

# Erfahrungsbasierte Fuzzy-Regelung von Lernwegempfehlungen als Beitrag zur Änderungsfreundlichkeit von Lernsystemen

Martin G. Möhrle und Andreas Henke

Brandenburgische Technische Universität Cottbus

## Zusammenfassung

Zum Zwecke der rechnergestützten Individualisierung von Softwaresystemen und insbesondere von Lernsystemen wird eine erfahrungsbasierte Fuzzy-Regelung konzipiert, und die Ergebnisse ihrer praktischen Erprobung werden vorgestellt. Eine erfahrungsbasierte Fuzzy-Regelung gibt Lernwegempfehlungen ab und berücksichtigt dabei die Erfolge bzw. Mißerfolge früherer Empfehlungen. Sie besteht aus zwei miteinander verflochtenen unscharfen Regelkreisen. Im Rahmen der praktischen Erprobung der erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung wurden mit einem Experiment empirische Daten gesammelt, mit denen eine Prototypimplementierung der erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung getestet wurde. Die Erprobung belegt die Tragfähigkeit des Konzepts, das sich sowohl in Lernsystemen als auch in anderer Software umsetzen läßt.

## 1 Der Nutzen einer erfahrungsbasierten Regelung von Lernwegempfehlungen

In vielen Softwaresystemen ist eine *Individualisierung*, d. h. eine Anpassung des Systems *durch die Benutzer* an ihre Wünsche und Präferenzen, erwünscht und notwendig [1, S.175 f.]. Eine solche Individualisierung kann allerdings auch zu Problemen führen, etwa wenn die Benutzer nicht über das notwendige Wissen über die Gestaltungsdimensionen des Softwaresystems verfügen [1, S.181]. In diesem Fall scheint die Individualisierung *durch das System selbst* wünschenswert, die vor allem auf der Verwendung von Benutzermodellen und der gezielten Zuordnung eines Benutzers zu solch einem Benutzermodell beruht [2, S.124 ff.]. Hieran knüpft der vorliegende Aufsatz an, bei dem am Beispiel eines Lernsystems die Zuordnung zwischen Benutzer und Benutzermodell mit Hilfe einer erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung vorgenommen wird.

Die Individualisierung eines Softwaresystems und - im folgenden herausgestellt - eines Lernsystems kann an *unterschiedlichen Vorabeigenschaften* der Benutzer anknüpfen. Vorabeigenschaften können beispielsweise Vorbildung, bisherige praktische Erfahrung sowie individuelle Problemerkennungs- und -lösungsfähigkeiten sein [3, S.25]. Um auf Basis der Vorabeigenschaften ein Lernsystem zu individualisieren, sollten *unterschiedliche Lernwege* (ausgerichtet auf unterschiedliche Benutzertypen) bereitgestellt werden, und es sollte der für die jeweiligen Vorabeigenschaften eines Benutzers *geeignete* Lernweg empfohlen werden. Dem Autoren eines Lernsystems stellen sich dabei *zwei miteinander verflochtene Probleme*:

- Bei erstmaliger Benutzung eines Lernsystems bestehen noch *keine empirischen Erfahrungen hinsichtlich der Güte* der Lernwegempfehlung. Die Lernwegempfehlung beruht üblicherweise auf Vermutungen des Autors des Lernsystems.

- Im Laufe der Benutzung können sich die *ursprünglich angenommenen Beziehungen* zwischen Vorabigenschaften und der angestrebten Lernproduktivität *ändern*. Erstens können bisher noch nicht berücksichtigte Vorabigenschaften hinzutreten, zweitens können sich Vorabigenschaften inhaltlich, aber nicht formal ändern.

Zur Überwindung der beiden Probleme und damit als Beitrag zur Änderungsfreundlichkeit von Lernsystemen wird in diesem Beitrag eine *erfahrungsbasierte Fuzzy-Regelung der Lernwegempfehlung* vorgeschlagen. Bei ihr fließen Erfahrungen, die man aus früheren Durchläufen durch ein Lernsystem sammelt, in die aktuelle Lernwegempfehlung ein. Die erfahrungsbasierte Fuzzy-Regelung wird im folgenden in *drei Schritten* spezifiziert:

- Die klassische *Regelungstechnik* verschmilzt mit den neueren Theorien der *unscharfen Logik (Fuzzy-Logik)* zu dem leistungsfähigen Instrument der *Fuzzy-Regelung*. Wir setzen in unserem theoretischen Konzept eine besondere Form davon ein, die als *erfahrungsbasierte Fuzzy-Regelung* bezeichnet sei und mit *zwei vernetzten Fuzzy-Regelkreisen* umgesetzt wird (Abschnitt 2).
- Das theoretische Konzept ist *tragfähig*, was wir durch eine *Erprobung* in drei Schritten nachweisen können: In einem umfangreichen *Experiment* wurden Meßdaten gewonnen. In einem *Prototyp* wurde der regelungstechnische Ansatz implementiert. Anhand der Meßdaten wurde sodann der Prototyp *getestet* (Abschnitt 3).
- Das vorgeschlagene Konzept kann in *vielfältiger Weise erweitert* werden (Abschnitt 4).

