronen der dritten Schicht (Konditionalneuronen) weiter. In dieser Aggregationsschicht werden die Zugehörigkeitswerte für alle möglichen Termkombinationen aus der zweiten Schicht durch den Fuzzy-Und-Operator bestimmt. Die Anzahl der Verbindungen eines Konditionalneurons ist somit gleich der Anzahl der Determinanten. Alle Gewichte der dritten Schicht sind unveränderlich eins. Jedes Neuron der vierten Schicht (Konsekutivneuron) entspricht einem Fuzzy-Term der Erwartungsgröße. Daher können diese auch Ausgabeterminneuronen genannt werden. Der Zugehörigkeitswert einer in der dritten Schicht abgebildeten Bedingung wird an das gemäß der formulierten Fuzzy-Regel entsprechende Konsekutivneuron übertragen. Hierbei ist optional eine Regelgewichtung möglich, die dem Gewicht der Verbindung zwischen vierter und dritter Schicht entspricht. Jedes Konditionalneuron ist mit genau einem Konsekutivneuron verbunden. Umgekehrt gilt dies nicht: ein Konsekutivneuron kann mit einem oder mehreren oder auch gar keinen Konditionalneuronen verbunden sein. Die dritte und vierte Schicht bilden zusammen die konnektionistische Inferenzmaschine, die die komplette Regelbasis eines Fuzzy-Systems abbildet. In der fünften Schicht wird aus den Zugehörigkeitswerten der Ausgabeterminneuronen ein scharfer Erwartungswert defuzzifiziert. Zentren und Weiten der

jeweiligen Outputterme bilden das Gewichtstupel an den Verbindungen zwischen den beiden letzten Schichten.

Aus neuronaler Sicht hängt die Leistungsfähigkeit eines Netzes bei gegebener Netztopologie und Neuronenfunktionalität nur noch von den Verbindungsgewichten ab, mit denen die Outputwerte eines Neurons der s -ten Schicht gewogen werden, bevor sie als Input der Neuronen der $(s+1)$ -ten Schicht weiterverarbeitet werden. Das „Wissen“ eines Neuronalen Netzes wird somit durch die Werte der Verbindungsgewichte repräsentiert. Die Tatsache, daß alle charakteristischen Parameter des Fuzzy-Systems als Gewichte des funktionsäquivalenten neuronalen Netzes abgebildet werden, ist die Voraussetzung dafür, daß neuronale Lernverfahren, wie der hier verwendete (modifizierte) Error-Backpropagation-Ansatz, für das regelbasierte Prognoseproblem zum Einsatz kommen können. Der Ausgangspunkt für den Lernprozeß ist der Prognosefehler Err , der für den Fall der Inflationserwartung folgendermaßen definiert ist:

$$(8) \quad Err = \frac{1}{2} \frac{1}{np} \sum_{p=1}^{np} (gP_p - gP_p^{erw})^2$$

Der Epochenumfang np stellt dabei die Anzahl der verwendeten Lernbeispiele aus zurückliegenden Perioden dar. Im einfachsten Fall sind dies die np jüngsten Vergangenheitsperioden (Lernen am aktuellen Rand).

Die Idee hinter dem Error-Backpropagation-Verfahren besteht darin, daß für den auftretenden Prognosefehler nicht nur das Ausgabeneuron verantwortlich ist, sondern alle Neuronen, die im Verlauf der Informationsverarbeitung innerhalb des neuronalen Netzes am Ergebnis beteiligt waren. Dementsprechend wird das Fehlersignal ausgehend vom Defuzzifizierungsneuron schichtenweise bis zur zweiten Schicht zurückgereicht und auf alle relevanten Neuronen verteilt. Variablen Einfluß auf den Netzoutput haben nur die den jeweiligen Neuronen vorgeschalteten Gewichte, die daher der Gegenstand des Lernprozesses sind. Die Änderung der einzelnen Gewichte g erfolgt proportional zu deren Grenzeinfluß auf den Netzfehler, was einer linearen Approximation der Fehlerfunktion in der Umgebung des bisherigen Gewichtswerts entspricht.

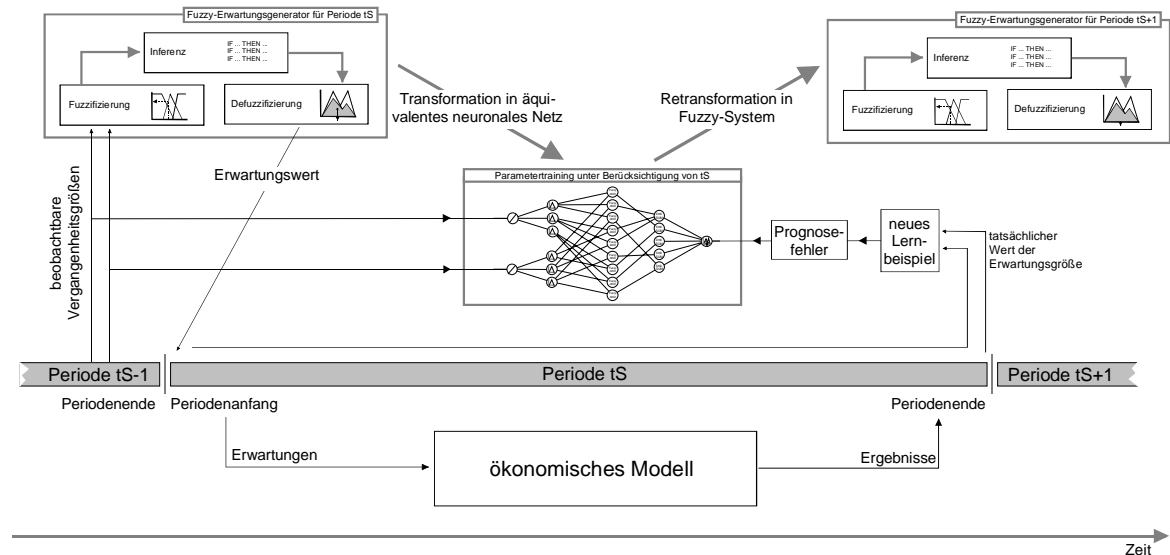
$$(9) \quad \Delta g = -\mu \frac{\partial Err}{\partial g}$$

Stellt man sich den Netzfehler als Funktion der Netzgewichte vor, so entsteht ein Fehlergebirge, in dem während des Lernprozesses gemäß Gleichung (9) der Weg des steilsten Abstiegs gewählt wird. Die Lernrate μ bestimmt dabei die Schrittweite, mit der dies geschieht. Auf Einzelheiten des recht umfangreichen Formelgerüsts für die Parameteranpassung sei an dieser Stelle verzichtet.¹¹ Man beachte jedoch, daß diese abhängig sind von der gewählten Termform, den verwendeten Fuzzy-Und-Operatoren sowie der Regelgewichtungsoption.

¹¹ Siehe hierzu KOOTHS (1998), Abschnitt 2.5.3.4.

