

SIMATIC

Fuzzy Control

Benutzerhandbuch

Vorwort, Inhaltsverzeichnis

Aufbau und Wirkungsweise von
Fuzzy-Systemen

1

**Funktionsbausteine
Fuzzy Control**

Produktübersicht

2

Die Funktionsbausteine
Fuzzy Control

3

**Konfiguration
Fuzzy Control**

Produktübersicht

4

Das Konfigurationswerkzeug
Fuzzy Control

5

Konfigurieren und Inbetriebsetzen
von Fuzzy-Anwendungen

6

Glossar, Stichwortverzeichnis

Sicherheitstechnische Hinweise



Dieses Handbuch enthält Hinweise, die Sie zu Ihrer persönlichen Sicherheit sowie zur Vermeidung von Sachschäden beachten müssen. Die Hinweise sind durch ein Warndreieck hervorgehoben und je nach Gefährdungsgrad folgendermaßen dargestellt:

Gefahr

bedeutet, daß Tod, schwere Körperverletzung oder erheblicher Sachschaden eintreten **werden**, wenn die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen nicht getroffen werden.



Warnung

bedeutet, daß Tod, schwere Körperverletzung oder erheblicher Sachschaden eintreten **können**, wenn die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen nicht getroffen werden.



Vorsicht

bedeutet, daß eine leichte Körperverletzung oder ein Sachschaden eintreten können, wenn die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen nicht getroffen werden.

Hinweis

ist eine wichtige Information über das Produkt, die Handhabung des Produktes oder den jeweiligen Teil der Dokumentation, auf den besonders aufmerksam gemacht werden soll.

Qualifiziertes Personal

Inbetriebsetzung und Betrieb eines Gerätes dürfen nur von **qualifiziertem Personal** vorgenommen werden. Qualifiziertes Personal im Sinne der sicherheitstechnischen Hinweise dieses Handbuchs sind Personen, die die Berechtigung haben, Geräte, Systeme und Stromkreise gemäß den Standards der Sicherheitstechnik in Betrieb zu nehmen, zu erden und zu kennzeichnen.

Bestimmungsgemäßer Gebrauch

Beachten Sie folgendes:



Warnung

Das Gerät darf nur für die im Katalog und in der technischen Beschreibung vorgesehenen Einsatzfälle und nur in Verbindung mit von Siemens empfohlenen bzw. zugelassenen Fremdgeräten und -Komponenten verwendet werden.

Der einwandfreie und sichere Betrieb des Produktes setzt sachgemäßen Transport, sachgemäße Lagerung, Aufstellung und Montage sowie sorgfältige Bedienung und Instandhaltung voraus.

Marken

SIMATIC® und SINEC® sind eingetragene Marken der SIEMENS AG.

Die übrigen Bezeichnungen in dieser Schrift können Marken sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen können.

Copyright © Siemens AG 1995 All rights reserved

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts ist nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere für den Fall der Patenterteilung oder GM-Eintragung.

Siemens AG
Bereich Automatisierungstechnik
Geschäftsgebiet Industrie-Automatisierung
Postfach 4848, D- 90327 Nürnberg

Haftungsausschluß

Wir haben den Inhalt der Druckschrift auf Übereinstimmung mit der beschriebenen Hard- und Software geprüft. Dennoch können Abweichungen nicht ausgeschlossen werden, so daß wir für die vollständige Übereinstimmung keine Gewähr übernehmen. Die Angaben in dieser Druckschrift werden regelmäßig überprüft, und notwendige Korrekturen sind in den nachfolgenden Auflagen enthalten. Für Verbesserungsvorschläge sind wir dankbar.

© Siemens AG 1995
Technische Änderungen bleiben vorbehalten.

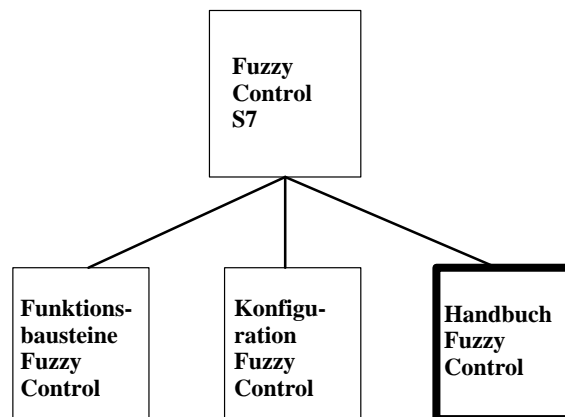
Vorwort

Zweck des Handbuches

Dieses Handbuch unterstützt Sie bei der Auswahl, Konfiguration, Parametrierung eines optimalen Fuzzy Control Bausteins für Ihre Regelaufgabe.

Sie werden mit der Funktionsweise des Fuzzy Control Bausteins sowie mit der Handtierung des Konfigurationswerkzeuges vertraut gemacht.

Einordnung in die Produktlandschaft "Fuzzy Control S7"



Zum Softwarepaket "Fuzzy Control S7" gehören drei Einzelprodukte:

- Das Produkt "Fuzzy Control" enthält hauptsächlich den Reglerbaustein (FB) und den Datenbaustein (Instanz-DB).
- Das Produkt "Konfiguration Fuzzy Control" enthält hauptsächlich das Werkzeug zum Konfigurieren des Reglerbausteins. Das Produkt wird im folgenden "Konfigurationswerkzeug" genannt.
- Dieses Handbuch ist ein eigenständiges Produkt und beschreibt sowohl das Produkt "Fuzzy Control" als auch das Produkt "Konfiguration Fuzzy Control".

Das Softwarepaket "Fuzzy Control S7"

Die Realisierung von Automatisierungsaufgaben mit konventionellen Regelungskonzepten ist nur mit eingeschränkten Ergebnissen bzw. Kompromissen bezüglich der Regelqualität möglich. Das Softwarepaket "Fuzzy Control S7" bietet ein umfassendes Konzept zur Realisierung von Regelfunktionen bei der Lösung von Automatisierungsaufgaben.

Der Reglerbaustein (FB) ist in vollem Leistungsumfang und mit allen Algorithmen für die Konfiguration und Parametrierung vorbereitet.

Zur Konfigurierung und Parametrierung dieses FBs steht Ihnen ein komfortables Werkzeug zur Verfügung.

Fuzzy-Regler sind auf der Basis von Fuzzy Control leicht zu projektieren, da ihre Funktionalität sinnvoll auf die Definition und Ausführung von Kernfunktionen der Fuzzy-Theorie begrenzt ist. Auch der Anwender mit durchschnittlichen regelungstechnischen Kenntnissen ist in der Lage, in kurzer Zeit eine qualitativ hochwertige Regelung zu erstellen.

Inhalt des Handbuches



Kap. 1 gibt Ihnen eine Übersicht über Aufbau und Wirkungsweise von Fuzzy-Systemen



Kap. 2 gibt Ihnen eine Übersicht über die Funktionsbausteine Fuzzy Control



Kap.3 erklärt Ihnen die Funktionen der Funktionsbausteine Fuzzy Control



Kap. 4 gibt Ihnen eine Übersicht über das Konfigurationswerkzeug Fuzzy Control



Kap. 5 erklärt Ihnen die Funktionen des Konfigurationswerkzeuges Fuzzy Control



Kap. 6 zeigt Ihnen das Arbeiten mit dem Konfigurationswerkzeug Fuzzy Control

Leserkreis

Dieses Handbuch wendet sich an:

- S7-Programmierer
- Regelungsprogrammierer
- Bedien- und Servicepersonal

Lesekonventionen

Um den Zugriff auf Informationen in diesem Handbuch zu erleichtern, wurden bestimmte Konventionen eingehalten:

- Die Überschriften und Titel am linken Rand helfen Ihnen, schnell auf bestimmte Themen zuzugreifen und geben Ihnen Auskunft über den Inhalt des Handbuches.
- Ein Themenblock beantwortet jeweils eine Fragestellung zur Funktionalität des Werkzeuges oder gibt Auskunft über erforderliche bzw. empfohlene Abläufe.
- Verweise auf weitere Informationen zu einem Thema in anderen Kapiteln werden mit (*siehe Kapitel x.y*) dargestellt. Verweise auf andere Dokumentationen werden durch kursive Schrift gekennzeichnet.
- Handlungsanweisungen werden durch schwarze Punkte markiert.
- Handlungsabläufe werden durch Ordnungszahlen markiert oder explizit durch Schrittfolgen angegeben.
- Alternativen bei Handlungen oder Entscheidungen werden mit Strich markiert.

Weitere Unterstützung

Bei Fragen zur Nutzung der im Handbuch beschriebenen Produkte, die Sie hier nicht beantwortet finden, wenden Sie sich bitte an Ihren Siemens-Ansprechpartner in den für Sie zuständigen Vertretungen und Geschäftsstellen.

Die Adressen finden Sie z.B. im Anhang "SIEMENS Weltweit" des Handbuchs "Automatisierungssystem S7-300, Aufbau einer S7-300".

Bei Fragen bzw. Anmerkungen zum Handbuch selbst füllen Sie bitte den Rückmeldeschein aus, der sich am Ende des Handbuchs befindet und senden ihn an die angegebene Adresse zurück. Wir bitten Sie, dabei auch Ihre persönliche Bewertung des Handbuchs in den Rückmeldeschein einzutragen.

Um Ihnen den Einstieg in das Automatisierungssystem SIMATIC S7 zu erleichtern, bieten wir Kurse an. Wenden Sie sich bitte an Ihr regionales Trainingscenter oder an das zentrale Trainingscenter in D-90327 Nürnberg, Tel. 0911 985 3154.

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau und Wirkungsweise von Fuzzy-Systemen	1-1
1.1	Prozeßeigenschaften und Fuzzy-Anwendung	1-2
1.2	Signalverarbeitung durch Fuzzy Control	1-5
1.3	Die FPL-Sprache	1-11
1.4	Methoden und Algorithmen von Fuzzy Control	1-15
1.5	Systemreaktionen in Grenzfällen	1-23

Funktionsbausteine Fuzzy Control

2	Produktübersicht	2-1
2.1	Zweck und Leistungen von Fuzzy Control	2-2
2.2	Struktur	2-4
2.3	Einsatzumgebung	2-6
3	Die Funktionsbausteine Fuzzy Control	3-1
3.1	Der Funktionsbaustein Fuzzy	3-2
3.2	Analogwert eingeben (Funktion FUZZY_AI)	3-8
3.3	Analogwert ausgeben (Funktion FUZZY_AO)	3-14
3.4	Technische Daten des FB FUZZY	3-19

Konfigurationswerkzeug Fuzzy Control

4	Produktübersicht	4-1
4.1	Zweck und Leistungen des Konfigurationswerkzeugs	4-2
4.2	Struktur des Konfigurationswerkzeugs	4-4
4.3	Einsatzumgebung	4-6
5	Das Konfigurationswerkzeug Fuzzy Control	5-1
5.1	Das Werkzeug "Konfiguration Fuzzy Control"	5-2

6	Konfigurieren und Inbetriebsetzen von Fuzzy-Anwendungen	6-1
6.1	Entwurf und Auslegung von Fuzzy-Anwendungen	6-2
6.2	Projekt eröffnen bzw. für Bearbeitung aufrufen	6-6
6.3	Struktur festlegen und Bearbeitung der Ein-/Ausgänge	6-8
6.4	Zugehörigkeitsfunktionen definieren	6-9
6.5	Regelbasis erstellen	6-13
6.6	Offline-Analyse der Fuzzy-Anwendung, Projekt darstellen	6-15
6.7	Fuzzy-Anwendung beobachten	6-17
6.8	Laden und Inbetriebnehmen der Fuzzy-Anwendung	6-22
	Glossar	Glossar-1
	Stichwortverzeichnis	Index-1

Bilder

1-1	Zugehörigkeitsfunktionen in Fuzzy- und Binär-Logik	1-5
1-2	Beschreibung einer Prozeßgröße durch (vier) Zugehörigkeitsfunktionen	1-6
1-3	Komplementbildung des linguistischen Wertes "A"	1-7
1-4	Ermittlung der Zugehörigkeitsfunktion für zwei Regeln	1-8
1-5	Fuzzy-Anwendung im Zusammenwirken mit dem Prozeß	1-9
1-6	Allgemeine Struktur eines Fuzzy-Systems mit p Eingängen, n Regeln und einem Ausgang	1-16
1-7	Fuzzy-Bearbeitung der Eingangsgrößen 'Temperatur' und 'Druck' und der Ausgangsgröße 'Ventil'	1-17
1-8	Fuzzy Control-Bearbeitung eines Regelwerks mit zwei Eingangs- und einer Ausgangsgröße	1-22
2-1	Schema einer Fuzzy-Regelung	2-3
2-2	Inhalt des Softwareproduktes Fuzzy Control	2-4
2-3	Datenstruktur	2-5
2-4	Einsatzumgebung des SW-Pakets "Fuzzy Control"	2-6
3-1	Struktur der Bausteinaufrufe	3-3
4-1	Struktur des Konfigurationswerkzeugs	4-4
4-2	Datenstruktur	4-5
6-1	Verschaltung der Aufrufbausteine mit dem Fuzzy-FB	6-22

Tabellen

3-1	Eingangsparameter des FB FUZZY (Fuzzy-Datenbaustein)	3-7
3-2	Ausgangsparameter des FB FUZZY (Fuzzy-Datenbaustein)	3-7
3-3	Steuerungsparameter und interner Bereich des FB FUZZY (Fuzzy-Datenbaustein)	3-7
3-4	Eingangsparameter von FUZZY_AI	3-13
3-5	Ausgangsparameter von FUZZY_AI	3-13
3-6	Eingangsparameter von FUZZY_AO	3-18
3-7	Ausgangsparameter von FUZZY_AO	3-18

Aufbau und Wirkungsweise von Fuzzy-Systemen

1

Was finden Sie in diesem Kapitel?

Dieses Kapitel beschreibt

- die Beziehungen zwischen Prozeßeigenschaften und Fuzzy-Anwendung
- die Signalverarbeitung durch Fuzzy Control
- eine Kurzbeschreibung der FPL-Sprache
- Hintergrundinformationen zu den Methoden von Fuzzy Control
- Systemreaktionen in Grenzfällen

1.1 Prozeßeigenschaften und Fuzzy-Anwendung

Prozeßeigenschaften und Fuzzy Control

Der Entwurf und der Einsatz von Fuzzy-Systemen erfordert keinerlei mathematisch formulierte Beschreibungen des zu automatisierenden Prozesses. Das ist ein großer Vorteil, denn oft verlangt die Ermittlung von geschlossenen Prozeßmodellen einen sehr hohen Beschreibungsaufwand. Vor allem dann, wenn es sich um komplexe Systeme mit vielen Einflußgrößen handelt. Konventionelle Methoden erfordern zur Bewältigung dieser Aufgaben tieferegehende Theoriekenntnisse, die dem Praktiker oft nicht zugänglich sind.

Viele Prozesse können trotz fortgeschrittener Automatisierungstheorie auch heute noch nicht vollständig beschrieben werden. Durch diese Schwierigkeiten bei der Erstellung einer optimalen Steuerungs- oder Regelstrategie, werden sie nur unbefriedigend beherrscht.

In den genannten Anwendungsfällen bietet das Paket **Fuzzy Control S7** die Möglichkeit, auch theoretisch schwer erfaßbare Prozesse mit ausreichender Qualität voll automatisiert zu steuern oder zu regeln. Zur Auslegung einer Fuzzy-Anwendung genügt das Wissen, wie man auf den konkreten Prozeß einwirkt, um ein gewünschtes Verhalten hervorzurufen. Über dieses Wissen verfügen die Anlagenfahrer und Prozeßoperatoren aufgrund ihres Erfahrungshintergrundes.

Wird dieses Wissen "verbalisiert", so ist es nicht mehr schwierig, ein Fuzzy-System zu erstellen, das mindestens mit ebenso guten Ergebnissen arbeitet wie ein konventionelles System unterstützt durch einen versierten Anlagenfahrer. Das prinzipiell nichtlineare Verhalten der Fuzzy-Anwendung stellt eine sehr effektive Nachbildung menschlichen Expertenverhaltens dar.

Prozeßanalyse

Grundlage für die Auslegung von Automatisierungseinrichtungen ist immer eine Prozeßanalyse, die das physikalische Verhalten erfaßt. Ihre Daten werden im klassischen Fall dann zur quantitativen Definition des Prozeßmodells herangezogen. Dieser Analysevorgang wird bei der Fuzzy-Anwendung durch Regeln ersetzt, die das Prozeßverhalten qualitativ beschreiben.

Auch das meßtechnisch erfaßbare konkrete Prozeßverhalten kann mit herangezogen werden. Das Konfigurations-Werkzeug im Paket **Fuzzy Control S7** ermöglicht die Beobachtung von Prozeßgrößen mit Hilfe der Funktion "Kurvenschreiber".

Anwendungsbereich

Wesentliches Ziel der Automatisierung ist der kontinuierliche und möglichst optimale Automatikbetrieb (ohne Beeinflussung durch unvermeidbare Prozeßstörungen) im gesamten Arbeitsbereich von Regel- und Führungsgrößen. Für lineare Regelstrecken beliebiger Dynamik wird dieses Ziel durch Regler mit konventionellem P-/PI-/PID-Verhalten und stetigem oder unstetigem Ausgangssignal erreicht.

Demgegenüber ist der Einsatz eines Fuzzy-Systems dann sinnvoll, wenn konventionelle Verfahren häufig korrigierende Eingriffe eines Anlagenfahrers erfordern oder wenn der Prozeß überhaupt nur manuell gefahren werden kann. Das ist besonders dann der Fall, wenn mehrere betrieblich stark schwankende Prozeßparameter das Automatisierungsergebnis beeinflussen. Beispiel dafür ist die Steuerung von Schienenfahrzeugen oder Regalfördermitteln, bei der Fahrzeiten, Bremswege oder Positioniergenauigkeiten usw. stark von Last, Förderweg, Beschaffenheit und Betriebszustand des Fahrzeugs sowie von

Konventionell schwer zu beherrschende technische Prozesse sind allgemein durch Mehrgrößen-Abhängigkeit oder nichtlineare und zeitvariante Prozeßeigenschaften gekennzeichnet. Sie sind mit mathematischen Modellen nur unzureichend zu beschreiben. Der Einsatz einer Fuzzy-Anwendung ist in diesen Fällen zusätzlich oder auch allein anstelle einer konventionellen Lösung möglich. Der Baustein Fuzzy Control mit seinem definierten Ein-/Ausgangsverhalten läßt sich deshalb in gleicher Weise wie die übrigen S7-Softwarekomponenten zur Prozeßregelung - auch im Verbund mit der Funktionalität anderer Bausteine - auf den gleichen Automatisierungssystemen einsetzen.

Beispiele für erfolgversprechende Fuzzy-Anwendungen:

- Prozeßführung mit Koordination unterlagerter Regelungen
- Regelung von nichtlinearen Ein- und Mehrgrößensystemen
- Qualitätsregelung mehrerer Eigenschaften eines Produkts
- zeitvariante Reglerparametrierung oder Stellgrößenkorrektur
- Realisierung von Logik-Strukturen in Steuerungsprozessen

Entwurf der Fuzzy-Anwendung

Die zu realisierende Fuzzy-Anwendung wird an den Prozeß angepaßt. Passende "Zugehörigkeitsfunktionen" und geeignete "Regeln" (siehe Kapitel 1.4) müssen vorgegeben werden, um diese Adaption durchzuführen. Der Entwurf verlagert sich so auf die Auslegung anderer Größen mit mehreren Freiheitsgraden. Durch diese Freiheitsgrade und ihre Ausnutzung werden die E/A-Wirkungszusammenhänge schnell komplexer. Daher empfehlen wir dringend, nur die wirklich relevanten Prozeßgrößen mit in die Fuzzy-Verarbeitung einzubeziehen.

Einsatz-Vorteile von Fuzzy Control

Fuzzy-Systeme sind besonders leistungsfähig, da sie die Umsetzung des normalerweise unscharfen menschlichen Wissens über Vorgänge in der Umgebung in konkrete Operationen ermöglichen. Dieses Wissen - insbesondere über das statische und dynamische Verhalten von Prozessen und Anlagen - wird durch den Einsatz von Fuzzy-Systemen automatisierungstechnisch genutzt. Die Behandlung von Automatisierungsaufgaben erfordert statt eines theoretisch geschlossenen Ansatzes eine empirische Methodik.

Die Erstellung einer Fuzzy-Anwendung reduziert sich im wesentlichen auf zwei Aufgaben:

1. Die Charakterisierung der Momentanwerte relevanter Ein- und Ausgangsgrößen durch "unscharfe" Definition und Quantifizierung von Eigenschaften wie: *viel, wenig, etwas, warm, eiskalt, schnell* usw.
2. Die Formalisierung des Erfahrungswissens über den betreffenden Prozeß bzw. die Anlage in umgangssprachlichen Regeln.

Die oft vielfältigen Wirkungen der Eingänge auf die Ausgänge eines Prozesses können mit Hilfe logischer Aussagen (Wenn-/Dann-Regeln) beschrieben werden. So wird eine Bearbeitung durch Algorithmen möglich.

Verfahren und Eigenschaften von Fuzzy Control

Die "Zugehörigkeitsfunktionen" bestimmen abschnittsweise die Werteverläufe der Ein- und Ausgänge, die wiederum im "Regelwerk" verarbeitet werden. "Zugehörigkeitsfunktionen" und "Regelwerk" liefern so der Fuzzy-Anwendung alle Informationen, die es zur Berechnung von momentanen Ausgangswerten benötigt. Dabei werden die Ausgangsgrößen nach Algorithmen der Fuzzy-Theorie ermittelt. Sie finden im *Kapitel 1.4* eine kurze Beschreibung der Berechnungsverfahren.

Folgende Begriffe beschreiben die internen Teilfunktionen eines Fuzzy-Systems:

- Fuzzifizierung Überführung der Momentanwerte eines Eingangs in Wahrheitsgrade;
- Inferenz Bearbeitung des Regelwerks durch Verknüpfung der Eingangs-Wahrheitsgrade mit Hilfe des Minimum-Operators (WENN-Teil) und Ermittlung des Wahrheitswertes für den betroffenen Ausgang (DANN-Teil);
- Defuzzifizierung Berechnung der numerischen Ausgangswerte durch Wichtung der resultierenden Zugehörigkeitsfunktionen und Bildung des Flächen-Schwerpunktes.

Lösungen von Automatisierungsproblemen mit Fuzzy-Methoden sind wie folgt charakterisiert:

- erfahrungsorientiert
- anschaulich
- relativ aufwandsarm
- praxisgerecht
- tendenziell robust

1.2 Signalverarbeitung durch Fuzzy Control

Fuzzy-Logik

Die Grundidee bei der Konfiguration von Fuzzy-Anwendungen ist die Fuzzy-Logik. Fuzzy als Regelwerk mit unscharfer Logik hat gegenüber der zweiwertigen Logik mit eindeutigen Zugehörigkeitsaussagen (Bool'sche Logik) einen großen Vorteil: Sie kommt dem menschlichen Verständnis von den Vorgängen in Anlagen und Prozessen sehr entgegen.

Wie im täglichen Leben genügt es völlig, die Objekte und Teilvorgänge qualitativ mit Worten der Umgangssprache wie viel, etwas, wenig, mehr usw zu charakterisieren ohne den Zwang der Festlegung auf konkrete Zahlenwerte. In der Bool'schen Logik ist man dagegen gezwungen, relativ willkürlich Grenzen zu definieren und eine starre Entweder-Oder-Logik zu entwerfen.

Wollen Sie z.B. in einem Prozeß eine Temperatur beschreiben, die "heiß" ist, so können Sie die Aussage treffen, daß eine Temperatur über 90 °C mit Sicherheit der Kategorie "heiß" zuzuordnen ist. Bei einer Temperatur von 80 °C gehen die Meinungen der Anlagenfahrer auseinander, aber eine Temperatur von 70 °C wird eindeutig nicht mehr als "heiß" eingeordnet. In der Fuzzy-Logik kann man solche unscharfen Aussagen mit einer Zugehörigkeitsfunktion beschreiben, wie sie in Bild 1-1 links dargestellt ist.

In der binären Logik dagegen müssen Sie einen Grenzwert definieren, der die Klasse der "heißen" Temperatur nach unten beschränkt. Wenn Sie, wie im Beispiel, den Grenzwert auf 80 °C festlegen würden, dann gehört ein Temperaturwert von 79 °C bereits nicht mehr der Klasse "heiß" an.

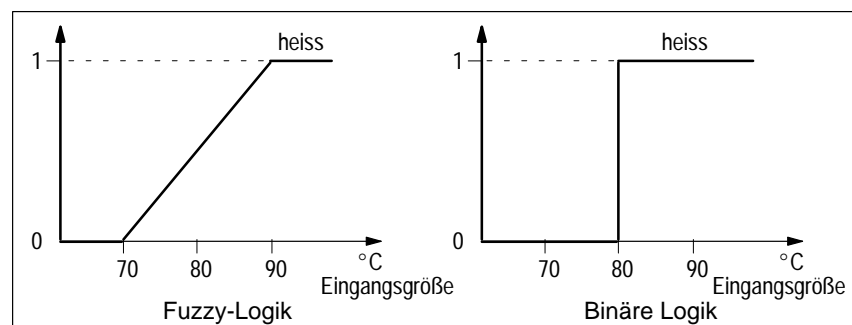


Bild 1-1 Zugehörigkeitfunktionen in Fuzzy- und Binär-Logik

Die Zugehörigkeitsfunktion

Für jede Ein- und Ausgangsgröße einer Fuzzy-Anwendung läßt sich ein Wertebereich bestimmen, in dem diese Größe, z.B. eine Temperatur, variieren kann. Die **Zugehörigkeitsfunktion** definiert die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Prozeßzustand innerhalb des Wertebereiches der Ein- oder Ausgangsgröße. Sie ist durch eine rampenförmige Beschreibung der **Wahrheitswerte** von Zwischenzuständen gekennzeichnet.

Die Funktion kann deshalb eine Dreiecks- oder Trapezform annehmen (Bild 1-2). Auch Rechteckformen sind möglich, was der Wirkung einer binären Zustandsbeschreibung entspricht. Der Zugehörigkeitsgraph wird durch zwei Fuß- und zwei Kopfpunkte koordinatenmäßig festgelegt. Im Falle eines Dreiecksprofils liegen die Kopfpunkte übereinander.

Der Zugehörigkeitsgrad eines bestimmten aktuellen Prozeßgrößenwertes zu den verschiedenen Aussagen über diese Größe wird in Form von Wahrheitswerten (zwischen 0 und 1) dargelegt (Bild 1-2). So kann das Fuzzy-System über die Zugehörigkeitsfunktion (d.h. über deren Definitions-Koordinaten) stets den Zugehörigkeitsgrad eindeutig ermitteln.

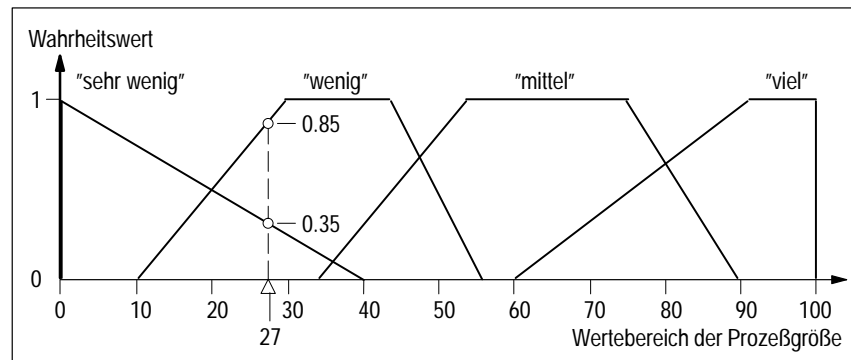


Bild 1-2 Beschreibung einer Prozeßgröße durch (vier) Zugehörigkeitsfunktionen

Linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen

In der Fuzzy-Theorie spielt der Begriff des linguistischen Wertes eine wichtige Rolle. Betrachtet man z.B. innerhalb des Gesamtwertebereiches einer Temperaturvariablen die unscharfen Bereiche der "kalten", der "warmen" und der "heißen" Temperaturwerte, so bezeichnet man "kalt", "warm" und "heiß" als **linguistische Werte** der Variable "Temperatur". Mit linguistischen Werten werden nicht eindeutig abgrenzbare Bereiche (d.h. unscharfe Mengen) der physikalischen Größe pauschal angesprochen.

Die Klassifizierung von Zuständen (bei Fuzzy Control max. sieben) innerhalb des numerischen Wertebereiches einer Ein- oder Ausgangsgröße verlangt eine Charakterisierung der unterschiedlichen Zustände. Diese Zustände beschreiben qualitativ das Verhalten der betrachteten Prozeßgröße. Die Beschreibung erfolgt mit Hilfe sogenannter linguistischer Werte, die jeweils durch eine Zugehörigkeitsfunktion unscharf definiert sind.