## 2 Das theoretische Konzept der erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung

Die erfahrungsbasierte Fuzzy-Regelung von Lernwegempfehlungen soll zunächst theoretisch konzipiert werden. Zum Verständnis des theoretischen Konzepts hilft die analoge Betrachtung dessen, wie sich ein *menschlicher Trainer* in einer gleichartigen Situation verhalten würde [4, S.49]. *Zwei Rückkopplungen* treten dabei hervor, die auf die Gestaltung eines Lernsystems in Form zweier vernetzter Fuzzy-Regelkreise übertragbar sind.

Zunächst zur Analogie: Wie würde sich ein menschlicher Trainer in einer gleichartigen Situation verhalten, wenn er also einen oder mehrere Probanden durch einen Kurs mit mehreren, nach Schwierigkeit des Lernstoffes gestuften Lernwegen leiten soll? Was würde er beim *ersten Probanden* tun? Wie würde sich sein Verhalten ändern, wenn er *mehrere Probanden* durch den Kurs geleitet hätte? In welcher Form würde sich sein (des Trainers) *Lernerfolg* offenbaren?

Plausibel scheint folgendes Vorgehen: Bevor der Trainer den ersten Probanden durch einen Kurs zu leiten hat, wird er *Kriterien* festlegen bzw. *Schwellenwerte* festsetzen, die auf den Vorabigenschaften der Probanden aufbauen und der Lernwegempfehlung dienen. Diese Kriterien bzw. Schwellenwerte wird der Trainer aus seiner *Erfahrung*, seiner *Wertung der Schwierigkeiten* etc. gewinnen. Der Trainer wird sodann den ersten Probanden durch den Kurs geleiten. Anschließend, nach der Auswertung eines Abschlußtests und einer Abschlußbefragung des Probanden, wird er sich fragen, inwieweit seine Eingangseinschätzung in dem Sinne erfolgreich war, daß der Proband durch den für ihn geeignetsten Lernweg durch den Kurs gelaufen ist. Hier lassen sich - vereinfacht - *drei Fälle* unterscheiden:

- Der Proband hatte einen *akzeptablen* Lernerfolg bei *akzeptabler* Lernzufriedenheit.
- Der Proband hatte einen *akzeptablen* Lernerfolg, fühlte sich aber von Teilen des Kurses *unterfordert*.
- Der Proband hatte *keinen* akzeptablen Lernerfolg.

Im ersten Fall wird sich der Trainer in seiner Einschätzung *bestätigt* fühlen. Im zweiten und dritten Fall wird der Trainer seine Eingangseinschätzung *anzweifeln*: Wahrscheinlich hat er im zweiten Fall den Probanden zu niedrig eingestuft, so daß dieser Lernstoff bearbeiten mußte, der ihm schon vorher geläufig war. Im dritten Fall hat er hingegen den Probanden wahrscheinlich zu hoch eingestuft, so daß dieser ohne die notwendigen Grundlagen durch den Kurs laufen mußte.

Aus den Ergebnissen seiner Analyse wird der Trainer sein *zukünftiges Verhalten* ableiten: Im ersten Fall wird er ohne Änderung an seiner Eingangseinschätzung festhalten wollen. Im zweiten Fall wird er seine Eingangseinschätzung nach oben, im dritten Fall nach unten korrigieren wollen.

Die überprüfte und ggf. revidierte Eingangseinschätzung ist nun der *Maßstab für den nächsten Probanden*. An dessen Abschlußergebnissen wird der Trainer erneut seine Eingangseinschätzung messen, und dieser Kreislauf gilt für alle weiteren Probanden. Die über alle vorangegangenen Probanden gewonnene Erfahrung zeigt sich *im aktuellen Wert für die Eingangseinschätzung*. Bei einem pädagogisch geschickten Trainer wird sich die Eingangseinschätzung mit zunehmender Probandenzahl auf einen *stabilen Wert* einstellen.

Das Verhalten des menschlichen Trainers läßt sich auch in einem *technischen System* nachbilden, siehe grundsätzliche Ansätze hierzu bei [5, S.1] und schon sehr früh bei [6, S.337]. Hierzu liefert die *Fuzzy-Logik* in ihrer regelungstechnischen Anwendung die nötige Grundlage [7, S.9] [8, S.178] [9, S.3]. Das Verhalten des Trainers wird durch *zwei, miteinander vernetzte Regelkreise* simuliert. Der erste Regelkreis generiert eine *Empfehlung zur Einstufung eines Benutzers*. Der zweite Regelkreis korrigiert bei einer (nachträglich ermittelten) schlechten Einstufung den ersten Regelkreis. Die durch einen bestimmten Benutzer gewonnene *Erfahrung* kann hierdurch den folgenden Benutzern zugute kommen.

Im einzelnen sei folgende *Anordnung* vorgeschlagen: Ein Proband bearbeitet einen Anfangstest. Die Ergebnisse laufen in den Regler 1 als *Istgröße*. Dieser Regler erhält im einfachsten Fall als Führungsgröße einen *Schwellenwert*, anhand dessen die Lernwege getrennt werden. Regler 1 vergleicht den Istwert und den Schwellenwert, er liefert eine *Lernwegempfehlung* und gleichzeitig einen Wert für die Stärke der Lernwegempfehlung (Bild 1).