Da nach jeder neu abgeschlossenen Periode tS ein neues Muster für den Lernprozeß zur Verfügung steht, kann der Lernprozeß nach jeder Periode neu durchgeführt werden (vgl. Abb. 11).

Abb. 11 — Abfolge von regelbasierter Prognose und erfahrungsabhängigem Prognosetraining



Im Vergleich zu reinen neuronalen Ansätzen liefert das hier verwendete Neuro-Fuzzy-Netz einen Prognoseoutput, dessen Zustandekommen sich eindeutig interpretieren läßt. Dies wird dadurch gewährleistet, daß das neuronale Netz nicht vollständig verknottet ist. Die fehlenden Verbindungen deuten darauf hin, daß das Neuro-Fuzzy-System weniger treffsicher ist als ein reines, vollständig verknüpftes neuronales Netz. Hier wird deutlich, daß sich die für den Modellbauer wichtige Forderung nach Interpretierbarkeit des Outputs nur durch eine geschmälerte Prognosegüte des Netzes erkaufen läßt (Trade-off zwischen Transparenz und Effizienz). Die Implementierung eines vollständig verknüpften Netzes mit identischer Neuronenanordnung als neuronales Referenzmodell für Prognosevergleiche stellt eine zukünftige Erweiterung der Softwarelösung dar.

Der Konflikt zwischen Transparenz und Effizienz besteht auch beim neuronalen Training des Fuzzy-Systems. U. U. kann es sinnvoll sein, bestimmte Parameter nicht zu adaptieren oder hinsichtlich der Wertebereiche einzuschränken. Andernfalls kann es vorkommen, daß das Fuzzy-System durch den neuronalen Lernprozeß derart „zerpflügt“ wird, daß es ökonomisch entartet und nach erfolgter Rückübersetzung nicht mehr sinnvoll interpretierbar ist. Aus diesem Grunde wurde in MAKROMAT-nfx optional ein „Kontrollierter Error-Backpropagation-Lernalgorithmus“ implementiert. Dieser modifiziert das Standard-EBP-Verfahren in folgenden (teilweise) optionalen Bereichen:

- Perzeptionsintervalle (quasi-optional)

Mindestwahrnehmungsniveau für scharfe Werte

⇒ Signalverstärkung für extreme Ausreißer bei nicht randgesättigten Gaußfunktionen

⇒ Signalabschwächung bei randgesättigten Fuzzy-Mengen

- Randsättigungsabschmelzung (optional)
Parameteranpassung für $\partial \text{Err} / \partial g = 0$
⇒ ermöglicht Nachziehen von Fuzzy-Mengen bei ökonomischem „Neuland“ (Niveaushiftungen der scharfen Basisvariable)
- Selektives Parameterlernen (optional)
symmetrische Fuzzy-Mengen, abschaltbares Weiten- und/oder Regelgewichtungstraining
⇒ erhöht Generalisierungsfähigkeit durch Parameterreduktion
- Negativkorrektur
positive Weiten und Regelgewichte
⇒ zwingend erforderlich für ökonomische Interpretierbarkeit
- Extremwertlimitierung (optional)
Begrenzung der Zentrenwerte auf beobachtete Extremwerte
⇒ erhöht gleichmäßige Partitionierung der Fuzzy-Mengen im beobachteten Wertebereich
- Relative Deckelung (optional)
relative Obergrenze für Parameteranpassung bei einem Lernschritt
⇒ erhöht Trägheit des Lernverfahrens und wirkt dem Einfluß von Ausreißern entgegen
- Konservierung der Regelbasis (optional)
Vertauschung von Termzentren wird unterbunden
⇒ ermöglicht ein festes Theoriegerüst der Wirtschaftssubjekte
- Maximale Nachbartermüberlappung (optional)
ZG-Schnittpunktbegrenzung durch eingeschränkte Zentren- und/oder Weitenanpassung
⇒ wirkt entarteter Partitionierung und abnehmender Trennschärfe entgegen
- Minimale Nachbarzentrenüberlappung (optional)
ZG-Mindestniveau für Zentren benachbarter Fuzzy-Mengen
⇒ reduziert „Brachland“ zwischen Fuzzy-Mengen und erhöht gleichmäßige Partitionierung
- Mindesttermüberlappung für trianguläre Fuzzy-Mengen
ZG-Mindestniveau für Schnittpunkt benachbarter Fuzzy-Mengen
⇒ reduziert „Brachland“ zwischen Fuzzy-Mengen und erhöht gleichmäßige Partitionierung
- Absolutes Mindestniveau für Termweiten
obligatorische Untergrenze für alle Termweiten: 0,0001
⇒ verhindert punktförmige Fuzzy-Mengen und hält Berechenbarkeit aufrecht

Der Kontrollierte Error-Backpropagation-Algorithmus hilft insbesondere dann weiter, wenn die Wirtschaftssubjekte bei extremen Umbrüchen des bisherigen Systemverhaltens in völliges „Neuland“ geraten. „Neuland“ entsteht immer dann, wenn die Fuzzy-Mengen den Wertebereich nicht mehr hinreichend partitioniert abdecken und/oder die entscheidenden scharfen Größen in den Randbereichen des fuzzifizierten Wertebereichs liegen. Dem tragen verschiedene Methoden des Kontrollierten Error-Backpropagation-Verfahrens Rechnung, die dafür sorgen, daß bei einer dauerhaften Verlagerung des Niveaus einer Größe die übrigen Terme adäquat „nach-

ziehen“, um wieder eine differenzierte Auffächerung des neuen relevanten Wertebereichs in Fuzzy-Terme zu ermöglichen.

Für jede ökonomische Zeitreihensimulation, in der Lernprozesse abgebildet werden sollen, besteht das Initialisierungsproblem und damit die Frage, wie das „Vorwissen“ der Wirtschaftssubjekte behandelt wird. Hierzu sind in der Simulationssoftware drei Möglichkeiten vorgesehen:

- (a) Individuelle explizite Eingabe aller Fuzzifizierungsparameter incl. der Regelbasis
- (b) Automatisierte Durchschnitts-Clusterung eines Referenzintervalls; die Regelbasis kann durch Angabe der Einflußrichtung der Determinanten generiert werden
- (c) Unüberwachter wettbewerblicher Vorlernprozeß für Clusterung und Regelbasis auf einem Referenzintervall

Die Behandlung der Regelbasis kann auch beliebig mit den Verfahren zur Anfangsfuzzifizierung der Regelgrößen kombiniert werden. Die Simulation des Referenzintervalls sollte mit adaptiver Erwartungsbildung durchgeführt werden. Dies entspricht dem (durchaus rationalen) Verhalten, sich in einer unbekanntem Umgebung zunächst an das zu halten, was bislang galt (nach dem Prinzip des unzureichenden Grundes liefert der Status quo den besten Prognosewert). Die Möglichkeit, alle Fuzzy-relevanten Angaben auch völlig frei „per Hand“ vornehmen zu können, entspricht dem CAL-Ansatz der Softwarelösung (CAL = Computer-Assisted Learning), wonach man sich durch einen experimentellen Umgang (spielerisches Ausprobieren) mit dem Fuzzy-System vertraut machen können soll.