Die Zugehörigkeitsfunktion gibt für jeden auftretenden Zahlenwert der Prozeßgröße den Zugehörigkeitsgrad zum spezifischen linguistischen Wert an. (Diesen Vorgang bezeichnen wir als Quantifizierung der qualitativen Aussage eines linguistischen Wertes.)

Da sich die Zugehörigkeitsfunktionen in der Regel überschneiden, können für einen bestimmten Prozeßwert mehrere Zugehörigkeitsfunktionen von Null verschiedene Wahrheitswerte liefern. In Bild 1-2 legen die Zugehörigkeitsfunktionen für die linguistischen Werte "wenig" und "sehr wenig" fest, mit welchen Wahrheitswerten der Prozeßwert "27" als "wenig" und "sehr wenig" eingestuft wird.

Komplement eines linguistischen Wertes

Neben der Definition und Quantifizierung der linguistischen Werte ist es im Regelwerk von Fuzzy Control auch möglich, das Komplement eines linguistischen Wertes in den WENN-Teil einer Regel einzubeziehen. Dabei ist das Komplement C eines linguistischen Wertes bzw. einer Zugehörigkeitsfunktion A durch die Beziehung $C = 1 - A$ beschrieben (Bild 1-3).

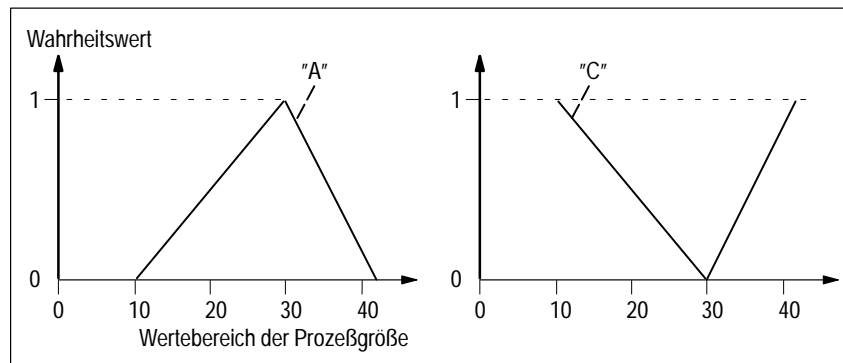


Bild 1-3 Komplementbildung des linguistischen Wertes "A"

Das Fuzzy-Regelwerk

Kennzeichnend für Fuzzy-Anwendungen ist die direkte Verwendung unscharfen Erfahrungswissens zur Erzeugung des optimalen Verhaltens der Ausgangsgrößen bei allen möglichen Wertekonstellationen der Eingangsgrößen. Das Wissen über das Reaktionsverhalten des Prozesses wird bei dieser Methode in folgende Regeln

WENN <Vorbedingung>, DANN <Folgerung>

gefaßt. Solche WENN-DANN-Regeln entsprechen der einfachsten Art menschlichen Entscheidungsvermögens. Vorbedingung und Folgerung sind unscharfe Aussagen wie:

WENN „der Druck hoch ist“,
DANN „Ventil etwas öffnen“.

oder verknüpfte Aussagen wie:

WENN „der Druck hoch ist“
UND „die Temperatur stark steigt“,
DANN „Ventil weit öffnen“.

Jede dieser linguistischen Regeln, auch Produktionsregeln genannt, beschreibt eine Teilstrategie, die das Verhalten der Fuzzy-Anwendung bestimmt.

Zur mathematischen Verarbeitung der WENN-DANN-Regeln muß eine Operation zwischen den unscharfen Werten des WENN-Teils und denen des DANN-Teils (bzw. zwischen deren Zugehörigkeitsfunktionen) gefunden werden. Bei Fuzzy Control wird dazu die Minimumbildung herangezogen.

Diese Methode (Bild 1-4, oben) verdeutlicht, daß der Folgerungsteil höchstens zum gleichen Grade wahr sein kann wie die Vorbedingung. Die Zugehörigkeitsfunktion einer Regel entsteht durch Begrenzen der Zugehörigkeitsfunktion des DANN-Teils auf den momentanen Wahrheitswert des WENN-Teils.

Der WENN-Teil kann dabei eine beliebig komplex aufgebaute Verknüpfung aus logischen Operationen sein. Der DANN-Teil ist im allgemeinen eine einfache Zuweisung eines linguistischen Wertes zu einer Ausgangsgröße. Durch entsprechende Formulierung der Regeln läßt sich erreichen, daß für jeden linguistischen Wert einer Ausgangsgröße höchstens eine Regel zuständig ist.

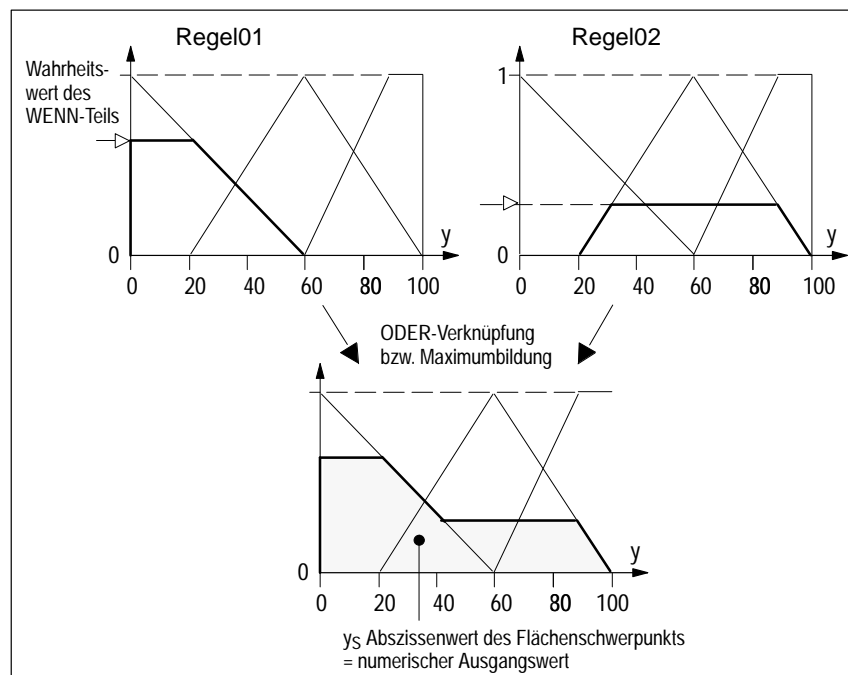


Bild 1-4 Ermittlung der Zugehörigkeitsfunktion für zwei Regeln

In Fuzzy Control sind Algorithmen implementiert, die diese Regeln entsprechend den Gesetzen der Fuzzy-Logik abarbeiten. Die Gesamtheit der Regeln, das **Regelwerk**, macht den Kern einer Fuzzy-Anwendung aus. Das Überlagern der Regeln ergibt eine Gesamtzugehörigkeitsfunktion (Bild 1-4, unten) im algorithmischen System von Fuzzy Control. Sie kennzeichnet die momentane Wirkung des Regelwerks.

Aus der Form der Zugehörigkeitsfunktion wird durch Bildung des Flächenschwerpunktes ein Zahlenwert generiert (Defuzzifizierung). Diese Operation schließt die Bearbeitung des Regelwerks im Fuzzy-System ab.

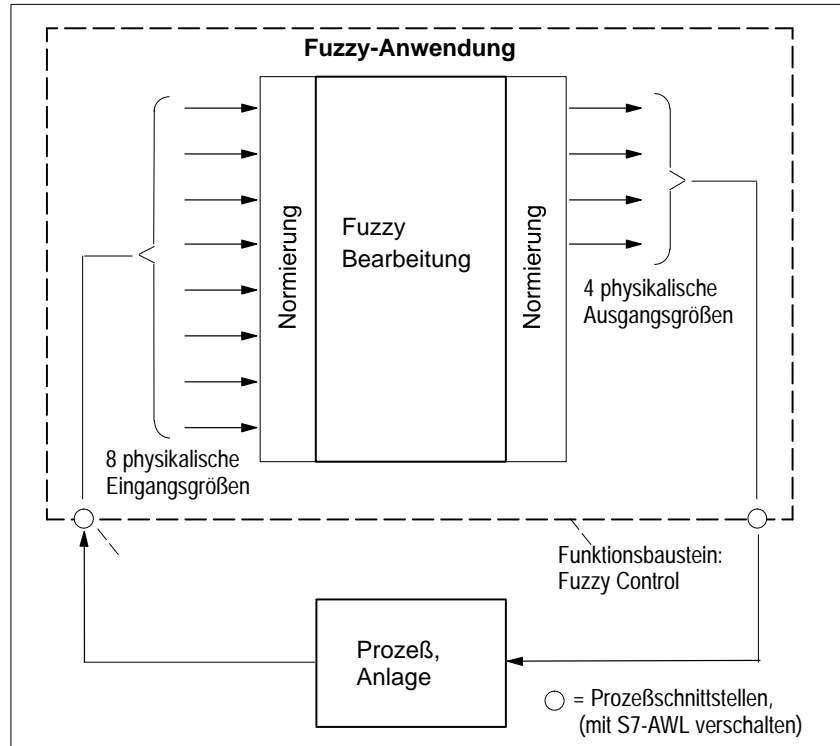
Die angewandten Methoden und Rechenvorschriften sind im *Kapitel 1.4* zusammengefaßt dargestellt.

Prozeßbehandlung durch die Fuzzy-Anwendung

Weil es die Fuzzy-Logik möglich macht, nicht nur zwei binäre Zustände, sondern auch Zwischenwerte zwischen 0 und 1 zu definieren, gelingt eine weit bessere und natürlichere Annäherung der Prozeßbeschreibung an die realen Gegebenheiten. Durch diese Erweiterung des Zugehörigkeitsbegriffs läßt sich das sprachlich formulierte Expertenwissen über die Algorithmen des Funktionsbausteins **Fuzzy Control** berechnen.

Die mit dem Standard-Funktionsbaustein realisierten Fuzzy-Anwendungen sind grundsätzlich reine Softwarelösungen zur Erzeugung digitaler Abtastsysteme. Ihre Ein- und Ausgangswerte werden auf einer CPU (S7-300 oder S7-400) mit Hilfe von digitalen Algorithmen bearbeitet. Sie können vom Betriebssystem der CPU entweder zeitgesteuert oder zyklisch zur Bearbeitung aufgerufen werden. Im Anwenderprogramm werden sie absolut aufgerufen. Die Häufigkeit, mit der eine bestimmte Fuzzy-Anwendung bearbeitet wird, ist abhängig von der Programmbearbeitungsebene.

Der Algorithmus im Prozessor bildet die Fuzzy-Anwendung unter Echtzeitbedingungen nach. Zwischen den Abtastzeitpunkten reagiert das System allerdings nicht auf Änderungen der Prozeßgrößen. Die Ausgangsgrößen bleiben unverändert.



1

Bild 1-5 Fuzzy-Anwendung im Zusammenwirken mit dem Prozeß

Im Bild 1-5 ist der Einsatz einer Fuzzy-Anwendung in einem Steuer- bzw. Regelkreis schematisch dargestellt. Diese Struktur mit Maximalausbau der Ein-/Ausgangskonfiguration vermittelt einen Überblick über mögliche Konfigurationen.

Konfiguration und Struktur von Fuzzy Control

Die Projektierung einer Fuzzy-Anwendung kann man in drei Schritte untergliedern:

- Ein- und Ausgänge definieren;
- Zugehörigkeitsfunktionen festlegen;
- Fuzzy-Regeln aufstellen.

Sie werden mit Hilfe des Werkzeugs "Konfiguration Fuzzy-Control" ausgeführt.

Durch Festlegung der Ein- und Ausgangsgrößen entsteht eine mehrdimensionale Regelung oder Steuerung. Die Strategie der Fuzzy-Anwendung stellt eine mehrdimensionale, rein statische Nichtlinearität mit entsprechend nicht-linearem Kennlinienfeld dar.

Im Anschluß an die Projektierung empfiehlt es sich, einige Offline-Tests durchzuführen, um die richtige Funktions- und Verhaltensweise der Fuzzy-Anwendung zu kontrollieren. Für diesen Zweck gibt es einen parametrierbaren Kurvengenerator, der Dreieckfunktionen oder konstante Zahlenwerte an die gewünschten Eingänge legt.

Jetzt wird das Konfigurationswerkzeug (installiert auf PG/PC) mit der S7-CPU gekoppelt. Der Baustein Fuzzy Control (FB) sowie die Fuzzy-Anwendung, in Form eines Instanz-DB, werden in die Zielhardware geladen. Die Übertragung erfolgt über die MPI-Schnittstelle oder über eine Buskoppelung. Die Ablaufumgebung muß auf dem Zielsystem bereits installiert und in die Systemumgebung eingebunden sein. Die Ein- und Ausgänge sollten bereits im System verschaltet sein.

Nur die ablaufrelevanten Daten werden in die CPU übertragen. Die Bezeichnungen der Ein-/Ausgänge werden nur in die Offline-Datenbasis des PG gespeichert.

Beim Rücklesen einer Fuzzy-Anwendung aus der CPU ohne die entsprechende Offline-Datenbasis werden die formalen ursprünglichen Bezeichner eingesetzt.

Mit Hilfe der Beobachtungsfunktionen im Konfigurationswerkzeug können Sie das Verhalten der Fuzzy-Anwendung unter Echtzeitbedingungen überprüfen. In Form von Zeitdiagrammen werden die Werteverläufe der Ein- und Ausgänge dargestellt. Anhand der Regelwirksamkeiten können Sie Schlußfolgerungen auf die Wirkungsweise der Fuzzy-Anwendung ziehen. Die Meßwerte werden gespeichert, so daß Sie auch rückwirkend eine Analyse vornehmen können.

Diese Funktionalitäten sind bei "Konfiguration Fuzzy Control" in Windows-kompatiblen Fenstern angeordnet und können über Menüs aktiviert werden (*Kapitel 4.1*).

1.3 Die FPL-Sprache

Der FPL-Standard

Fuzzy Control ist keine Insellösung. Als Datenformat zur Speicherung von Fuzzy-Anwendungen wird die FPL-Sprache (Fuzzy Programming Language) verwendet. Der FPL-Standard wurde von der Firma Togai InfraLogic, Inc. spezifiziert und wird in einer Reihe von Fuzzy-Werkzeugen eingesetzt. Durch Nutzung dieses Standards besteht die Möglichkeit, Fuzzy-Projekte zwischen den verschiedenen Entwicklungswerkzeugen austauschen zu können.

Einschränkungen des FPL-Standards bei Fuzzy Control

Das Bearbeitungswerkzeug "Konfiguration Fuzzy Control" verwendet eine Untermenge des FPL-Standards für die Beschreibung von Fuzzy-Anwendungen. Damit können z.B. alle Fuzzy-Anwendungen mit der TIL-Shell bearbeitet werden. Umgekehrt ist mit "Konfiguration Fuzzy Control" nur dann eine Bearbeitung von Projekten der TIL-Shell möglich, wenn Sie sich an die Beschränkungen des Sprachumfangs halten:

- Es ist nur ein Regelwerk zugelassen (Steuerwort FUZZY).
- Es sind keine modularen Fuzzy-Systeme innerhalb einer Fuzzy-Anwendung möglich. Das Steuerwort PACKAGE ist nicht zulässig.
- Es sind maximal 8 Eingänge, 4 Ausgänge sowie 200 Regeln bei 2 Eingängen und 1 Ausgang möglich.
- Jeder Eingang darf maximal 7 Zugehörigkeitsfunktionen enthalten.
- Jeder Ausgang darf maximal 9 Zugehörigkeitsfunktionen enthalten.
- In Fuzzy Control sind zur Namenskennzeichnung 10 Zeichen für Ein-/Ausgänge und 7 Zeichen für die linguistischen Größen signifikant.
- In den Fuzzy-Regeln dürfen nur UND-Verknüpfungen verwendet werden, ODER bzw. NOT sind nicht zulässig.
- Eine Zugehörigkeitsfunktion eines Eingangs darf ausschließlich die Form eines Dreiecks, Trapezes oder Rechtecks haben. Dabei haben bei einer Abbildung mit vier Punkten immer der erste und der vierte Punkt einen Wahrheitsgrad von 0 sowie der zweite und der dritte Punkt einen Wahrheitsgrad von 1. Bei senkrechten Linien ist die Angabe des oberen Punktes ausreichend. Das heißt, eine rechteckförmige Zugehörigkeitsfunktion kann mit nur zwei Punkten beschrieben werden.
- Als Zugehörigkeitsfunktionen der Ausgänge können in Fuzzy Control nur Singleton-Funktionen verarbeitet werden. Bei Eingabe der Daten in der TIL-Shell müssen für die Ausgänge schmale Rechteckfunktionen (Breite = $1/200$ des Gesamtbereiches) gewählt werden, um diese Funktionen in Fuzzy Control verarbeiten zu können.
- Die Koordinaten der Zugehörigkeitsfunktionen müssen in einer Punktliste gespeichert werden. Die Angabe von Gleichungen für Zugehörigkeitsfunktionen ist bei der Bearbeitung mit "Konfiguration Fuzzy Control" nicht zulässig.

**Genutzte FPL-
Steuerworte**

Die folgende Aufstellung gibt die Steuerworte aus der FPL-Syntax an, die von Fuzzy Control genutzt werden.

/*Kommentar*/	Kommentar innerhalb der Zeichenfolge /* . . . */
PROJECT	Beginn eines Projektes mit Projektbezeichnung
VAR	Beginn der Variablenbeschreibung (Ein-/Ausgang)
TYPE	Typ der Variable (in Fuzzy Control immer FLOAT)
MIN, MAX	Grenzwerte für eine Variable
MEMBER	Beginn der Definition einer Zugehörigkeitsfunktion
POINTS	Punktliste einer Zugehörigkeitsfunktion
FUZZY	Beginn des Regelwerks
RULE	Definition einer Regel
IF, IS, AND, THEN, =	Beschreibungselemente einer Fuzzy-Regel
CONNECT	Festlegung der Zuordnungen Eingang, Ausgang, Regelwerk
FROM, TO	Verbindungselemente in CONNECT
END	Ende eines Objektes

**Tolerierte FPL-
Sprachelemente**

Es gibt eine Reihe von Sprachelementen in FPL, die von Fuzzy Control nicht genutzt, aber toleriert werden, d.h. daß diese Steuerworte keiner Funktion in Fuzzy Control entsprechen. FPL-Elemente, die zur Einbindung von Programmteilen in C-Code dienen, werden kommentarlos akzeptiert.

MAP	WARNUNG, keine Felderzeugung möglich
INITIALLY	WARNUNG, Vorbesetzung ist nicht möglich
DEFAULT	WARNUNG, Wertausgabe bei inaktivem Regelwerk ist nicht möglich
OPTIONS	Zusatzinformationen für Objekte
SOURCE	Einbindung von Teilen in C-Code
FRAGMENT	Einbindung von Teilen in C-Code
#CODE..#END_CODE	Einbinden von C-Quellcode

**Beispiel einer FPL-
Datei**

Das folgende Beispiel zeigt eine Fuzzy-Anwendung, die mit "Konfiguration Fuzzy Control" generiert wurde. In diesem Projekt wurden zwei Eingänge und ein Ausgang definiert. Der erste Eingang hat die Bezeichnung **Temperatur**, der zweite Eingang die Bezeichnung **Druck**. Der Ausgang wurde mit **Ventil** bezeichnet. Es sind vier Fuzzy-Regeln definiert.

AWL	Erläuterung
<pre>/*Copyright (c) Siemens AG 1995*/ /*FPL-File generiert von Fuzzy Control am 05.06.95*/</pre>	
<pre>PROCECT FPLTEST VAR Temperatur TYPE float MIN 0.00 MAX 30.00 MEMBER kalt POINTS 0.00,1.0 3.00,1.0 27.00,0.0 END MEMBER heiss POINTS 3.00,0.0 27.00,1.0 30.00,1.0 END END VAR Druck TYPE float MIN 50.00 MAX 100.00 MEMBER klein POINTS 50.00,1.0 55.00,1.0 95.00,0.0 END MEMBER gross POINTS 55.00,0.0 95.00,1.0 100.00,1.0 END END VAR Ventil TYPE float MIN -101.0 MAX 101.0 Member abfluss POINTS -101.0,1.0 -99.0,1.0 END Member zu POINTS -1.0,1.0 1.0,1.0 END MEMBER zulauf POINTS 99.0,1.0, 101.0,1.0 END END END</pre>	

AWL	Erläuterung
<pre> FUZZY ProFuzzy RULE Regel_01 IF (Temperatur IS kalt) AND (Druck IS klein) THEN Ventil = zulauf END RULE Regel_02 IF (Temperatur IS kalt) AND (Druck IS gross) Then Ventil = zu END RULE Regel_03 IF (Temperatur IS heiss) AND (Druck IS klein) Then Ventil = zu END RULE Regel_04 IF (Temperatur IS heiss) AND (Druck IS gross) Then Ventil = abfluss END END CONNECT FROM Temperatur TO ProFuzzy END CONNECT FROM Druck TO ProFuzzy END CONNECT FROM FROM ProFuzzy TO Ventil END END</pre>	

1.4 Methoden und Algorithmen von Fuzzy Control

Hintergrund- informationen

Dieses Kapitel informiert Sie über:

- die von Fuzzy Control verwendeten Methoden bei der Behandlung der Signale,
- die im Fuzzy-FB realisierten Algorithmen für die Berechnung der Ausgangsgrößen.

Falls Sie vorwiegend an der praktischen Bearbeitung und Lösung von Automatisierungsaufgaben mit Fuzzy-Mitteln interessiert sind, ist es nicht notwendig, dieses Kapitel zu lesen.

Der Berechnungsalgorithmus wird zuerst am Beispiel von trapezförmigen Zugehörigkeitsfunktionen für die Ausgänge erläutert. Auf die Besonderheiten der Berechnung von Ausgangswerten mit Singleton-Funktionen wird später eingegangen.

Interner Algorithmus

Der Fuzzy-Algorithmus zur Berechnung von numerischen Ausgangswerten aus einer momentanen Konstellation von numerischen Eingangswerten wird intern in folgenden Teil-Operationen ausgeführt (Bild 1-6):

- Fuzzifizierung (unscharfe Beschreibung des Eingangsgrößen-Verhaltens);
- Inferenz (WENN-, DANN-Regelbearbeitung);
- Defuzzifizierung (Berechnung der Ausgangsgrößen durch Wichtung der DANN-Teile des Regelwerks und Schwerpunktbildung).

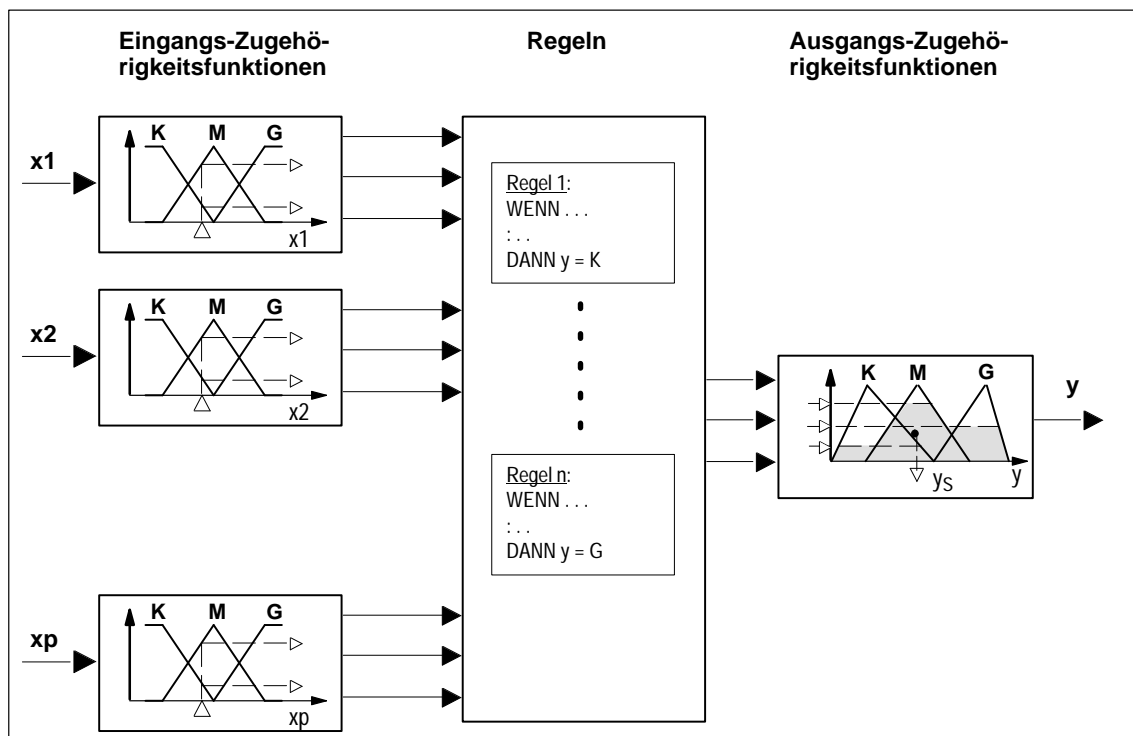


Bild 1-6 Allgemeine Struktur eines Fuzzy-Systems mit p Eingängen, n Regeln und einem Ausgang

Fuzzifizierung und Inferenz

Im ersten Schritt der **Fuzzifizierung** wird von den aktuellen Werten der Eingangssignale ausgehend, eine Berechnung der Wahrheitsgrade für die linguistischen Werte vorgenommen. Im Bild 1-7 ist die Fuzzifizierung der Eingangsgrößen Temperatur und Druck dargestellt. Für die Temperatur ergeben sich als Resultat der Fuzzifizierung die Wahrheitsgrade:

$$\vartheta_{\text{kalt}} = 0, \vartheta_{\text{warm}} = 0.95 \text{ und } \vartheta_{\text{heiss}} = 0.35$$

und für den Druck:

$$p_{\text{klein}} = 0.25, p_{\text{mittel}} = 0.85 \text{ und } p_{\text{gross}} = 0$$

Im nächsten Schritt, der **Inferenz** werden die Fuzzy-Regeln abgearbeitet. Im WENN-Teil einer Regel werden die Wahrheitsgrade, die in der Fuzzifizierung berechnet wurden, durch den Fuzzy-Operator verknüpft. Es gibt verschiedene Operatoren, die im Fuzzy-Algorithmus zur Berechnung der UND- und der ODER-Verknüpfung herangezogen werden können. In den meisten Fällen nutzt man jedoch das **Minimum** zur Berechnung des UND und das **Maximum** für das ODER.

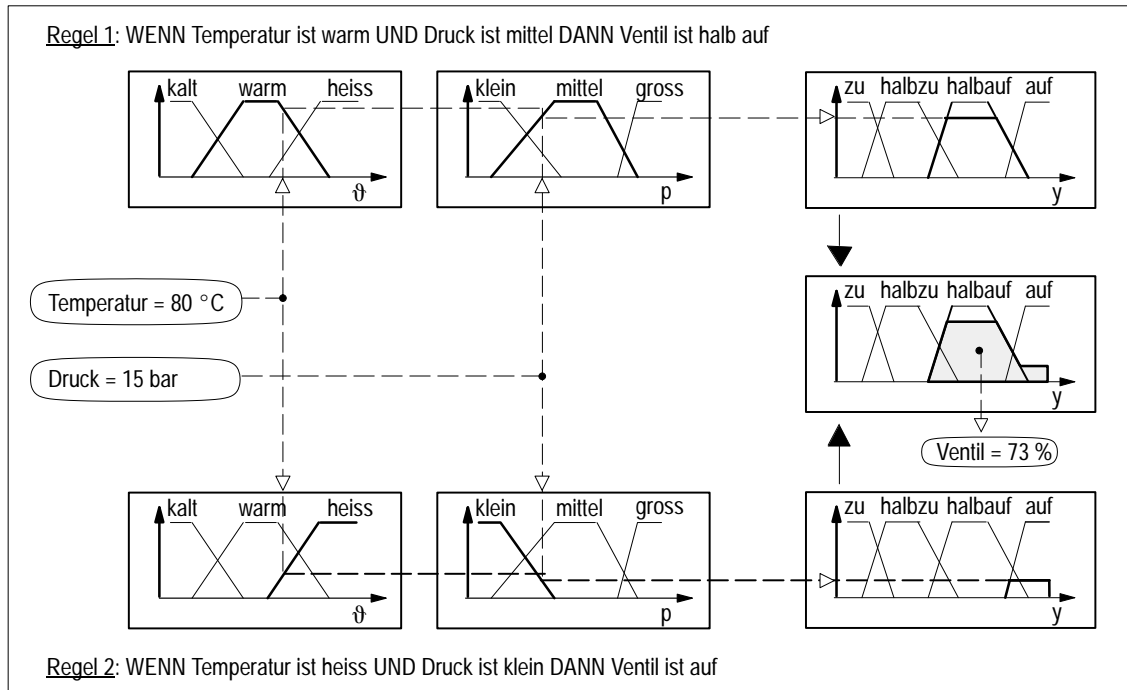
Für gegebene Werte der im WENN-Teil verarbeiteten Eingangsgrößen gilt: Die Zugehörigkeitsfunktion des DANN-Teils wird auf den resultierenden Wert des WENN-Teils begrenzt. Die Zugehörigkeitsfunktion einer Regel wird bei Fuzzy Control mit der Minimum-Bildung als Rechenvorschrift ermittelt.

