

Einsatz von neuronalen Netzen und Fuzzy-Technologie in der vorbeugenden Störfallsimulation

Beisheim, N.

Immer häufiger werden wissensbasierte Systeme bei der Entwicklung komplexer Maschinen und Anlagen eingesetzt. Durch das Erfassen, Aufbereiten und Bereitstellen von Erfahrungswissen von der Entwicklung bis zur Wartung bereits realisierter Konstruktionen entstehen Systeme zur Unterstützung des Konstrukteurs schon in den Planungsphasen eines neuen Produkts. Die zusätzliche Integration von Methoden Computational Intelligenz wie neuronale Netze und Fuzzy-Technologie in ein solches System ermöglicht auch eine präventive Störfall- und Fehleranalyse von komplexen Anlagen schon während deren Planung. In diesem Artikel werden allgemein Möglichkeiten und Einsatzfelder von neuronalen Netzen und Fuzzy Technologie in solchen Systemen dargestellt.

Knowledge based systems are often used in the engineering process of complex machines and systems. By evaluating, preparing and presenting empirical knowledge from the engineering process up to maintenance, systems are already created to support of the designer in the planning stages of a product. The additional integration of intelligence methods such as neural nets and Fuzzy technology into such a system positions large advantages in the case of preventive failure and hazard analysis in complex planning. The possibilities and the combination possibilities of neural nets and Fuzzy technology in such systems are represented in this paper.

1 Einleitung

Bei komplexen Systemen, wie sie im Maschinenbau und der Verfahrenstechnik immer häufiger zu entwickeln sind, kann durch wissensbasierte Systeme das Risiko von potentiellen Störfällen, Fehlbedienungen etc. schon in der Planungsphase gemindert werden. Die Voraussetzung dafür ist die Bereitstellung von Wissen der der Konstruktion nachgelagerten Bereiche Arbeitsvorbereitung, Fertigung, Wartung und Vertrieb schon in frühen Phasen der Entwicklung eines Produkts. Das Erfahrungswissen aller Bereiche, die an der Prozeßkette eines Produkts beteiligt sind, ist zu erfassen, aufzubereiten und in einer Weise zur Verfügung zu

stellen, daß der Konstrukteur damit in der Lage ist, die Auswirkungen seines Handelns in den anderen Bereichen zu erkennen. Dieser Informationsfluß ist in **Bild 1** dargestellt. Ein weiteres Aufgabenfeld ist das Verbinden des Erfahrungswissens der verschiedenen Fachbereiche, die bei der Entwicklung in interdisziplinär aufgebauten Konstruktionsteams mitwirken. Durch die Komplexität der Produkte ist die Zusammenarbeit von Experten der Fachbereiche im Team nötig, wodurch aber Kommunikationsprobleme im Bereich der technischen Verständigung auftreten. In diesem Umfeld können wissensbasierte Systeme, in denen dasselbe Wissen für den Zugriff durch verschiedene Anwender mit unterschiedlicher Sichtweise aufbereitet wird, große Vorteile bringen. Ein Ansatz dazu soll in dem Projekt A2 im SFB 180 für die Verknüpfung der Fachbereiche Verfahrenstechnik und Maschinenbau im Bereich der Störfall- und Fehleranalyse bei der Entwicklung verfahrenstechnischer Anlagen aufgezeigt werden. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der Entwicklung und prototypischen Umsetzung einer Methodik zur Erfassung, Analyse und Rückführung von Informationen über Fehler und Störfälle aus den der Konstruktion nachgelagerten Bereichen.

Bei der Bereitstellung der Informationen für den Konstrukteur werden unter anderem Methoden wie künstliche neuronale Netze (KNN) und Fuzzy Technologie eingesetzt. In diesen Methoden kann das Erfahrungswissen von bereits entwickelten Anlagen gespeichert und dann bei der Entwicklung von neuen Anlagen zur Verfügung gestellt werden. Diese Methoden werden allgemein sowohl bei der Regelung von Prozessen als auch zu deren Simulation eingesetzt.