Der Proband läuft nun durch den empfohlenen Lernweg und bearbeitet einen Abschlußtest sowie eine Abschlußbefragung. Deren Ergebnisse gehen als *Istgröße* in den Regler 2 ein. Als Führungsgröße für diesen Regler dient der Wert für die *Stärke der Lernwegempfehlung*, den Regler 1 generiert hat. Regler 2 generiert aus beiden seine *Stellgröße*, nämlich einen Wert, um den der *Schwellenwert als die Führungsgröße von Regler 1 korrigiert* wird (Bild 2) [10, S.25-29).

Im Zuge mehrerer Durchläufe wird durch die skizzierte Anordnung der *Schwellenwert optimiert*, der über die Zuordnung der Benutzer auf einen der beiden möglichen Lernwege entscheidet. *Erfahrungen* mit den vorhergegangenen Benutzern bilden dafür die Basis.

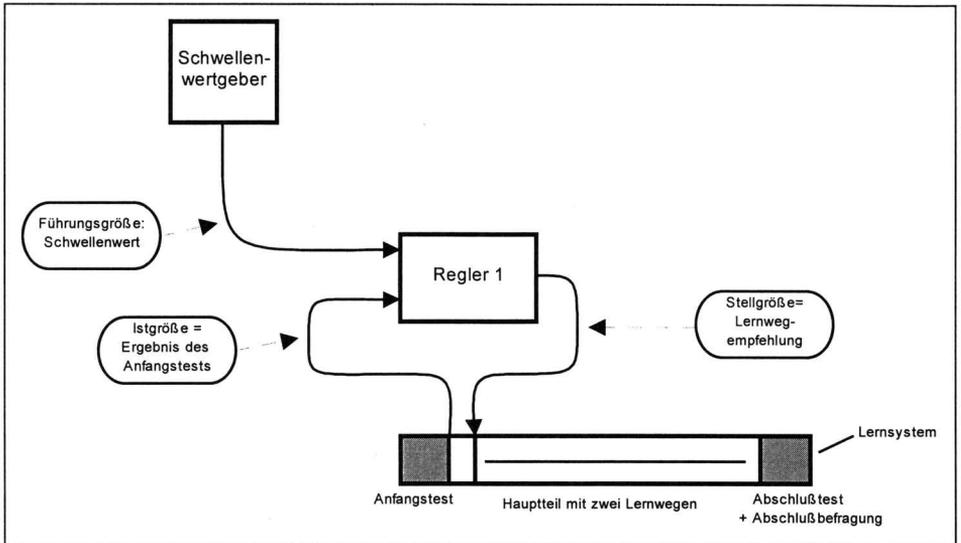


Bild 1: Der erste Regelkreis der erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung von Lernwegen

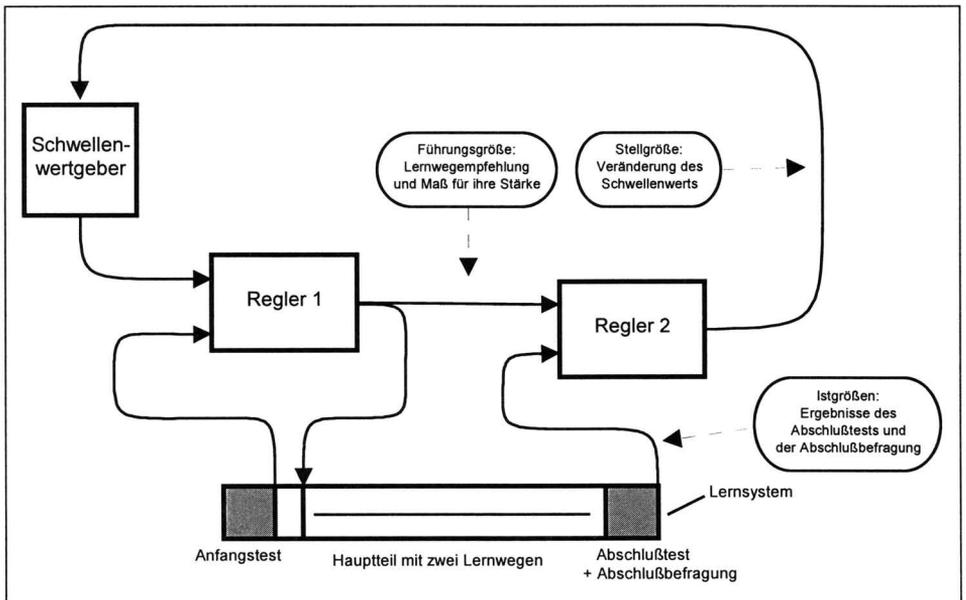


Bild 2: Ergänzung des ersten Regelkreises um einen zweiten, der über einen variablen Schwellenwertgeber auf den ersten zurückwirkt

Eine besondere Rolle für das Funktionieren der Anordnung spielen die *beiden Regler*. Zu ihrer Gestaltung eignet sich die *Fuzzy-Logik*, mit der man die Regeln, die das Reglerverhalten bestimmen sollen, an die *natürliche Sprache* angelehnt formulieren kann. Am Regler 1 sei das Wirken eines Fuzzy-Reglers verdeutlicht:

(1) Verschiedene Istgrößen eines Benutzer am Eingang des Reglers werden in *unscharfe Werte* (Zugehörigkeiten zu unscharfen Mengen) übersetzt. Hierzu dienen *linguistische Variablen* [8, S.179], die aus jeweils einem oder mehreren Fuzzy-Sets bestehen. Beispielsweise umfaßt die linguistische Variable "Erfahrung" die Fuzzy-Sets "niedrig", "mittel" und "hoch".