3.3 Simulation

MAKROMAT-nfx ermöglicht über den eingebauten Neuro-Fuzzy-Erwartungseditor die Formulierung Erfahrungsregel-basierter Erwartungen. Dieses Programmmodul kann jederzeit zum Betrachten und Modifizieren des Fuzzy-Systems und der Neuronalen Lernumgebung eingesetzt werden. Abb. 12 vermittelt einen Eindruck vom Aufbau dieses Werkzeugs. Auf vier Hauptregistern erlaubt der NFE-Editor im Dialogverfahren die Modellierung von Fuzzy-Mengen zur Verknüpfung von scharfen Werten mit unscharfen linguistischen Begriffen (Fuzzifizierung), die Erzeugung und Modifikation von Regelbasen (Regelbasis), die Wahl des Defuzzifizierungsverfahrens (scharfe Inferenz) sowie die Einstellungen für das Lernverhalten der Wirtschaftssubjekte (Neuro). Die für die hier vorgestellte Simulationsstudie verwendete Regelbasis kann über die Demo-Rubrik der MAKROMAT-Webzentrale bezogen und über das Datei-Menü (Eintrag „Erwartungsregeln laden“) eingelesen werden (Datei: „Demo-nfx1 (gP, zweidimensional).NFX“).

MAKROMAT-nfx erlaubt die Simulation von theoriegeleiteter Erwartungsbildung mit und ohne Einbeziehung der Neuro-Komponente. Zunächst mögen nur die Fuzzy-Erwartungsregeln ohne ein Lernverfahren angewendet werden. Dies impliziert ein zeitinvariantes regelgeleitetes Prognoseverhalten der Wirtschaftssubjekte („feste Überzeugungen“). Um die Auswirkung einer solchen Erwartungsmodellierung zu realisieren, ist die Option *Regeln anwenden* zu aktivieren. Hierdurch wird die autoregressive Inflationserwartung durch die Fuzzy-Erwartungsre-

geln ersetzt. Abb. 13 zeigt die Ergebnisse für die Sozialproduktentwicklung, die sich in einem solchen Fall ergibt.

Abb. 12 — Oberfläche des Neuro-Fuzzy-Erwartungseditors

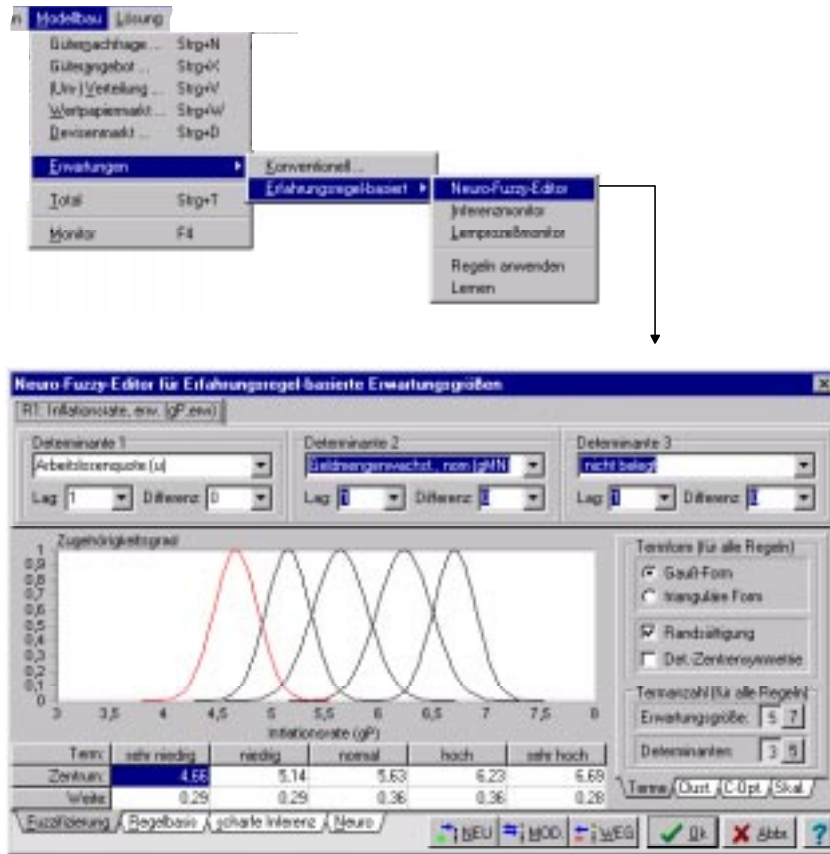
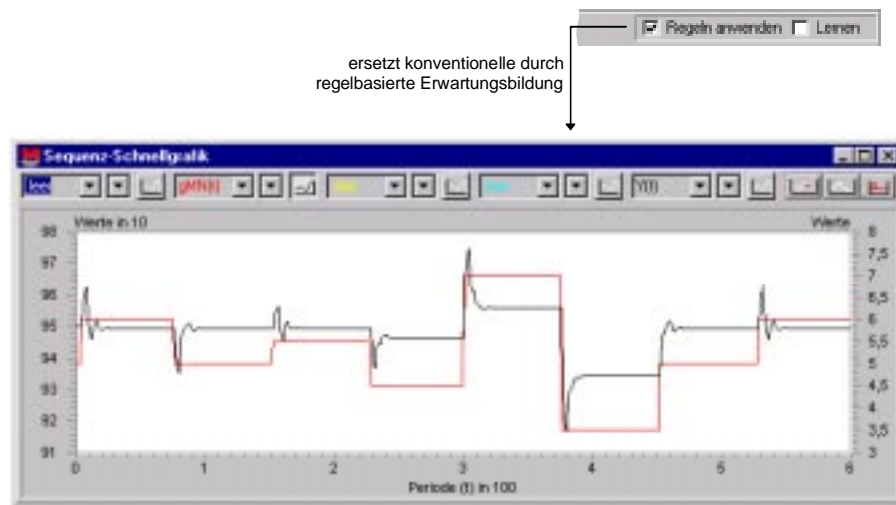