Im Rahmen eines Projekts wird mit diesen Methoden in Verbindung mit Datenbank- und Internet-Technologie ein Konstruktions-Informationssystem entwickelt, das die maschinentechnische Konstruktion mit der verfahrenstechnischen Störfallanalyse verknüpft. Durch die so entstehenden Simulationsmodelle ist es bereits bei der Konstruktion neuer technischer Anlagen möglich, die Ursachen und Auswirkungen von Fehlern, Störungen etc. zu er-

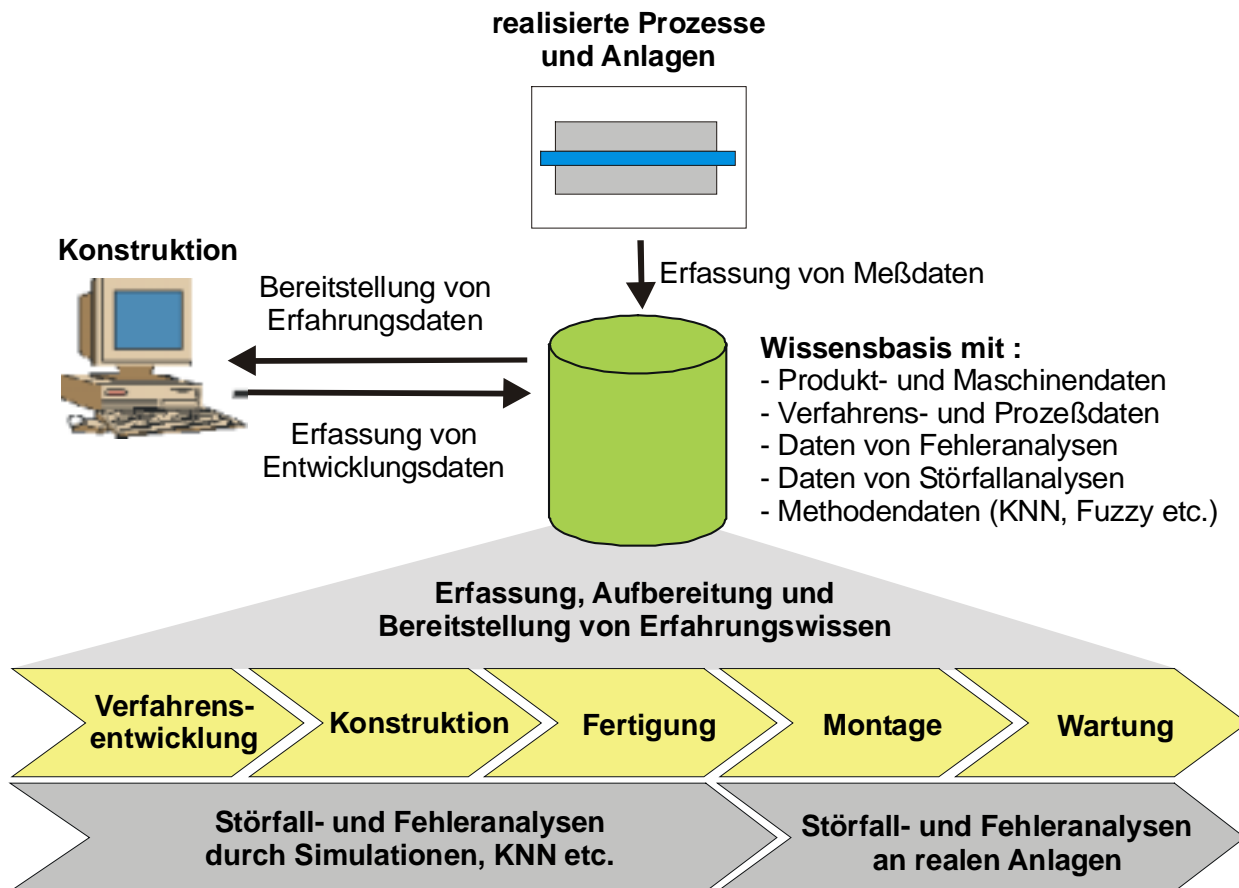


Bild 1: Aufbau eines wissensbasierten Systems mit Integration von Störfall- und Fehleranalysen

kennen und mögliche Fehlerquellen zu vermeiden. Das Informations-System ist somit ein konstruktionsunterstützendes System zur präventiven Störfall- und Fehlervermeidung. Der Kern der Arbeiten besteht in der Ausarbeitung der Methodik zur Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung des Erfahrungswissens von verfahrenstechnischen Anlagen.