(2) Die unscharfen Eingangswerte fließen in ein *Regelwerk* ein, das eine Anzahl verhältnismäßig einfacher Regeln enthält. Hier wird die *Inferenz* gebildet, die logische Verknüpfung der unscharfen Eingangswerte zu einem unscharfen Ausgangswert.

(3) Die unscharfen Ausgangswerte gehen in eine *erste linguistische Ausgangsvariable* ein, die ebenfalls aus mehreren Fuzzy-Sets besteht, und hier wird aus ihnen ein einzelner, scharfer Wert erzeugt. Diesen Schritt bezeichnet man auch als *Defuzzifizierung*.

(4) Der resultierende scharfe Wert wird in eine *zweite linguistische Ausgangsvariable* geleitet. Die *Führungsgröße* bestimmt die Form der dieser Variablen zugehörigen Fuzzy-Sets, was die Besonderheit des Ansatzes bildet. Hier entscheidet sich, ob dem Benutzer der *Lernweg für Anfänger oder für Fortgeschrittene* empfohlen werden soll. Auch liefert die linguistische Ausgangsvariable einen Wert für die *Stärke* der Empfehlung.

### 3 Erprobung des theoretischen Konzepts

Die zwei vernetzten Fuzzy-Regelkreise aus Abschnitt 2 bilden zunächst ein *theoretisches* Konzept. Es stellt sich die Frage, inwieweit sich dieses Konzept mit vertretbarem Aufwand umsetzen läßt?

- In einem *Experiment* mit 131 Studenten wurden Daten gesammelt (Abschnitt 3.1). In diesem Experiment wurde ein Lernprogramm *ohne* erfahrungsbasierte Fuzzy-Regelung verwendet.
- Parallel dazu wurde ein *Prototyp der erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung* entwickelt und in Turbo Pascal 6.0 implementiert (Abschnitt 3.2).
- Anhand der im Experiment gewonnenen Daten wurde der Prototyp *getestet* und *eingestellt* (Abschnitt 3.3).

#### 3.1 Ein Experiment zur Sammlung von Daten

Die erfahrungsbasierte Fuzzy-Regelung sollte anhand *empirisch gewonnener Daten* erprobt werden. Hierfür wurde ein *Lernsystem mit zwei Lernwegen* entwickelt, das verschiedene Abfragen enthält. Durch *zufällige* Zuordnung von freiwilligen Probanden zu einem der beiden Lernwege konnte ein *breites Spektrum* von Verknüpfungen zwischen Vorabigenschaften und Abschlußbewertungen festgehalten werden.

Als Grundlage des Experiments wurde ein Lernsystem zum Betriebssystem MS-DOS 4.0 und der darauf aufbauenden graphischen Benutzeroberfläche DOS-Shell erstellt. Das Lernsystem

entstand mit *zwei Lernwegen*, jeweils einen für Anfänger und einen für Fortgeschrittene. Beide Lernwege wurden für die Zielgruppe "Studierende der ersten Semester" konzipiert [11, S.33-70). Bei der gewählten Zielgruppe hat eine EDV-Ausbildung, wenn überhaupt, entweder in der Schule stattgefunden, oder Kenntnisse im Umgang mit Computern wurden aufgrund eigenen Interesses selbst erworben.

Die zwei Lernwege enthielten eine *identische Anfangsabfrage* vor dem Einstieg in die Lektionen und eine ebenfalls *identische Abschlußabfrage* nach dem Durchlaufen der Lektionen. In der *Anfangsabfrage* wurden Fragen zur schulischen EDV-Ausbildung, zur privaten EDV-Nutzung und zur persönlichen Einstellung zur EDV gestellt. Die *Abschlußabfrage* überprüfte das Verständnis des gelernten Stoffes (Funktionen eines Betriebssystems), die Kenntnis und sichere Anwendung der Betriebssystembefehle sowie Fertigkeiten im Umgang mit der graphischen Benutzeroberfläche. Ergänzend konnten die Probanden ihre Einschätzung der *Qualität* des Lernsystems nach unterschiedlichen Kriterien und ihre *Lernmotivation* angeben.

Die zwei Lernwege wurden von Studenten des Wirtschaftsingenieurwesens an der Universität Kaiserslautern bearbeitet. Hierbei durchliefen *131 Probanden* einmalig jeweils einen der beiden Lernwege, 71 Probanden den Lernweg für Fortgeschrittene und 60 Probanden den Lernweg für Anfänger. Die Zuteilung der Probanden zu den Lernwegen geschah *zufällig*.

Während der Bearbeitung wurden die *Eingaben jedes Benutzers* sowie die benötigten *individuellen Lernzeiten* in gesonderten Dateien *gespeichert*. Nach der Aufbereitung dieser Dateien entstanden hieraus *empirisch gewonnene Datensätze* für die weitere Erprobung der erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung.