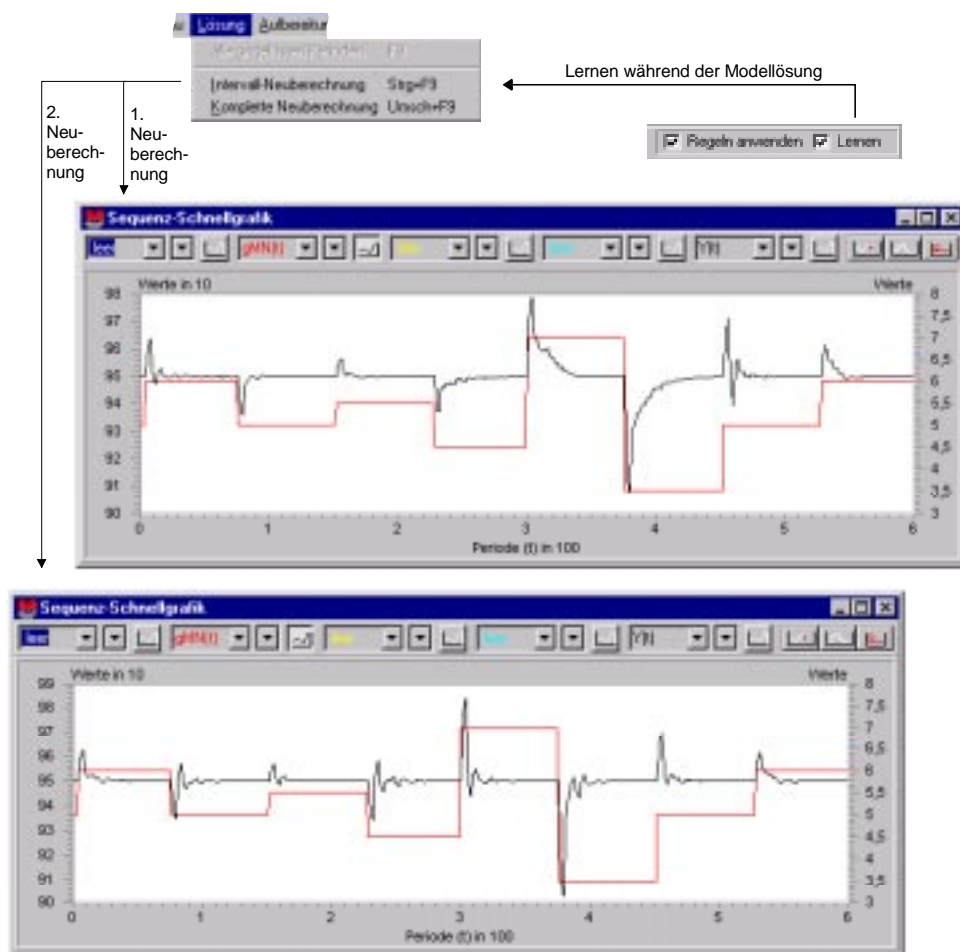
Abb. 13 — Effekt regelgeleiteter Inflationsprognosen ohne Lernverfahren



Man erkennt deutlich, daß sich das Schwingungsverhalten stark abschwächt und die Volkswirtschaft nach den exogenen Störungen rasch zu einem stabilen Niveau zurückfindet. Jedoch

treten hierbei persistente Prognosefehler bei der Inflationserwartungsbildung auf. Dies erkennt man an den unterschiedlichen Einkommensniveaus (zur Verdeutlichung ließe sich in der Sequenz-Schnellgrafik zusätzlich auch der Verlauf der tatsächlichen (gP) und der erwarteten Inflationsrate (gP^{erw}) einblenden). Für den Abbau der Prognosefehler ist die bislang nicht aktivierte Neuro-Komponente zuständig. Schaltet man diese hinzu (Aktivieren der *Lernen*-Option), so wird bei der nächsten Modelllösung das Fuzzy-Regelwerk dem eingestellten Lernverfahren unterworfen. Die Neuberechnung des Analyseintervalls kann jederzeit mit dem Befehl *Intervall-Neuberechnung* aus dem *Lösung*-Menü erfolgen. Die daraus resultierenden Ergebnisse zeigt Abb. 14.

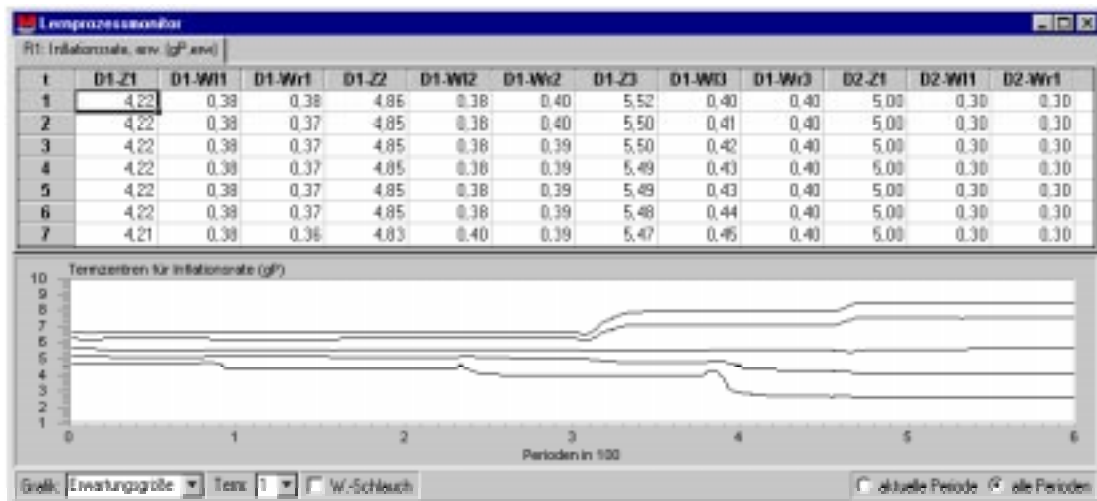
Abb. 14 — Konjunkturverlauf bei Neuro-Fuzzy-generierten Erwartungen



Das neuronale Lernverfahren sorgt dafür, daß Prognosefehler sukzessive abgebaut werden. Hierbei wird deutlich, daß starke Ausschläge der Geldpolitik beim ersten Lösungsdurchlauf zu längeren Anpassungszeiten führen als bei der zweiten Berechnung des Analyseintervalls („Neuland-Effekt“). Dies zeigt, wie die Erfahrungen mit der Geldpolitik das Prognoseverhalten der Wirtschaftssubjekte beeinflusst. Während die Ausschläge beim ersten Durchlauf noch überraschend kamen und sich die Wirtschaftssubjekte mit ihrer Inflationseinschätzung erst an die bislang unbekanntes geldpolitischen Manöver gewöhnen mußten, können sie beim zweiten Durchlauf bereits auf diese Erfahrungen zurückgreifen und geldpolitische Kurswechsel besser in ihrer Erwartungsbildung verarbeiten. Mit MAKROMAT-nfx lassen sich nicht nur

die Auswirkungen „Erfahrungsregel-basierter“ Erwartungen aufbereiten, sondern auch ihr Zustandekommen durch den Einsatz Neuro-Fuzzy-Erwartungsgenerator. Hierzu stehen die beiden Aufbereitungswerkzeuge Inferenzmonitor (Inferenzprozess bei der Regelanwendung) und Lernprozeßmonitor (Regeländerung während des Lernprozesses) zur Verfügung.

Abb. 15 — Lernprozeß für die Inflationseinschätzung (1. Lösungsdurchgang)



In Abb. 15 dafür der Lernprozeßmonitor verwendet, um die Reaktion der Inflationseinschätzung auf die geldpolitischen Kurswechsel während des ersten Intervalllösung aufzubereiten. Es ist deutlich zu erkennen, wie die stark expansive Geldpolitik ab Periode 300 das Gefühl der Wirtschaftssubjekte für „hohe“ und „sehr hohe“ Inflation ändert. Der geldpolitische Umschwung ab Periode 375 ändert die Beurteilung „niedriger“ und „sehr niedriger“ Inflation.