Im Beispiel wird bei der Regel 1

$$\vartheta_{\text{warm}} = 0.95 \text{ und } p_{\text{mittel}} = 0.85 \text{ durch UND verknüpft} = 0.85$$

Für die Regel 2 gilt:

$$\vartheta_{\text{heiss}} = 0.35 \text{ und } p_{\text{klein}} = 0.25 \text{ durch UND verknüpft} = 0.25$$



1

Bild 1-7 Fuzzy-Bearbeitung der Eingangsgrößen 'Temperatur' und 'Druck' und der Ausgangsgröße 'Ventil'

Das anschließende Zusammenfügen der Zugehörigkeitsfunktionen mehrerer Regeln wird insgesamt als Inferenz bezeichnet. Hierfür wird eine ODER-Verknüpfung bzw. Maximum-Bildung als Rechenvorschrift eingesetzt. Mit Hilfe dieser gebräuchlichen Max-Min-Inferenz-Methode wird eine Kompositionsoption realisiert. Diese Operation läßt die Wirkungsanteile aller Regeln zur Geltung kommen. Die Überlagerungen der abgeschnittenen Zugehörigkeitsfunktionen verschiedener Regeln werden zu einer resultierenden Zugehörigkeitsfunktion zusammengefaßt (Polygonzug, Bild 1-7 rechts).

Defuzzifizierung

Ergebnis der Inferenz- und Kompositionsmethoden von Fuzzy Control ist wiederum eine unscharfe Ausgangsgröße: Für gegebene Momentanwerte der Eingangsgrößen wird als Ausgangsinformation des Regelwerks eine Zugehörigkeitsfunktion geliefert. Bei Fuzzy-Anwendungen muß diese unscharfe Information in einen repräsentativen Zahlenwert umgesetzt werden, da z.B. ein Stellglied eine Zugehörigkeitsfunktion nicht verarbeiten kann. Diese Zahlenwertermittlung wird **Defuzzifizierung** genannt.

Für die Berechnung der Ausgangswerte werden zunächst die Zugehörigkeitsfunktionen des betreffenden Ausgangs mit den aktuellen Wahrheitsgraden gewichtet.

Diese Wichtung kann man nach unterschiedlichen Methoden vornehmen:

- Einfaches Abschneiden der Zugehörigkeitsfunktionen nach Maßgabe des DANN-Teils der betreffenden Regelauswertung (Bild 1-7).
- Die Multiplikation der Zugehörigkeitsfunktionen mit dem Wahrheitsgrad.

Die Vor- und Nachteile beider Methoden werden noch erläutert.

Im dritten Berechnungsschritt, der Defuzzifizierung, muß also das Ergebnis des WENN-Teils als Wahrheitsgrad für den DANN-Teil einer Regel angesetzt werden. Mit anderen Worten heißt das, der DANN-Teil muß mit den Ergebnissen des WENN-Teils gewichtet werden.

Im Beispiel werden als Ergebnisse gefordert:

Regel 1: Ventil = halbauf, mit einem Wahrheitsgrad 0.85 und

Regel 2: Ventil = auf, mit einem Wahrheitsgrad 0.25.

Entsprechend der Gewichtung der Wahrheitsgrade muß eine Stellgröße für das Ventil berechnet werden. Sie muß zwischen "halbauf" und "auf" liegen, wobei der linguistischen Größe "halbauf" mehr Gewicht zukommt.

Die dafür häufig angewandte **Schwerpunkt-Methode** ermittelt den Ausgangswert. Er wird als Abszissenwert des Schwerpunktes der unter der Ausgangs-Zugehörigkeitsfunktion gelegenen Fläche errechnet. Aus den gewichteten Flächenanteilen wird eine Vereinigungsfläche gebildet. Der Flächenschwerpunkt dieser resultierenden Fläche ist das defuzzifizierte Ergebnis, das als Stellwert an den Prozeß ausgegeben wird. Im Beispiel (Bild 1-7) repräsentiert der Schwerpunkt eine Ventilöffnung von 73 %.

Die Schwerpunkt-Berechnung

Die allgemeine Berechnungsvorschrift für die Koordinate x_s des Schwerpunktes $S(x_s, y_s)$ eines Flächenstücks, das unter einer Funktion $y = f(x)$ zwischen $x = x_A$ und $x = x_E$ liegt, lautet in der Mathematik folgendermaßen:

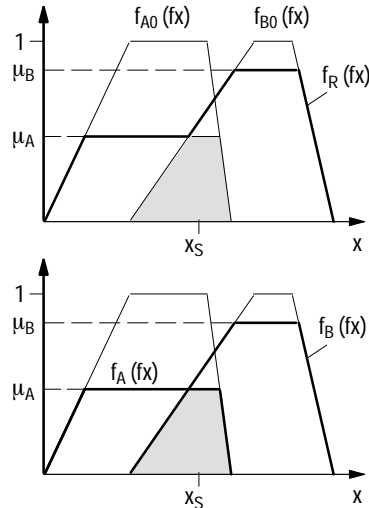
$$x_s = \frac{\int_{x_A}^{x_E} x f_R(x) dx}{\int_{x_A}^{x_E} f_R(x) dx}$$

Probleme bei der Defuzzifizierung

1. Beim Abschneiden der Zugehörigkeitsfunktionen müssen die Schnittpunkte der Ausgangsfläche mit der horizontalen Geraden (die dem Wahrheitsgrad entspricht) berechnet werden.
2. Bei der Bildung der Vereinigungsfläche müssen die Schnittpunkte der Ausgangs-Zugehörigkeitsfunktionen der einzelnen Fuzzy-Regeln (Polygonverläufe) ermittelt werden.
3. Für die Berechnung des Schwerpunktes muß eine aufwendige Integration (siehe oben) durchgeführt werden.

Aus diesen Gründen ist es zweckmäßig, Verfahren einzusetzen, die mit möglichst geringem Speicheraufwand schnell zu berechnen sind. Ausgangspunkt für den Berechnungsansatz sind abgeschnittene Flächensegmente für die Bildung der Vereinigungsfläche.

22



Die beiden Flächenanteile der Ausgangszugehörigkeitsfunktionen überlappen sich im schraffierten Bereich. Bei Berechnung der Vereinigungsfläche wird dieser Bereich nur einmal berücksichtigt.

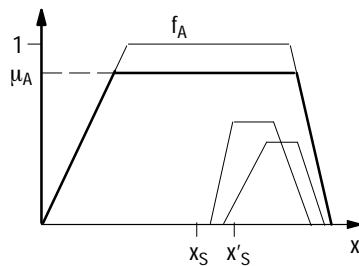
Betrachtet man dagegen beide Teilflächen getrennt, entfällt die Berechnung der resultierenden Funktion f_R (Polygonzug). Daher wird anstelle einer ODER-Verknüpfung der beiden Flächen eine Summation ausgeführt. Dadurch gehen überlappende Flächenelemente mehrfach in die Berechnung ein.

1

Die Berechnung des Schwerpunktes erfolgt nach der folgenden Beziehung

$$x_S = \frac{\int x f_A(x) dx + \int x f_B(x) dx + \dots}{\int f_A(x) dx + \int f_B(x) dx + \dots}$$

Ob man in der Berechnung die überlappenden Anteile nur einmal (ODER-Verknüpfung) oder mehrfach (Summation) berücksichtigt, hat natürlich einen Einfluß auf das Ergebnis. Je nach Auffassung kann man der einen oder der anderen Methode den Vorzug geben.

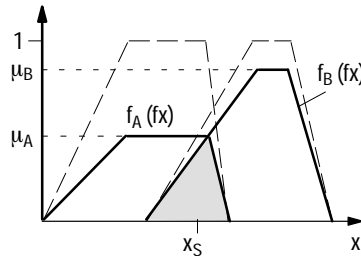


Das nebenstehende Bild zeigt einen Extremfall von Überlappungen, bei dem sich die Flächenanteile von Zugehörigkeitsfunktionen komplett innerhalb einer anderen Zugehörigkeitsfunktion befinden. Bei Nichtberücksichtigung der Überlappungen ergibt sich der Flächenschwerpunkt x_S .

Werden die innenliegenden Anteile additiv berücksichtigt, dann erhält man einen Schwerpunkt mit der Koordinate x'_S . Wird die Funktion f_A als dominant angesehen, ist x_S die bessere Lösung. Soll dagegen der Einfluß der Fuzzy-Regeln (die die innenliegenden Anteile erzeugen) berücksichtigt werden, dann würde x'_S ein besseres Ergebnis liefern.

Wichtung durch Multiplikation

Werden die Flächenanteile getrennt berechnet und die Überlappungen additiv behandelt, so vereinfacht dies die Berechnung des Schwerpunktes. Für die Wichtung der Zugehörigkeitsfunktion mit den Wahrheitsgraden wird die Multiplikation verwendet.



Für die Berechnung der gewichteten Flächenanteile f_A und f_B und des Schwerpunktes ergibt sich somit:

$$f_A(x) = \mu_A \cdot f_{A0}(x)$$

$$f_B(x) = \mu_B \cdot f_{B0}(x)$$

$$x_{S'} = \frac{\mu_A \int x f_{A0}(x) dx + \mu_B \int x f_{B0}(x) dx + \dots}{\mu_A \int f_{A0}(x) dx + \mu_B \int f_{B0}(x) dx + \dots}$$

Innerhalb der Integrale der Gleichung für die $x_{S'}$ -Berechnung sind nur noch die Ursprungsfunktionen vorhanden. Da diese Funktionen nicht mehr von den Eingangsgrößen des Prozesses abhängen, kann die Integration bereits während der Generierung des Projektes offline ausgeführt werden. Die Integrale im Zähler entsprechen einem Drehmoment M , die Integrale im Nenner einem Flächenanteil A . Unter diesen Annahmen vereinfacht sich die Berechnung weiter. Es gilt:

$$x_{S'} = \frac{\mu_A M_{A0} + \mu_B M_{B0} + \dots}{\mu_A A_{A0} + \mu_B A_{B0} + \dots}$$

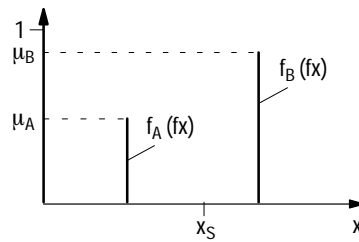
In dieser Gleichung gehen nur noch die Momentenanteile M und die Flächenanteile A von den Zugehörigkeitsfunktionen der Ausgänge in die Berechnung ein. Die Form der Zugehörigkeitsfunktion hat keinen Einfluß mehr auf das Berechnungsergebnis. Lediglich Flächengröße und Lage auf der x -Achse sind entscheidend.

Singleton-Funktionen

Ausgehend von der letzten Gleichung, fehlt nur ein kleiner Schritt zur Berechnungsmethode mit Singleton-Funktionen:

- Wählen Sie die Zugehörigkeitsfunktionen f_{A0} und f_{B0} , die von x unabhängig sind. (Dazu gehören z.B. Rechtecke mit einem Funktionswert von 1.)
- Jetzt können Sie f_{A0} und f_{B0} vor die Integrale ziehen und kürzen.
- Lassen Sie dann die Breite der Rechtecke gegen Null gehen und führen Sie einen Grenzübergang durch.

In der Gleichung bleibt jetzt nur noch eine Abhängigkeit von der x -Lage erhalten.



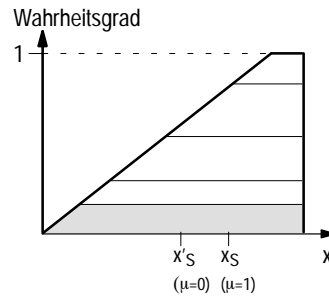
Es ist eine Beziehung entstanden, die am anschaulichsten mit der Geometrie von "Strichfunktionen" oder **Singletons** interpretiert werden kann:

$$x_S = \frac{\mu_A x_A + \mu_B x_B + \dots}{\mu_A + \mu_B + \dots}$$

Bei Fuzzy Control wird diese Berechnungsmethode für die Defuzzifizierung angewandt. Die Berechnung der Ausgangswerte mit Singleton-Funktionen bietet eine Reihe von Vorzügen für die Fuzzy-Anwendung:

1. Sie ist einfach, schnell und benötigt geringen Speicherplatz.
2. Es ist wesentlich leichter, anstelle von flächenhaften Gebilden Singletons für einen Ausgang zu definieren. Werden Singleton-Funktionen verwendet, ist z.B. der Wert von "Ventil = zu" tatsächlich Null.

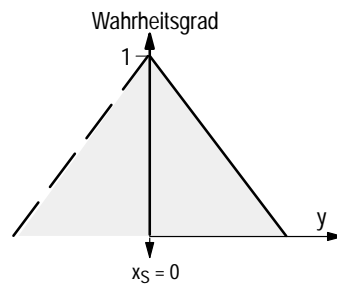
Ein weiterer Nebeneffekt bei der Anwendung flächiger Zugehörigkeitsfunktionen bewirkt Folgendes:



Werden unsymmetrische Flächen und die Methode des Abschneidens verwendet, dann ist der Schwerpunkt der Einzelfläche (!) vom Wahrheitsgrad abhängig. Wirkt beispielsweise nur eine einzige Regel, die "Ventil = zu" fordert, dann ist der Ausgabewert von der Stärke der Regelaktivität abhängig.

3. Bei der Verwendung von Flächengebilden als Zugehörigkeitsfunktionen für die Ausgänge kann der Wertebereich nur unvollständig ausgenutzt werden. Grund dafür ist die Tatsache, daß der Schwerpunkt einer Fläche nicht am Rand liegt.

Wenn Sie nun einen Bereich von **Minimum** bis **Maximum** definieren und Flächenfunktionen einsetzen, erhalten sie einen Ausgabewert, der die Bereichsgrenzen erreicht.



Um dieses Problem zu lösen, werden die Zugehörigkeitsfunktionen am Rand an den Werten von Minimum und Maximum gespiegelt. Damit wird der Schwerpunkt der Randfunktionen künstlich auf Minimum bzw. Maximum gelegt. Dieses Verfahren ändert Ihre Dateneingaben.

4. Für die Verwendung von Singleton-Funktionen spricht auch, daß sie die Verarbeitung unscharfer Informationen mit Fuzzy-Methoden nicht beeinträchtigen.

Aus den Herleitungen für die Algorithmen geht hervor, daß die Form der definierten Zugehörigkeitsfunktionen nur die Eingänge entscheidend beeinflusst. Ihre Form ist an den Ausgängen von untergeordneter Bedeutung. Bei der Defuzzifizierung der Ausgangsinformationen werden durch die Wichtung der Zugehörigkeitsfunktionen und durch die Berechnung des Schwerpunktes die erforderlichen "weichen" Fuzzy-Übergänge erreicht.

Das Beispiel in Bild 1-7 nimmt damit bei Realisierung durch **Fuzzy Control** folgende Form an (Bild 1-8):

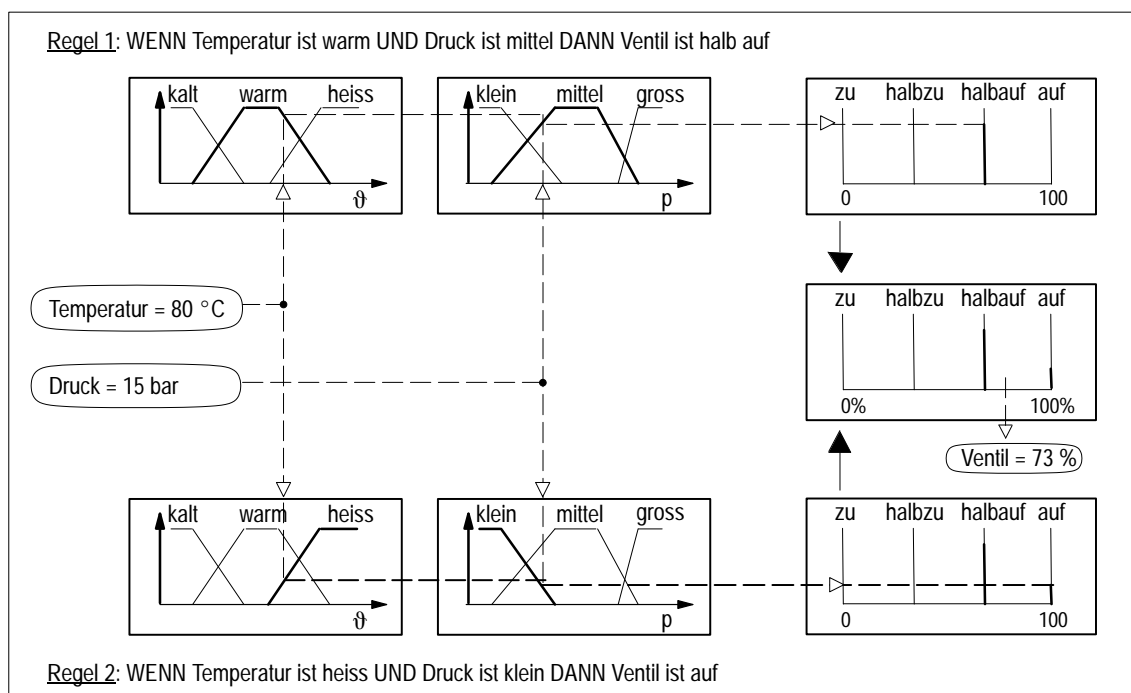


Bild 1-8 **Fuzzy Control**-Bearbeitung eines Regelwerks mit zwei Eingangsgrößen und einer Ausgangsgröße

1.5 Systemreaktionen in Grenzfällen

Fragen, die bei der Konfiguration auftreten können

Bei der Anwendung von Fuzzy Control ergeben sich je nach Konfiguration wahrscheinlich einige Fragen, deren Beantwortung im folgenden vorweggenommen wird.

Was passiert, wenn in einer Fuzzy-Anwendung nur der WENN-Teil einer Regel vorhanden ist, aber kein DANN-Teil?

Eine Regel ohne DANN-Teil hat keinen Einfluß auf den Ausgangswert, benötigt aber Abarbeitungszeit auf dem Zielsystem. Deshalb können Sie zu Testzwecken den DANN-Teil durchaus löschen und den WENN-Teil erhalten. Solche Fragmente sollten aber aus dem entgeltigen System entfernt werden.

Was passiert, wenn in einer Fuzzy-Anwendung nur der DANN-Teil einer Regel vorhanden ist, aber kein WENN-Teil?

Eine Regel ohne WENN-Teil hat durchaus einen Einfluß auf das Ausgangsergebnis und kann auch sinnvoll in einer Fuzzy-Anwendung eingesetzt werden. Ist kein WENN-Teil vorhanden, wirkt auf den DANN-Teil immer ein Wahrheitsgrad von 1. Das heißt, diese Regel wirkt immer so, als wären die Bedingungen des WENN-Teils voll erfüllt.

Was passiert, wenn bei der Abarbeitung keine einzige Regel für einen Ausgang aktiv ist?

Wenn keine einzige Regel aktiv ist, dann ist der Wert des entsprechenden Ausgangs undefiniert. Da "undefiniert" aber kein numerischer Wert ist, muß irgendein Ersatzwert am Ausgang erscheinen. Die zwei häufigsten Maßnahmen sind in diesem Fall einerseits die Ausgabe eines Vorzugswertes und andererseits die Ausgabe des letzten definierten Wertes. Bei Fuzzy Control wird der letzte definierte Wert ausgegeben.

Was passiert, wenn keine Fuzzy-Regel eingegeben wurde oder alle Spalten der Regeltabelle leer sind?

Es ist der gleiche Zustand der Fuzzy-Anwendung wie bei der vorhergehenden Frage. Da keine Regel eingegeben ist, kann auch keine Regel einen Beitrag zum Ausgangssignal liefern. Die Ausgänge sind undefiniert und der letzte definierte Zustand wird beibehalten. Wenn es vorher keinen definierten Zustand gab, haben alle Ausgänge den Wert Null.

Was passiert, wenn in der CPU Signale beobachtet werden müssen, die keine Eingänge der Fuzzy-Anwendung sind?

Bei Fuzzy Control können insgesamt acht Eingänge definiert werden. Diese Maximalanzahl wird nur in wenigen Fällen benötigt. Möchten Sie nun Signale beobachten, die keine Eingänge der Fuzzy-Anwendung sind, so können Sie diese Signale auf freie Eingänge schalten und mit den Mitteln von "Konfiguration Fuzzy Control" beobachten. Für diese "Beobachtungseingänge" müssen Sie lediglich die Grenzen des Wertebereiches und den Namen festlegen.

Zugehörigkeitsfunktionen werden nicht definiert. Um die optimale Rechenzeit der CPU beizubehalten, sollten Sie diese "Beobachtungseingänge" ans Ende der Liste der Eingänge legen.

Was passiert, wenn ein Eingangssignal außerhalb der festgelegten Grenzen liegt?

Sind Eingangssignale kleiner als das definierte Minimum oder größer als das definierte Maximum, so legt Fuzzy-Control sie auf den Wert der jeweiligen Grenze. Damit zeigt eine Fuzzy-Anwendung bei Prozeßdatenwerten außerhalb der Grenzen des Wertebereiches das gleiche Verhalten wie an den Grenzwerten.

Produktübersicht

2

Was finden Sie in diesem Kapitel?

Dieses Kapitel beschreibt

- den Zweck und die Leistungen
- die Struktur
- die Einsatzumgebung von Fuzzy Control

2.1 Zweck und Leistungen von Fuzzy Control

Zweck

Die Realisierung von Automatisierungsaufgaben mit konventionellen Regelungskonzepten ist nur mit eingeschränkten Ergebnissen bzw. Kompromissen bezüglich der Regelqualität möglich. Das Softwarepaket "Fuzzy-Control" bietet mit seinen vielseitigen Einsatzmöglichkeiten eine sehr moderne Alternative zur Lösung von Automatisierungsaufgaben an. Das gilt insbesondere dann, wenn es sich um Prozesse mit nichtlinearem Verhalten handelt, deren Eigenschaften sich arbeitspunktabhängig stark verändern. Fuzzy Control verspricht außerdem besonders dann erfolgreiche Lösungen, wenn eine Ausgangsgröße von mehr als nur einer Prozeßgröße abhängt.

Leistungen

Fuzzy-Anwendungen sind mit Fuzzy Control realisierbare Automatisierungsfunktionen. Sie sind in ihrem vollen Leistungsumfang mit allen Algorithmen fertig programmiert und in einem S7-Standard-Funktionsbaustein enthalten. Dieser Funktionsbaustein kann auf allen Simatic S7-300- und S7-400-Automatisierungssystemen eingesetzt werden. Er wird zeitgesteuert oder nach Aufruf durch das Anwenderprogramm abgearbeitet.

Zur Projektierung einer Fuzzy-Anwendung und Anpassung an die konkreten Prozeßanforderungen steht Ihnen das komfortable Werkzeug 'Konfiguration Fuzzy Control' zur Verfügung. Wenige, leicht zu handhabende Bearbeitungsmenüs in den Dialog-Fenstern der Bedienoberfläche führen Sie schrittweise durch eine Anwendungserstellung. Der Projektierungsaufwand beschränkt sich auf das Benennen von Variablen, das Festlegen von Wertebereichen und Funktionskoordinaten sowie auf das Ausfüllen von Regeltabellen.

Mit dem Softwarepaket 'Fuzzy Control' läßt sich eine Fuzzy-Anwendung oder speziell ein Fuzzy-Regler für eine bestimmte Automatisierungsaufgabe projektieren. Der Funktionsinhalt von Fuzzy-Control wird mit einem Regelwerk bzw. einer Regelbasis frei bestimmt, für die bis zu 200 WENN → DANN-Beziehungen formuliert werden können.

Für die Automatisierung technischer Prozesse kann die prinzipielle Struktur einer Fuzzy-Anwendung entsprechend Bild 2-1 aussehen. Sie erzeugt aus aufbereiteten Eingangsgrößen nach Maßgabe eines Regelwerks Ausgangsgrößen, die den Prozeß in geeigneter Weise beeinflussen. Sein Entwurf basiert ausschließlich auf empirischem Prozeßwissen, das umgangssprachlich formuliert sein kann. Deshalb sind Theoriekenntnisse über Differentialgleichungen, Übertragungsfunktionen usw. zum Verständnis eines Fuzzy-Systems nicht erforderlich.

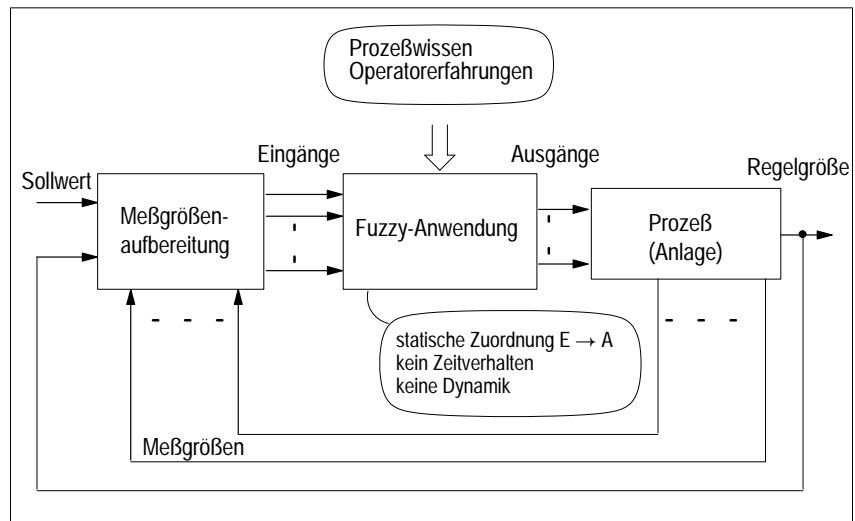


Bild 2-1 Schema einer Fuzzy-Regelung

2

Neben seiner Einsatzmöglichkeit als Regler - insbesondere als Kennfeldregler - kann das Fuzzy-System auch in Automatisierungsstrukturen einbezogen werden. Es kann hier zur Bildung von Steuergrößen und zur gezielten Korrektur von Systemparametern beitragen.

2.2 Struktur

Die Produktstruktur

Zum Lieferumfang von Fuzzy Control auf Diskette gehören Standard-Funktionsbausteine mit Datenbasis zusammen mit einem vorkonfektionierten Beispiel für eine charakteristische Anwendung.

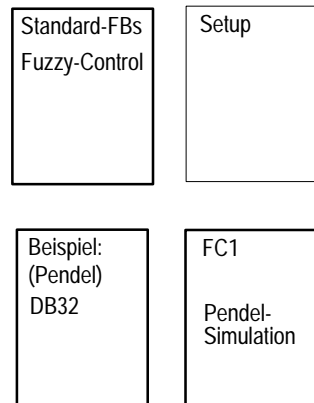


Bild 2-2 Inhalt des Softwareproduktes Fuzzy Control

- Der Standard-FB **Fuzzy Control** enthält die erforderlichen Algorithmen zur Fuzzifizierung, Regelauswertung, Inferenzbildung und Defuzzifizierung eines leistungsfähigen Fuzzy-Systems.
- Die Instanz-DBs mit fertig konfigurierten Beispielen sind ablauffähig lad- und aufrufbar. Das Beispiel "Pendel" ist ergänzt durch eine Software-Simulation des Pendels (FC), so daß ein geschlossener Regelkreis gebildet werden kann.

Außerdem enthält das Softwarepaket ein **Setup-Programm** für das Installieren von "Fuzzy Control" auf PG/PC.

Die Programm- und Datenstruktur

Das Softwareprodukt 'Fuzzy Control' besteht im wesentlichen aus einem Funktionsbaustein (FB), der die Prozeduren und Algorithmen zur Bildung des Verhaltens von Fuzzy-Anwendungen enthält. Es handelt sich also um ein Automatisierungsmittel auf Softwarebasis, bei dem ein Standard-Funktionsbaustein die komplette Funktionalität einer Fuzzy-Anwendung mit mehreren Ein-/Ausgängen verkörpert.