### 3.2 Entwicklung eines Prototyps zur erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung

Parallel zum skizzierten Experiment wurde ein *Prototyp zur erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung* entwickelt. Hierfür wählten wir die *Programmiersprache Turbo Pascal 6.0*: Sie bietet die Möglichkeit der *objektorientierten Programmierung*, in der sich ein Fuzzy-Regler und die dazugehörigen unscharfen Mengen in besonders natürlicher Weise darstellen lassen [12, S.405 ff.] [13, S.17]. Zusätzlich stand eine in Turbo Pascal 6.0 *objektorientiert konzipierte Programmbibliothek* von [13] zur Verfügung, mit deren Hilfe die meisten Aspekte der Implementation eines Fuzzy-Reglers abgedeckt werden konnten.

Die Entwicklung des Prototyps umfaßte in Anlehnung an ein Ablaufschema von [14, S.60] *vier wesentliche Schritte*:

- Definition der *linguistischen Variablen* für die beiden Regler,
- Definition der *Fuzzy-Sets* für diese linguistischen Variablen,
- Definition der *Regeln* für die beiden Regler sowie
- *Stabilisierung* und *Dämpfung* des Schwellenwertgebers.

Im *ersten Schritt* wurden die *linguistischen Variablen* für die beiden Regler definiert. In Regler 1 fließen die Ergebnisse der Anfangsabfrage ein. Hierfür wurden entsprechend der drei Abfrageteile im Lernprogramm drei linguistische Eingangsvariablen festgelegt, nämlich die linguistischen Variablen "Schulische EDV-Ausbildung", "Private EDV-Nutzung" sowie "Persönliche Einstellung zur EDV". Deren Ausprägungen gehen in die zwei linguistischen Ausgangsvariablen "Vorkenntnisse" und "Lernwegempfehlung" ein. Regler 2 verarbeitet die Er-

gebnisse der Abschlußabfragen mit den drei linguistischen Variablen "Lernzeit", "Lernerfolg" und "Lernspaß". Deren Ausprägungen, genauso wie der aus Regler 1 stammende unscharfe Wert für die Lernwegempfehlung, gehen in die linguistische Ausgangsvariable "Veränderung des Schwellenwerts" ein.

Für die einzelnen linguistischen Variablen wurden im *zweiten Schritt* Fuzzy-Sets definiert, die den *Wertebereich* der linguistischen Variablen genau beschreiben. Bei der Definition der Fuzzy-Sets für Eingang und Ausgang der beiden Fuzzy-Regler flossen *persönliche Wertungen* ein; beispielsweise wurde für die linguistische Variable "schulische EDV-Ausbildung" ein Wertebereich von 0 bis 80 Punkten definiert, in dem drei Fuzzy-Sets angesiedelt wurden. Die Lage dieser Fuzzy-Sets "gut", "mittel" und "schlecht" spiegelt einerseits einen Teil des *Erfahrungswissens des Autors* wider, und dient andererseits als *Parameter zur Einstellung der Regler* [15, S.28-31].

Linguistische Eingangs- und Ausgangsvariablen sind über *Regeln* miteinander verknüpft. Diese Regeln liegen als *Produktionsregeln* in der Form "Wenn A, dann B" vor; sie werden im *dritten Schritt* festgelegt. Die Regeln der Fuzzy-Regler haben neben der *Lage* der Fuzzy-Sets den größten Einfluß auf das Regelverhalten der Fuzzy-Regler und enthalten einen *weiteren Teil des Erfahrungswissens* des Autors [16, S.239].

Zusätzlich zu den beschriebenen Elementen von Fuzzy-Reglern wurden im *vierten Schritt* Mechanismen zur *Stabilisierung* und *Dämpfung* eingeführt. Eine *stabilisierende* Wirkung wird durch die Verwendung von "*Wirkungsradien*" erzielt: Der Schwellenwert wird nur verändert, wenn der Parameter zur Lernwegempfehlung und der Schwellenwert innerhalb eines gewissen Abstandes zueinander liegen. Eine *dämpfende* Wirkung wird herbeigeführt, in dem frühere Schwellenwerte in *exponentiell geglätteter* Form in die Berechnung des aktuellen Schwellenwerts einfließen.

### 3.3 Test des Prototyps

Der erstellte Prototyp einer erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung konnte anhand der experimentell gewonnenen Daten *getestet* werden. Dabei bedurfte es eines *speziellen Testvorgehens*, bei dem die Verwendbarkeitsprüfung der Datensätze im Mittelpunkt stand. Die Ergebnisse des Tests belegen die *Tragfähigkeit des theoretischen Konzepts*: In mehreren Testläufen, bei denen sich die anfangs eingestellten Schwellenwerte sowie die Parameter zur Dämpfung und Stabilisierung unterschieden, erreichten die Schwellenwerte nach einer gewissen Anzahl an Datensätzen *ein ähnliches Niveau*.