Abb. 16 — Inferenzmonitor zur Aufbereitung der Regelanwendung

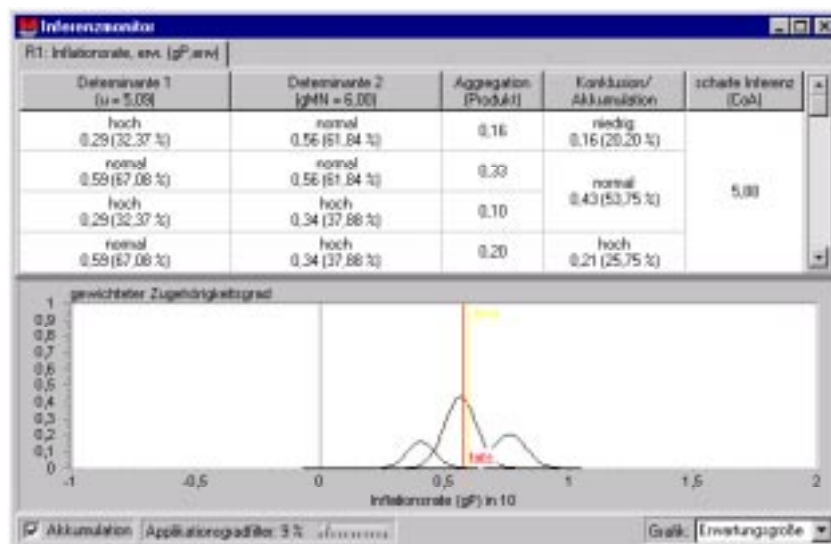
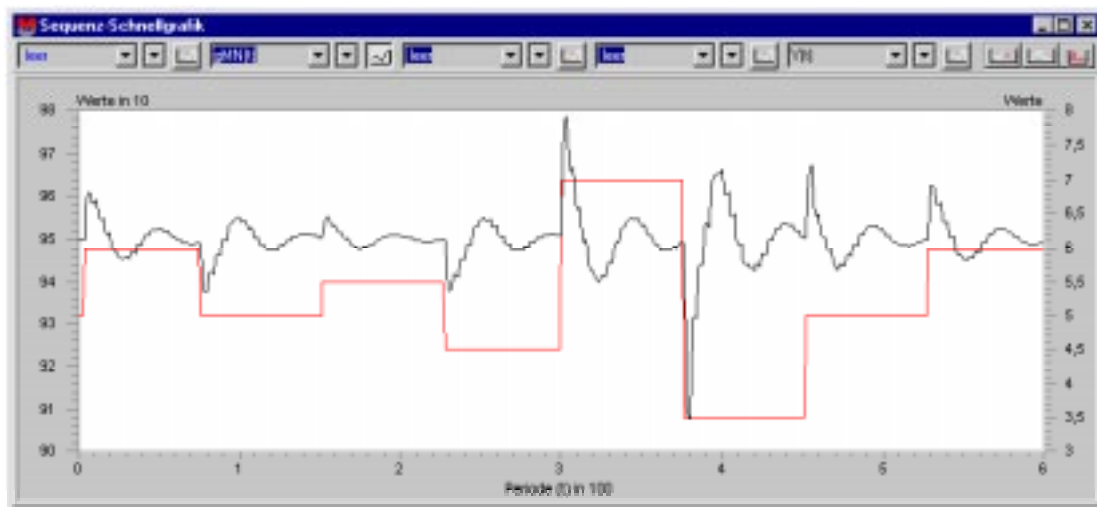


Abb. 16 zeigt exemplarisch, wie für eine Periode die Inflationserwartung auf der Grundlage der Einschätzung der Arbeitsmarktlage (Determinante 1) und der Geldversorgung (Determinante 2) abgeleitet wird. Die erste Zeile in der Tabelle läßt sich folgendermaßen verbalisieren: „Da die beobachtete Arbeitslosenquote von 5,09 % zum Grade 0,29 für hoch und das 6 %ige

Geldmengenwachstum zum Grade 0,56 für normal gehalten wird, erhält die Schlußfolgerung (niedrige Inflation) eine Signifikanz von 0,16.“ Entsprechend sind die übrigen Erwartungsregeln zu interpretieren, die die Einschätzung, die zukünftige Inflation werde sich im normalen bzw. hohen Bereich mit Signifikanzgraden von 0,43 bzw. 0,21 stützen. Zusammengenommen folgt daraus eine scharfe Inflationsprognose von $gP^{erw} = 5,88 \%$. Im Grafikbereich des Inferenzmonitors wird die Inferenzergbnismenge abgebildet, für die dieser scharfe Prognosewert repräsentativ ist.

Vergleicht man den simulierten Konjunkturverlauf nach dem zweiten Lösungsdurchlauf (Abb. 14, S. 18) mit dem, der sich bei rationaler Erwartungsbildung einstellt (Abb. 5, S. 7), so könnte man vermuten, daß die gute Prognosefähigkeit der Wirtschaftssubjekte bei Erfahrungsregel-basierten Erwartungen allein darauf zurückzuführen ist, daß die nominelle Geldmengenwachstumsrate als Determinante in die Regelbasis aufgenommen wurde, während die zusätzlich berücksichtigte Arbeitslosequote überflüssig ist. Diese Hypothese widerlegt ein Blick auf die in Abb. 17 dargestellten Ergebnisse. Diese resultieren aus einer eindimensionalen Regelbasis, die nur die nominelle Geldmengenwachstumsrate als Determinante enthält (Regeldatei: „Demo-nfx1 (gP, rational, 3 Terme).NFX“). Da hiermit die einzige für das langfristig gleichgewichtige Inflationsniveau relevante Größe in ihrer unscharfen Form berücksichtigt wird, könnte dieser Fall auch als „rationale“ Erfahrungsregel-basierte Erwartungsbildung bezeichnet werden.