Das Verhalten der konkreten Anwendung wird durch logische Algorithmen und numerische Berechnungen des Funktionsbausteins realisiert. Die für diese zyklischen Berechnungen benötigten Daten sind in einem anwendungsspezifischen Datenbaustein hinterlegt. Zur Erzeugung mehrerer Fuzzy-Anwendungen wird nur ein FB benötigt

Jede Fuzzy-Anwendung wird durch einen **Instanz-DB** repräsentiert, der applikationsabhängig zu erstellen ist. Bei Nutzung des Konfigurationswerkzeugs wird diese DB-Erstellung 'implizit' vorgenommen. Das heißt, die Auslegung einer spezifischen Anwendung beschränkt sich auf das Festlegen der Ein-/Ausgänge, der Zugehörigkeitsfunktionen und des Regelwerks in den Bearbeitungsfenstern der Bedienoberfläche.

Die Berechnung der Algorithmen für eine bestimmte Fuzzy-Anwendung geschieht im Prozessor des S7-Automatisierungssystems (AS), und zwar nach absolutem Aufruf durch das Anwenderprogramm oder zyklisch in zeitgesteuerten Intervallen. Die Berechnungsergebnisse (Meß- und Stellgrößen) werden im zugehörigen Instanz-DB hinterlegt bzw. an die Prozeßperipherie übergeben.

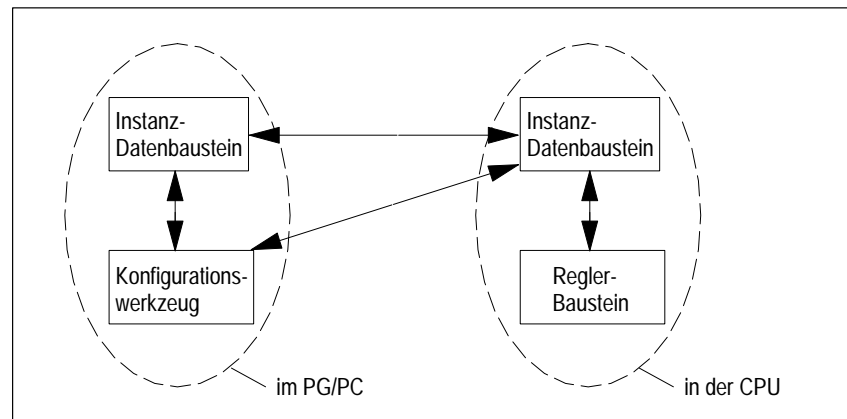


Bild 2-3 Datenstruktur

2.3 Einsatzumgebung

Hard- und Software-Voraussetzungen

Das Softwareprodukt "Fuzzy Control" kann auf allen Simatic S7-Programmiergeräten genutzt werden, auf denen die STEP 7-Programmiersoftware geladen ist.

Die Generierung und Inbetriebnahme von Fuzzy-Anwendungen werden mit einem Programmiergerät vorgenommen. Dieses wird mit der CPU im Ziel-Automatisierungssystem entweder direkt über eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung (MPI) oder über den LAN-Bus (Sinec L2 bzw. Sinec H1) und eine Kommunikationsbaugruppe (CP) gekoppelt. Wenn das PG keine MPI-Baugruppe enthält, benötigen Sie für die direkte Verbindung ein PC/MPI-Kabel, das an der Kommunikationsschnittstelle des PG angeschlossen wird.

Die mit dem Softwarepaket "Fuzzy Control" erzeugten Fuzzy-Anwendungen sind auf den Zentralbaugruppen (CPU mit Gleitpunkt und Zeitalarm) der S7-300- und der S7-400-Familie ablauffähig.

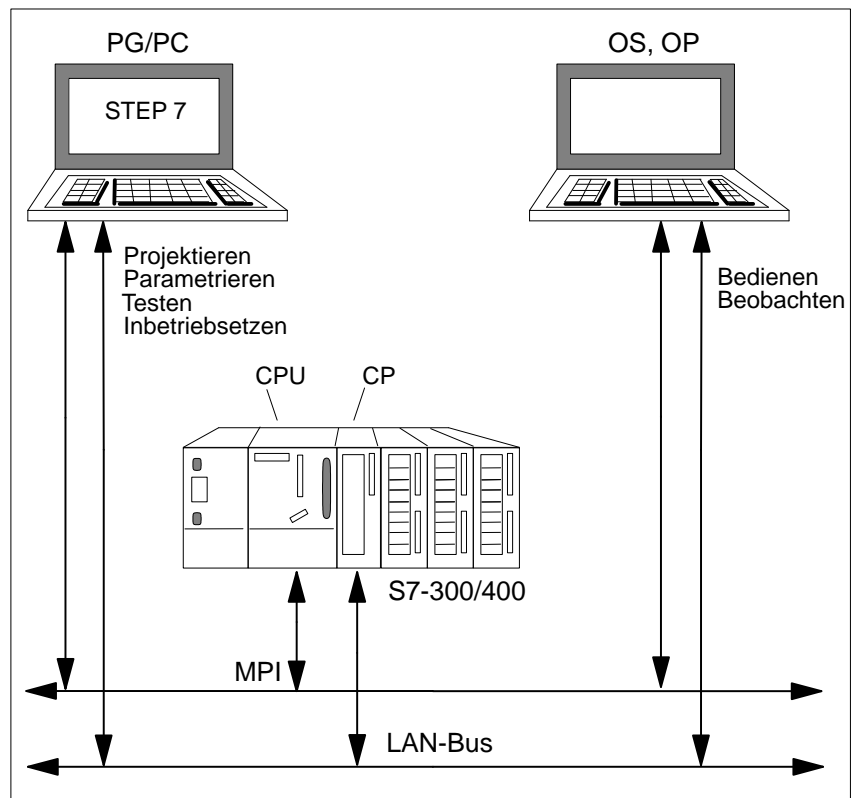


Bild 2-4 Einsatzumgebung des SW-Pakets "Fuzzy Control"

Systemgrößen

Bei der Software-Realisierung von Fuzzy-Funktionen handelt es sich immer um rechenaufwendige Operationen (Wortverarbeitung). Es ist daher wichtig, die jeweilige CPU auf ihre Belastbarkeit zu testen. Siehe dazu die technischen Daten in *Kap.3.4* .

- Die Schnelligkeit der Bearbeitung von konkreten Fuzzy-Anwendungen hängt ausschließlich von der Leistung der verwendeten CPU ab.

Bei einer gegebenen CPU ist jeweils ein Kompromiß zu treffen zwischen der Anzahl der Fuzzy-Anwendungen und der Häufigkeit, mit der ein einzelnes System bearbeitet werden soll. Je öfter die Ausgangsgrößen pro Zeiteinheit errechnet werden müssen, um so geringer ist die Anzahl der installierbaren Fuzzy-Anwendungen.

- Die benötigte Größe des Anwenderspeicherbereichs und die damit theoretisch installierbare Anzahl von Fuzzy-Anwendungen (bei 50 % Ausnutzung des Arbeitsspeichers durch die Automatisierungsaufgaben) kann aus dem Codeumfang des Fuzzy-FB und der Länge des Instanz-DB ermittelt werden.

Erstellungsumgebung

Die Hard- und Software-Umgebung für die Erstellung und Konfiguration des Regler-Bausteins wird im *Kapitel 4.3* beschrieben.

Die Funktionsbausteine Fuzzy Control

3

Was finden Sie in diesem Kapitel?

Dieses Kapitel beschreibt

- die Funktionsbausteine Fuzzy Control
- die technischen Daten von Fuzzy Control

3.1 Der Funktionsbaustein FUZZY

Allgemeines zur Funktionalität

Im Standard-Funktionsbaustein FUZZY sind alle Algorithmen und Verfahren implementiert, die zum Funktionsumfang einer leistungsfähigen Fuzzy-Anwendung gehören:

- Fuzzifizierung der Eingänge,
- Bearbeiten der Regeln,
- Defuzzifizierung und Wertausgabe an den Ausgängen.

Im Regelwerk bzw. in der Regelbasis werden

- max. 8 Eingänge mit jeweils bis zu 7 Zugehörigkeitsfunktionen,
- und max. 4 Ausgänge mit je bis zu 9 Zugehörigkeitsfunktionen
- sowie einer wählbaren Anzahl von Regeln bearbeitet (maximal 200 Regeln bei 2 Eingängen und 1 Ausgang).

Kenntnisse

Zur Erstellung eines Systems gehören:

- die Definition der Zugehörigkeitsfunktionen,
- die Formulierung der Regeln,
- der zeitgerechte Aufruf durch das Systemprogramm.

Sie erstellen ein System weitgehend ohne Programmierung mit Hilfe eines Konfigurationswerkzeugs. Kenntnisse über den Umgang mit STEP 7 sind jedoch erforderlich.

Die Funktionalität von Fuzzy Control ist sinnvoll auf die Definition und Ausführung von Kernfunktionen der Fuzzy-Theorie begrenzt. Daher sind Fuzzy-Anwendungen auf der Basis von Fuzzy Control leicht zu projektieren. Diese Aussage bezieht sich jedoch nur auf die Aktivitäten und Arbeitsgänge, die zur formalen Erstellung eines Projektes erforderlich sind.

Dies gilt nicht für:

- die quantitative Festlegung der Zuordnungen von Werten der Eingangsgrößen zu unscharfen Mengen und
- die qualitative Aufstellung der Regeln, wie diese Mengen auf unscharfe Mengen der Ausgangsgrößen abgebildet werden sollen.

Unerläßliche Voraussetzung für eine erfolversprechende Bewältigung dieses Teils der Projektierungsarbeit ist empirisches Wissen über das Prozeßverhalten oder Operatorerfahrung mit manueller Fahrweise der betreffenden Anlage.

Die Bausteinstruktur

Ein Instanz-Datenbaustein in der CPU des Automatisierungssystems bildet die Schnittstelle zwischen dem Funktionsbaustein, dem Konfigurationswerkzeug und dem Anwender. In diesen Datenbaustein müssen Sie vor dem Aufruf des FB die Adressen der Eingänge eintragen. Nach Bearbeitung durch den FB können Sie dann die Werte, die an den Ausgängen hinterlegt wurden, aus dem Instanz-DB auslesen.

Die Zugehörigkeitsfunktionen und die Regeln werden vom Konfigurationswerkzeug 'implizit' in den Instanz-DB eingetragen. Sie können mehrere Fuzzy-Anwendungen in eine CPU übertragen und betreiben. Jede Anwendung ist in einem separaten DB abgelegt, die Nummer des Datenbausteins kann frei vergeben werden.

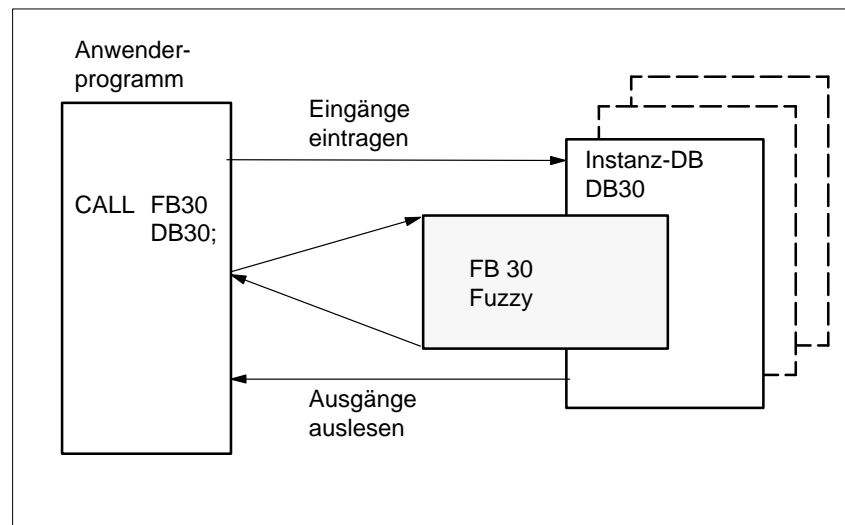


Bild 3-1 Struktur der Bausteinaufrufe

3

Aufruf des FB FUZZY

1. Der Funktionsbaustein **FUZZY** muß vom Anwender aufgerufen werden. Der Aufruf kann in der zyklischen und/oder in einer zeitgesteuerten Programmbearbeitungsebene erfolgen. Der FB muß absolut aufgerufen werden.
2. Beim Aufruf des Funktionsbausteins müssen Sie den gewünschten Instanz-Datenbaustein (Fuzzy-DB) angeben, der die anwendungsspezifische Fuzzy-Anwendung enthält, die über das Konfigurationswerkzeug erstellt wurde.
3. Sie brauchen nur die vom Regelwerk benötigten Parameter anzugeben. Nicht belegte Ein- oder Ausgänge müssen nicht beschaltet werden.
4. Beispiel:
Ein minimaler Aufruf mit dem Parameter INFO hätte folgendes Listing:

AWL	Erläuterung
CALL FB30, DB30	
(INFO := MB30);	

Bei einer neuen Fuzzy-Anwendung muß der FB zuerst Identifikationen in den Datenbaustein eintragen. Erst nach diesen Eintragungen wird der Datenbaustein als Fuzzy-Datenbaustein vom Konfigurationswerkzeug erkannt und bearbeitet.

Hinweise

Die Nummer des Funktionsbausteins FUZZY können Sie - im Rahmen der CPU - frei vergeben. Die Voreinstellung ist FB30. Das Umbenennen darf nur im Folgedialog "Funktionsbaustein Typbeschreibung" des Menüpunktes "Speichern unter" erfolgen.

Der FB "Fuzzy" muß im Anwenderprogramm absolut aufgerufen werden. Die Steuerung erfolgt über die Variable START_STOP im Instanz-DB.

**Externe
Versorgung der
E/A**

Ein externer Zugriff auf die Fuzzy-Anwendung im Programm kann erfolgen, nachdem ein Datenbaustein als Instanz erzeugt und ein Name in der Symbolik vergeben wurde.

Beispiel:

```

..
..
T      "Pendel" . INPUT1
..
L      "PENDEL" . OUTPUT2
..
usw
    
```

**Bearbeitungs-
steuerung**

Die Bearbeitungssteuerung der Fuzzy-Anwendung muß über die Variable START_STOP im Datenbaustein erfolgen. Diese Variable kann gesteuert oder ausgewertet werden. Auch das Konfigurationswerkzeug verändert die Variable START_STOP.

Sie können über den Wert der Variable START_STOP die Bearbeitung der Fuzzy-Anwendung direkt beeinflussen:

START_STOP	Bedeutung
= W#16#0000	die Fuzzy-Anwendung wird <u>nicht</u> bearbeitet
≠ W#16#0000	die Fuzzy-Anwendung wird bearbeitet

Hinweis

Wenn eine Fuzzy-Anwendung nicht zyklisch bearbeitet werden soll, dann kann die Bearbeitung mit dem Inhalt der Variable START_STOP gesteuert werden: z.B. durch Aufruf des Funktionsbausteins im OB1 und durch Bilden einer Zeitscheibe im zeitgesteuerten OB.

Beeinflussung durch Konfigurationswerkzeug

Die Prozessor-Bearbeitung der Fuzzy-Anwendung wird auch durch das Konfigurationswerkzeug gesteuert. Die Bearbeitung wird durch den Eintrag W#16#0000 in die Variable START_STOP angehalten, bevor die Übertragung vom PG/PC aus durchgeführt wird. Nach der Übertragung trägt das Werkzeug den Wert W#16#FFFF in die Variable START_STOP ein und gibt dadurch die Bearbeitung wieder frei. Beispiel:

AWL	Erläuterung
L 0	
T "Pendel".START_STOP	Regelwerk nicht bearbeiten
l 123	
T "Pendel".START_STOP	Regelwerk bearbeiten
l "Pendel".START_STOP	
l W#16#FFFF	
==I	
= M 10.0	Änderung der Fuzzy-Anwendung durch das Konfigurationswerkzeug

3

Hinweis

Die Freigabe der Bearbeitung erfolgt vom Konfigurationswerkzeug immer nach einer Übertragung. Auch dann, wenn vom Anwenderprogramm - vor der Übertragung - der Inhalt der Variable START_STOP = W#16#0000 gesetzt wurde.

Auswerten von "INFO"

Über den Parameter INFO gibt der Funktionsbaustein Informationen über den Zustand der Fuzzy-Anwendung aus. Diese Informationen sind in drei Kategorien eingeteilt: kein Fehler, Warnung, Fehler.

Kein Fehler

Wenn die Bearbeitung der Fuzzy-Anwendung ohne Fehler abgeschlossen wurde, ist der Inhalt der Variable INFO = B#16#00.

Warnung

Ist der Inhalt der Variable START_STOP = W#16#0000 (Fuzzy-Anwendung wird nicht bearbeitet), so ist der Inhalt des Parameters INFO = B#16#01. Dies zeigt Ihnen, daß der Inhalt der Ausgänge nicht aktuell berechnet wurde, sondern daß es sich um Altwerte handelt.

Fehler

- Wenn in der CPU ein Instanz-DB mit der richtigen Länge vorhanden ist, aber noch keine Fuzzy-Anwendung vom Konfigurationswerkzeug geladen wurde, dann ist der Inhalt des INFO-Parameters B#16#11.
- Ist die Länge des angegebenen Instanz-DBs nicht ausreichend, so ist der Inhalt von INFO B#16#21.

Der Ausgang INFO liefert Informationen über die Fuzzy-Anwendung. Er hat den Datentyp BYTE und ist vorbelegt mit B#16#00. Die Bedeutungen des INFO-Parameters sind aus folgender Tabelle ersichtlich:

Inhalt (B#16#...)	Bedeutung
00	kein Fehler bei der Bearbeitung aufgetreten
01	Bearbeitung des Regelwerks vom Anwender oder dem Konfigurationswerkzeug gesperrt
11	kein gültiges Fuzzy-Regelwerk im Instanz-DB enthalten
21	Länge des Datenbausteins nicht ausreichend (kein Fuzzy-DB)

Hinweis

Wird ein Fehler festgestellt oder tritt eine Warnung auf, so werden die Ausgänge nicht vom FB gelöscht. Sie müssen nach Auswerten von INFO entscheiden, ob die Ausgangswerte (Altwerte) verarbeitet werden oder ob ein definierter Wert ausgegeben werden soll.



Gefahr

Stellt der FB eine Warnung oder einen Fehler fest, wird die Bearbeitung des Funktionsbausteins sofort beendet.

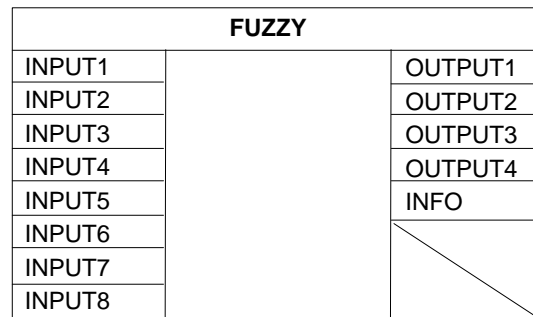
Auswerten des Statusbits BIE (KOP-Parameter ENO)

Der Funktionsbaustein beeinflusst das Statusbit BIE. Sie können den Zustand nach Aufruf des Funktionsbausteins auswerten:

- BIE 1 Bei der Bearbeitung hat der FB keinen Fehler und keine Warnung erkannt. Der Inhalt von INFO ist B#16#00.
- BIE 0 Der FB hat bei der Bearbeitung einen Fehler oder eine Warnung erkannt. Der Inhalt des Parameters INFO ist ungleich B#16#00.

Blockbild und Parameter des FB FUZZY

Der Funktionsbaustein FUZZY hat folgendes Blockschaltbild



Eingangsparameter

Die folgende Tabelle zeigt Ihnen Datentyp und Struktur der Eingangsparameter des FB FUZZY.

Tabelle 3-1 Eingangsparameter des FB FUZZY (Fuzzy-Datenbaustein)

Byte	Parameter	Datentyp	Erläuterung	Vorbelegung
0	INPUT1	REAL	1. Eingang der Fuzzy-Anwendung	0.0
4	INPUT2	REAL	2. Eingang der Fuzzy-Anwendung	0.0
8	INPUT3	REAL	3. Eingang der Fuzzy-Anwendung	0.0
12	INPUT4	REAL	4. Eingang der Fuzzy-Anwendung	0.0
16	INPUT5	REAL	5. Eingang der Fuzzy-Anwendung	0.0
20	INPUT6	REAL	6. Eingang der Fuzzy-Anwendung	0.0
24	INPUT7	REAL	7. Eingang der Fuzzy-Anwendung	0.0
28	INPUT8	REAL	8. Eingang der Fuzzy-Anwendung	0.0

Ausgangsparameter

Die folgende Tabelle zeigt Ihnen Datentyp und Struktur der Ausgangsparameter des FB FUZZY.

3

Tabelle 3-2 Ausgangsparameter des FB FUZZY (Fuzzy-Datenbaustein)

Byte	Parameter	Datentyp	Erläuterung	Vorbelegung
32	OUTPUT1	REAL	1. Ausgang der Fuzzy-Anwendung	0.0
36	OUTPUT2	REAL	2. Ausgang der Fuzzy-Anwendung	0.0
40	OUTPUT3	REAL	3. Ausgang der Fuzzy-Anwendung	0.0
44	OUTPUT4	REAL	4. Ausgang der Fuzzy-Anwendung	0.0
48	INFO	BYTE	Informationen über die Bearbeitung	B#16#0

Zusatzparameter

Neben Eingangs- und Ausgangsparameter besitzt der FB noch zwei weitere Parameter:

Tabelle 3-3 Steuerungsparameter und interner Bereich des FB FUZZY (Fuzzy-Datenbaustein)

Byte	Parameter	Datentyp	Erläuterung	Vorbelegung
50	START_STOP	WORD	>> 0 Fuzzy-Anwendung bearbeiten == 0 Fuzzy-Anwendung nicht bearbeiten	W#16#0
52 ... 2126	FUZZY	BYTE	Interner Bereich für den Funktionsbaustein	B#16#0

3.2 Analogwert eingeben (Funktion FUZZY_AI)

Anwendung

Folgende Bedingung muß erfüllt sein:

Ein Geber bzw. eine Analogeingabebaugruppe liefert einen Eingangswert als physikalische Größe, der weiterverarbeitet werden soll.

Dann:

Müssen die analoge Größe und ihr Meßbereich bzw. der Peripheriewert (Zahlenbereich -27648 ... 27648) auf den Gleitpunktwert normiert werden, der für die Weiterverarbeitung durch Fuzzy Control erforderlich ist.

Die Funktion FUZZY_AI

Die Funktion FUZZY_AI normiert einen Analogeingangswert auf die Unter- und Obergrenze, also die Werte MINIMUM und MAXIMUM, mit denen der Wertebereich des betreffenden Eingangs festgelegt wurde. Anschließend wird der normierte Wert in den Instanz-DB eingetragen.

Der Baustein (FC) muß für jeden Eingangskanal der Fuzzy-Anwendung, der mit einer Analoggröße verschaltet ist, im Anwenderprogramm aufgerufen werden.

Hinweise

Die Nummer der Funktion FUZZY_AI kann - im Rahmen der CPU - frei vergeben werden. Die Voreinstellung ist FC30.

Wird die Funktion eingesetzt, müssen Sie alle Parameter beim Aufruf beschalten.

Normierung und Signalart

Mit Hilfe des Eingangsparameters THERM_EL können Sie bestimmen, worauf sich die Normierung beziehen soll:

Entweder auf

- unipolare bzw. bipolare Spannungs- oder Stromsignale,

oder auf

- Thermoelemente als Geber am betreffenden Analogeingang.

Mit Hilfe des Parameters BIPOLAR legen Sie fest, ob an dem betreffenden Eingang ein unipolares oder ein bipolares Spannungs- bzw. Stromsignal verarbeitet werden soll.

Die Wertigkeiten der Bool'schen Eingangsparameter THERM_EL und BIPOLAR haben folgende Wirkungen:

THERM_EL	BIPOLAR	Bedeutung bzw. Wirkung
FALSE (:= 2#0)	FALSE (:= 2#0)	Unipolares Spannungs- oder Stromsignal am Eingang Die Funktion FUZZY_AI führt eine Normierung des Signals durch.
FALSE (:= 2#0)	TRUE (:= 2#1)	Bipolares Spannungs- oder Stromsignal am Eingang Die Funktion FUZZY_AI führt eine Normierung des Signals durch.
TRUE (:= 2#1)	FALSE (:= 2#0)	Thermoelement am Eingang Die Normierung geschieht in der Analogeingabebaugruppe. Die Funktion führt nur eine Anpassung über die Parameter FACTOR und OFFSET durch

Spannungs- oder Stromsignal am Analogeingang

Die Funktion FUZZY-AI normiert in diesem Fall das analoge Eingangssignal auf den Wertebereich des betreffenden Eingangskanals der Fuzzy-Anwendung. Die Grenzen MINIMUM und MAXIMUM, die den Wertebereich definieren, werden aus dem Fuzzy-DB gelesen. Sie werden als Grenzwerte in der Funktion verarbeitet. Der normierte Wert wird dann in den Fuzzy-DB für den entsprechenden Eingang eingetragen.

Der Normierungswert INPUT für **bipolare** Signale wird nach folgender Beziehung aus dem jeweiligen Eingangswert X_e berechnet:

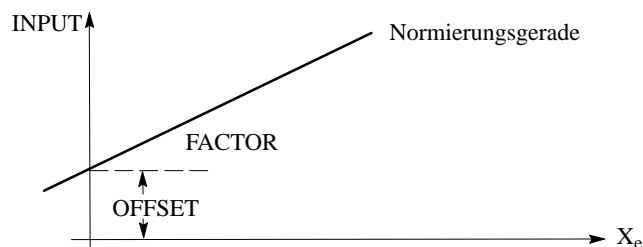
$$\text{INPUT} = \left(\frac{X_{\min} * (27648 - X_e) + X_{\max} * (X_e + 27648)}{2 * 27648} \right) * \text{FACTOR} + \text{OFFSET}$$

Die entsprechende Beziehung für **unipolare** Signale lautet:

$$\text{INPUT} = \left(\frac{X_{\min} * (27648 - X_e) + X_{\max} * X_e}{27648} \right) * \text{FACTOR} + \text{OFFSET}$$

Darin bedeutet:

INPUT	normierter Wert, der in den Instanz-DB eingetragen wird
X_{\max}	Obergrenze des Eingangs-Wertebereiches
X_{\min}	Untergrenze des Eingangswertebereiches
FACTOR	Faktor (Steigung) der Normierungsgeraden
OFFSET	Offset der Normierungsgeraden im Nullpunkt
X_e	von der Analogbaugruppe gelieferter Wert



Die Werte für die Parameter FACTOR und OFFSET werden beim Aufruf der Funktion übergeben.

Hinweis

Werden Analogsignale mit einem bipolaren Bereich (z.B. ± 10 V/ ± 20 mA) als Eingangssignal angeschlossen, müssen die MINIMUM- und MAXIMUM-Werte für den Wertebereich des betreffenden Eingangs symmetrisch vorgegeben werden (z.B. -100.0 und +100.0). Ist dies nicht der Fall, können Eingangswerte (INPUT) durch die Verwendung dieser Werte in der Funktion FUZZY_AI falsch errechnet werden.

Beispiel für den Aufruf der Funktion FUZZY_AI für einen Eingang mit Spannungs- oder Stromsignal:

AWL	Erläuterung
<pre>call fc 30 (AI_ADR := 348, BIPOLAR := TRUE, THERM_EL := FALSE, FACTOR := 1.0, OFFSET := 0.0, FUZZY_DB := db30, INPUT_NR := 1, INFO := mb 30);</pre>	

Thermoelement-signal am Analogeingang

Temperatursignale werden von Thermoelementen geliefert und über eine Analogbaugruppe erfaßt. Bei ihrem Anschluß als Analogeingang wird die Normierung in °C bereits in dieser Baugruppe ausgeführt.

Die Funktion FUZZY_AI führt in diesem Falle eine Umwandlung des Peripheriewertes von WORD nach REAL, d.h. von Festpunktzahlen (-27648 ... 27648) auf Gleitpunktzahlen, durch. Über die Parameter FACTOR und OFFSET findet eine Anpassung der Temperatur statt.

Thermoelement	Meßbereich
Pt 100	-200.0 °C ... 850.0 °C
Ni 100	-60.0 °C ... 250.0 °C
Typ K (NiCr-Ni)	-270.0 °C ... 1372.0 °C
Typ N (NiCrSi-NiSi)	-270.0 °C ... 1300.0 °C
Typ J (Fe-CuNi IEC)	-210.0 °C ... 1200.0 °C
Typ E (NiCr-CuNi)	-210.0 °C ... 1000.0 °C

Der Normierungswert INPUT für Thermoelemente als Temperaturgeber wird nach folgender Beziehung aus dem jeweiligen Eingangswert X_e berechnet

$$\text{INPUT} = \frac{X_e}{10.0 * \text{FACTOR} + \text{OFFSET}}$$

Darin bedeutet: INPUT normierter Wert, der in den Instanz-DB eingetragen wird
 FACTOR Faktor (Steigung) der Normierungsgeraden
 OFFSET Offset der Normierungsgeraden im Nullpunkt
 X_e von der Analogbaugruppe gelieferter Wert

Die Normierung des Thermoelements in °C erfolgt in der Analogeingangsbaugruppe und FUZZY_AI führt in diesem Fall nur eine Anpassung durch. Daher können Sie die Werte MINIMUM und MAXIMUM des betreffenden Fuzzy-Eingangs im Rahmen des Meßbereichs frei wählen.