Die Integration der Methoden KNN und Fuzzy in ein Konstruktions-Informationssystem erfordert eine durchgängige Strukturierung sämtlicher Daten. Erst durch die Zuordnung der Methodendaten zu den Daten des Prozesses und der Maschinen entsteht ein System, das den Konstrukteur als auch den Verfahrenstechniker optimal unterstützt.

In diesem Artikel werden die grundsätzlichen Möglichkeiten zum Einsatz von künstlichen neuronalen Netzen und Fuzzy Technologie zur Simulation, Regelung und Optimierung technischer Prozesse erläutert.

2 Wissensbasierte Systeme

Wissensbasierte Systeme, in Sonderfällen auch als Expertensysteme bezeichnet, haben nach /5/ die Fähigkeit, komplexe schlecht strukturierbare Pro-

bleme lösen zu können. In ihnen sollen die Strukturen bzw. Informationen der Realität abgebildet werden. Dieses kann aber nur in einem genau definierten Spezialgebiet erfolgen, dabei können dann aber die Fähigkeiten eines menschlichen Experten mit dem System erreicht werden. Die Haupteinsatzgebiete für Expertensysteme sind :

- Komplexe Strukturen und Probleme
- Unbekannte Lösungsalgorithmen
- Zugriff auf Spezialwissen durch interdisziplinäre Teams
- Speicherung von Erfahrungswissen

Gerade die beiden letzten Punkte werden heute immer wichtiger. Die Komplexität vieler Anlagen, Maschinen und Systeme macht die Zusammenarbeit von interdisziplinär aufgebauten Teams erforderlich. Diese Zusammenarbeit kann aber durch inhaltliche Kommunikationsprobleme erschwert werden. Der Einsatz von wissensbasierten Systemen ist ein Ansatz zur Lösung solcher Probleme.

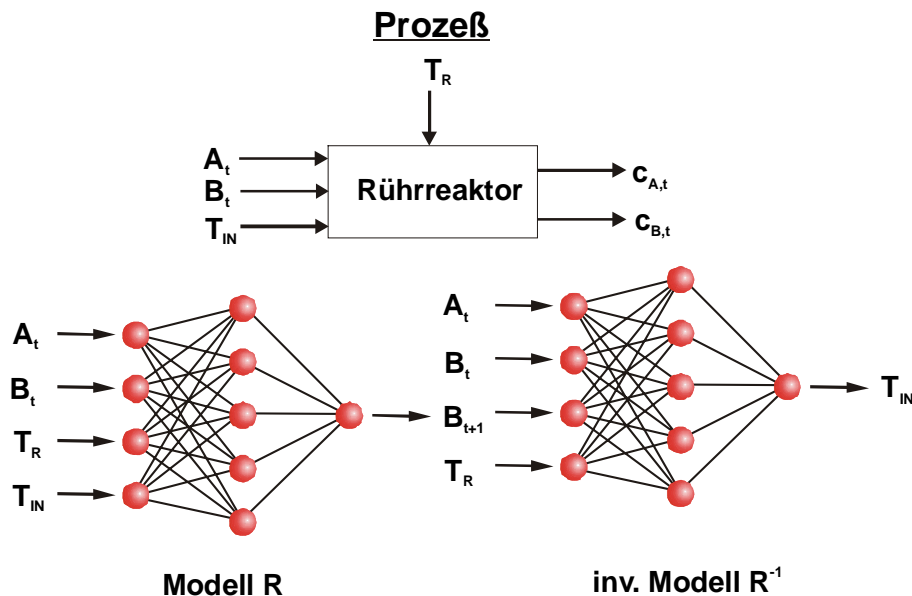


Bild 2: Einsatz inverser KNN zur Optimierung von Prozessparametern

3 Einsatz- und Kombinationsmöglichkeiten von KNN

Der Einsatz von künstlichen neuronalen Netzen (KNN) bietet sich immer dann an, wenn zwar Datensätze über die Ein- und Ausgabegrößen eines Prozesses vorhanden sind, die den Prozeß kennzeichnen, eine Abbildung des Prozesses mit mathematischen oder physikalischen Modellen aber nicht möglich ist. Mit den Algorithmen der KNN ist dann eine gute Modellierung des Prozesses möglich. Eine praktische Anwendung von KNN ist in /2/ beschrieben. Sind neben den Eingangs- und Ausgangsgrößen auch die Sollwerte und die Stellgrößen bekannt, kann auch die Regelung des Prozesses von KNN übernommen werden.