Abb. 17 — Ergebnisse bei eindimensionaler „rationaler“ Regelbasis (2. Neuberechnung)



Mit dieser Regelbasis gelingt den Wirtschaftssubjekten gegenüber der zweidimensionalen Variante nur eine weniger gute Inflationsprognose, was sich an der deutlichen Schwingungstendenz der Einkommensentwicklung ablesen läßt. Das gleichfalls schlechtere Abschneiden gegenüber der konventionellen rationalen Erwartungsbildung liegt daran, daß der defuzzifizierte Prognosewert nicht so genau sein kann, wie die Identität zwischen nomineller Geldmengenwachstumsrate und Inflationsrate. Dies läßt sich auch durch eine Verfeinerung der Fuzzifizierung der nominellen Geldmengenwachstumsrate (fünf Determinanterterme) nicht beheben, was der Leser leicht durch eine entsprechende Simulationsrechnung bestätigen kann (Regeldatei: „Demo-nfx1 (gP, rational, 5 Terme).NFX“). Als Fazit dieses Experimentes ist festzu-

halten daß die Existenz der Arbeitslosenquote in der Regelbasis nicht irrelevant ist. Durch ihre Berücksichtigung erhält der Neuro-Fuzzy-Ansatz die Möglichkeit, die kurzfristige Dynamik in der Modellvolkswirtschaft zu erlernen, wodurch die Anpassungsfristen nach geldpolitischen Störungen kürzer ausfallen als im Falle der an rationale Erwartungen angelehnten Erfahrungsregel-basierten Erwartungsbildung. Darüber hinaus ist es realistischer anzunehmen, daß die Gesamtheit der Wirtschaftssubjekte ihre Prognosen nicht auf der Beobachtung einer einzigen Größe vornehmen, sondern vielmehr versuchen, sich ein differenzierteres Bild der aktuellen Lage zu machen, um dann auf einer breiteren (eventuell sogar multitheoretischen) Basis ihre Erwartungen zu bilden, unabhängig davon, ob diese in Lehrbüchern als „rational“ gehandelt werden oder nicht.

4. Weiterentwicklung und Anwendungen

Die Simulation hat gezeigt, daß mit dem vorgestellten Neuro-Fuzzy-Ansatz eine Alternative zu den konventionellen Erwartungsbildungshypothesen in Makromodellen realisiert werden kann. Die hierdurch möglichen Erfahrungsregel-basierten Erwartungen erlauben es, für die Wirtschaftssubjekte ein Prognoseverhalten zu modellieren, das sich durch explizite Regelorientierung (Theoriefundierung), unscharfe Formulierung (begrenzte Kenntnis der Zusammenhänge) und Lernfähigkeit (Erfahrungserwerb) auszeichnet.

Der Schwachpunkt des bisherigen Entwicklungsstands besteht darin, daß der Regelbasiszusammenhang (Beziehung zwischen Erwartungsgröße und Determinanten) bislang noch exogen vorgegeben werden muß und daß die Lernparameter in der vorliegenden Version nur vom Modelldesigner verändert werden können. Den Modellwirtschaftssubjekten ist damit eine Meta-Überwachung ihres Lernverhaltens und eine endogene Theoriebildung (Entdeckung neuer Beziehungen) versperrt. Hier könnte eine Erweiterung durch genetische Algorithmen ein gangbarer Weg sein. Dieser könnte so gestaltet werden, daß die bislang exogen vorgegebenen Parameter durch eine Verschlüsselung in Form von künstlichen Genen adaptierbar werden. An die Stelle eines NFE-Generators pro Erwartungsgröße tritt dann eine ganze Population, die sich hinsichtlich ihrer Ausprägungen (z. B. berücksichtigte Determinanten, Lernrate etc.) teilweise unterscheiden. Je nach realisierter Prognosegüte steigen oder sinken die Überlebenschancen eines NFE-Generators. Gut prognostizierende NFE-Generatoren können ihre Eigenschaften (Gene) an die nächste Generation weitergeben, während solche, denen viele Erwartungsirrtümer unterlaufen, absterben.

Als empirische Anwendung des Ansatzes kommen Neuro-Fuzzy-generierte Konjunkturindikatoren in Betracht. Die Simulationssoftware MAKROMAT-nfx ist hierfür vorbereitet, da sich die bislang aus dem Makromodell heraus berechneten Daten für die Neuro-Fuzzy-Module leicht durch empirische Zeitreihen ersetzen lassen, die hierfür lediglich in Form von Standard-Spreadsheets vorliegen müssen. Ein Neuro-Fuzzy-generierter Konjunkturindikator hätte den Vorteil der Selbstdokumentation, indem er das inferierte Ergebnis auf eine selbständige Einschätzung der aktuellen Wirtschaftslage zurückführt. Hinsichtlich des Lernverfahrens wäre hierfür ein Kontrollmengenkonzept adäquat, so daß die Trainingsschritte solange fortgeführt werden, bis die optimale Prognosegüte erreicht wird. Das hierfür erforderliche Gütemaß kann zugleich für die Überlebensfunktion der Genetischen Neuro-Fuzzy-Ansätze verwendet werden.

Literatur

- DIECKHEUER, G. (1998): Makroökonomik - Theorie und Politik; 3. Aufl., Berlin u.a.O.
- JARCHOW, H.-J. (1998): Theorie und Politik des Geldes 1; 10. Aufl., Göttingen.
- KOOTHIS, S. (1994): Güter- und finanzwirtschaftliche Interdependenzen im IS-LM-Modell - Explizites, Implizites und Ex-Implizites; Volkswirtschaftliche Diskussionsbeiträge der Universität Münster, Nr. 197, Münster.
- KOOTHIS, S. (1998): Erfahrungsregeln und Konjunkturdynamik - Makromodelle mit Neuro-Fuzzy-generierten Erwartungen; Frankfurt/Main u.a.O.
- KOOTHIS, S. (1999): Das CAL-Werkzeug MAKROMAT 5.0 - Ein Simulationsprogramm für den makroökonomischen Modellbau; in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt), 28. Jg., Heft 1 (Januar 1999), S. 39 ff.
- LIN, C. T. / LEE, C. S. G. (1991): Neural-Network-Based Fuzzy Logic Control and Decision System; in: IEEE Transactions on Computers, Vol. 40, No.12 (Dec. 1991).
- LIN, C. T. (1994): Neural Fuzzy Control Systems with Structure and Parameter Learning; Singapore u.a.O.
- NAUCK, D. / KLAWONN, F. / KRUSE, R. (1994): Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme - Grundlagen des Konnektionismus, Neuronaler Fuzzy-Systeme und der Kopplung mit wissensbasierten Methoden; Braunschweig/Wiesbaden.
- NEUNEIER, R. / TRESP, V. (1994): Radiale Basisfunktionen, Dichteschätzungen und Neuro Fuzzy; in: REHKUGLER, H./ZIMMERMANN, H. G., Neuronale Netze in der Ökonomie - Grundlagen und finanzwirtschaftliche Anwendungen; München 1994, S. 89 ff.
- SERAPHIN, M. (1994): Neuronale Netze und Fuzzy Logik - Verknüpfung der Verfahren, Anwendungen, Vor- und Nachteile, Simulationsprogramm; München.

VOLKSWIRTSCHAFTLICHE DISKUSSIONSBEITRÄGE

(seit 1994)

188. **Martin Leschke**: Staatsversagen und Demokratie in Europa. - Eine Analyse der demokratischen Institutionen. 1994.
189. **Kirsten Witte**: Der Vertrag von Maastricht über die Schaffung einer Europäischen Union. - Eine Analyse des europäischen Integrationsprozesses aus Sicht der Neuen Politischen Ökonomik. 1994.
190. **Detlef Aufderheide**: Vertragstheoretische Ansätze zur Politikberatung und der systematische Stellenwert potentieller Regelverlierer. 1994.
191. **Holger Bonus**: Institution und Langsamkeit. 1994.
192. **Hans Joachim Schalk/Gerhard Untiedt/Jörg Lüschow**: Technische Effizienz, Wachstum und Konvergenz in den Arbeitsmarktregionen der Bundesrepublik Deutschland (West): Eine ökonometrische Analyse für die Verarbeitende Industrie mit einem "frontier production function"-Modell. 1994.
193. **Mathias Erlei**: The Impact of Market Structure on Vertical Integration. 1994.
194. **Mathias Erlei/Udo Schmidt-Mohr**: Vermögensspezifität, Agency-Kosten und Kapitalstruktur. 1994.
195. **Heinz Grosseckler**: Die Messung der Funktionsfähigkeit von Märkten mit Hilfe des Konzepts zur Koordinationsmängeldiagnose. Methodenbeschreibung und Anwendung bei einer In-vivo-Inspektion realer Märkte. 1994.
196. **Matthias Göcke**: Was ist Hysterisis? - der Versuch einer Charakterisierung und Abgrenzung. 1994.
197. **Stefan Kooths**: Güter- und finanzwirtschaftliche Interdependenzen im IS-LM-Modell. – Explizites, Implizites und Ex-Implizites. 1994.
198. **Holger Bonus/Andrea Maria Wessels**: Ein Franchise-Nehmer - ein moderner Sklave. 1994.
199. **Paul J.J. Welfens**: Telecommunications in Systemic Transformation: Theoretical Issues and Policy Options. 1994.
200. **Paul J.J. Welfens/Cornelius Graack**: Telecommunications in Western Europe: Liberalization, Technological Dynamics and Regulatory Developments. 1994.
201. **Paul J.J. Welfens**: Growth and Full Employment in the European Union. 1994.
202. **Martin Leschke**: Neue Richtlinien für Europa. Eine Interpretation des Bundesverfassungsgerichtsurteils vom 12. Oktober 1993 zum Vertrag von Maastricht aus der Sicht der konstitutionellen Ökonomik. 1994.
203. **Lars Petzold**: Binnenwirtschaftliche Probleme der Systemtransformation Rußlands. 1994.
204. **Jochen Schumann**: Hans von Mangoldt als Repräsentant der deutschen klassischen Nationalökonomie des 19. Jahrhunderts. 1994.
205. **Jochen Schumann**: Wirtschaftlicher Wettbewerb und Toleranz - ein unauflösbarer Widerspruch? 1994.
206. **Jochen Schumann**: Ansätze einer subjektivistischen Wertlehre und die Theorie der "inneren Güter" bei Heinrich von Storch. 1994.
207. **Anke Klische**: Institutionelle Voraussetzungen zur Implementierung eines stabilen und leistungsfähigen Finanzsystems in Polen.. 1994.

208. **Gustav Dieckheuer/Markus Langenfurth:** Passive Lohnveredelung - Faktor des Wirtschaftswachstums in Osteuropa? 1995.
209. **Detlef Aufderheide:** Ökonomische Theorie und Marketing. Ein Ansatz zur Segmentation von Investitionsgütermärkten 1994.
210. **Holger Bonus:** Precarious Relationships in Economics. 1995.
211. **Ferdinand W. Altmann/Astrid Klesse:** Spezifische Investitionen. Quasirenten und sunk costs. 1995.
212. **Stefan Funke:** Ordnungsdefizite im Bereich der öffentlichen Verschuldung und ein Ansatz zu deren Beseitigung. 1995.
213. **Gerhard Untiedt:** Diagnostestverfahren in linearen Regressionsmodellen am Beispiel einer Geldnachfragefunktion für die Bundesrepublik Deutschland. 1995.
214. **Angar Belke/Matthias Göcke:** Cointegration and Structural Breaks in German Employment. - An Error Correction Interpretation. 1995.
215. **Herbert Gülicher:** Location Theorems for the Distance-Median of a Transportation Network. 1995.
216. **Holger Bonus:** Europäische Identität aus ökonomischer Sicht. 1995.
217. **Heinz Grosseckler:** Franz Böhm als Protagonist einer ökonomischen Theorie der Gesetzgebungslehre. 1995.
218. **Heinz Grosseckler:** Koordinationsprobleme in der Europäischen Finanzpolitik: das Pro und Kontra eines Europäischen Finanzausgleichs. 1995.
219. **Holger Bonus/Dieter Ronte:** Credibility and Economic value in the visual arts. 1995.
220. **Gustav Dieckheuer/Markus Langenfurth/Thomas Lueb:** Wirtschaftliche Integration in Asien und Europa: Die Rolle Japans und der Bundesrepublik Deutschland. 1995.
221. **Björn Alecke:** Regressionsanalyse mit Panel-Daten. 1995.
222. **Wolfgang Ströbele:** Erklärungsansätze der Ölpreisentwicklung. 1996.
223. **Gustav Dieckheuer/Christian Lütke Wöstmann:** Mittelamerika und der Protektionismus der EU: Zum Streit um die „Gemeinsame Marktordnung für Bananen“. 1996.
224. **Michael König:** Arbeitslosigkeit aus dem Zusammenspiel von technischem Fortschritt heterogener Arbeit und Lohnersatz. 1996.
225. **Hartmut Clausen/Holger Wacker:** Rücknahmeverpflichtungen als intertemporales Allokationsproblem. 1996.
226. **Ralf A. Schengber:** Simulation von Übermachersionsprozessen. Auswirkungen einer Variation exogener Stör- und endogener Regelkreisgrößen auf Funktionskennziffern. 1996.
227. **Sven Janßen:** Die Messung der Konzentration auf Märkten. Inflationsgehalt, Homogenitätsäquivalent und Grad der Angebotskonzentration. 1996.
228. **Jürgen Blank:** Dynamics of Policy Instruments and the Willingness to Participate in an International Agreement. 1996.
229. **Detlef Aufderheide:** Asset Specificity and Vertical Integration: A Note. 1996.