Beispiel:

Meßbereich Pt100: -200.0 °C ... 850.0 °C
 Technologiebereich: 80 °C ... 100 °C (Wasser kochen) Fuzzy-INPUT
 MINIMUM = 75 °C ... MAXIMUM = 105 °C

3

Beispiel für den Aufruf der Funktion FUZZY_AI für einen Eingang mit Analogsignal von Thermoelementgeber:

AWL	Erläuterung
<pre>call fc 30 (AI_ADR := 348, BIPOLAR := FALSE, THERM_EL := TRUE, FACTOR := 1.0, OFFSET := 0.0, FUZZY_DB := db30, INPUT_NR := 1, INFO := mb 30);</pre>	

Steuerung der Bearbeitung durch den FC

Die Steuerung der Bearbeitung der Funktion FUZZY_AI muß über die Variable START_STOP im Fuzzy-Datenbaustein erfolgen. Diese Variable kann vom Anwenderprogramm gesteuert und ausgewertet werden. Auch das Konfigurationswerkzeug verändert die Variable START_STOP.

Sie können über den Wert von START-STOP die Bearbeitung der Funktion FUZZY_AI direkt beeinflussen:

START_STOP	Bedeutung
= W#16#0000	FUZZY_AI wird <u>nicht</u> bearbeitet
≠ W#16#0000	FUZZY_AI wird bearbeitet

Beeinflussung durch Konfigurationswerkzeug

Die Prozessor-Bearbeitung der Funktion wird auch durch das Konfigurationswerkzeug gesteuert. Die Bearbeitung wird durch den Eintrag W#16#0000 in die Variable START_STOP angehalten, bevor die Übertragung vom PG/PC aus durchgeführt wird. Nach der Übertragung trägt das Werkzeug den Wert W#16#FFFF in die Variable START_STOP ein. Dadurch gibt es die Bearbeitung wieder frei.

Die Freigabe erfolgt durch das Konfigurationswerkzeug immer nach einer Übertragung, auch wenn vom Anwenderprogramm vor der Übertragung der Inhalt der Variable START_STOP W#16#0000 gesetzt wurde.

Auswerten von INFO

Über den Parameter INFO teilt die Funktion FUZZY_AI dem Anwenderprogramm Informationen über den Zustand der Fuzzy-Anwendung mit. Diese Informationen sind in drei Kategorien eingeteilt:

- kein Fehler, Warnung, Fehler

Kein Fehler

Wenn die Bearbeitung der Funktion ohne Fehler abgeschlossen wurde, ist der Inhalt der Variable INFO = B#16#00.

Warnung

Ist der Inhalt der Variable START_STOP = W#16#0000 (Fuzzy-Anwendung wird nicht bearbeitet), so ist der Inhalt des Parameters INFO = B#16#01. Dies zeigt an, daß der Inhalt der Ausgänge nicht aktuell berechnet wurde, sondern daß es sich um Altwerte handelt.

Fehler

- Wenn in der CPU ein Instanz-DB mit der richtigen Länge vorhanden ist, aber noch keine Fuzzy-Anwendung vom Konfigurationswerkzeug geladen wurde, dann ist der Inhalt des INFO-Parameters B#16#11.
- Ist die Länge des angegebenen Instanz-DBs nicht ausreichend, so ist der Inhalt von INFO B#16#21.
- Wenn eine Eingangsnummer (INPUT_NR) nicht im Bereich 1...8 liegt, wird von der Funktion der Inhalt des Parameters INFO auf B#16#31 gesetzt.

Bedeutung des INFO-Parameters:

INFO (B#16#...)	Bedeutung
00	kein Fehler bei der Bearbeitung aufgetreten
01	Bearbeitung der Fuzzy-Anwendung vom Anwenderprogramm oder vom Konfigurationswerkzeug gesperrt
11	keine gültige Fuzzy-Anwendung im Instanz-DB enthalten
21	Länge des Datenbausteins nicht ausreichend (kein Fuzzy-DB)
31	Parameter INPUT_NR nicht im Bereich 1 ... 8

Hinweis

Wird ein Fehler festgestellt oder tritt eine Warnung auf, so werden die Eingangswerte nicht von der Funktion eingetragen. Sie müssen nach Auswerten von INFO entscheiden, ob die Altwerte verarbeitet werden oder ob ein definierter Wert vorgegeben werden soll.



Gefahr

Stellt die Funktion eine Warnung oder einen Fehler fest, wird die Bearbeitung der Funktion sofort beendet.

Auswerten des Statusbits BIE (KOP-Parameter ENO)

Die Funktion beeinflusst das Statusbit BIE. Sie können den Zustand nach Aufruf der Funktion auswerten.

BIE 1 Bei der Bearbeitung der Funktion ist kein Fehler und keine Warnung erkannt worden. Der Inhalt von INFO ist B#16#00.

BIE 0 Der Funktionsbaustein hat bei der Bearbeitung einen Fehler oder eine Warnung erkannt. Der Inhalt des Parameters INFO ist ungleich B#16#00.

Blockbild und Parameter von FUZZY_AI

Die Funktion FUZZY_AI hat folgendes Blockbild:

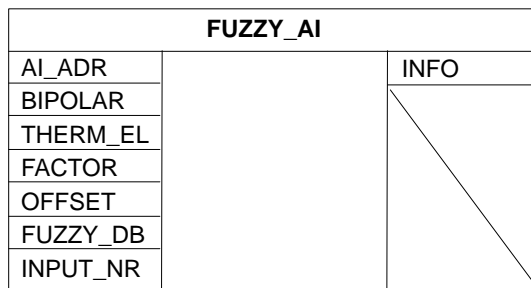


Tabelle 3-4 Eingangparameter von FUZZY_AI

Parameter	Datentyp	Erläuterung	zul. Wertebereich	Vorbelegung
AI_ADR	INT	Adresse des Analogeingangs		
BIPOLAR	BOOL	Meßwert bipolar oder unipolar		FALSE
THERM_EL	BOOL	Analogeingang, mit einem Thermoelement-Meßwert beschaltet		FALSE
FACTOR	REAL	Faktor zur Anpassung des Meßwertes	gesamter Wertebereich (dimensionslos)	1.0
OFFSET	REAL	Offset zur Anpassung des Meßwertes	gesamter Wertebereich (dimensionslos)	0.0
FUZZY_DB	BLOCK_DB	Nummer des Fuzzy-Datenbausteins		DB30
INPUT_NR	INT	Nummer des Fuzzy-Eingangs	1 ... 8	1

Tabelle 3-5 Ausgangparameter von FUZZY_AI

Parameter	Datentyp	Erläuterung	Vorbelegung
INFO	BYTE	Informationen über die Bearbeitung	

3.3 Analogwert ausgeben (Funktion FUZZY_AO)

Anwendung Soll ein Ausgangswert von einer Analogausgabebaugruppe weiterverarbeitet werden, so kann die Funktion FUZZY_AO zur Normierung der Fuzzy-Ausgangsgrößen im Gleitpunktformat auf den Peripheriebereich verwendet werden.

Die Funktion FUZZY_AO Die Funktion FUZZY_AO normiert einen Ausgangswert auf den betreffenden analogen Ausgangsbereich. Dabei werden die Unter- und Obergrenze aus dem Fuzzy-Datenbaustein ausgelesen und als Grenzwerte in der Funktion verarbeitet. Der normierte Wert wird dann mit den Parametern FACTOR und OFFSET angepaßt und anschließend in den Analogausgang geschrieben.

Hinweise

Die Nummer der Funktion FUZZY_AO kann - im Rahmen der CPU - frei vergeben werden. Die Voreinstellung ist FC31.

Wird die Funktion eingesetzt, müssen Sie alle Parameter beim Aufruf beschalten.

Normierung und Signalart Mit Hilfe des Parameters BIPOLAR legen Sie fest, ob an dem betreffenden Ausgang (über eine Analogausgabebaugruppe) ein unipolares oder ein bipolares Spannungs- bzw. Stromsignal erzeugt werden soll. Die Wertigkeit des Bool'schen Eingangsparameters BIPOLAR hat die nachstehende Wirkung:

BIPOLAR	Bedeutung bzw. Wirkung
FALSE (:= 2#0)	Unipolares Signal am Ausgang FUZZY_AO führt eine Normierung des Signals durch.
TRUE (:= 2#1)	Bipolares Signal am Ausgang FUZZY_AO führt eine Normierung des Signals durch.

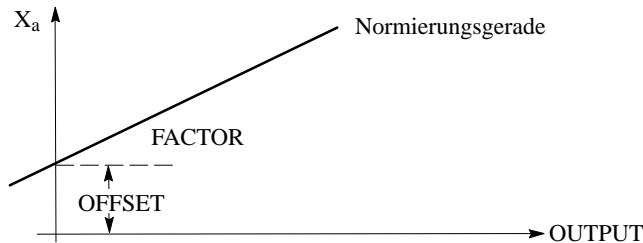
Die Funktion FUZZY_AO berechnet den Normierungswert X_a für **bipolare** Signale, der zur Analogausgabebaugruppe übertragen wird. Die Berechnung erfolgt nach der hier dargestellten Beziehung aus dem aktuellen Wert OUTPUT des Fuzzy-Ausgangs:

$$X_a = \left(\frac{27648 * (2 * \text{OUTPUT} - X_{\max} - X_{\min})}{X_{\max} - X_{\min}} \right) * \text{FACTOR} + \text{OFFSET}$$

Die entsprechende Beziehung für **unipolare** Signale lautet:

$$X_a = \left(\frac{27648 * (\text{OUTPUT} - X_{\min})}{X_{\max} - X_{\min}} \right) * \text{FACTOR} + \text{OFFSET}$$

Darin bedeutet:	OUTPUT	Ausgangswert der Fuzzy-Anwendung
	X_{\max}	Obergrenze des Fuzzy-Ausgangs
	X_{\min}	Untergrenze des Fuzzy-Ausgangs
	FACTOR	Faktor (Steigung) der Normierungsgeraden
	OFFSET	Offset der Normierungsgeraden im Nullpunkt
	X_a	zur Analogbaugruppe geschriebener Wert



Die Werte für die Parameter FACTOR und OFFSET werden beim Aufruf der Funktion übergeben.

Hinweis

Werden Analogsignale mit einem bipolaren Bereich (z.B. ± 10 V/ ± 20 mA) als Fuzzy-Ausgang verwendet, so müssen die MIN- und MAX-Grenzen des Ausgangs symmetrisch vorgegeben sein (z.B. -100.0 und $+100.0$). Ist dies nicht der Fall, können Ausgangswerte (X_a) durch die Verwendung dieser Werte in der Funktion FUZZY_AO falsch errechnet werden.

Beispiel für den Aufruf der Funktion FUZZY_AO für einen Ausgang mit bipolarem Signal:

AWL	Erläuterung
<pre> call fc 31 (AI_ADR := 348, BIPOLAR := TRUE, FACTOR := 1.0, OFFSET := 0.0, FUZZY_DB := db30, OUTPUT_NR := 1, INFO := mb 30); </pre>	

**Bearbeitungs-
steuerung**

Die Steuerung der Bearbeitung der Funktion FUZZY_AO muß über die Variable START_STOP im Fuzzy-Datenbaustein erfolgen. Diese Variable kann vom Anwenderprogramm gesteuert und ausgewertet werden. Auch das Konfigurationswerkzeug verändert die Variable START_STOP.

Sie können über den Wert von START-STOP die Bearbeitung der Funktion direkt beeinflussen:

START_STOP	Bedeutung
= W#16#0000	FUZZY_AO wird <u>nicht</u> bearbeitet
≠ W#16#0000	FUZZY_AO wird bearbeitet

**Beeinflussung
durch
Konfigurations-
werkzeug**

Die Bearbeitung der Funktion wird auch durch das Konfigurationswerkzeug gesteuert. Die Bearbeitung wird durch den Eintrag W#16#0000 in die Variable START_STOP angehalten, bevor die Übertragung vom PG/PC aus durchgeführt wird. Nach der Übertragung trägt das Werkzeug den Wert W#16#FFFF in die Variable START_STOP ein. Dadurch gibt es die Bearbeitung wieder frei.

Die Freigabe der Bearbeitung erfolgt durch das Konfigurationswerkzeug immer nach einer Übertragung, auch wenn vom Anwenderprogramm vor der Übertragung der Inhalt der Variable START_STOP W#16#0000 gesetzt wurde.

**Auswerten von
"INFO"**

Über den Parameter INFO teilt die Funktion FUZZY_AO dem Anwenderprogramm Informationen über den Zustand der Fuzzy-Anwendung mit. Diese Informationen sind in drei Kategorien eingeteilt:

- kein Fehler, Warnung, Fehler

Kein Fehler

Wenn die Bearbeitung der Funktion ohne Fehler abgeschlossen wurde, ist der Inhalt der Variable INFO = B#16#00.

Warnung

Ist der Inhalt der Variable START_STOP = W#16#0000 (Fuzzy-Anwendung wird nicht bearbeitet), so ist der Inhalt des Parameters INFO = B#16#01. Dies zeigt an, daß der Inhalt der Ausgänge nicht aktuell berechnet wurde, sondern daß es sich um Altwerte handelt.

Fehler

- Wenn in der CPU ein Instanz-DB mit der richtigen Länge vorhanden ist, aber noch keine Fuzzy-Anwendung vom Konfigurationswerkzeug geladen wurde, dann ist der Inhalt des INFO-Parameters B#16#11.
- Ist die Länge des angegebenen Instanz-DBs nicht ausreichend, so ist der Inhalt von INFO B#16#21.
- Wenn eine Ausgangsnummer (OUTPUT_NR) nicht im Bereich 1...4 liegt, wird von der Funktion der Inhalt des Parameters INFO auf B#16#31 gesetzt.

Bedeutung des INFO-Parameters:

INFO (B#16#...)	Bedeutung
00	kein Fehler bei der Bearbeitung aufgetreten
01	Bearbeitung der Fuzzy-Anwendung vom Anwenderprogramm oder vom Konfigurationswerkzeug gesperrt
11	keine gültige Fuzzy-Anwendung im Instanz-DB enthalten
21	Länge des Datenbausteins nicht ausreichend (kein Fuzzy-DB)
31	Parameter OUTPUT_NR nicht im Bereich 1 ... 4

Hinweis

Wird ein Fehler festgestellt oder tritt eine Warnung auf, so werden die Ausgangswerte nicht von der Funktion eingetragen. Sie müssen nach Auswerten von INFO entscheiden, ob die Altwerte verarbeitet werden oder ob ein definierter Wert vorgegeben werden soll.



Gefahr

Stellt die Funktion eine Warnung oder einen Fehler fest, dann wird die Bearbeitung der Funktion sofort beendet.

Auswerten des Statusbits BIE (KOP-Parameter ENO)

Die Funktion beeinflusst das Statusbit BIE. Sie können den Zustand nach Aufruf der Funktion auswerten.

- BIE 1 Bei der Bearbeitung der Funktion ist kein Fehler oder keine Warnung erkannt worden. Der Inhalt von INFO ist B#16#00.
- BIE 0 Der Funktionsbaustein hat bei der Bearbeitung einen Fehler oder eine Warnung erkannt. Der Inhalt des Parameters INFO ist ungleich B#16#00.

Blockbild und Parameter von FUZZY_AO

Die Funktion FUZZY_AO hat folgendes Blockbild:

FUZZY_AO	
AO_ADR	INFO
BIPOLAR	
FACTOR	
OFFSET	
FUZZY_DB	
OUTPUT_NR	

Eingangsparameter

Die folgende Tabelle zeigt Ihnen Datentyp und Struktur der Eingangsparameter von Fuzzy_AO:

Tabelle 3-6 Eingangparameter von FUZZY_AO

Parameter	Datentyp	Erläuterung	zul. Wertebereich	Vorbelegung
AO_ADR	INT	Adresse des Analogausgangs		
BIPOLAR	BOOL	Ausgangssignal bipolar oder unipolar		FALSE
FACTOR	REAL	Faktor zur Anpassung des Ausgangssignals		1.0
OFFSET	REAL	Offset zur Anpassung des Ausgangssignals	gesamter Wertebereich (dimensionslos)	0.0
FUZZY_DB	BLOCK_DB	Nummer des Fuzzy-Datenbausteins	gesamter Wertebereich (dimensionslos)	0.0
OUTPUT_NR	INT	Nummer des Fuzzy-Ausgangs	1 ... 4	1

Ausgangsparameter

Die folgende Tabelle zeigt Ihnen Datentyp und Struktur der Ausgangsparameter von Fuzzy_AO:

Tabelle 3-7 Ausgangparameter von FUZZY_AO

Parameter	Datentyp	Erläuterung	Vorbelegung
INFO	BYTE	Informationen über die Bearbeitung	

3.4 Technische Daten des FB FUZZY

Programm- technische Daten

Bausteinname	FUZZY FB 30	FUZZY_AI FC 30	FUZZY_AO FC 31
Familie	FUZZYCON	FUZZYCON	FUZZYCON
Bausteinlänge zur Laufzeit	1024 Bytes	370 Bytes	344 Bytes
Bausteinlänge im Speicher	1226 Bytes	510 Bytes	478 Bytes
Aufruflänge	–		
Instanz-DB bzw. Globaler DB	DB_FUZZY		
Familie	FUZZYCON		
Bausteinlänge zur Laufzeit	2126 Bytes		
Bausteinlänge im Speicher	2248 Bytes		

3

Bearbeitungs- zeiten

Die Tabelle zeigt typische Bearbeitungszeiten bei den Parametrierungen von 2 Eingängen, 1 Ausgang, 25 Regeln

Bausteinname	FUZZY FB 30	FUZZY_AI FC 30	FUZZY_AO FC 31
Familie	FUZZYCON	FUZZYCON	FUZZYCON
Bearbeitungszeit (in ms) CPU 314	13	3	3
Bearbeitungszeit (in ms) CPU 416	0,7	1,3	1,3

Produktübersicht

4

Was finden Sie in diesem Kapitel?

Dieses Kapitel beschreibt

- den Zweck und die Leistungen des Konfigurationswerkzeugs
- seine Struktur
- seine Einsatzumgebung

4.1 Zweck und Leistungen des Konfigurationswerkzeugs

Zweck	<p>Das Konfigurationswerkzeug ermöglicht die Erstellung und Inbetriebnahme von Fuzzy-Anwendungen. Sie können damit die Ein- und Ausgänge des Standard-Funktionsbausteins FUZZY definieren und das Regelwerk bzw. die Regelbasis der betreffenden Fuzzy-Anwendung formulieren und bearbeiten.</p> <p>Für die Lösung von Automatisierungsaufgaben unter Einsatz von Fuzzy-Konzepten benötigen Sie ein Werkzeug, das Sie bei der Konfiguration und Einstellung von Fuzzy-Anwendungen wirkungsvoll unterstützt. Das Konfigurationswerkzeug bietet eine bearbeitungsgerechte Funktionsaufteilung und ausreichende Beobachtungsmöglichkeiten. Die erforderlichen Erstellungsschritte können dadurch erheblich sicherer ausgeführt werden.</p>
Leistungen	<p>Das Projektierungs- und Bearbeitungswerkzeug 'Konfiguration Fuzzy Control' wird hohen Bedienungsansprüchen gerecht. Es ermöglicht auch dem weniger erfahrenen Anwender eine schnelle und komfortable Anwendung.</p> <p>Das Werkzeug ist bewußt so gestaltet, daß es einfach zu handhaben ist. So können Sie sich bei der Bearbeitung Ihres Problems auf die eigentliche Lösung der Automatisierungsaufgabe konzentrieren.</p> <p>Der Leistungsumfang des Konfigurationswerkzeugs ist gegliedert in Teilfunktionen zur Aufgabenbearbeitung bei der Erstellung von Fuzzy-Anwendungen. Jede dieser Funktionen läuft in einem eigenen Fenster ab :</p>
Basisfunktionen	<p>Projekt eröffnen bzw. zur Bearbeitung aufrufen.</p> <ul style="list-style-type: none">• Generieren und Benennen einer neuen bzw. Aufrufen einer vorhandenen Fuzzy-Anwendung zur Bearbeitung;• Konfigurieren der Struktur der Fuzzy-Anwendung.
Eingang bearbeiten	<p>Zugehörigkeitsfunktionen der Eingänge definieren.</p> <ul style="list-style-type: none">• Namen der Eingänge festlegen;• Wertebereiche der Eingänge bestimmen;• Zugehörigkeitsfunktionen der Eingänge definieren.
Regeln bearbeiten	<p>Formulieren bzw. Bearbeiten des Regelwerks.</p> <ul style="list-style-type: none">• Formulieren von Fuzzy-Regeln durch Auswahl linguistischer Werte;• Bearbeiten der Regeln durch "Einfügen", "Löschen" oder "Ändern".

**Ausgang
bearbeiten**

Zugehörigkeitsfunktionen der Ausgänge definieren.

- Namen der Ausgänge festlegen;
- Wertebereiche der Ausgänge bestimmen;
- Zugehörigkeitsfunktionen der Ausgänge definieren.

**3D-Grafik-
darstellung**

Statische Darstellung des Wirkungszusammenhangs zwischen mehreren Eingangs- und einer Ausgangsgröße.

- Zuordnung der Ein-/Ausgangsgrößen zu den Darstellungachsen;
- Einstellung von Scharparametern;
- Animation (Drehung) der räumlichen Darstellung

Kurvenschreiber

Dynamische Darstellung von bis zu 5 Größen in einem Zeitdiagramm und einer Ausgangsgröße in einem Balkendiagramm.

- Zeitabhängige Darstellung von bis zu 5 Prozeßgrößen in einem skalierbaren Zeitdiagramm;
- Beobachtung von Archivwerten durch Visualisierung vergangener Ereignisse;
- Balkendarstellung der Singletonfunktionen für einen angewählten Ausgang.

Offline-Test

Vorgabe von parametrierbaren Dreiecksfunktionen zur Beschaltung von Eingängen im Offline-Test der Fuzzy-Anwendung.

- Definieren einer Testfunktion (Dreiecksfunktion) nach Amplitude, Form, Frequenz und Aufschaltung auf den relevanten Eingang.

4.2 Struktur des Konfigurationswerkzeugs

Programmstruktur Die Bedienoberfläche entspricht der von STEP 7. Alle Leistungen werden über Fenster und Menüs aktiviert.

Die Struktur des Konfigurationswerkzeugs mit seinen wichtigsten Bearbeitungs-/Beobachtungs-Fenstern sieht wie folgt aus:

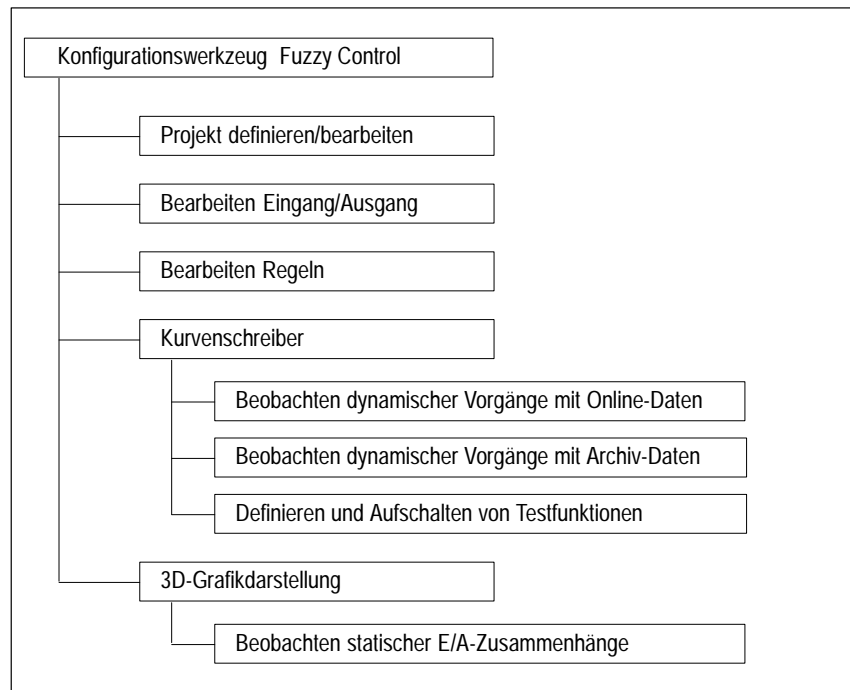


Bild 4-1 Struktur des Konfigurationswerkzeugs

Datenstruktur

Alle für den Funktionsbaustein FUZZY benötigten Daten werden in einem Instanz-Datenbaustein gespeichert, der dem Funktionsbaustein zugeordnet ist. Die Eintragungen in diesen Datenbaustein erfolgen 'implizit' durch das Konfigurationswerkzeug. D.h. Sie müssen bei der Konfiguration von Fuzzy-Anwendungen keine Eintragungen in den DB vornehmen.

Ist der Datenbaustein im PG/PC hinterlegt, so ist nur ein Offline-Zugriff auf die betreffende Fuzzy-Anwendung möglich.

Wird der Datenbaustein mit Hilfe von STEP 7-Funktionen in eine CPU geladen, so ist auch ein Online-Zugriff möglich.

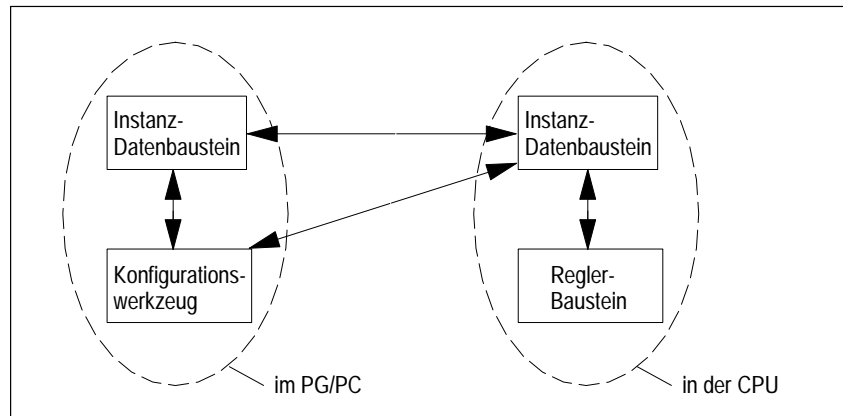


Bild 4-2 Datenstruktur

4.3 Einsatzumgebung

**Soft- und
Hardware-
voraussetzungen**

Das Konfigurationswerkzeug für Fuzzy-Anwendungen benötigt die gleichen Voraussetzungen wie STEP 7.

Es kann lokal auf einem PG/PC oder aber in einem Netz auf einem zentralen Netzlaufwerk installiert werden.

Das Konfigurationswerkzeug Fuzzy Control

5

**Was finden Sie in
diesem Kapitel?**

Dieses Kapitel beschreibt

- das Werkzeug "Konfiguration Fuzzy Control"

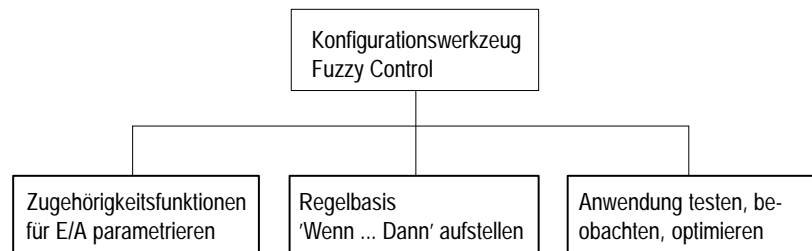
5.1 Das Werkzeug "Konfiguration Fuzzy Control"

Funktionsumfang

Für die Ausführung der Teilaufgaben gibt es eine graphische Bedienoberfläche mit ergonomisch gestalteten Fenstern, in denen die Parameter und Regeln eines Fuzzy-Systems definiert werden können. Die wichtigsten Bearbeitungsschritte jeder Fuzzy-Anwendung sind:

- Ein- und Ausgangsgrößen definieren,
- Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen für E/A parametrieren,
- Fuzzy-Regelbasis aufstellen,
- Offline-Analyse des Entwurfs durchführen.

Folgendes Schema zeigt die Teilfunktionen, die mit dem Konfigurationswerkzeug ausgeführt werden können. Für sie stehen jeweils spezielle Bearbeitungsfenster zur Verfügung:



Teilfunktionen und Bedienoberfläche

Jede Teilaufgabe zur Erstellung einer Fuzzy-Anwendung wird in einem eigenen Fenster bearbeitet. Im Basisfenster, das nach dem Start erscheint, geben Sie die E/A-Struktur der Fuzzy-Anwendung direkt ein. Über die abgebildeten Menüs rufen Sie Dateifunktionen auf und erzeugen die erforderlichen Eingaben für Werte von Parametern und Variablen. Außerdem können Sie über das Menü "Ansicht" Darstellungen von E/A-Beziehungen und zeitlichen Verläufen zur Anzeige bringen.