Die KNN bestehen aus Algorithmen als lernende Polynome nichtlinearer Übertragungsfunktionen, die durch Approximationsverfahren lernen, Vektoren aufeinander abzubilden. Besteht im Prozeß eine Beziehung zwischen meßbaren und nicht-meßbaren Größen, so kann das KNN aus den Daten der meßbaren Größen diese nicht-meßbaren vorherbestimmen.

Auch die Optimierung einer Größe zur Regelung eines Prozesses kann vom KNN vorgenommen werden. Dazu muß eine Kombination von KNN erzeugt werden, bei der ein zweites Netz als inverses Netz zum ersten aufgebaut wird. **Bild 2** zeigt den schematischen Aufbau einer solchen Kombination zur Bestimmung eines optimalen Prozessparameters. Es handelt sich bei dem Prozeß um einen Rührreaktor, bei dem sich ein Stoff A im tempera-

turabhängigen Gleichgewicht mit einem Stoff B befindet. Bei einer bestimmten Eingangstemperatur T_{IN} zum Zeitpunkt t und einer Temperatur im Reaktor T_R stellen sich die Konzentrationen $c_{A,t}$ und $c_{B,t}$ ein /1/.

Das Ziel der Simulation ist die Bestimmung der Temperatur $T_{IN,t+1}$ zum Zeitpunkt $t+1$, mit dem eine bestimmte Konzentration $c_{B,t+1}$ des Stoffes B zum selben Zeitpunkt als Funktion $c_{B,t+1} = f([c_{A,t}, c_{B,t}, T_R, T_{IN}])$ erreicht wird.

Das erste KNN wird mit den Werten $c_{A,t}$, $c_{B,t}$, T_R , T_{IN} trainiert und gibt die Konzentration $c_{B,t+1}$ aus. Es verhält sich also nach dem Training wie ein Abbild des Reaktors und kann die Konzentration des Stoffes B vorherbestimmen.

Das zweite KNN muß nun mit dem Zusammenhang zwischen Zielkonzentration und der benötigten Eingangstemperatur T_{IN} trainiert werden. Dieses Netz berechnet dann die Temperatur für die gewünschte Zielkonzentration $c_{B,t+1}$ des Stoffes B. Dieser berechnete Temperaturwert kann dann an der Steuerung des Reaktors eingestellt werden.

4 Simulation und Regelung durch KNN

In zunehmendem Maße werden neuronale Netze für die Steuerung/Regelung und Simulation verfahrenstechnischer oder allgemein technischer Prozesse eingesetzt. Der Grund dafür sind unbekannte mathematische oder physikalische Modelle, nichtlineare Verfahren und unbekannte Wechselwirkungen der beteiligten Stoffe und physikalischen Größen. Ohne die KNN würde in der Praxis dadurch eine kontinuierliche bzw. manuelle Steuerung und Regelung erforderlich. Künstliche neuronale Netze (KNN) bieten hier großes wirtschaftliches und sicherheitsrelevantes Potential. Mit ihnen können intelligente Systeme zur Regelung, Simulation und Automation aufgebaut werden, die folgende Vorteile bieten :

- Reduzierung der Anfahrzeiten
- Optimierung des Stoff- und Energieumsatzes
- Beschleunigung des Einregelverhaltens

- Verringerung der Streubreite der Endprodukte
- Vermeidung von umweltgefährdenden Störfällen
- Trainingsmöglichkeit für Bedienpersonal

Aus diesen Vorteilen wird ersichtlich, daß die KNN für zwei Schwerpunkte der gesamten Prozesskette eingesetzt werden:

- als Modell des eigentlichen verfahrenstechnischen Prozesses
- zum Erlernen des Erfahrungswissens des Prozessbedieners

Das Training der KNN muß durch die Eingabe der Stellwerte und Verknüpfung mit den Werten und Größen der Endprodukte erfolgen. Die KNN sind dann in der Lage, das Verhalten des Prozesses und das des Bedieners zu simulieren. Die Genauigkeit der Netze ist dann mit weiteren Werten zu verifizieren.

Bild 3 zeigt das System zum Einsatz von KNN zum Antrainieren des Erfahrungswissens des Bedienpersonals in das Netz. Der Einsatz der Netze entlastet das Bedienpersonal bei der Regelung der Anlage von Routineaufgaben. Nur in Ausnahmefällen sind manuelle Eingriffe erforderlich. Das Training erfolgt in Parallelschaltung zum Bediener. Dessen Sollwerte zum Stellen des Prozesses werden im KNN registriert und mit den Stellwerten als Istwerte des Bedieners als Feedback verknüpft. Nach einer gewissen Trainingszeit kann das Netz den Bediener unterstützen.

Bild 4 zeigt schematisch den Einsatz von KNN zur Simulation des eigentlichen Prozesses. Das Modell kann dann verwendet werden, um die Antwort des Prozesses auf neue Stellwerte theoretisch zu testen. Das kann erforderlich sein, wenn es sich bei dem Prozeß um eine neue Kombination bereits

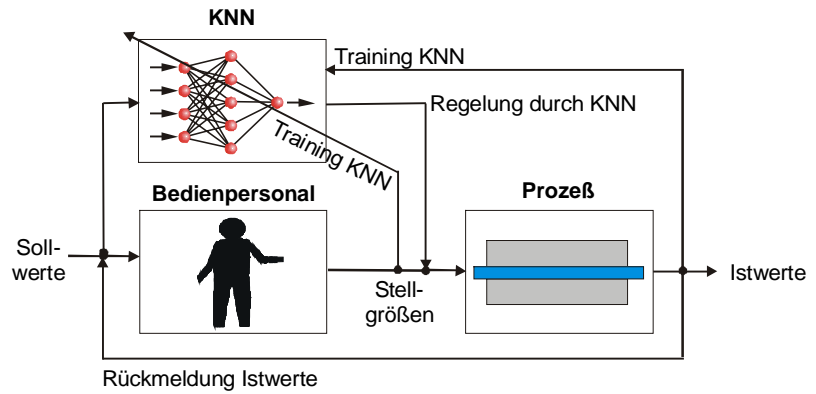


Bild 3: Einsatz KNN zur Regelung von Prozessen

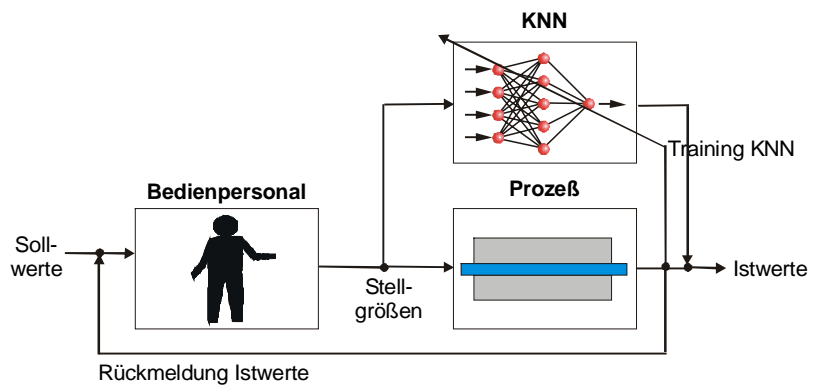


Bild 4: Einsatz KNN zur Simulation des Prozesses

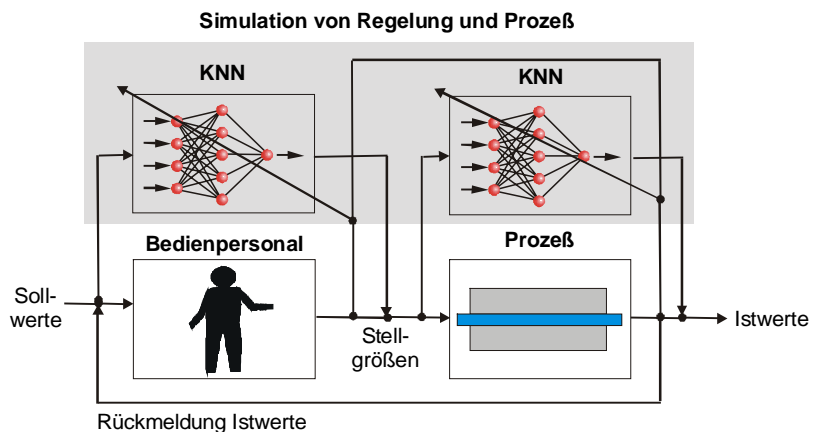


Bild 5: Einsatz KNN zur Regelung und Simulation von Prozessen

realisierter Einzelverfahren handelt. Der zweite Schwerpunkt für den Einsatz von KNN liegt vor, wenn gefährliche und umweltbelastende Stoffe am Prozeß beteiligt sind. In beiden Fällen werden die KNN im Training mit den Stellgrößen des Bedieners, den Prozeßreaktionen und den Mengen an Endprodukten angeleert.

Diese beiden Möglichkeiten zum Einsatz von KNN können miteinander in einem System kombiniert werden. Dabei werden sowohl die Regelung als auch der Prozeß von KNN simuliert. Dieses kann

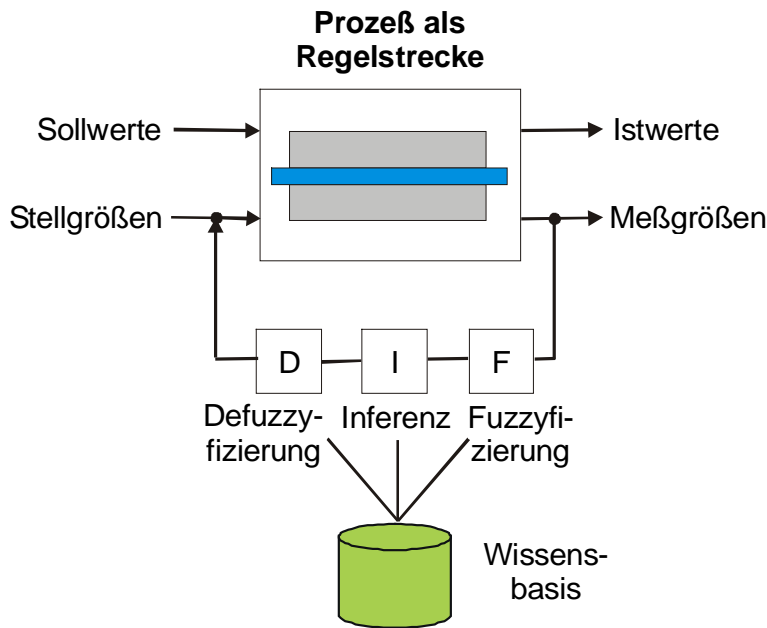


Bild 6: Verarbeitung reeller numerischer Werte in Fuzzy-Systemen

zur Vermeidung von Störungen und Gefahren bei sehr komplexen Prozessen erforderlich sein.

Bild 5 zeigt den Aufbau eines solchen Systems.

5 Fuzzy Technologie

Die Fuzzy Technologie wird gegenüber den numerischen Anwendungen der KNN dann eingesetzt, um eine Methode zur Abbildung "unscharfer" Wechselwirkungen zwischen Größen für den Computereinsatz zu haben. Diese Unschärfe ist z.B. linguistischer Art wie heiß/kalt oder klein/groß. Menschen sind in der Lage, die Bedeutung und den Kontext dieser Wörter im jeweiligen Zusammenhang zu erfassen. EDV und Computer aber nicht. Fuzzy Technologie wird hier eingesetzt, um in wissensbasierten Systemen das menschliche Wissen in das elektronische Datensystem abbilden zu können. Diese Systeme erfordern zur Integration von Fuzzy Logic dabei folgende Einzelschritte :

- Wissensakquisition
- Wissensübersetzung (Fuzzyfizierung)
- Wissensdokumentation
- Wissensverarbeitung (Inferenz)
- Wissensübersetzung (Defuzzyfizierung oder linguistische Approximation)
- Wissensbereitstellung

Bild 6 zeigt den Aufbau eines solchen Systems.

Die Fuzzyfizierung als Wissensübersetzung ist nötig, um reelle Größen in linguistische Variablen um-

zuwandeln. Die Zuordnung einer Größe zu einem linguistischen Term ist abhängig von der Lage des numerischen Wertes auf der Achse dieser Größe. Die Defuzzyfizierung ist der umgekehrte Vorgang, linguistische Terme in reelle Größen umzuwandeln. Die Inferenz als Wissensverarbeitung ist der Bereich des Systems, der für die Wissensverarbeitung der Regeln und Daten zuständig ist. Hier werden Schlußfolgerungen aus bestehenden Fakten und dem in der Basis vorhandenem Wissen gezogen. Die Regeln müssen dabei als linguistische Terme erhalten bleiben und nicht nur als

Symbole vorliegen. Der Output der Inferenz muß in die Sprache des Bedieners oder allgemein des Anwenders des Systems übersetzt werden.

Bei der Anwendung von Fuzzy Sets ist es erforderlich, die Einflußfaktoren auf den Prozeß unscharf zu beschreiben, zu verarbeiten, in der Wissensbasis abzubilden sowie in geeigneter und nutzbarer Form wieder zur Verfügung zu stellen. Diese Vorgehensweise soll an einem Beispiel **Bild 7** zur Regelung einer Heizung verdeutlicht werden.

Die Beziehung wird definiert mit : **"Wenn** Temperaturabweichung ist negativ **und** Änderung der Temperaturabweichung ist null **dann** Änderung der Heizleistung ist positiv."

Die "Unschärfe" besteht in diesem Beispiel in der Einteilung der Bereiche für alle Größen in die drei Terme „negativ“, „null“ und „positiv“.

Das Ergebnis für die gemessenen Größen „Temperaturabweichung“ ist -20 °C und „Änderung der Temperaturabweichung“ ist $+2\text{ °C/s}$. Die „Temperaturabweichung“ hat also den fuzzyfizierten Wert „negativ“, die „Änderung der Temperaturabweichung“ ist „null“ und somit ist die „Änderung der Heizleistung“ „positiv“.

Die Steigung der Linien bei der Trennung der Bereiche ist durch die Unsicherheit bei der Zugehörigkeit der Aussage begründet.

Der Output der Regelung kann wieder als linguistischer Ausdruck gewertet werden, er kann aber auch mittels Defuzzyfizierung in eine reelle Zahl

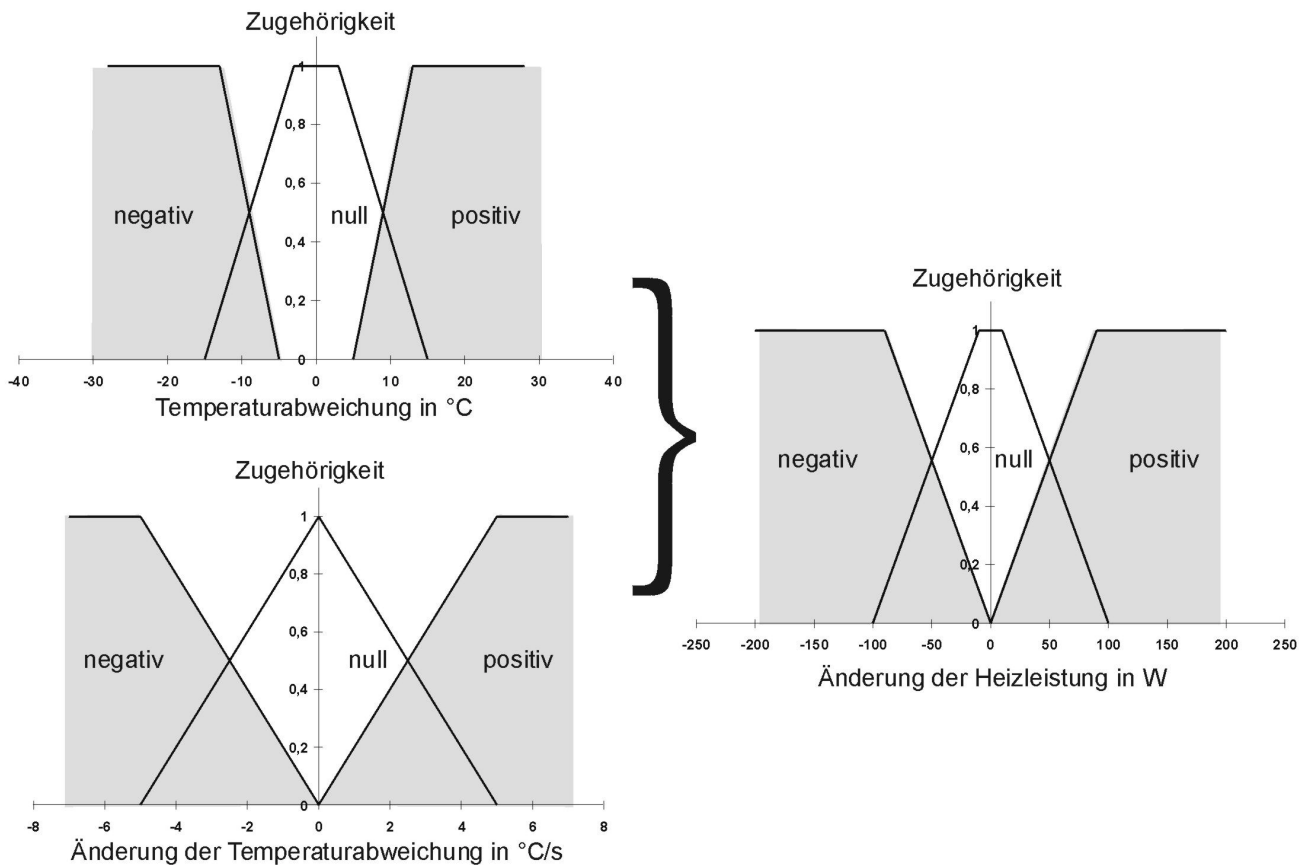


Bild 7: Fuzzy-Algorithmen zur Regelung einer Heizung /1/

und somit z.B. elektrische Spannung zur Weitergabe an die Heizung umgewandelt werden.

6 Zusammenfassung

In diesem Artikel wurden die potentiellen Möglichkeiten der Methoden künstlicher neuronaler Netze und Fuzzy Technologie in einem wissensbasierten System zur Unterstützung des Konstrukteurs bei der Konstruktion von Anlagen und Maschinen dargestellt. Auch die präventive Störfall- und Fehleranalyse wird durch die Anwendung dieser Methoden schon früh in der Konstruktion ermöglicht. Allgemein wurden die Einsatzbereiche von KNN und Fuzzy Technologie im Umfeld komplexer Prozesse dargestellt. Die Netze können hierbei in vielen technischen Bereichen zur Optimierung von Prozeßparametern und der Simulation und Regelung von Prozessen eingesetzt werden. Die Auswahl der Methode orientiert sich an der Art der Daten, die von dem abzubildenden Prozeß vorliegen. Sind die Algorithmen oder Ein- und Ausgabegrößen bekannt, so können damit neuronale Netze antrainiert werden, die dann die Regelung übernehmen oder den eigentlichen Prozeß simulieren. Die Fuzzy Technologie dagegen eignet sich für die Abbildung

der menschlichen Sichtweise, die viele Größen in unscharfen Beziehungen ausdrückt. Diese beiden Methoden zusammen mit Datenbank- und Internet-Technik bilden ein umfangreiches und innovatives System. Die besonderen Vorteile durch den Einsatz von solchen Systemen sind durch eine Reduzierung der Entwicklungszeit, eine Qualitätserhöhung der Produkte und allgemeine Kosteneinsparungen bei komplexen Anlagen zu erwarten.

7 Literatur

- /1/ Zimmermann, H.-J.: Neuro + Fuzzy : Technologien – Anwendungen, VDI-Verlag (1995)
- /2/ Heinen, F.; Tawil, M.: Untersuchung der Rückfederung tiefgezogener Bleche, Institutsmitteilung Nr. 23 (1998)
- /3/ Scheer, A.-W.: Architektur integrierter Informationssysteme, Springer-Verlag (1992)
- /4/ Miles, J.; Moore, C.: Practical Knowledge-Based Systems in Conceptual Design, Springer-Verlag (1994)
- /5/ Kurbel, K.: Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen, Springer-Verlag (1989)