Für den Test war ein *spezielles Vorgehen* nötig. Dies folgte aus der Konzeption des Experiments, bei dem die Probanden *zufällig* jeweils einem der beiden Lernwege des Lernsystems zugeordnet wurden (siehe Abschnitt 3.1). Daher konnten bei einer bestimmten Stellung des Schwellenwertgebers *nicht alle Datensätze* verwendet werden. Es wurden nur solche Datensätze verwendet, bei denen der vom Probanden durchlaufene Lernweg mit der bei dem aktuellen Schwellenwert ausgesprochenen Lernwegempfehlung übereinstimmten.

Das detaillierte Vorgehen beim Test orientiert sich an einem *Ablaufschema* (Bild 3): Zunächst wird ein *Anfangsschwellenwert* festgelegt. Sodann wird zufällig ein Datensatz eines Probanden gewählt.

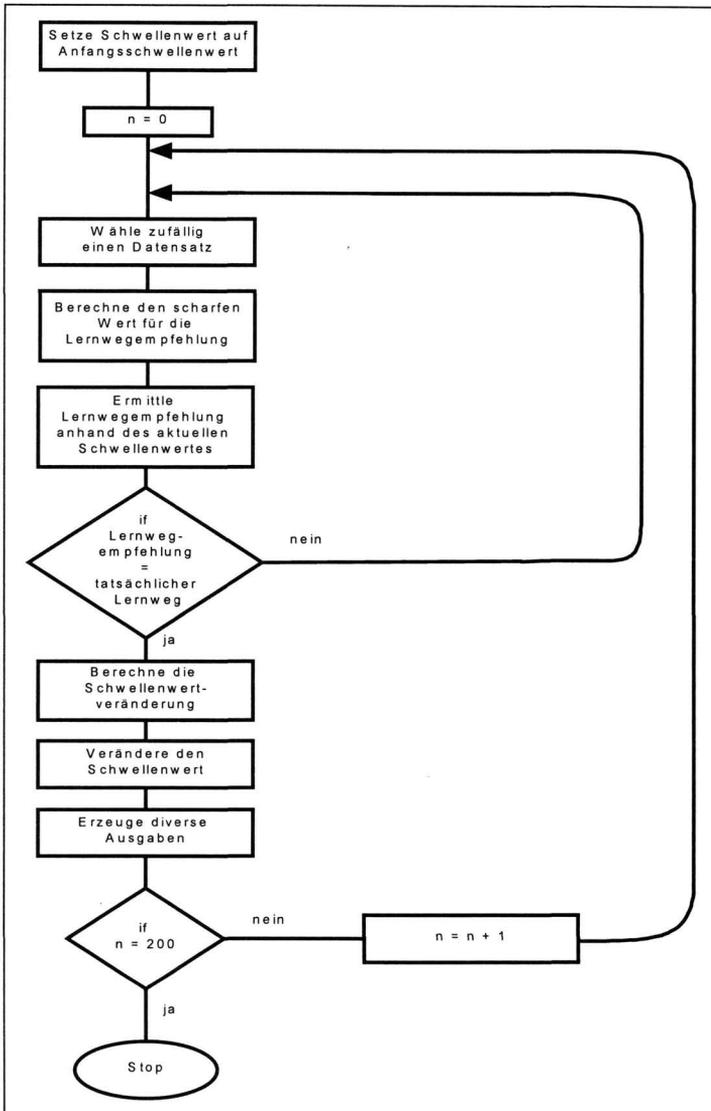


Bild 3: Ablaufschema für den Test des Prototyps

Jeder Datensatz enthält die Information, welcher Lernweg vom Probanden durchlaufen wurde. Anhand der Ergebnisse der Anfangsabfrage und des aktuellen Schwellenwerts wird die *Lernwegempfehlung* ausgesprochen. Stimmt der Lernweg, den der Proband durchlaufen hat, mit der ermittelten Lernwegempfehlung überein, wird der Datensatz weiterverwendet, ist dies nicht der Fall, wird ein neuer Datensatz ausgewählt.

Für jeden ausgewählten Datensatz wird die *Schwellenwertveränderung* anhand der ausgesprochenen Lernwegempfehlung und den vom Probanden tatsächlich erreichten Ergebnissen aus der Abschlußabfrage berechnet. Der *Schwellenwert* wird entsprechend *verändert* und für den folgenden Datensatz *übernommen*.

Das gesamte Vorgehen wird solange wiederholt, bis eine Grenze (z.B. 200 Datensätze) erreicht ist.

Bei den verschiedenen Testläufen zeigte sich ein ähnliches Verhalten (Bilder 4 und 5):

- Zunächst bewegt sich der Schwellenwert von seinem Anfangswert auf ein bestimmtes Niveau zu. Dieses Niveau hat er nach etwa 150 Datensätzen erreicht.
- Sodann pendelt der Schwellenwert um dieses Niveau. Die Parameter zur Stabilisierung und Dämpfung bestimmen dabei die Schwankungsbreite.

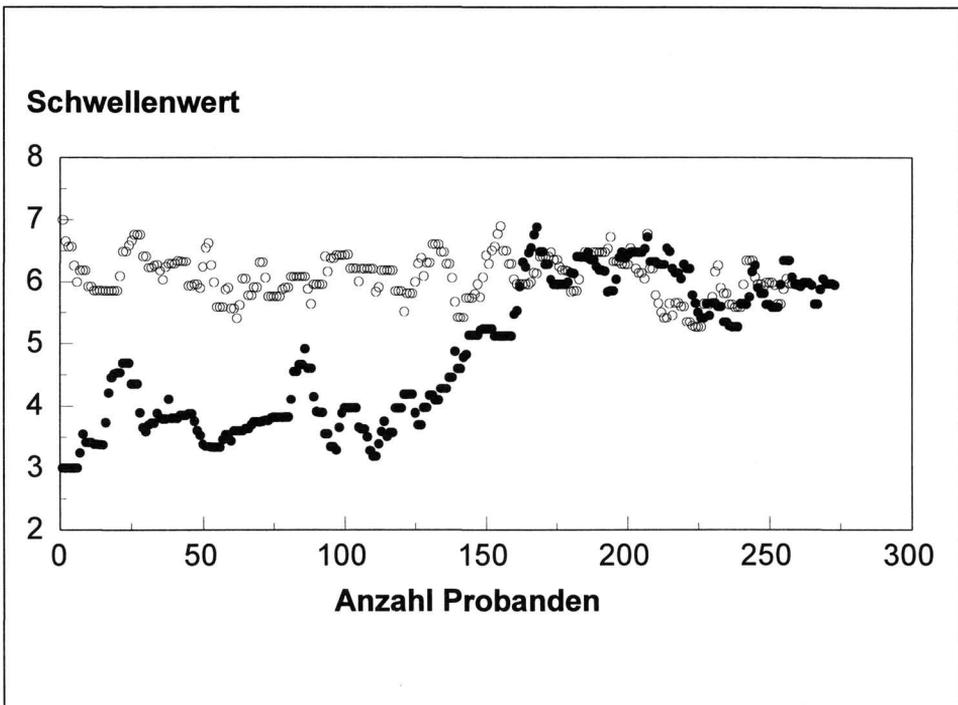


Bild 4: Konvergenzverhalten der vernetzten Fuzzy-Regler mit Parametereinstellung I.

Der Schwellenwert kann zwischen 0 und 10 schwanken. In der Graphik sind zwei Testläufe mit deutlich unterschiedlichen Anfangseinstellungen für den Schwellenwert dargestellt. Im ersten Testlauf startete der Schwellenwert bei dem Wert 3, im zweiten beim Wert 7.

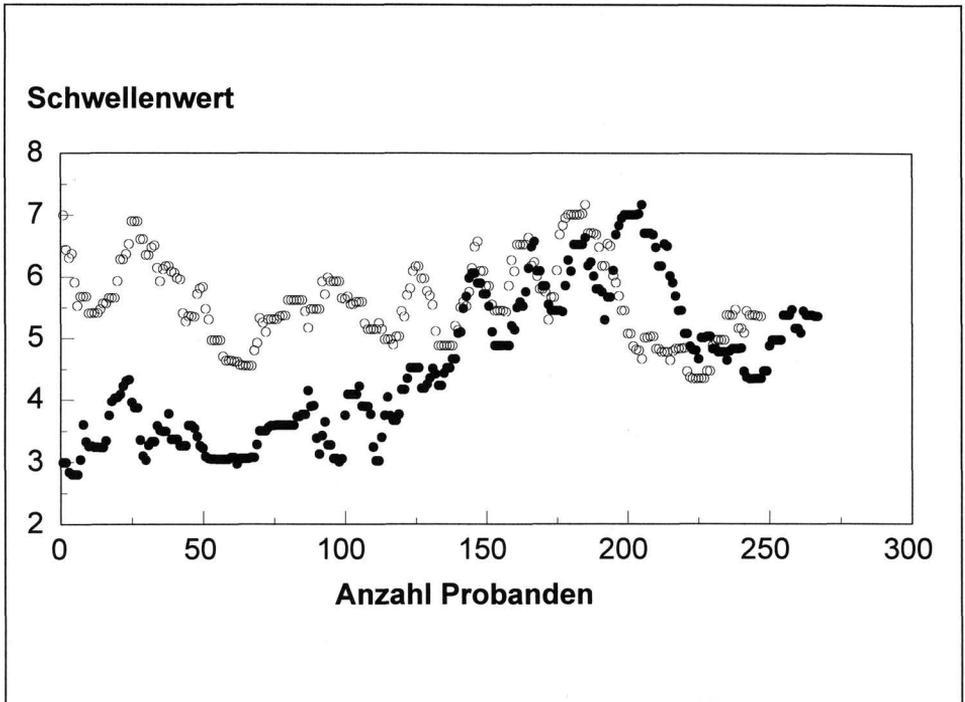


Bild 5: Konvergenzverhalten der vernetzten Fuzzy-Regler mit Parametereinstellung II. Der Schwellenwert kann zwischen 0 und 10 schwanken. In der Graphik sind zwei Testläufe mit deutlich unterschiedlichen Anfangseinstellungen für den Schwellenwert dargestellt. Im ersten Testlauf startete der Schwellenwert bei dem Wert 3, im zweiten beim Wert 7.

#### 4 Ausblick

Mit einem Konzept zur erfahrungsbasierten Fuzzy-Regelung lassen sich Lernwegempfehlungen aussprechen und mit ansteigender Probandenzahl an geänderte Rahmenbedingungen anpassen. Zwei miteinander vernetzte Fuzzy-Regler verändern hierfür einen zentralen Entscheidungsparameter. Wir haben dieses Konzept in einen Prototyp umgesetzt und mit Daten erprobt, die wir empirisch in einem Experiment gewonnen haben. Die Erprobung belegt die Tragfähigkeit des Konzepts.

Sowohl das theoretische Konzept als auch der Prototyp wurden in dieser Untersuchung *bewußt einfach* gehalten. Es bestehen verschiedene Variationsmöglichkeiten, mit denen sich der Nutzen des theoretischen Konzepts steigern läßt. Sie zielen auf die *technische Gestaltung*, die *Anwendungsbreite* und *-granularität*:

- *Technische Gestaltung*: Der Autor könnte Regeln und linguistische Variablen variieren und verfeinern. Dadurch könnte sich das Regelverhalten verbessern [9, S.122-123].
- *Anwendungsbreite*: Neben Lernsystemen eignen sich auch andere Software-Produkte für das vorgestellte Konzept. Es könnte beispielsweise auch in Hilfesystemen Einsatz finden.

- *Anwendungsgranularität*: Anstelle einer einzelnen Lernwegempfehlung in einem Lernsystem könnte man sich auch *mehrere* Lernwegempfehlungen jeweils für einzelne Lektionen vorstellen. Die Ausgangsvariablen für eine dieser Regelungen können als Eingangsvariablen in eine darauf folgende Regelung eingehen. Insbesondere diese Erweiterung bietet nach unserem Ermessen ein beträchtliches Potential zur Steigerung der Änderungsfreundlichkeit von Lernsystemen.

## Literaturverzeichnis

- [1] Herczeg, Michael: Software-Ergonomie. Grundlagen der Mensch-Computer-Kommunikation. Bonn et al., 1994: Addison-Wesley.
- [2] Zeidler, Alfred; Zellner, Rudolf: Software-Ergonomie: Techniken der Dialoggestaltung. München, Wien, 1992: Oldenbourg.
- [3] Keller, Rolf; Müller, Konstantin: Computerunterstützter Unterricht. Leitfaden zur Planung und Evaluation von CUU-Projekten. Bern, 1992: Bundesamt für Industrie, Gewerbe und Arbeit.
- [4] Steppi, Hubert: CBT - Computer Based Training: Planung, Design und Entwicklung interaktiver Lernprogramme. Stuttgart, 1989: Klett.
- [5] Leonhard, Werner: Einführung in die Regelungstechnik: lineare und nichtlineare Regelvorgänge; für Elektrotechniker, Physiker und Maschinenbauer, 4. Auflage. Braunschweig, Wiesbaden, 1987: Vieweg.
- [6] Kaspers, Walter; Küfner, Hans-Jürgen: Messen, Steuern und Regeln für Maschinenbauer. Braunschweig, 1977: Vieweg.
- [7] Zimmermann, Hans-Jürgen; Altmann, Constantin von: Prinzipien und Anwendungspotential der Fuzzy-Mengentheorie, in: Künstliche Intelligenz, 5(1991), 4, S.6-12.
- [8] Preuß, Hans-Peter: Fuzzy-Control - heuristische Regelung mittels unscharfer Logik. Teil 1, in: atp - Automatisierungstechnische Praxis, 34(1992), 4, S.176-184.
- [9] Traeger, Dirk: Einführung in die Fuzzy-Logik, 2. Auflage. Stuttgart, 1994: Teubner.
- [10] Henke, Andreas: Adaptive Individualisierung der Lernwegempfehlung: Entwurf eines Fuzzy-Regelkreises als Bauelement eines tutoriellen Systems. Universität Kaiserslautern 1994.
- [11] Henke, Andreas: Entwicklung und Evaluation eines Lernprogrammes mit zwei Lernwegen, Entwurf eines Experimentes zur Individualisierung der Lernwegsteuerung. Universität Kaiserslautern 1992.
- [12] Barth, Gerhard; Welsch, Christoph: Objektorientierte Programmierung, in: Informationstechnik, 30(1988), 6. S.404-421.
- [13] Tilli, Thomas: Fuzzy-Logik: Grundlagen, Anwendungen, Hard- und Software, 2. Auflage. München, 1992: Franzis.
- [14] Cox, Earl: Fuzzy Fundamentals, in: IEEE Spectrum, 29(1992), 10, pp.58-61.
- [15] Cox, Earl: Fuzzy Fundamentals, in: IEEE Spectrum, 30(1993), 2, pp.27-31.
- [16] Preuß, Hans-Peter: Fuzzy-Control - heuristische Regelung mittels unscharfer Logik. Teil 2, in: atp - Automatisierungstechnische Praxis, 34(1992), 5, S.239-246.

## Adressen der Autoren

Prof. Dr. Martin G. Möhrle  
 Brandenburgische Technische Universität Cottbus  
 Postfach 10 13 44  
 D-03013 Cottbus  
 Email: moehrle@rz.tu-cottbus.de

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Andreas J. Henke  
 Lange Rötterstraße 65  
 68167 Mannheim  
 Email: 0621378824-0001@t-online.de