• Zugehörigkeitsfunktionen für E/A parametrieren

Die Anzahl der zu generierenden E/A wird über das Menü "Bearbeiten" festgelegt. Dann können Sie zu jedem der Ein- und Ausgänge die Zugehörigkeitsfunktionen durch Parametereingabe in jeweils einem speziellen Fenster definieren:

- Dialogfenster: "Bearbeiten Eingang"
- Dialogfenster: "Bearbeiten Ausgang"

- **Regelbasis 'Wenn ... Dann' aufstellen**

Die empirischen Beziehungen zwischen Ein- und Ausgängen werden tabellarisch erfaßt. Bei Bedarf werden sie nach Anwählen von einzelnen Feldern in der Tabelle geändert:

- Dialogfenster: "Bearbeiten Regeln"

- **Anwendung testen, beobachten, optimieren**

Über das Menü "Ansicht" wird das Fenster mit der 3D- bzw. 4D-Darstellung aufgerufen. Es visualisiert die in der Regelbasis definierten statischen Beziehungen zwischen Eingängen und einem ausgewählten Ausgang.

- Dialogfenster: "3D-Grafikdarstellung"

Die Menüpunkte zur Kurvendarstellung ermöglichen die Auswahl und Eingabe von statischen und zeitabhängigen Parametern. Diese dienen der Darstellung der Wirkungsabläufe zwischen Testfunktionen bzw. Online-Prozeßvariablen und dem Verhalten der zugehörigen Ausgangsgrößen.

- Dialogfenster: "Kurvenschreiber"

Konfigurieren und Inbetriebsetzen von Fuzzy-Anwendungen

6

Was finden Sie in diesem Kapitel?

Dieses Kapitel beschreibt

- den Entwurf und die Auslegung von Fuzzy-Anwendungen
- die Eröffnung und den Aufruf eines Projektes
- die Festlegung der Anwendungsstruktur und der E/A
- die Definition der Zugehörigkeitsfunktionen
- die Erstellung des Regelwerks
- die Offline-Analyse der Fuzzy-Anwendung: Darstellen und Beobachten
- das Laden und Inbetriebnehmen der Fuzzy-Anwendung

6.1 Entwurf und Auslegung von Fuzzy-Anwendungen

Spezifizieren der Aufgabe

Vor der Realisierung einer Fuzzy-Anwendung mit Fuzzy Control müssen Sie sich über die prozeßtechnische Automatisierungsaufgabe, das einzusetzende Automatisierungssystem sowie das Bedien- und Überwachungsumfeld Klarheit verschaffen. Zur Spezifizierung der Aufgabe sind demnach erforderlich

1. Eine genaue Analyse der automatisierungstechnischen Aufgabe, d.h. die Ermittlung der charakteristischen Anlagen-Eigenschaften (Verhalten bei unterschiedlichen Arbeitspunkten, situationsabhängige Berücksichtigung von Einflußgrößen, zustandsabhängige Strategieumschaltung usw.).
2. Kenntnis des Verhaltens der für die Lösung der Aufgabe relevanten Prozeßgrößen und Festlegung der Ein-/Ausgänge des Fuzzy-Systems.
3. Festlegung der CPU, auf der die betreffende Fuzzy-Anwendung installiert und bearbeitet werden soll.
4. Gegebenenfalls Normierung bzw. De-Normierung der Peripheriesignale (Ein-/Ausgänge) im Hinblick auf den einheitlichen internen Zahlenbereich im REAL-Format.

Vorkenntnisse und Voraussetzungen

Mit "Fuzzy Control" werden Software-Anwendungssysteme auf der Grundlage eines Standard-Funktionsbausteins (hier FB30) aus der S7-Bausteinwelt generiert. Dabei sind Kenntnisse über den Umgang mit S7-Bausteinen und den Aufbau von S7-Anwenderprogrammen (z.B. in der Programmiersprache S7-AWL) notwendig.

Die Funktionalität der zu realisierenden Fuzzy-Anwendung wird ausschließlich durch Parametrierung definiert. Dennoch erfordern die Verschaltung des Fuzzy-Bausteins mit der Prozeßperipherie und seine Einbindung in das Aufbauschema der CPU Kenntnisse, die in diesem Handbuches nicht behandelt werden. Im einzelnen benötigen Sie:

- Informationen über das Arbeiten mit STEP 7
/Benutzerhandbuch: Basissoftware für S7 und M7, STEP 7/;
- Basiswissen über das Programmieren mit STEP 7
/Programmierhandbuch: Systemsoftware für S7-300/400 Programm-entwurf/, /Handbuch: AWL für S7-300/400, Bausteine programmieren/;
- Daten über das verwendete Automatisierungssystem.

Projektierungsablauf

Der systematische Entwurf und die Auslegung einer Fuzzy-Anwendung erfordern ein Vorgehen, das sich etwa in folgenden Projektierungsschritten vollziehen läßt:

- Analyse der automatisierungstechnischen Aufgabenstellung: Regelung - Steuerung - Parameter-Adaption - Generierung von Führungsgrößen - Strategieänderung - Stellgrößen-Aufschaltung - usw.
- Bewertungskriterien für den Einsatz einer Fuzzy-Lösung anwenden;

- Festlegen der Prozeßgrößen (Benennung, Normierung, Wertebereich, linguistische Werte);
- Quantifizierung der linguistischen Werte durch Definieren der Zugehörigkeitsfunktionen;
- Aufstellen der Regelbasis;
- Durchführung von Offline-Analysen der generierten Fuzzy-Anwendung;
- Laden und Inbetriebnehmen der Fuzzy-Anwendung;
- Korrigieren und "Trimmen" der verhaltensbestimmenden Parameter des im Online-Betrieb auf dem AS laufenden "Fuzzy Control"-Systems.

Analyse der Automatisierungsaufgabe

Wesentliche Ziele von Fuzzy-Anwendungen sind vor allem die vollständige Automatisierung technischer Prozesse (ohne von Fall zu Fall erforderliche Operatoreingriffe), die Verbesserung der Regelgüte, die zeitoptimale Beherrschung von Bewegungs- und Transportvorgängen, die Steigerung von Produktivität und Produktqualität sowie die Senkung der Energiekosten.

Diese Ziele können bei Einsatz von Fuzzy-Anwendungen für bestimmte automatisierungstechnische Aufgaben erreicht werden. Hierzu gehören beispielsweise:

- Automatisierungssysteme, bei denen es auf eine das Prozeßgeschehen abbildende Verknüpfung vieler Einflußgrößen ankommt;
- Systeme mit mehreren Freiheitsgraden (Strategien), deren Beherrschung die Einhaltung unterschiedlicher Prozeßzustände erfordert;
- Zeitvariante oder nichtlineare Automatisierungsstrukturen, die nicht vollständig automatisierbar sind, weil ein mathematisches Prozeßmodell nicht existiert oder in der Erstellung zu aufwendig ist;
- Regelkreise, die einen partiellen Handeingriff erfordern oder bei denen sich Handeingriffe negativ auf die Produktqualität auswirken (z.B. Ausschuß bei "schlechter" Handfahrweise);
- Mehrgrößensysteme, die ein einzelner Anlagenfahrer nicht sicher beherrschen kann;
- Komplexe An- und Abfahrvorgänge von Prozessen (z.B. chemische Reaktoren oder Autoklaven) und Teilanlagen, die bisher nur im Handbetrieb ausgeführt und beherrscht werden konnten.

Die Ursache-Wirkungsbeziehungen sind in Fuzzy-Anwendungen einfach zuzuordnen. Dadurch erhalten Sie die Möglichkeit, unerwünschtes Prozeßverhalten bei unterschiedlichen Betriebszuständen leicht zu korrigieren. Das System kann auf besondere Zustände Ihrer Anlage differenziert reagieren. Insgesamt sind Fuzzy-Anwendungen einfach zu erstellen und leicht verständlich definiert. Auch nach Jahren können Sie noch nachvollziehen, welche Regeln welche Bedeutung besitzen.

Bewertungskriterien für Fuzzy-Anwendung

Für den späteren erfolgreichen Einsatz einer Fuzzy-Anwendung mit optimalen Ergebnissen ist es während der Entwurfsphase entscheidend, die Automatisierungstechnische Aufgabe nach folgenden Kriterien zu bewerten:

- Sind die Lösungsmöglichkeiten mit konventionellen Methoden (z.B. PID-Regler, P-/PI-Zustandsregler) und Optimierungsverfahren (z.B. Sollwertführung, Störgößenaufschaltung, Parameteradaptation) ausgeschöpft?
- Ist hinreichendes Expertenwissen eines erfahrenen Anlagenfahrers vorhanden, um daraus die Regelbasis für die Fuzzy-Anwendung abzuleiten?
Achtung: Es kommt dabei auf die "Verbalisierung" dieses Wissens an, was der Operator im "Fingerspitzengefühl" hat, aber nicht aussprechen kann, kommt nicht zum Tragen.
- Kosten-Nutzen-Relation: Die Nutzen-Seite ist gegeben durch die erwarteten wirtschaftlichen Vorteile, die sich aus den realisierten Automatisierungszielen ergeben (Einsparung von Personal und Energie, bessere Qualität des Produkts usw.). Die Kosten sind durch den höheren Engineering-Aufwand gegenüber konventionellen Lösungen bedingt, der bei komplexen Fuzzy-Anwendungen Größenordnungen von mehreren Mann-Monaten erreichen kann.
- Zur Ermittlung der Vorteile einer Fuzzy-Lösung ist es außerdem notwendig, die bisherige Situation (Handfahrweise, Regelgüte) zu erfassen und zu bewerten. Durch das Protokoll der Eingriffe des Anlagenfahrers kann zudem überprüft werden, ob seine Aussagen, die in die Regelbasis einfließen, auch plausibel sind.

Festlegen der Prozeßgrößen

Eine Fuzzy-Anwendung ist ein mehrdimensionales Kennfeldsystem mit jeweils maximal acht Eingängen und vier Ausgängen. Zur Einbindung einer Anwendung von Fuzzy Control (FB30) in die AS-Struktur ist es deshalb erforderlich, die seinen Ein- und Ausgängen zuzuordnenden Prozeßgrößen zu ermitteln und festzulegen.

Sind die betreffenden Prozeßgrößen im AS bereits nicht vorhanden, müssen der AS-Struktur fehlende Peripheriegrößen über zusätzliche Sensoren und Analogeingabebaupgruppen zugeführt werden. Beispiele dafür sind:

- Laboranalysewerte von Rohstoffen,
- Energieverbrauchswerte des Unternehmens und der Anlage, die z.B. in Leitrechnern verfügbar sind,
- Umwelteinflüsse, wie z.B. witterungsbedingte Einwirkungen auf Fermentations- und Gärprozesse.

Diese Größen müssen mit STEP 7-Mitteln definiert werden. Danach müssen Sie im Anwenderspeicher (symbolisch oder absolut) repräsentiert und mit den Ein-/Ausgangsparametern des Fuzzy-FB verschaltet werden.

Das direkte Einbinden eines Fuzzy-Systems in die AS-Struktur ist dann möglich, wenn die Adressen aller interessierenden Ein- und Ausgangsgrößen bereits im AS vorhanden sind. Ein Beispiel für den Entwurf einer Fuzzy-Anwendung mit Nutzung vorhandener E/A ist die Umsetzung der Handeingriffe eines Anlagenfahrers in entsprechende Fuzzy-Regeln. In diesem Falle genügen für den Fuzzy-Regler etwa zwei bis drei Eingänge und ein Ausgang.

Aufstellen der Regelbasis

Kern einer Fuzzy-Anwendung ist die Regelbasis (Gesamtheit der Fuzzy-Regeln), die das - unscharf formulierte - empirische Prozeßwissen (Expertenwissen) eines erfahrenen Anlagenoperators repräsentiert. Die einzelne Fuzzy-Regel ist eine Wenn- ... Dann-Beziehung und hat gemäß Kapitel 2 die Form:

WENN ... <Bedingung> DANN ... <Folgerung>

wobei im Wenn-Teil eines Regelwerks bis zu 56 Bedingungen verknüpft sein können (8 Eingänge mit jeweils 7 Zugehörigkeitsfunktionen).

Ziel der Aufstellung der Regelbasis ist die Erfassung von möglichst vielen Arbeitspunkten (Kombinationen verschiedener Eingangsgrößen), die der Operator bei Handfahrweise berücksichtigt oder die der Prozeß während des Betriebes einnehmen kann. Diesen Arbeitspunkten wird jeweils ein linguistischer (unscharfer) Wert der betreffenden Ausgangsgröße zugeordnet.

Offline-Analyse der Fuzzy-Anwendung

Das Betriebsverhalten einer projektierten Fuzzy-Anwendung können Sie offline, d. h. ohne Kopplung mit dem AS, auf dem PG mit Hilfe des Konfigurationswerkzeugs simulieren und testen. Hierzu dienen folgende Funktionen:

- die Funktion "3D-Grafikdarstellung", mit der die Wirkung der Fuzzy-Regeln für wählbare Kombinationen von Ein- und Ausgängen in räumlichen Koordinaten dargestellt werden kann, und
- die Funktion "Kurvenschreiber", mit der die Auswirkung von Testfunktionen (nach Änderungsgeschwindigkeit und Amplitude dimensionierbare Rampenfunktionen) auf wählbare Eingänge der Fuzzy-Systems beobachtet werden kann.

Dadurch ist es möglich, die Reaktion der Ausgangsgrößen auf die Änderung bestimmter Eingangsgrößen schrittweise zu überprüfen. Dabei erkannte Fehler oder Abweichungen von den Zielvorgaben lassen sich im Projektierungsdialog durch Modifizieren der Zugehörigkeitsfunktionen oder von Regeln der Regelbasis korrigieren.

Laden und Inbetriebnehmen

Nach Abschluß der Projektierung einschließlich Offline-Analyse kann die Fuzzy-Anwendung in die CPU des S 7-Automatisierungssystems geladen werden. Mit Hilfe von STEP 7-AWL verschalten Sie den Fuzzy-FB zunächst nur mit den Eingängen der Prozeßperipherie. Bei zufriedenstellendem Verhalten der Stellgrößen (3D-Grafik oder Kurvenschreiber des Konfigurationswerkzeugs) können dann die Ausgänge mit den Stellgliedern verbunden werden.

Korrigieren und optimieren

Eine Fuzzy-Anwendung, die nach dem Inbetriebsetzen noch nicht das gewünschte Verhalten zeigt, müssen Sie mit Hilfe des Konfigurationswerkzeugs korrigieren bzw. optimieren. Eingriffsmöglichkeiten sind Änderung der Zugehörigkeitsfunktionen und Modifikation bzw. Ergänzung der Regelbasis.

6.2 Projekt eröffnen bzw. für Bearbeitung aufrufen

Projekt neu generieren

Nach Aufruf des Konfigurationswerkzeugs erscheint das Basisfenster. Beim Erstellen eines neuen Projektes gehen Sie wie folgt vor:

1. Wählen Sie dazu im Datei-Menü den Menüpunkt **Neu**.
2. Tragen Sie im Dialogfeld "Projekt definieren" den Namen Ihres Projektes ein (max. 8 Zeichen). Löschen Sie dazu die Vorbesetzung.
3. Legen Sie die Konfiguration der Fuzzy-Anwendung für das Projekt durch Eingabe der Anzahl der geplanten Eingänge (max. 8) sowie der Ausgänge (max. 4) fest.

Eine nachträgliche Korrektur ist mit Hilfe des Menüs "Bearbeiten" möglich.
4. Nach **OK** generiert das System eine Projektdatei mit dem eingegebenen Namen und stellt grafisch die konfigurierte Fuzzy-Struktur dar. Außer den Ein-/Ausgängen wird auch ein Block für die Regelbasis "Wenn ... Dann" dargestellt.
5. Weitere Bearbeitungsfenster für die Detail-Konfiguration der Fuzzy-Anwendung werden nach Anklicken eines Ein- oder Ausgangsfeldes bzw. des Feldes der Regelbasis zugänglich.
6. Nach Selektion von **Speichern** im Datei-Menü wird Ihr Projekt in Ihrem gewählten Projektverzeichnis gespeichert. Wünschen Sie die Ablage in einem anderen Zielverzeichnis, dann können Sie nach **Speichern unter ...** im Dialogfeld "Datei speichern unter" einen Pfadnamen mit Laufwerk usw. angeben.

Projekt für Bearbeitung öffnen

Nach Aufruf des Konfigurationswerkzeugs erscheint das Basisfenster. Bei der Bearbeitung eines bereits vorhandenen, d.h. im Archiv befindlichen Projektes gehen Sie wie folgt vor:

1. Wählen Sie dazu im Datei-Menü den Menüpunkt **Öffnen ...**.
2. Selektieren Sie im Dialogfeld "Datei öffnen" das Verzeichnis und den Dateinamen des zu bearbeitenden Projektes.
3. Wenn der gewünschte Dateiname im Namensfeld angezeigt wird, bestätigen Sie den Startvorgang (Laden der Datei) durch **OK**.

Das System lädt die gewählte Projektdatei und stellt grafisch die zugehörige Fuzzy-Struktur mit ihren Ein-/Ausgängen und der Regelbasis dar.
4. Weitere Bearbeitungsfenster für die Detail-Konfiguration der Fuzzy-Anwendung werden nach Anklicken eines Ein- oder Ausgangsfeldes bzw. des Blocks der Regelbasis (Kap. 6.4) zugänglich.
5. Nach Selektion von **Speichern** im Datei-Menü wird Ihre Fuzzy-Anwendung inklusive evtl. vorgenommener Änderungen in Ihrem Projektverzeichnis gespeichert.

Wünschen Sie die Ablage in einem anderen Zielverzeichnis, dann können Sie nach **Speichern unter ...** im Dialogfeld "Baustein speichern unter"

einen neuen Pfadnamen mit Laufwerk angeben. Im Dialog "Funktionsbaustein Typbeschreibung" ist der vorgegebene FB30 auszuwählen oder mit einer neuen FB-Nummer zu kopieren. Im letzten Dialog ist die DB-Nummer einzutragen.

6. Wollen Sie die Bearbeitungssitzung ohne Übernahme der Änderungen beenden oder abbrechen, so wird nach **Beenden** (Datei-Menü) die Projekt-Datei unverändert in der alten Form abgelegt und das Konfigurationswerkzeug verlassen.

6.3 Struktur festlegen und Bearbeitung der Ein-/Ausgänge

Modifizieren einer gegebenen Fuzzy-Struktur

Nachdem Ihr Projekt **demo.fpl** mit zwei Eingängen und einem Ausgang generiert ist (wie in Kap. 6.2 gezeigt), können Sie es mit Hilfe des Menüs "Bearbeiten" im Rahmen des bei Fuzzy Control Möglichen um weitere Ein- und/oder Ausgänge ergänzen.

Hinzugefügt bzw. gelöscht wird jeweils am Struktur-Ende.

Bearbeitungsfenster (Übersicht)

Nachdem die Struktur Ihres Fuzzy-Projektes festgelegt ist, müssen Sie jetzt die Eigenschaften der Ein- und Ausgänge sowie die Beziehungen zwischen diesen Größen definieren. Dazu stellt Ihnen das Konfigurationswerkzeug die Bearbeitungsfenster "Bearbeiten Eingang", "Bearbeiten Ausgang" und "Bearbeiten Regeln" zur Verfügung.

6.4 Zugehörigkeitsfunktionen definieren

Bearbeiten: Eingang

Durch doppeltes Anklicken eines Eingangs in der Fuzzy-Struktur erscheint das Fenster mit den Eingabemöglichkeiten für die Definition des Wertebereichs und der Zugehörigkeitsfunktionen für diesen Eingang. Gehen Sie bei der Realisierung Ihres Projektes schrittweise in der hier angegebenen Reihenfolge vor.

1. Benennung des Eingangs

Geben Sie dem Eingang den in Ihrem Projekt vorgesehenen Namen. Löschen Sie dazu die Voreinstellung und tippen Sie die aktuelle Bezeichnung des Eingangs ein. Möglich sind 10 Zeichen, das erste Zeichen darf keine Ziffer sein, Sonderzeichen und Umlaute sind nicht zulässig, lediglich „_“ ist erlaubt.

2. Einstellung des Wertebereichs

Die Voreinstellung für den Wertebereich ist: $-100 \dots 100$. Wird über den Eingang z. B. eine Raumtemperatur erfaßt, so beträgt der Wertebereich für diesen Eingang $0 \dots 40$ [°C]. Durch Eintragung der Werte in die Felder für das (Bereichs)-Minimum und -Maximum wird die Skalierung des Zugehörigkeitsbildes entsprechend angepaßt.

3. Erzeugen und Benennen von Zugehörigkeitsfunktionen

Mit Hilfe der Schaltfläche "Einfügen" erzeugen Sie die Zugehörigkeitsfunktionen, die das Verhalten der Eingangsgröße beschreiben.

Wenn Sie die Vorbesetzung **5** mit **4** überschreiben (im Beispiel wird das Verhalten des Eingangs durch vier Zugehörigkeitsfunktionen definiert) und **mit OK** bestätigen, dann generiert das System vier Zugehörigkeitsgraphen mit Dreiecksprofil gleichmäßig verteilt über den Wertebereich. Im Anzeigefeld der Zugehörigkeitsfunktionen (rechts) erscheint der vorbesetzte Name **n_gross** für den ersten der vier Graphen.

Achtung: Maximal 7 Zugehörigkeitsfunktionen sind möglich. Falls Sie größere Zahlenwerte eingeben, erzeugt das System jeweils 7 Graphen.

Jeder Zugehörigkeitsfunktion entspricht ein "linguistischer Wert". Dieser stellt eine unscharfe Beschreibung des Verhaltens der betreffenden Eingangsgröße dar. Sie müssen daher in der Regel die Systemvorbesetzungen durch die aktuellen linguistischen Werte Ihres Projektes ersetzen. Setzen Sie dazu den Cursor in das Anzeigefeld und löschen Sie die Vorbesetzung. Tippen Sie anschließend die gewünschte Bezeichnung ein.

Achtung: Maximal 7 Zeichen sind möglich.

Die Bezeichnungen der übrigen Zugehörigkeitsfunktionen erreichen Sie nach Anklicken des Pfeils neben dem Anzeigefeld.

4. Einfügen und Löschen von Zugehörigkeitsfunktionen

Wollen Sie die Zugehörigkeitsfunktionen um eine weitere ergänzen, so genügt es, die Schaltfläche "Einfügen" anzuklicken. Ein zusätzlicher Graph erscheint, und am Ende der Bezeichnungsliste wird **MBF_x** angefügt. Anklicken der Schaltfläche "Löschen" entfernt die Zugehörigkeitsfunktion, deren Bezeichnung im Anzeigefeld steht.

5. Änderung des Wertebereiches

Wird es während der Projektbearbeitung erforderlich, für einen Eingang den Wertebereich zu ändern, dann sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- Der Wertebereich wird verkleinert.
In diesem Falle meldet das System: *”Es liegen Punkte außerhalb des gewählten Bereiches. Alle Zugehörigkeitsfunktionen anpassen?”*
Durch **OK** akzeptieren Sie den neuen Wertebereich; die Alternative ist Abbruch der Operation.
- Der Wertebereich wird erweitert.
In diesem Falle fragt das System: *”Sollen die Zugehörigkeitsfunktionen an den neuen Wertebereich angepaßt werden?”*
Hierauf können Sie mit **Ja** oder **Nein** antworten. Wenn Sie **Nein** wählen, dann bleiben alle Punktwerte erhalten. Aufgrund des größeren Bereichs wird die Darstellung horizontal gestaucht.

6. Eingabe der Punktkoordinaten der Zugehörigkeitsfunktionen

Die Selektion einer Bezeichnung in der Liste der Zugehörigkeitsfunktionen (Pfeil anklicken) veranlaßt das System, diesen Bezeichnungs-Namen in das Anzeigefeld zu übertragen und den zugehörigen Graphen andersfarbig bzw. durch einen Kreis markiert darzustellen.

Der erste Fußpunkt der Zugehörigkeitsfunktion, deren Bezeichnung im Anzeigefeld erscheint, ist durch einen Kreis gekennzeichnet. Die Koordinatenwerte der vier (Eck-)Punkte des Trapezes einer Zugehörigkeitsfunktion werden in der ”Punkte”-Liste angezeigt. Der Wert des aktuellen Punktes ist durch das Kreissymbol markiert. Punkt 1 und 4 sind immer Fußpunkte, während Punkt 2 und 3 Kopfpunkte sind, die bei Dreiecksprofilen übereinander liegen.

Ein Koordinatenpunkt läßt sich selektieren durch:

- Anwahl in der Punkte-Liste oder durch
- Anklicken eines Eckpunktes im selektierten Graphen (Grafikfeld).

Der Koordinatenwert eines selektierten Punktes läßt sich ändern:

- numerisch durch Ändern des Zahlenwertes in der Punktliste (5-stellig) oder
- grafisch durch Anklicken des betreffenden Eckpunktes und ”Ziehen” längs der horizontalen Koordinate.

Wenn zwei Punkte übereinander liegen, wird mit jedem Mausklick der jeweils andere Punkt ausgewählt. Beim Verschieben eines Eckpunktes wird simultan der jeweils erreichte numerische Wert in der Punkte-Liste ausgegeben. Das ermöglicht die exakte Einstellung gewünschter Zahlenwerte.

Über die Schaltfläche ”+” kann eine Zoomfunktion in fünf Stufen eingeschaltet werden, was eine nahezu beliebige Einstellgenauigkeit bei der Verschiebung eines Punktes ermöglicht. Rückschaltung über ”-” oder ”1:1”

**Bearbeiten:
Ausgang**

Durch doppeltes Anklicken eines Ausgangs in der Fuzzy-Struktur erscheint das Fenster mit den Eingabemöglichkeiten für die Definition des Wertebereichs und der Zugehörigkeitsfunktionen für diesen Ausgang.

Für die Bearbeitung der Ausgänge gilt prinzipiell die gleiche Vorgehensweise wie für die Eingänge. Gehen Sie deshalb bei der Realisierung Ihres Projektes schrittweise wie bei "Bearbeiten: Eingang" vor (Seite 6-9).

1. Benennung des Ausgangs

Geben Sie dem selektierten Ausgang den in Ihrem Projekt vorgesehenen Namen (max. 10 Zeichen).

2. Einstellung des Wertebereichs

Die Voreinstellung für den Wertebereich ist: -100 ... 100. Wird über den Ausgang ein Heizelement als Stellglied angesteuert, so beträgt der Wertebereich für diesen Ausgang 0 ... 100 [%]. Durch Eintragung des Anfangs- und Endwertes in die Felder für das (Bereichs)-Minimum und -Maximum wird die Skalierung des Zugehörigkeitsbildes entsprechend angepaßt.

3. Erzeugen und Benennen von Zugehörigkeitsfunktionen

Das Erzeugen der Zugehörigkeitsfunktionen erfolgt in gleicher Weise wie bei einem Eingang. Über die Schaltfläche "Einfügen" werden unter Beibehaltung der Voreinstellung fünf Singleton-Zugehörigkeitsfunktionen erzeugt. Die fünf "Strichfunktionen" sind gleichmäßig über den Wertebereich verteilt. Im Anzeigefeld der Zugehörigkeitsfunktionen erscheint der vorbesetzte Name **n_gross** für den ersten Graphen.

Achtung: Maximal 7 Zugehörigkeitsfunktionen sind möglich.

Jeder Zugehörigkeitsfunktion entspricht ein "linguistischer Wert". Dieser stellt eine unscharfe Beschreibung des Verhaltens der betreffenden Ausgangsgröße dar. Sie müssen daher in der Regel die Systemvorbesetzungen durch die aktuellen linguistischen Werte Ihres Projektes ersetzen. Setzen Sie dazu den Cursor in das Anzeigefeld und geben Sie die gewünschte Bezeichnung ein. Maximal 7 Zeichen sind möglich.

Die Bezeichnungen der übrigen Zugehörigkeitsfunktionen erreichen Sie nach Anklicken des Pfeils neben dem Anzeigefeld.

4. Einfügen und Löschen von Zugehörigkeitsfunktionen

Wollen Sie die Zugehörigkeitsfunktionen um eine weitere ergänzen, so genügt es, die Schaltfläche "Einfügen" anzuklicken. Ein zusätzlicher Strichgraph erscheint, und am Ende der Bezeichnungsliste wird **MBF_x** angefügt. Anklicken der Schaltfläche "Löschen" entfernt die Zugehörigkeitsfunktion, deren Bezeichnung im Anzeigefeld steht.

5. Änderung des Wertebereiches

Die Operation erfolgt in gleicher Weise und mit den gleichen Systemmeldungen wie bei den Eingängen.