230. **Holger Bonus:** Benefits and Costs of Regulating the Environment: Case Studies. 1996.
231. **Holger Bonus:** Institutionen und institutionelle Ökonomik. Anwendungen für die Umweltpolitik. 1996.
232. **Heinz Grosseckttler:** Stabsstudie zu den Möglichkeiten einer Anpassung der deutschen Finanzverfassung an den Verschuldungsvorschriften des Vertrags von Maastricht. 1996.
233. **Wolfgang Ströbele:** Klimaschutz als umwelt- und ressourcenpolitisches Problem am Beispiel von Kohlendioxid. 1996.
234. **Andre Jungmittag/Gerhard Untiedt:** Internationale Kapitalmobilität und Zeitreihenkorrelationen zwischen Spar- und Investitionsquoten - Eine empirische Analyse mit zeitvariablen Parametermodellen für die EU-Staaten von 1961 - 1992. 1996.
235. **Thomas Multhaupt:** Regional Potential Output and Structural Unemployment in the Labour Markets of North Rhine-Westphalia.1 - 1992. 1996.
236. **Jochen Schumann:** Problems of Completing the European Monetary Union. 1996.
237. **Henning Tegner:** Zur (Ir)Relevanz pekuniärer externer Effekte. 1996.
238. **Holger Wacker:** Ökonomische Nutzung von ökologischen Konkurrenzsystemen in verschiedenen Marktformen. 1996.
239. **Hartmut Clausen/Holger Wacker:** Endogene Rücknahmepolitik in einem dualen Entsorgungssystem. 1996.
240. **Björn Alecke/Thomas Bittner/Gerhard Untiedt:** „Did High Wages or High Interest Rates Bring Down the Weimar Republic? A Comment on Hans-Joachim Voth“. 1996.
241. **Hartmut Clausen/Holger Wacker:** Ökonomische Modellierung von Rücknahmeverpflichtungen. 1997.
242. **Holger Bonus:** Umweltschutz und Wettbewerb aus ökonomischer Sicht. 1997.
243. **Holger Bonus:** Standort, Stellenwert und Perspektiven ökologischer Aspekte in der volkswirtschaftlichen Forschung und Lehre - Konsequenzen für die Betriebswirtschaftslehre. 1997.
244. **Holger Bonus:** Gestaltung der gesamtwirtschaftlichen Aufgabenverteilung zwischen öffentlich rechtlichen und privatrechtlichen Unternehmen. 1997.
245. **Martin Leschke/Dirk Sauerland:** Staatsversagen als Verfassungsversagen. Eine Analyse der institutionellen Fehlanreize in Deutschland und ihrer Auswirkungen auf das staatliche Verschuldungs- und Konsolidierungsverhalten. 1997.
246. **Mathias Erlei:** Finanzausgleich in der Europäischen Union. 1997.
247. **Heinz Grosseckttler:** Knut Wicksells „finanztheoretische Untersuchungen“. Zum 100 Geburtstag eines erstaunlich modernen Versuchs, besser zu verstehen, um besser gestalten zu können. 1997.
248. **Heinz Grosseckttler:** Finanzausgleich über den EU-Haushalt. Rechtfertigung und Größenordnung. 1997.
249. **Holger Wacker:** . Zur Ökonomik der Nutzung komplexer Nahrungsnetze. 1997.
250. **Holger Bonus:** Familien- und Haushaltsentscheidungen in einer postindustriellen Wirtschaft. 1997.
251. **Manfred Borchert:** Design-Probleme einer einheitlichen Geldpolitik in Europa. 1997.

252. **Heinz Grossekkettler**: Flexibilisierung von Genehmigungsverfahren, Transaktionskosten und Koordinationsineffizienz in dynamischer Sicht. 1997.
253. **Heinz Grossekkettler**: Knut Wicksells „Finanztheoretische Untersuchungen“. Zum 100. Geburtstag eines erstaunlich modernen Versuchs, besser zu verstehen, um besser gestalten zu können. 2., verb. Aufl., 1997.
254. **Wolfgang Ströbele**: Handelbare Zertifikate für natürliche Ressourcen ? 1997.
255. **Holger Bonus**: Gentechnik als Wirtschaftsfaktor für Deutschland - Eine Standortreflexion. 1998.
256. **Matthias Göcke**: A Macroeconomic Model with Hysteresis in Foreign Trade. 1998.
257. **Heinz Grossekkettler**: Lorenz von Stein und die moderne Staatswirtschaftslehre. Ein Führer durch die Steinsche „Finanzwissenschaft“ aus heutiger Sicht. 1998.
258. **Heinz Grossekkettler**: Lorenz von Stein (1815 - 1890). Überblick über Leben und Werk. 1998.
259. **Heinz Grossekkettler**: Franz Böhm (1895 - 1977). Überblick über Leben und Werk. 1998.
260. **Heinz Grossekkettler**: Vereinigungs-Zwischenbilanz. Ein Rückblick auf die Wirtschafts- und Finanzpolitik zur Integration der neuen Bundesländer. 1998.
261. **Jürgen E. Blank/Alexander Smaigl**: Folgen irakischer Ölexporte auf die Ölpreisentwicklung. Anmerkungen zur Lockerung des UN-Embargos. 1998.
262. **Manfred Borchert**: Struktur und Wettbewerbspotential des Europäischen Bankenmarkts. 1998.
263. **Bernhard Iking**: The role of a country's Science and Technology Policy on the development of its technological competitiveness.- The case of Portugal -. 1998.
264. **Matthias Göcke**: A Simple Model of Learning-by-doing, Leisure Time, and Optimal (Endogenous) Growth. 1998.
265. **Heinz Grossekkettler**: Der „starke“ Staat als Garant einer „sozialen“ Marktwirtschaft: die Ideen der Gründungsväter aus heutiger Sicht. 1998.
266. **Matthias Göcke**: Real Investment, Learning-by-doing, Leisure, and Optimal Growth 1998.
267. **Heinz Grossekkettler**: Der „starke“ Staat als Garant einer „sozialen“ Marktwirtschaft. Die Ideen der Gründungsväter aus heutiger Sicht. 1998.
268. **Heinz Grossekkettler**: Anforderungen an die Struktur einer föderalistischen Finanz-verfassung vor dem Hintergrund des weltweiten und vor allem europäischen Standortwettbewerbs. 1998.
269. **Eckehard Schulz**: Unternehmensgröße, Arbeitsnachfrage und wirtschaftspolitische Implikationen. 1998.
270. **Matthias Göcke**: Investment, Schooling and the Conditions for Endogenous Growth. 1998.
271. **Matthias Göcke**: Learning-by-doing versus Schooling in a Model of Endogenous Growth. 1998.
272. **Manfred Borchert**: The EURO and the banking structure within the EMU - entrepreneurial strategies and monetary policy -. 1998.
273. **Heinz Grossekkettler**: Kritik der Sozialen Marktwirtschaft aus der Perspektive der Neuen Institutionenökonomik. 1998.
274. **Heinz Grossekkettler**: Staatsaufgaben aus ökonomischer Sicht. 1998.

-
275. **Detlef Aufderheide:** Perspektiven des Arbeitsmarktes – Strukturelle Arbeitslosigkeit aus (moral-) ökonomischer Sicht. 1998.
276. **Ralf Henrichs/Holger Wacker:** Tropenwaldnutzung und Klimaveränderung – Ein ökonomisches Modell mit Bestandsexternalitäten. 1999.
277. **Oskar von dem Hagen/Holger Wacker:** Stock Externality versus Symbiosis in a Forest-Air System. 1999.
278. **Holger Bonus:** On Exchange and Deceit. 1999.
279. **Jürgen Blank:** Sustainable Use and Conservation of Marine Living Resources. 1999.
280. **Hartmut Clausen:** Aspects of Sustainable Development in Waste Management. 1999.
281. **Stefan Kooths:** Neuro-Fuzzy-Systeme zur Abbildung Erfahrungsregel-basierter Erwartungen in Konjunkturmodellen. 1999.