6. Eingabe der Singleton-Koordinate der Zugehörigkeitsfunktionen

Das Selektieren einer Zugehörigkeitsfunktion (Pfeil anklicken) veranlaßt das System, deren Bezeichnung in das Anzeigefeld zu übertragen und den zugehörigen Graphen andersfarbig darzustellen bzw. durch einen Kreis zu kennzeichnen. Da die Singletons nur einen Koordinatenpunkt besitzen, entfällt die Eingabe einzelner Koordinatenwerte. Bei Einstellung mit der Maus wird der Strichgraph komplett horizontal verschoben. Die Einstellung kann auch numerisch über das Feld "Punktwert" erfolgen.

6.5 Regelbasis erstellen

Die UND-Verknüpfung

Die Regeln für den "Wenn- ... Dann-Teil" Ihrer Fuzzy-Struktur werden in einem separaten Bearbeitungsfenster des Konfigurationswerkzeugs in Tabellenform formuliert und eingegeben. Alle Fuzzy-Regeln zusammengenommen, bilden die Regelbasis einer Fuzzy-Anwendung.

Eine Spalte in der Tabelle entspricht jeweils einer Fuzzy-Regel, bei der die linguistischen Werte im WENN-Teil (oben) über eine UND-Verknüpfung zu einer linguistischen Aussage im DANN-Teil (unten) - diese ggf. auch UND-verknüpft - in Beziehung gesetzt werden.

z.B.

WENN Innentemp ist kuehl UND Aussentemp ist kalt UND Feuchte ist mittel
DANN Heizer ist voll

oder

WENN Innentemp ist warm UND Aussentemp ist kuehl DANN Heizer ist wenig

Bis zu 200 derartige Regeln sind möglich. Wegen der Übersichtlichkeit und der Reaktionszeit des Systems empfiehlt es sich jedoch, in einer Fuzzy-Anwendung nicht mehr als 50 Regeln festzulegen. Über der entsprechenden Spalte wird die Nummer der Fuzzy-Regel angezeigt.

Die ODER-Verknüpfung

Wenn Sie eine ODER-Verknüpfung der Eingänge realisieren wollen, dann erreichen Sie das durch Formulierung von mehreren UND-Regeln für dieselbe Zugehörigkeitsfunktion eines Ausgangs. In den WENN-Teil dieser Regeln tragen Sie jeweils nur einen der zu verknüpfenden linguistischen Werte ein, während die anderen leer bleiben:

Die folgenden beiden Regeln lassen sich ebenfalls als ODER Verknüpfung verstehen:

WENN Innentemp ist heiss und Aussentemp ist kuehl DANN Heizer ist aus
WENN Innentemp ist heiss und Aussentemp ist warm DANN Heizer ist aus

Diese beiden Regeln zusammengefaßt:

WENN Innentemp ist heiss UND (Aussentemp ist kuehl ODER warm)
DANN Heizer ist aus.

Methodik der Tabellenbearbeitung

Die Zeilen der Tabelle sind den definierten Ein- und Ausgängen zugeordnet. Über die Schaltflächen "Anhängen" oder "Einfügen" kann nach Aktivierung jeweils eine leere Regel-Spalte rechts ergänzt bzw. vor der selektierten Spalte eingefügt werden.

Neun Regel-Spalten können im Fenster dargestellt werden. Wenn mehr als neun Regeln erzeugt werden, erscheint unter der Tabelle eine Bildlaufleiste, mit deren Hilfe sich der dargestellte Tabellenausschnitt horizontal verschieben läßt: Anklicken der Pfeile links oder rechts bzw. "Ziehen" des Schieber-symbols in die gewünschte Richtung.

Wollen Sie eine Regel entfernen, dann genügt es, diese zu selektieren und die Schaltfläche "Löschen" zu aktivieren. Mit der Funktion "Verdichten" entfernen Sie leere Tabellenspalten. Beachten Sie, daß danach die Regeln ggf. umnumeriert werden.

Regeln eingeben

Nach Anklicken des Wenn ... Dann-Blocks im Strukturbild des Basisfensters erscheint das Regel-Bearbeitungsfenster. Dieses ist zunächst noch leer, am linken Rand werden lediglich die Namen der Ein- und Ausgänge untereinander aufgelistet.

1. Das Tabellenfeld der obersten Zeile ist umrandet. Setzen Sie den Cursor in dieses Feld. Es erscheint ein Auswahlmenü mit den linguistischen Werten bzw. Zugehörigkeitsfunktionen, die für diesen Eingang definiert wurden.
2. Selektieren Sie jetzt die gewünschte Zugehörigkeitsfunktion für die zu formulierende Regel. Das System übernimmt darauf deren Bezeichnung in das angewählte Tabellenfeld.
3. Positionieren Sie den Cursor in das nächste Feld der Spalte. Auch hier werden jeweils die Zugehörigkeitsfunktionen für den betreffenden Ein- oder Ausgang angezeigt und ausgewählt.
4. Durch Auswahl der Menüzeile -leer- können Sie in einem selektierten Tabellenfeld den eingetragenen Wert löschen.

Durch einen Mausklick außerhalb des Auswahlmenüs verschwindet dieses. Das selektierte (umrandete) Tabellenfeld bleibt unverändert.

5. Zur Eingabe der nächsten Regel aktivieren Sie "Anhängen" oder "Leer Einfügen", falls die Regel vorher eingeschoben werden soll.

Im allgemeinen wird in der Tabelle eine selektierte Regel durch Umrandung der Regelnummer und ein selektiertes Feld durch Umrandung des Feldes markiert.

6.6 Offline-Analyse der Fuzzy-Anwendung, Projekt darstellen

Kennfeld-darstellung der Fuzzy-Struktur

Im Menü "Ansicht" befinden sich die Funktionen zur Beobachtung der Wirkungsweise einer definierten Fuzzy-Anwendung. Mit der Option "3D-Grafik darstellen" ist es möglich, Kennfelder der Wirkung zweier auswählbarer Eingänge auf einen Ausgang räumlich darzustellen.

Nach Anwahl des Menüpunktes erscheint das Fenster "3D-Grafikdarstellung" mit den Feldern zum Einstellen der abzubildenden Eingangsgrößen auf der X- und Y-Achse und der Ausgangsgröße auf der Z-Achse. Die Auswahl und Zuordnung nehmen Sie in einem Menü vor, das nach Aktivieren der Pfeilfläche (rechts neben dem Namensfeld) erscheint.

In diesen Auswahlmenüs sind alle Ein-/Ausgangsgrößen der aktuellen Fuzzy-Struktur enthalten, so daß Sie beliebige Kombinationen wählen und sich dadurch schrittweise ein Bild über die Arbeitsweise Ihrer Fuzzy-Anwendung verschaffen können.

Animation der Darstellung bestimmen

Das Erkennen von Details in räumlichen Darstellungen ist in großem Maße vom Betrachtungswinkel abhängig. Deshalb können Sie die 3D-Grafik nach Belieben um eine vertikale Achse drehen oder den Winkel der Draufsicht verstellen. Dazu bietet Ihnen das System einerseits die Schieber der Bildlauflisten unten und rechts an, andererseits können Sie über die Animationsfunktion eine selbsttätige Änderung der Darstellungsparameter veranlassen.

1. "Ziehen" am horizontalen Schieber dreht die dreidimensionale Darstellung des Einflusses zweier Eingangsgrößen auf die in Z-Richtung dargestellte Ausgangsgröße um eine vertikale Achse. Ziehen des vertikalen Schiebers z.B. nach oben erhöht den Sichtwinkel auf die Darstellungsfläche der Funktion $Z = F(X, Y)$.
2. Nach Aktivieren der Schaltfläche "Animation" erscheint das Dialogfeld "Parameter zur Animation". Zwei Darstellungsweisen sind möglich:
 - Kontinuierliche Drehung durch das System in einstellbaren Winkelschritten.
 - Ruhende Abbildung der 3D-Darstellung bei animierter Darstellung des Einflusses einer weiteren Eingangsgröße (4D-Darstellung).

Drehung der 3D-Darstellung

Da der Takt für die Erzeugung eines neuen Bildes konstant ist, beeinflusst die eingestellte Größe des Winkelschrittes $5 \dots 45 \text{ } \alpha^\circ$ unmittelbar die Drehgeschwindigkeit des Koordinatensystems auf dem Bildschirm.

Nach Ankreuzen von "Drehung" und Einstellung der gewünschten Schrittweite des Drehwinkels (über Pfeilfläche und Auswahlmenü) und Bestätigen mit **OK**, beginnt sich die Darstellung "ruckweise" zu drehen. Die Beschriftung der Schaltfläche "Animation" wechselt in **Stop**. Sie können die Drehbewegung dadurch zu einem gewünschten Zeitpunkt anhalten. Die Schaltfläche signalisiert daraufhin **Animation**, was nach Betätigung die Auslösung weiterer Drehungen veranlaßt.

Im Stop-Zustand läßt sich die Grafik selbstverständlich auch über die Schieber fein einstellen.

4D-Darstellung

Die Visualisierungsmöglichkeiten des Konfigurationswerkzeugs erlauben nicht nur die räumliche Darstellung und deren systemgesteuerte Drehung zur Änderung der Betrachtungsperspektive, sondern auch die "animierte" Darstellung des Einflusses einer weiteren Eingangsgröße auf den betrachteten Ausgang. Dies wirkt sich als schrittweise dynamisierte Verformung des Kennlinienfeldes des Ausgangs aus.

Nach Ankreuzen von "4D-Darstellung" können Sie über das Auswahlmü "Eingang" eine weitere Eingangsgröße bestimmen. Ihr Einfluß auf die räumliche Darstellung wird in definierbaren Rechenschritten ermittelt und abgebildet.

Bei einem Rechenschritt von z.B. 2 % wird der Wert der betrachteten Ausgangsgröße für den in 50 Schritten durchlaufenen Wertebereich dieses Eingangs zyklisch 50 mal neu berechnet. 'Wert der Ausgangsgröße' bedeutet hierbei die als Fläche abgebildete Menge der Ausgangswerte für die auf der X- und Y-Achse abgebildeten Wertebereiche der beiden anderen Eingangsgrößen.

Nach Einstellung der gewünschten Weite des Rechenschrittes (über Pfeilfläche und Auswahlmü) und Bestätigen mit **OK** beginnt sich die Darstellungsfläche "ruckweise" zu verformen. Die Beschriftung der Schaltfläche "Animation" wechselt in **Stop**. Sie können die Bearbeitung damit zu einem gewünschten Zeitpunkt einfrieren. Die Schaltfläche signalisiert daraufhin **Animation**. Dies löst nach Betätigung die Wiederaufnahme der Bearbeitung aus.

Auch bei dieser Art der Animation besteht eine Drehmöglichkeit über die Schieber. Sie können sich damit eine günstige Betrachtungsperspektive einstellen.

Einstellung von "Scharparametern"

Viele Fuzzy-Anwendungen werden mehr als drei Eingangsgrößen haben. Wollen Sie deren Einfluß auf eine bestimmte Ausgangsgröße mit in die Darstellung einbeziehen, so ist das durch Vorgabe von interessierenden Werten ihrer Wertebereiche in Form von Parametereinstellungen möglich. Nach Aktivieren der Schaltfläche "Parameter" erscheint ein Dialogfeld mit einer Eingabeliste für Parameterwerte.

Die Parameterbezeichnungen entsprechen denen der möglichen acht Eingangsgrößen einer Fuzzy-Struktur. Außer den beiden 'laufenden' Parametern der auf der X-/Y-Achse dargestellten Eingangswerte können Sie hier jedem realen Eingang einen bestimmten Wert zuweisen (7-stellig). Nach Bestätigen mit **OK** berechnet das System dann für diesen neuen/geänderten Eingangswert alle Werte der dreidimensional dargestellten Ausgangsgröße neu.

Neben der Wirkung der beiden direkt im Koordinatensystem dargestellten Eingänge und der einer dritten - automatisch animierten - Eingangsgröße können Sie damit den Einfluß von fünf weiteren Eingängen einer Fuzzy-Struktur auf eine bestimmte Stellgröße beobachten. Da dies nur punktweise für diskrete Werte möglich ist, empfiehlt es sich, nur sogenannte 'kritische' Werte oder Werte an den Bereichsrändern einzustellen.

6.7 Fuzzy-Anwendung beobachten

Der Kurvenschreiber

Die Funktion "Kurvenschreiber" ermöglicht die Darstellung der zeitlichen Verläufe von bis zu fünf - beliebig auswählbaren - Ein- oder Ausgangsgrößen in Bereichen zwischen 10 und 9999 Sekunden. Am unteren Rand des Diagrammfensters ist ein Zeitmaßstab angebracht, dessen Skalierung aus der von Ihnen festgelegten Länge der Kurvenanzeige resultiert. Pro Kurve lassen sich jeweils 150 Werte abbilden, dazwischen wird linear interpoliert.

Die Aufzeichnung im Diagrammfenster erfolgt von links nach rechts und schreitet im Takt der resultierenden Abtastzeit fort. Wenn das Ende des Diagrammfensters erreicht ist, so wird die gesamte Darstellung schrittweise um Beträge von etwa $\frac{1}{4}$ der Diagrammlänge nach links verschoben. Die Kurven werden archiviert. Die Länge des Archivs kann ein Mehrfaches der Länge der Kurvenanzeige betragen. Durch "Ziehen" am Schieber der Bildlaufleiste oder durch Anklicken der Rechts-/Links-Pfeile können Sie - bei gestopptem Schreiber - die abgespeicherten Teile eines Kurvenverlaufs sichtbar machen.

Darstellung der Regelwirksamkeiten

Im unteren Diagrammfenster des Kurvenschreibers werden die Regelaktivitäten in Balkendarstellung visualisiert und die Defuzzifizierung nach der Schwerpunktmethodik veranschaulicht.

Jeder Fuzzy-Regel ist ein Balken zugeordnet. Im Inneren des Balkens wird die Nummer der entsprechenden Fuzzy-Regel angezeigt. Die Höhe des Balkens entspricht der Regelwirksamkeit und seine horizontale Position der Lage der Zugehörigkeitsfunktionen (Singletons) des entsprechenden Ausgangs. Die Grenzen des horizontalen Anzeigebereiches entsprechen dem Minimum und Maximum des gewählten Ausgangs.

Die Leselinie

Eine im gestoppten Zustand des Schreibers horizontal verschiebbare senkrechte Leselinie ermöglicht es, zu einem bestimmten Zeitpunkt die Werte der Prozeßgrößen numerisch anzuzeigen und in den zugehörigen Wertefeldern rechts abzulesen. Diese "Lesefunktion" bewirkt simultan die Bewegung des "Drehpunkts", d.h. des Pfeils für die Schwerpunktanzeige im Balkendiagramm sowie eine aktuelle Darstellung der Singleton-Balken für die Wertekombination der Eingangsgrößen an der Leselinie.

Kurven-Zuordnung zu Ein-/Ausgangsgrößen

Fünf Größen können in einem gemeinsamen Zeitdiagramm jeweils als Kurvenzug (in unterschiedlicher Farbe) dargestellt werden. Die Zuordnung der betreffenden Prozeßgröße zu einer bestimmten Kurve geschieht über das Menü "Kurvenauswahl" im Fenster des Kurvenschreibers und zwar über folgende Prozedur:

1. Wählen Sie die gewünschte Kurve über den zugehörigen Optionsschalter in der Liste der numerischen Werte (rechts neben dem Diagramm) aus.
2. Wählen Sie jetzt nach Anklicken des Pfeils (Kurvenauswahl) in der Liste der Ein- und Ausgänge der aktuellen Fuzzy-Anwendung diejenige Größe, die Sie durch die selektierte Kurve darstellen wollen. Dieser Ein- oder Ausgang wird im Feld "Kurvenauswahl" angezeigt.
3. Aktivieren Sie ggf. ein weiteres Kreissymbol und ordnen Sie der dadurch bezeichneten Kurve in gleicher Weise eine der anderen Größen zu.

Das System stellt den aktuellen Momentanwert zu jeder Kurve im Anzeigefeld neben dem Kreissymbol 5-stellig dar.

4. Selektieren eines Kreissymbols (Markierungspunkt) bewirkt die Namensanzeige der dieser Kurve zugeordneten Größe über dem Diagrammfeld und im Feld "Kurvenauswahl". Gleichzeitig wird die Skalierung der Diagramm-Ordinate auf den Wertebereich der angewählten Prozeßgröße umgeschaltet.
5. Im unteren Diagramm wird ein Ausgang über das Menü "Balkendarstellung" seiner Balkendarstellung zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt in der gleichen Weise, wie sie bereits für die Kurvendarstellung beschrieben wurde.

Zeitliche Darstellung festlegen: "Abtastzeiten einstellen"

Nachdem Sie die relevanten Ein- und Ausgänge Ihrer Fuzzy-Anwendung bestimmten Kurven zugeordnet haben, gilt es jetzt noch, die zeitliche Darstellung über eine entsprechende Skalierung der Zeitachse festzulegen. Je nach Trägheit des betrachteten Prozesses bzw. entsprechend der geforderten zeitlichen Auflösung der Darstellung von Ereignissen, ist eine kleine oder eine größere "Länge der Kurvenanzeige" zu wählen.

"Länge der Kurvenanzeige" bedeutet die Zeitspanne, die für den vollen Durchlauf der Zeitachse des sichtbaren Diagramms vorgesehen ist. Dieser Parameter wird im Bereich zwischen 10 und 9999 Sekunden (= 166,6 Minuten!) eingestellt.

Den Wert des Zeitachsen-Parameters wählen Sie im Dialogfeld "Zeitwerte des Kurvenschreibers". Sie erreichen es über den Menüpunkt **Abtastzeiten einstellen**. Kleine Parameterwerte ermöglichen die Aufzeichnung schneller Vorgänge mit ausreichender Auflösung. Entsprechend erfordern langsame Prozesse große Werte.

Insgesamt werden innerhalb der gewählten Zeitspanne 150 Werte für jede der dargestellten Kurven aufgezeichnet. Das bedeutet, es ergeben sich resultierende Abtastzeiten für die Darstellung zwischen 0,1 s (bei einer Zeitachse von 20 s) und 66,6 s (bei einer Zeitachse von 9999 s). Der aktuelle Wert für die Abtastzeit in Sekunden wird im Dialogfenster mit ausgegeben.

Die Archivfunktion

Die bei Aktivierung der Funktion "Kurvenschreiber" erfaßten Meßwerte werden in einem Archiv zwischengespeichert, das dimensionierbar ist und bis zu 500 Datensätze speichern kann. Durch diese Archivierung können Sie das Verhalten von Fuzzy-Anwendungen rückwirkend analysieren. Im Meßwertarchiv werden alle Eingangsdaten, auch die momentan nicht dargestellten, gespeichert.

Die Gesamtlänge des Archivs, d.h. die Menge der gespeicherten Werte, beträgt maximal etwa das Dreifache der dargestellten Länge der Kurvenanzeige. Der Parameter kann ebenfalls zwischen 10 und 9999 Sekunden eingestellt werden. Die untere Grenze ist gleich der Länge der Kurvenanzeige, der oberen Grenze entspricht etwa die dreifache Kurvenlänge.

Wenn Sie eine Analyse des Archivs vornehmen wollen, dann müssen Sie den Kurvenschreiber stoppen. Dadurch wird die Datenübertragung von der CPU, oder im Offline-Mode vom Kurvengenerator, unterbrochen. Die Aufzeichnung bleibt mit den zuletzt erfaßten Werten am rechten Rand stehen. Verdeckte Bereiche des Archivs können Sie durch Ziehen des Schiebers nach links sichtbar machen.

Bei der Analyse der Archivinformationen werden die Anzeigedaten auf dem Bildschirm aktualisiert. Die Zahlenwerte der Ein- und Ausgangssignale, die Balken für die Regelwirksamkeiten und das Dreieck für die Schwerpunktanzeige entsprechen den Meßwerten, die an der momentanen Position der Leseleine vorhanden sind. Während der Analyse des Archivs ist es auch möglich, die angezeigten Ein- und Ausgänge zu wechseln. Wenn ein neues Ein- oder Ausgangssignal ausgewählt wird, werden die Bilder neu gezeichnet und die Zahlenwerte aktualisiert.

Bei Aktivierung von **Start** wird das Archiv gelöscht und erneut mit der Datenübernahme und -darstellung begonnen.

Arbeiten mit der Funktion "Kurvengenerator"

Neben der Möglichkeit, auswählbare Prozeßgrößen während des Online-Betriebs der Fuzzy-Anwendung aufzuzeichnen und zu beobachten, umfaßt die Funktion "Kurvenschreiber" außerdem ein wichtiges Hilfsmittel zur Durchführung von Offline-Tests: nämlich die Fähigkeit zur Erzeugung von Testsignalen mit Hilfe eines Kurvengenerators. Diese Testfunktionen mit Dreieckprofil bewirken je nach Zuordnung eine kontinuierliche rampenförmige Änderung von einer oder mehreren Eingangsgrößen der Fuzzy-Anwendung.

Mit Hilfe der Aufzeichnungen des Kurvenschreibers lassen sich dann simultan die Reaktionen der Ausgangsgrößen auf das Durchfahren der kompletten Wertebereiche der betreffenden Eingangsgrößen beobachten. Es empfiehlt sich, jeweils nur eine Eingangsgröße zu variieren und die übrigen konstant zu halten. Das erleichtert den Überblick. Umschalten der Testfunktion des Kurvengenerators auf einen der anderen Eingänge ist im Dialogfeld "Kurvengenerator" einfach durchführbar.

Eingangswerte einstellen

Über den Menüpunkt **Kurvenparameter einstellen** erreichen Sie die Dialogfelder zum Auswählen und Einstellen der erforderlichen Parameter für die Definition Ihrer Offline-Testbedingungen. Im Dialogfeld "Kurvenparameter" werden auf der linken Seite die Eingänge und auf der rechten Seite die Ausgänge der betreffenden Fuzzy-Anwendung dargestellt. Durch Eingabe von Zahlenwerten an den Eingängen kann man die von Fuzzy Control berechneten Werte an den Ausgängen kontrollieren.

Stellen Sie die Werte durch Anklicken des Pfeils und Selektion des Menüpunktes **Konstante** ein. Nach Eintragung des Zahlenwertes und Bestätigen mit **OK** im Dialogfeld "Konstante" wird dieser Wert übernommen und angezeigt. Das System errechnet gleichzeitig die neuen Werte der Ausgänge für die aktuelle Kombination der Eingänge und zeigt diese auch an. Dadurch wird ein erster, einfacher Offline-Test möglich.

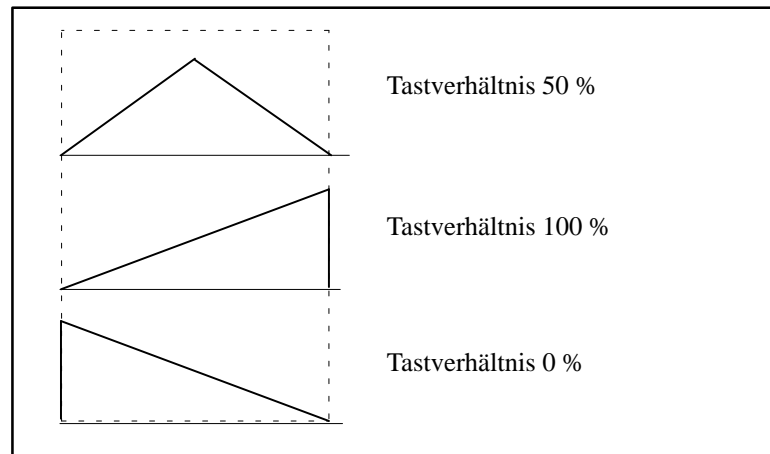
Um die Auswirkungen von Eingangsgrößen an ihren Wertebereichsgrenzen zu beurteilen, können im Offline-Test die betreffenden Eingänge mit Hilfe der Menüpunkte **Maximum** bzw. **Minimum** leicht auf ihre Extremwerte eingestellt werden. Über den Menüpunkt **Null** kann der betr. Eingang unwirksam gemacht werden.

Kurvenparameter einstellen

Reicht die statische Betrachtung Ihrer Fuzzy-Anwendung bei fest eingestellten Eingangskombinationen nicht aus, dann können Sie ein sich kontinuierlich rampenförmig sich veränderndes Testsignal (Dreiecksfunktion) auf einen der Eingänge legen, dessen Zeit- und Amplitudencharakteristik parametrierbar ist. Diese unabhängig voneinander definierten Dreieckssignale lassen sich auch mehreren Eingängen zuweisen.

Nach Anklicken des Menüpunktes **Kurve** ermöglicht das Dialogfeld "Kurve" die Festlegung des Testsignalverlaufs. Gehen Sie dabei wie folgt vor:

1. Legen Sie die Amplitude des Testsignals fest, indem Sie die Werte für das "Maximum" und das "Minimum" eingeben. Wenn diese Werte mit den Bereichsgrenzen der Eingangsgröße übereinstimmen, dann berührt die Rampenfunktion gerade die obere und untere horizontale Begrenzung des Darstellungsfensters. Kleinere oder größere Werte sind möglich.
2. Geben Sie jetzt einen Wert für die "Periodenanzahl" ein. Sie steht für die Anzahl der durchlaufenden Zyklen der periodischen Testfunktion während der Länge der Kurvenanzeige. Je größer der Wert, desto steiler verlaufen die Anstiegs- und Abstiegsrampen.
3. Der Wert für das "Tastverhältnis" gibt prozentual das Verhältnis der Dauer der ansteigenden Flanke des Dreieckssignals zur Gesamtperiodendauer an. Der Voreinstellwert ist 50 %.
 - Tastverhältnis = 50 % bedeutet:
Die Anstiegs- und Abstiegsrampe verteilen sich im Verhältnis 1:1 auf die Periodendauer, und ihre Steigungen sind gleich.
 - Tastverhältnis = 0 % bedeutet:
Die Anstiegssrampe hat die Steigung ∞ und die Abstiegsrampe verläuft fallend über die volle Periodendauer (Sägezahn).
 - Tastverhältnis = 100 % bedeutet:
Die Anstiegssrampe verläuft über die volle Periodendauer, die Steigung der Abstiegsrampe ist ∞ (Sägezahn).



4. Die "Phasenlage" definiert den Startpunkt der Testfunktion im Verhältnis zur Kurvendarstellung im Diagramm. Eine eingestellte Phasenlage von 25 % verschiebt das Testsignal z.B. um 25 % der Diagramm-Darstellungszeit nach rechts. Der Voreinstellwert ist 0 %.

Die Eingaben werden durch einen Mausklick in einem beliebigen Feld des Dialogfensters aktiviert. Dann wird vom System eine Neuberechnung der Kurvenparameter vorgenommen und der schematische Verlauf des Dreieckssignals im Grafikfeld des Dialogfensters "Kurve" dargestellt. Wenn Sie alle Kurvenparameter wunschgemäß eingegeben und mit **OK** bestätigt haben, werden die Werte gespeichert und das Fenster geschlossen.

Im Dialogfeld "Kurvenparameter" wird jetzt anstelle des Zahlenwertes für den betr. Eingang der Menüpunkt **Kurve** angezeigt. Die Zahlenwerte der Ausgänge werden durch **??** ersetzt. Wenn mindestens ein Eingang mit einer Kurve verschaltet ist, kann man die Werte der Ausgänge nicht mehr als einzelne Zahlenwerte ausgeben, deshalb erfolgt die Symbolisierung durch **????**.

Auf diese Weise lassen sich alle Eingänge mit Konstanten oder Kurvenverläufen belegen, um danach mit Hilfe der Funktion "Kurvenschreiber" das Verhalten der Fuzzy-Anwendung offline untersuchen zu können. Es ist - wie erwähnt - auch möglich, mehrere Eingänge gleichzeitig mit Kurven zu belegen. In den meisten praktischen Anwendungsfällen ist es aber sinnvoller, nur einen Eingang mit einem Testsignal zu beschalten und die restlichen Eingänge mit Konstanten zu belegen. Sie können so das Verhalten der Ausgänge in Abhängigkeit von diesem Eingang leichter analysieren.

Generell bietet Ihnen der Kurvengenerator die Möglichkeit, das Ein- und Ausgangsverhalten der entwickelten Fuzzy-Anwendung zu untersuchen. Sie dürfen dabei jedoch nicht außer Acht lassen, daß Sie nach wie vor das Fuzzy-System unabhängig vom Prozeß betrachten. Wenn Sie es danach online mit dem Prozeß verbinden, müssen Sie ggf. weitere Untersuchungen im geschlossenen Funktionskreis durchführen.

6.8 Laden und Inbetriebnehmen der Fuzzy-Anwendung

Fuzzy-Anwendung laden

Laden Sie den Instanz-Datenbaustein mit dem Programm Ihrer Fuzzy-Anwendung komplett mit den Aufruf-OBs und dem Funktionsbaustein FUZZY in die CPU des Automatisierungssystems. Benutzen Sie dazu die Mittel des SIMATIC Managers.

Bearbeitungsaufruf der Fuzzy-Regelung

Der Funktionsbaustein FUZZY muß vom Anwender aufgerufen werden. Der Aufruf kann in der zyklischen und/oder in einer zeitgesteuerten Programmverarbeitungsebene erfolgen. Der Baustein muß absolut aufgerufen werden. Die Steuerung der Bearbeitung erfolgt über die Variable START_STOP im Instanz-Datenbaustein.

Bei Aufruf des FB muß ein Instanz-Datenbaustein angegeben werden. In diesem Datenbaustein ist das Regelwerk der Fuzzy-Anwendung abgelegt. Für jedes Fuzzy-Regelwerk wird ein eigener Datenbaustein benötigt. Nur die im Regelwerk benötigten Ein-/Ausgangsparameter müssen belegt sein. Nicht benutzte Ein- oder Ausgänge brauchen nicht beschaltet zu werden.

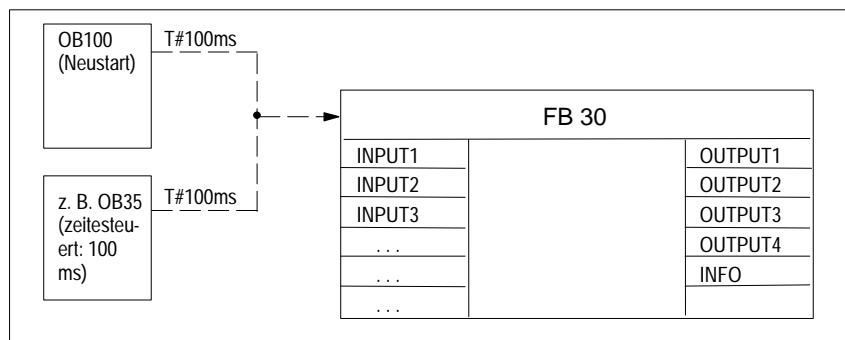


Bild 6-1 Verschaltung der Aufrufbausteine mit dem Fuzzy-FB

Beispiel: Aufruf nur mit dem Parameter INFO

AWL	Erläuterung
CALL FB30, DB30 (INFO := MB30);	

Externe Versorgung der Ein-/Ausgänge

Nach dem Erzeugen eines Datenbausteins als Instanz und nach Vergabe eines Namens in der Symbolik kann auch ein externer Zugriff im Anwender-Programm erfolgen. Beispiel:

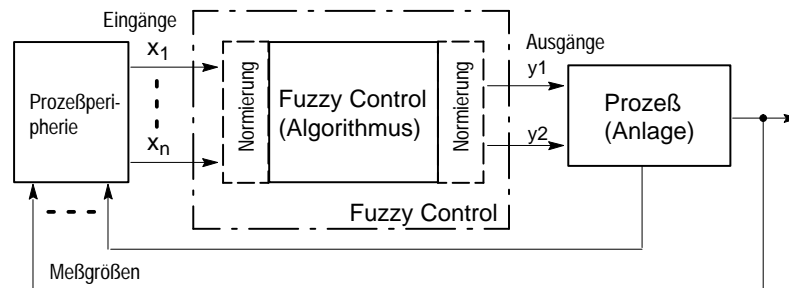
AWL	Erläuterung
..	
T "Pendel".INPUT1	= Symbolik des DBs
..	Variable im DB
L "Pendel".OUTPUT2	
usw	

Glossar

Analogwert Ein-/Ausgabe	= Algorithmus (Funktion) zur Wandlung eines Eingangswertes im Peripherie(daten-)format in einen Gleitpunktwert und Normierung auf Prozent, entsprechend Wandlung eines internen Prozentwertes in das Peripherieformat der Ausgangsgröße.
Anlauf der Fuzzy-Anwendung	Der "automatische Anlauf" wird gestartet bei Spannungswiederkehr nach Netz-Aus, 'manueller Anlauf' erfolgt nach einer Schalterbedienung oder einem Kommunikationskommando (→ Neustart, → Wiederanlauf).
Arbeitspunkt	= bezeichnet den Stellwert, bei dem die Abweichung der Regelgröße vom Sollwert zu Null wird. Von Bedeutung ist dieser Wert bei Reglern ohne I-Anteil, bei denen im Beharrungszustand eine bleibende Regeldifferenz zur Aufrechterhaltung des benötigten Stellwertes notwendig ist. Soll diese Differenz verschwinden, dann ist der Arbeitspunktparameter entsprechend anzupassen.
AS	Automatisierungssystem, bestehend aus einer oder mehreren Zentralprozessoreinheit(en) (CPU), den Peripherieeinheiten mit digitalen/analoge Ein- und/oder Ausgängen, den Einheiten zur Kopplung und Kommunikation mit weiteren Systemeinheiten und ggf. einer Stromversorgung.
Datenbasis	→ Instanz-Datenbaustein
Defuzzifizierung	= Umrechnung der als Zugehörigkeitsfunktion dargestellten unscharfen Aussagen-Menge eines Ausgangs auf einen konkreten Zahlenwert. Dazu werden die Einflüsse der Regeln auf diesen Ausgang gewichtet und der Flächenschwerpunkt der resultierenden Zugehörigkeitsfunktion gebildet. (→ Schwerpunkt-methode).
FPL-Sprache	Die Speicherung von Fuzzy-Anwendungen erfolgt im Datenformat der FPL-Sprache (Fuzzy Programming Language). Der FPL-Standard wurde von der Firma Togai InfraLogic Inc. spezifiziert.
Führungsgröße	= gibt den gewünschten Wert bzw. Verlauf der interessierenden Prozeßgröße vor. Ihr Momentanwert heißt → Sollwert (SP).
Fuzzy-Anwendung	= Konfiguration bestehend aus einer definierten Anzahl von Ein-/Ausgängen und dem ausformulierten Regelwerk, welches den anwendungsentsprechenden Einfluß der Eingangsgrößen auf die Ausgangsgrößen (Kennfeld) unterschieden nach Teilbereichen festlegt (→ Regelwerk). Eine Fuzzy-Anwendung wird jeweils durch einen spezifischen Instanz-Datenbaustein verkörpert.

Fuzzy Control

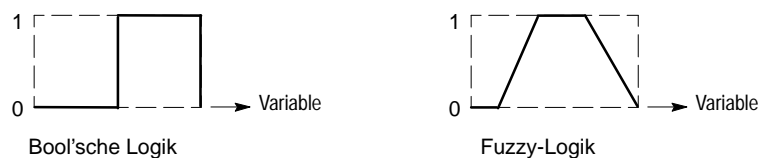
= Algorithmus (FB) des Automatisierungssystems (AS), der in konstanten oder programmabhängigen Zeitabständen neue Werte der Eingangsgrößen erfaßt und danach nach Maßgabe der im Regelwerk verankerten Wissensbasis neue Werte für die Ausgangsgrößen berechnet.

**Fuzzifizierung**

= Überführung der Momentanwerte eines Eingangs in Wahrheitsgrade linguistischer Aussagen (\rightarrow linguistischer Wert).

Fuzzy-Logik

= Logik mit unscharfer Mengenzugehörigkeit der Elemente (\rightarrow Wahrheitswert).

**Fuzzy-Regel**

= linguistische Regel der Form WENN A, DANN B, auch Produktionsregel genannt, beschreibt eine das Verhalten der Fuzzy-Anwendung bestimmende Teilstrategie. Der WENN-Teil (Vorbedingung) kann dabei auch logisch verknüpft sein, der DANN-Teil (Schlußfolgerung) ist eine einfache Zuweisung eines linguistischen Wertes zu einer Ausgangsgröße.

Inferenz

= Bearbeitung des Regelwerks durch Verknüpfung der Eingangs-Wahrheitsgrade mit Hilfe des Minimumoperators (WENN-Teil) und Ermittlung des Wahrheitswertes für den betreffenden Ausgang (DANN-Teil) durch Überlagerung der gekappten Zugehörigkeitsfunktionen verschiedener Regeln.

Instanz-Datenbaustein

= Datenbaustein, in dem die Struktur (Eingänge/Ausgänge) und das Verhalten (Regelwerk) einer konfigurierten Fuzzy-Anwendung gespeichert sind.

Istwert

= Momentanwert der Regelgröße

Konfigurationswerkzeug

= Werkzeug (Software) zur Erstellung und Parametrierung einer Standard-Regelung sowie zur Optimierung des Reglers mit Hilfe der aus einer Streckenidentifikation gewonnenen Daten.

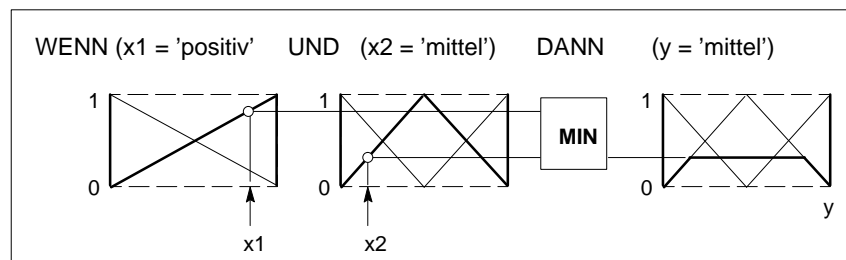
Kurvengenerator = erzeugt konstante Zahlenwerte oder zeitabhängige Zeitfunktionen an wählbaren Eingängen der Fuzzy-Anwendung zu Offline-Testzwecken.

Lineare Skalierung = Funktion zur Umwandlung der Werte einer Eingangsgröße in Prozentwerte der Ausgangsgröße vor deren Verarbeitung in internen Vergleichs- und Regelalgorithmen.

$$\text{Algorithmus: } \text{OUTV} = \text{INV} * \text{FACTOR} + \text{OFFSET}$$

Linguistischer Wert = Definiert man z.B. einen Temperaturbereich als eingeteilt in die unscharfen Mengen der kalten, warmen und heißen Temperaturwerte, so bezeichnet man 'kalt', 'warm' und 'heiß' als *linguistische Werte* der Variable Temperatur. Mit linguistischen Werten werden nicht eindeutig abgrenzbare Bereiche (= unscharfe Mengen) von physikalischen Größen qualitativ und nicht durch konkrete Zahlenwerte angesprochen.

Minimum-Operator = Die Wahl des 'Minimums' der momentanen Wahrheitswerte im WENN-Teil einer Regel realisiert eine UND-Verknüpfung der unscharfen Aussagen.



Neustart Bei Neustart einer Regelung kann von einem definierten Anfangszustand aus gestartet werden. Die Ausgangsparameter und lokalstatischen Daten des Reglers werden in der 'Neustarroutine' vorbesetzt. Bei gesetztem Neustartbit am Eingang COM_RST wird die Neustarroutine durchlaufen.

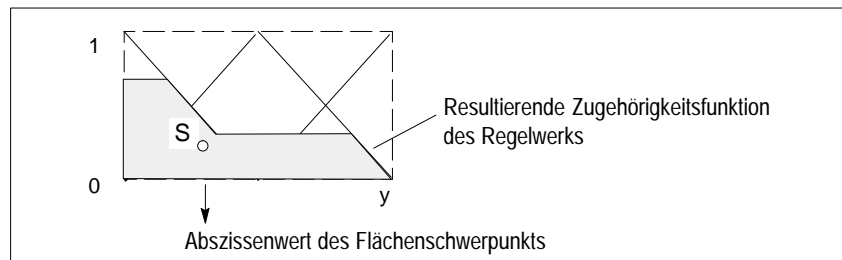
Normierung = Verfahren (Algorithmus) zur Umwandlung (Normierung) der physikalischen Werte einer Eingangsgröße auf den (intern verarbeiteten) Wertebereich ($X_{\min} \dots X_{\max}$) und Umwandlung umgekehrt am Ausgang. Die Normierungsgerade wird durch den Anfangswert (OFFSET) und die Steigung (FACTOR) festgelegt. Die Normierung wird in getrennt aufzurufenden Bausteinen (FC) vorgenommen.

Prozeßsimulation = Nachbildung eines Funktionskreises mit vorgegebenen Übertragungsblöcken zur Simulation eines realen Prozesses. Nach Anregung durch Störgrößen- oder Führungsgrößenänderung lassen sich die interessierenden Prozeßgrößen archivieren bzw. in Kurvenform einer Beobachtung zugänglich machen.

Regelgröße = Prozeßgröße (Ausgangsgröße der Regelstrecke), die an den Momentanwert der Führungsgröße angeglichen werden soll. Ihr Momentanwert heißt Istwert.

Regelwerk = Gesamtheit aller WENN-/DANN-Regeln einer Fuzzy-Anwendung (= Wissensbasis). Jede dieser linguistischen Regeln beschreibt eine Teilstrategie der Fuzzy-Anwendung.

Schwerpunkt-Methode = Der Ausgangswert eines Regelwerks wird als Abszissenwert des Schwerpunkts S der unter der Ausgangs-Zugehörigkeitsfunktion gelegenen Fläche ermittelt.



Signalflußplan = stellt die Wirkzusammenhänge einer Automatisierungseinrichtung oder eines Prozesses dar. Der Signalflußplan besteht aus Übertragungsblöcken, die das Übertragungsverhalten der realen Prozeßglieder kennzeichnen und aus Wirkungslinien, welche die Wirkungsrichtungen darstellen.

Skalierung = Funktion zur Anpassung (Abbildung) von analogen Größen auf Basis der Festlegung von Nullpunkt und Steigung einer linearen Übertragungsfunktion (→ Normierung).

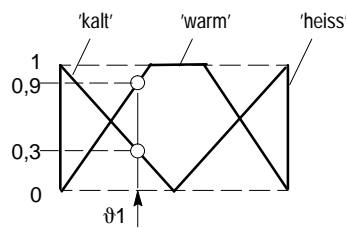
Singleton-Funktionen = Zugehörigkeitsfunktionen der Ausgänge in Strichform, deren Ordinatenwert den Grad der Zugehörigkeit zu dem betreffenden linguistischen Wert der Ausgangsgröße angibt. Die aus verschiedenen Regeln resultierenden Einflüsse auf einen bestimmten linguistischen Wert der Ausgangsgröße werden addiert.

Sollwert = Wert, den die Regelgröße durch Einwirken einer Automatisierungseinrichtung annehmen soll.

Stellgerät = Einrichtung, die zum Beeinflussen der Stellgröße am Prozeßeingang dient. Besteht meist aus der Vereinigung von Stellantrieb und Stellglied.

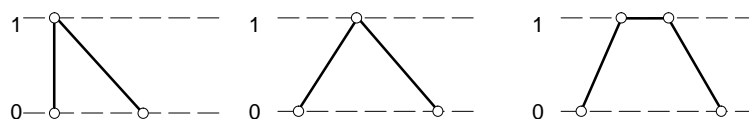
Stellgröße = Ausgangsgröße der Automatisierungseinrichtung bzw. Eingangsgröße des Prozesses. Ein Stellsignal kann den Stellbereich analog als Prozentwert oder als Pulsbreitenwert bzw. Impulsdauer abbilden. Bei integrierendem Stellglied (z.B. Motor) genügt es, binäre Auf-/Ab- bzw. Vor-/Zurück-Schaltsignale zu liefern.

- Störgröße** Alle Einflußgrößen auf die Regelgröße – mit Ausnahme der Stellgröße – werden als Störgrößen bezeichnet.
- Unschärfe Menge** = Eine unscharfe Menge ist durch ihre \rightarrow Zugehörigkeitsfunktion vollständig beschrieben. Für jedes Element der Grundmenge gibt die Zugehörigkeitsfunktion den Grad der Zugehörigkeit zu der betrachteten unscharfen Menge in Form eines auch als \rightarrow Wahrheitswert bezeichneten reellen Zahlenwertes zwischen 0.0 und 1.0 an.
- Wahrheitswert** = Prozentsatz, zu dem ein bestimmter Wert einer Eingangsvariablen einem linguistischen Wert als "wahr" zugeordnet werden kann. Im Beispiel ist die Temperatur ϑ_1 dem linguistischen Wert 'kalt' mit dem Wahrheitswert 30 % und dem Wert 'warm' mit dem Wahrheitswert 90 % zugeordnet.



- Wertebereich** Numerischer Bereich einer Prozeßgröße (z.B. $-20\text{ C}^\circ \dots +80\text{ C}^\circ$), deren Wert intern als Gleitpunktzahl im Bereich $-100,0 \dots +100,0\%$ verarbeitet wird. An den Eingängen können physikalische Werte im Zahlenbereich von STEP 7 eingegeben werden (\rightarrow Zahlendarstellung).
- Wiederanlauf** Bei Wiederanlauf einer Fuzzy-Anwendung wird von den erfaßten Ergebnissen und dem Betriebszustand ausgegangen, der zum Zeitpunkt der Unterbrechung geherrscht hat. Das bedeutet, das Fuzzy-System arbeitet mit den zum Zeitpunkt der Unterbrechung berechneten Werten weiter.
- Zahlendarstellung** Die Werte analoger Peripheriegrößen werden bei STEP 7 als Festpunktzahlen (Format: WORD) im Zahlenbereich $-27648 \dots 27648$ realisiert.
- Zugehörigkeitsfunktion** = Die Zugehörigkeitsfunktion quantifiziert die qualitative Aussage eines linguistischen Wertes (\rightarrow s. dort) in der Weise, daß sie für jeden zahlenmäßigen Wert der Prozeßgröße den Grad der Zugehörigkeit (\rightarrow Wahrheitswert) zu derjenigen Teilmenge angibt, die den betreffenden linguistischen Wert verkörpert.

Eine Zugehörigkeitsfunktion wird durch jeweils vier Stützpunkte definiert und kann demnach Dreiecks- oder Trapezform haben.



Stichwortverzeichnis

A

- Analogausgabe
 - Beeinflussung durch Konfigurationswerkzeug, 3-16
 - Funktionen, 3-14
 - INFO-Parameter, 3-16
 - Statusbit BIE, 3-17
- Analogausgang
 - Normierung und Signalart, 3-14
 - Normierungsparameter, 3-15
- Analogeingabe
 - Bearbeitungssteuerung, 3-11
 - Beeinflussung durch Konfigurationswerkzeug, 3-12
 - INFO-Parameter auswerten, 3-12
 - Statusbit BIE, 3-13
- Analogeingang
 - Normierung und Signalart, 3-8
 - Normierungsparameter, 3-9
 - Spannungs- oder Stromsignal, 3-9
 - Thermoelementsignal, 3-10
- Analogwert
 - ausgeben, 3-14
 - eingeben, 3-8
- Anwenderspeicher, 2-7
- Arbeitspunkt, Glossar-2
- Archivfunktion, 6-19
- Ausgang benennen, 6-11
- Ausgangsparameter (Tabelle), 3-7
- Automatisierungs-Ziele, 6-3
- Automatisierungsaufgabe, 6-2
 - Analyse, 6-3

B

- Bausteinaufrufe, Struktur, 3-3
- Bausteinstruktur, 3-3
- Bearbeitungssteuerung, 3-4
- Bearbeitungszeiten der Bausteine, 3-19

D

- Darstellung
 - 3D-Darstellung
 - Animation, 6-15
 - Drehung, 6-15
 - 4D-Darstellung, 6-16
- Defuzzifizierung, 1-17, Glossar-2
 - Realisierungs-Probleme, 1-18
 - Wichtung durch Multiplikation, 1-20

E

- Ein-/Ausgänge, externer Zugriff, 3-4
- Eingangsparameter (Tabelle), 3-7

F

- FB FUZZY, Technische Daten, 3-19
- FB Fuzzy
 - Aufruf, 3-3
 - Blockbild und Parameter, 3-6
 - Funktionalität, 3-2
 - INFO-Parameter, 3-6
- FPL-Datei (Beispiel), 1-12
- FPL-Sprache, 1-11, Glossar-2
 - tolerierte Sprachelemente, 1-12
 - von Fuzzy Control genutzte Steuerworte, 1-12
- FPL-Standard, 1-11
 - Einschränkungen bei Fuzzy Control, 1-11
- Führungsgröße, Glossar-2
- Funktion FUZZY_AI, Blockbild und Parameter, 3-13
- Funktion FUZZY_AO, Blockbild und Parameter, 3-17
- Funktionsbaustein "Fuzzy", 3-2
- Fuzzifizierung, 1-16, Glossar-3

- Fuzzy Control, Glossar-3
 - Einsatzvorteile, 1-3
 - Hintergrundinformationen, 1-15
 - interner Algorithmus, 1-15
 - Kenntnisse und Voraussetzungen, 6-2
 - Methoden und Algorithmen, 1-15
 - Projektierung, 3-2
 - Prozeßeigenschaften, 1-2
 - Struktur und Konfiguration, 1-9
 - Systemreaktionen in Grenzfällen, 1-23
 - Verfahren und Eigenschaften, 1-4
- Fuzzy-Anwendung, Glossar-2
 - Bearbeitungsaufwurf, 6-22
 - Bearbeitungssteuerung, 3-4
 - beobachten, 6-17
 - Bewertungskriterien, 6-4
 - Entwurf, 1-3
 - Entwurf und Auslegung, 6-2
 - externe Versorgung der E/A, 6-22
 - Fragen bei der Konfiguration, 1-23
 - Kennfelddarstellung, 6-15
 - Laden und Inbetriebnehmen, 6-5
 - laden und inbetriebnehmen, 6-22
 - Offline-Analyse, 6-5, 6-15
 - Projektierungsschritte, 6-2
 - Prozeßbehandlung, 1-8
 - Spezifizieren der Aufgabe, 6-2
 - Steuerung durch Konfigurationswerkzeug, 3-5
- Fuzzy-Anwendung erstellen, Kenntnisse, 3-2
- Fuzzy-Anwendung laden, 6-22
- Fuzzy-Ausgang, 6-11
- Fuzzy-Control
 - Anwendungsbereich, 1-3
 - Einführung, 2-2
 - Produktstruktur, 2-4
 - Struktur und Konzept, 2-4
- Fuzzy-Eingang, 6-9
- Fuzzy-Logik, 1-5, Glossar-3
- Fuzzy-Regel, Glossar-3
- Fuzzy-Regeln
 - ODER-Verknüpfung, 6-13
 - UND-Verknüpfung, 6-13
- Fuzzy-Regelwerk, 1-7
- FUZZY_AI
 - Anwendung, 3-8
 - Ausgangsparameter (Tabelle), 3-13
 - Eingangsparameter (Tabelle), 3-13
 - Funktionen, 3-8
- FUZZY_AO, 3-14
 - Anwendung, 3-14
 - Ausgangsparameter (Tabelle), 3-18
 - Bearbeitungssteuerung, 3-16
 - Eingangsparameter (Tabelle), 3-18
- H**
 - Hard- und Softwarevoraussetzungen, 2-6
- I**
 - Inferenz, Glossar-3
 - INFO-Parameter, 3-6
 - Instanz-Datenbaustein, 2-5, Glossar-3
 - Interferenz, 1-16
 - Istwert, Glossar-3
- K**
 - Kennfeld
 - 3D-Darstellung, 6-15
 - 4D-Darstellung, 6-16
 - Einstellung von Scharparametern, 6-16
 - Kennfelddarstellung, 6-15
 - Animation, 6-15
 - Konfiguration
 - Baarbeitungsablauf, 5-2
 - Vorgehensweisen, 2-2
 - Konfigurationswerkzeug, Glossar-3
 - Funktionsumfang, 5-2
 - Teilfunktionen und Bedienoberfläche, 5-2
 - Kurvengenerator, 6-19, Glossar-4
 - Eingangswerte einstellen, 6-20
 - Testsignal einstellen, 6-20
 - Kurvenparameter, 6-20
 - Kurvenschreiber, 6-17
 - Archivfunktion, 6-19
 - Darstellung der Regelwirksamkeiten, 6-17
 - Leselinie, 6-17
 - Zeitparameter festlegen, 6-18
 - Zuordnung der Ein-/Ausgangsgrößen, 6-18
- L**
 - Laden und Inbetriebnehmen, 6-5
 - Leselinie, 6-17

Lieferumfang, 2-4
Linguistischer Wert, 1-6, Glossar-4
Komplement, 1-6

M

Minimum-Operator, Glossar-4

N

Neustart, Glossar-4
Normierung, Glossar-4

O

Offline-Analyse, 6-5

P

Programmiergerät, 2-6
Projekt aufrufen, 6-6
Projekt eröffnen, 6-6
Projekt für Bearbeitung öffnen, 6-6
Projekt generieren, Bearbeitungsvorgänge, 6-6
Projektierung, 3-2
 Ausgang bearbeiten, 6-11
 Bewertungskriterien für Fuzzy-Anwendung,
 6-4
 Eingang bearbeiten, 6-9
 Erstellen der Regelbasis, 6-5
 Festlegen der Prozeßgrößen, 6-4
 Projekt darstellen, 6-15
 Struktur festlegen, 6-8
 Zugehörigkeitsfunktionen definieren, 6-9
Projektierungsablauf, 6-2
Prozeßanalyse, 1-2
Prozeßeigenschaften, 1-2
Prozeßsimulation, Glossar-4

R

Regelbasis, erstellen, 6-13
Regelbasis (Regelwerk)
 Regeln eingeben, 6-14
 Tabellenbearbeitung, 6-13
Regelgröße, Glossar-4
Regelwerk, Glossar-5
Regelwirksamkeit, 6-17

S

Scharparameter, 6-16
Schwerpunkt-Berechnung, 1-18
Schwerpunkt-Methode, Glossar-5
Signalflußplan, Glossar-5
Singleton-Funktion, Glossar-5
Singleton-Funktionen, 1-20
Sollwert, Glossar-5
Spannungs-/Stromsignal, 3-9
Standard-Regelung
 Einführung, ii
 Einsatzumgebung, 2-6
Statusbit BIE, 3-6
Stellgerät, Glossar-5
Stellgröße, Glossar-5
Steuervariable: START/STOP, 3-4
Störgröße, Glossar-6
Struktur
 festlegen, 6-8
 modifizieren, 6-8
Systemrahmen, 2-7
Systemreaktionen, 1-23

T

Technische Daten, 3-19
Thermoelementsignal, 3-10

U

Übertragung einer Fuzzy-Anwendung, 3-5
Unscharfe Menge, Glossar-6

W

Wahrheitswert, Glossar-6
Werkzeug, Konfiguration Fuzzy Control, 5-2
Wertebereich, Glossar-6
 ändern, 6-10, 6-11
Wertebereich: Ausgang, einstellen, 6-11
Wertebereich: Eingang, benennen, einstellen,
 6-9
Wiederanlauf, Glossar-6

Z

Zahlendarstellung, Glossar-6

Zugehörigkeitsfunktion, 1-5, Glossar-6
benennen, definieren, 6-9
einfügen, löschen, 6-9, 6-11
erzeugen, benennen, 6-11
Koordinaten-Eingabe, 6-10
linguistischer Wert, 1-6
Singleton-Koordinaten eingeben, 6-12
Zusatzparameter (FB Fuzzy), 3-7

An
Siemens AG
AUT E 146
Östliche Rheinbrückenstr. 50
76181 Karlsruhe

Absender:

Ihr Name: _____
Ihre Funktion: _____
Ihre Firma: _____
Straße: _____
Ort: _____
Telefon: _____

Bitte kreuzen Sie Ihren zutreffenden Industriezweig an:

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Automobilindustrie | <input type="checkbox"/> Pharmazeutische Industrie |
| <input type="checkbox"/> Chemische Industrie | <input type="checkbox"/> Kunststoffverarbeitung |
| <input type="checkbox"/> Elektroindustrie | <input type="checkbox"/> Papierindustrie |
| <input type="checkbox"/> Nahrungsmittel | <input type="checkbox"/> Textilindustrie |
| <input type="checkbox"/> Leittechnik | <input type="checkbox"/> Transportwesen |
| <input type="checkbox"/> Maschinenbau | <input type="checkbox"/> Andere _____ |
| <input type="checkbox"/> Petrochemie | |



Vorschläge und Anmerkungen zur Anwenderdokumentation

Ihre Anmerkungen und Vorschläge helfen uns, die Qualität und Benutzbarkeit unserer Dokumentation zu verbessern. Bitte füllen Sie diesen Fragebogen bei der nächsten Gelegenheit aus und senden Sie ihn an Siemens zurück.

Geben Sie bitte bei den folgenden Fragen Ihre persönliche Bewertung mit Werten von 1 = gut bis 5 = schlecht an.

- 1. Entspricht der Inhalt Ihren Anforderungen?
- 2. Sind die benötigten Informationen leicht zu finden?
- 3. Sind die Texte leicht verständlich?
- 4. Entspricht der Grad der technischen Einzelheiten Ihren Anforderungen?
- 5. Wie bewerten Sie die Qualität der Abbildungen und Tabellen?
- 6.
- 7.
- 8.

Falls Sie auf konkrete Probleme gestoßen sind, erläutern Sie diese bitte in den folgenden Zeilen:

