

Speicherprogrammierbare Steuerungen

Teil 7: Fuzzy-Control-Programmierung
(IEC 61131-7:2000) Deutsche Fassung EN 61131-7:2000

DIN**EN 61131-7**

ICS 25.040.40; 35.060; 35.240.50

Programmable controllers – Part 7: Fuzzy control programming
(IEC 61131-7:2000); German version EN 61131-7:2000

Automates programmables – Partie 7: Programmation en logique floue
(CEI 61131-7:2000); Version allemande EN 61131-7:2000

Die Europäische Norm EN 61131-7:2000 hat den Status einer Deutschen Norm.

Beginn der Gültigkeit

Die EN 61131-7 wurde am 2000-11-01 angenommen.

Nationales Vorwort

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 962 „SPS“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

Der Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN EN 61131-7:1999-04.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 65B „Devices“ erarbeitet.

Dieses IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2005 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Fortsetzung Seite 2
und 58 Seiten EN

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Nationaler Anhang NA (informativ) **Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen**

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm
–	IEC 60050-351:1998	IEV Kapitel 351:1999
EN 61131-3:1993	IEC 61131-3:1993	DIN EN 61131-3:1994-08

Nationaler Anhang NB (informativ) **Literaturhinweise**

IEV Kapitel 351, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 351: Automatisierungstechnik*; Identisch mit IEC 60050-351:1998-09.

DIN EN 61131-3, *Speicherprogrammierbare Steuerungen – Teil 3: Programmiersprachen* (IEC 61131-3:1993); Deutsche Fassung EN 61131-3:1993.

Deutsche Fassung

Speicherprogrammierbare Steuerungen

Teil 7: Fuzzy-Control-Programmierung
(IEC 61131-7:2000)

Programmable controllers –
Part 7: Fuzzy control programming
(IEC 61131-7:2000)

Automates programmables –
Partie 7: Programmation en logique floue
(CEI 61131-7:2000)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2000-11-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 65B/406/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61131-7, ausgearbeitet von dem SC 65B „Devices“ des IEC TC 65 „Industrial-process measurement and control“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2000-11-01 als EN 61131-7 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop) 2001-08-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow) 2003-11-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm ist Anhang ZA normativ und sind die Anhänge A, B, C, D und E informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61131-7:2000 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich und Ziel	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Integration in die Speicherprogrammierbare Steuerung	10
5 Fuzzy-Control-Sprache FCL	11
5.1 Austausch von Fuzzy-Control-Programmen	11
5.2 Elemente der Fuzzy-Control-Sprache	12
5.3 FCL-Beispiel	20
5.4 Erzeugungsregeln und Schlüsselwörter der Fuzzy-Control-Sprache (FCL)	21
6 Normerfüllung	25
6.1 Erfüllungsklassen der Fuzzy-Control-Sprache FCL	25
6.2 Datenprüfliste	27
 Anhang A (informativ) Theorie	 29
A.1 Fuzzy-Logik	29
A.2 Fuzzy-Control	32
A.3 Verhalten von Fuzzy-Control	39
 Anhang B (informativ) Beispiele	 42
B.1 Vorsteuerung	42
B.2 Parameter-Adaption von herkömmlichen PID-Reglern	42
B.3 Direkte Fuzzy-Regelung	42
 Anhang C (informativ) Industriebeispiel – Containerkran	 44
Anhang D (informativ) Beispiel für die Verwendung von Variablen im Regelblock	55
Anhang E (informativ) Symbole, Abkürzungen und Synonyme	57
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	58
 Bild 1 – Beispiel eines Fuzzy-Control-Funktionsbausteins in Funktionsbaustein-Sprachendarstellung (FBS)	 11
Bild 2 – Datenaustausch von Programmen in Fuzzy-Control-Sprache (FCL)	12
Bild 3 – Beispiel einer Schnittstellendeklaration in Strukturiertem Text und Funktionsbausteinsprache	13
Bild 4 – Beispiel für Rampen-Terme	14
Bild 5 – Beispiel einer Verwendung von Variablen für Zugehörigkeitsfunktionen	15
Bild 6 – Beispiel von Singletons-Termen	15
Bild 7 – Beispiel für einen Fuzzy-Funktionsbaustein	21
Bild 8 – Ebenen der Normerfüllung	25
Bild A.1 – Zugehörigkeitsfunktionen der Terme „volljährig“ und „erwachsen“	29
Bild A.2 – Beschreibung der linguistischen Variablen „Alter“ durch linguistische Terme und ihre Anordnung auf der Zeitskala (Alter in Jahren)	30

Bild A.3 – Allgemein verwendete Formen von Zugehörigkeitsfunktionen	30
Bild A.4 – Algorithmen zur Implementierung von Operationen zwischen zwei Zugehörigkeitsfunktionen	32
Bild A.5 – Struktur und funktionale Elemente von Fuzzy-Control.....	33
Bild A.6 – Das Prinzip der Fuzzifizierung (am Beispiel)	33
Bild A.7 – Darstellung der Wissensbasis in Form von linguistischen Regeln.....	34
Bild A.8 – Matrix-Darstellung von zwei Variablen.....	34
Bild A.9 – Elemente der Inferenz	35
Bild A.10a – Ein Beispiel, das die Prinzipien der Aggregation zeigt.....	36
Bild A.10b - Prinzipien der Aktivierung (als ein Beispiel).....	37
Bild A.10c – Prinzipien der Akkumulation (als ein Beispiel)	37
Bild A.11a – Methoden der Defuzzifizierung	38
Bild A.11b – Unterschied zwischen linkem Maximum und rechtem Maximum	38
Bild A.11c – Unterschied zwischen Flächenschwerpunkt und Schwerpunkt	39
Bild A.11d – Methoden der Defuzzifizierung	39
Bild A.12 – Beispiele von Kennfeldern von Fuzzy-Control	40
Bild A.13a – Grundstruktur der Fuzzy-basierten Regelung.....	40
Bild A.13b – Beispiel der Fuzzy-basierten Regelung	41
Bild B.1 – Beispiel für eine Vorsteuerung	42
Bild B.2 – Beispiel für eine Parameter-Anpassung.....	42
Bild B.3 – Beispiel für eine direkte Fuzzy-Regelung.....	43
Bild C.1 – Industriebeispiel – Containerkran	44
Bild C.2 – Linguistische Variable „Abstand“ zwischen Krankopf und Zielposition.....	45
Bild C.3 – Linguistische Variable „Winkel“ des Containers zum Krankopf	45
Bild C.4 – Linguistische Variable „Leistung“	46
Bild C.5 – Regelwerk	46
Bild C.6 – Fuzzifizierung der linguistischen Variable „Abstand“	47
Bild C.7 – Fuzzifizierung der linguistischen Variable „Winkel“	47
Bild C.8 – Untermenge der drei Regeln.....	48
Bild C.9 – Elemente der Aggregation	48
Bild C.10 – Prinzipien der Aggregation.....	49
Bild C.11 – Elemente der Aktivierung	49
Bild C.12 – Prinzipien der Aktivierung	50
Bild C.13 – Elemente der Akkumulation	50
Bild C.14 – Prinzipien der Akkumulation.....	51
Bild C.15 – Defuzzifizierung.....	52
Bild C.16 – Beispiel in FCL	53
Bild D.1 – Prinzip des geregelten Systems	55
Bild D.2 – Prinzip der Fuzzy-basierten Ofenregelung	55
Bild D.3 – Regelblock	55
Bild D.4 – Beispiel in FCL	56
 Tabelle 1 – Defuzzifizierungsmethoden.....	 16
Tabelle 2 – Gleichungen für Defuzzifizierungsmethoden	16
Tabelle 3 – Paarweise Algorithmen	17
Tabelle 4 – Aktivierungsmethoden	18
Tabelle 5 – Akkumulationsmethoden.....	18
Tabelle 6 – Priorität der Operatoren	18

Tabelle 7 – Reservierte Schlüsselwörter in FCL	24
Tabelle 8 – (vorgeschriebene) FCL Sprachelemente der Basis-Ebene.....	26
Tabelle 9 – (optionale) FCL Sprachelemente der Erweiterungsebene	27
Tabelle 10 – Beispiele für eine Liste mit Sprachelementen der offenen Ebene	27
Tabelle 11 – Datenprüfliste.....	28
Tabelle A.1 – Inferenz-Schritte und allgemein verwendete Algorithmen	36
Tabelle C.1 – Inferenzschritte und zugeordnete Operatoren	46
Tabelle E.1 – Symbole und Abkürzungen	57
Tabelle E.2 – Synonyme (Englisch)	57

Einleitung

Die Anwendung der Theorie der Fuzzy-Logik auf dem Gebiet der Leittechnik wird als Fuzzy-Control bezeichnet. Fuzzy-Control verbreitet sich als eine Technologie, die die Möglichkeiten der Industriearomatisierung verbessern kann, und die für Aufgaben aus der Steuerungsebene geeignet ist, die im Allgemeinen von Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) ausgeführt werden.

Fuzzy-Control basiert meist auf praktischem Anwendungswissen, das durch die so genannten linguistischen Regelwerke dargestellt wird, und nicht auf analytischen (empirischen oder theoretischen) Modellen. Fuzzy-Control kann angewendet werden, wenn ein regelbasiertes Fachwissen vorhanden ist, das sich in eine für Fuzzy-Logik geeignete Form überführen lässt.

Dadurch wird es möglich, durch vorhandenes Wissen Prozesse zu verbessern und eine Vielzahl von Aufgaben durchzuführen, wie zum Beispiel

- Regelungen und Steuerungen, Einzel- oder Mehrgrößenregelungen, für lineare oder nichtlineare Systeme,
- Online- oder Offline-Vorgabe der Regelungsparameter,
- Klassifizierungsaufgaben und Mustererkennung,
- Entscheidungsfindung zur Echtzeit (Sende dieses Produkt zur Maschine A oder B?),
- Hilfe für den Bediener beim Treffen von Entscheidungen oder beim Einstellen von Parametern,
- Erkennen und Diagnose von Fehlern in Systemen.

Der breite Anwendungsbereich und das natürliche, auf menschlicher Erfahrung basierende Verfahren machen Fuzzy-Control zu einem Grundwerkzeug, das für den Anwender von SPS als Norm verfügbar gemacht werden sollte.

Fuzzy-Control kann auch direkt mit den klassischen Methoden der Steuerung und Regelung kombiniert werden.

Die Anwendung von Fuzzy-Control kann in solchen Fällen vorteilhaft sein, bei denen kein explizites Prozessmodell verfügbar ist, oder bei denen das analytische Modell zu schwierig auszuwerten ist, oder wenn das Modell zu kompliziert ist, um in Echtzeit damit Auswertungen auszuführen.

Ein weiterer Vorteil von Fuzzy-Control ist, dass menschliche Erfahrung in direkter Weise eingebracht werden kann. Es ist dabei nicht erforderlich, die gesamte Regelung mit Fuzzy-Control zu modellieren: Manchmal interpoliert Fuzzy-Control nur zwischen einer Reihe von lokalen linearen Modellen oder passt dynamisch die Parameter eines „linearen Reglers“ an, wodurch der resultierende Regler nichtlinear wird, oder aber sie „schaltet“ sich einfach auf eine bestimmte Eigenschaft eines vorhandenen Reglers, die zu verbessern ist.

Fuzzy-Control ist eine mehrwertige Regelung, welche die Werte eines Regelungsentwurfs nicht mehr auf die Werte „wahr“ oder „falsch“ einschränkt. Dies macht Fuzzy-Control besonders nützlich, um empirisches Fachwissen zu modellieren, indem man festlegt, welche Steuer/Regel-Aktionen bei einer gegebenen Menge von Eingaben unternommen werden.

Die vorhandene Theorie und die Systeme, die auf dem Gebiet von Fuzzy-Control bereits realisiert sind, unterscheiden sich sehr bezüglich Terminologie (Definitionen), Eigenschaften (Funktionalitäten) und Realisierungen (Werkzeuge).

Fuzzy-Control wird von kleinen und einfachen Anwendungen bis hinauf zu sehr anspruchsvollen und komplexen Projekten verwendet. Um alle diese Anwendungsarten durch diesen Teil der IEC 61131 abzudecken, sind die Eigenschaften eines normgerechten Fuzzy-Control-Systems auf definierte Normerfüllungsklassen abgebildet.

Die Basisklasse definiert eine Mindestmenge von Eigenschaften, die von allen normgerechten Systemen erreicht werden müssen. Dies ermöglicht den Austausch von Fuzzy-Control-Programmen.

Zusätzlich mögliche Normeigenschaften sind in der Erweiterungsklasse definiert. Fuzzy-Control-Programme, die diese Eigenschaften anwenden, können nur zwischen Systemen vollständig portiert werden, die dieselbe Menge von Eigenschaften verwenden, sonst kann nur ein Teilaustausch möglich sein. Diese Norm zwingt nicht alle normgerechten Systeme, alle Eigenschaften in der Erweiterungsklasse zu realisieren, aber sie unterstützt die Möglichkeit der (teilweisen) Portierbarkeit und bewahrt vor der Anwendung von nichtgenormten Eigenschaften. Deswegen sollte ein normgerechtes System keine nichtgenormten Eigenschaften anbieten, die sinnvoll durch Verwendung von Normeigenschaften der Grundklasse und der Erweiterungsklasse realisiert werden können.

Um Systeme, die ihre eigenen, besonders anspruchsvollen Eigenschaften anbieten, nicht vom Erfüllen dieses Teils der IEC 61131 auszuschließen, und um den Fortschritt der zukünftigen Entwicklung nicht zu behindern, erlaubt diese Norm auch zusätzliche nichtgenormte Eigenschaften, die nicht durch die Basisklasse und die Erweiterungsklasse abgedeckt sind. Diese Eigenschaften müssen jedoch in einer genormten Weise angegeben werden, um zu gewährleisten, dass sie leicht als nichtgenormte Eigenschaften zu erkennen sind.

Die Übertragbarkeit von Fuzzy-Control-Anwendungen hängt von den unterschiedlichen Programmiersystemen und auch von den Eigenheiten der Steuerungssysteme ab. Diese Abhängigkeiten sind in der Datenprüfliste behandelt, die vom Hersteller mitzuliefern ist.

Speicherprogrammierbare Steuerungen – Teil 7: Fuzzy-Control-Programmierung

1 Anwendungsbereich und Ziel

Dieser Teil der IEC 61131 legt eine Sprache zur Programmierung von Fuzzy-Control-Anwendungen fest, die von Speicherprogrammierbaren Steuerungen verwendet werden.

Das Ziel dieses Teils der IEC 61131 ist es, den Herstellern und Anwendern ein klar definiertes, gemeinsames Verständnis der grundlegenden Mittel zu bieten, um Anwendungen von Fuzzy-Control in die Sprachen der Speicherprogrammierbaren Steuerungen nach IEC 61131-3 zu integrieren, aber auch die Möglichkeit, übertragbare Fuzzy-Control-Programme zwischen verschiedenen Programmiersystemen auszutauschen.

Um dies zu erreichen, gibt Anhang A eine kurze Einführung in die Theorie von Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control, soweit es für das Verständnis dieses Teils der IEC 61131 notwendig ist. Für Leser dieses Teils der IEC 61131, die nicht mit der Fuzzy-Control-Theorie vertraut sind, ist es hilfreich, den Anhang A zuerst zu lesen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisungen in diesem Text Bestandteil dieses Teils der IEC 61131 sind. Für den Fall einer datierten Verweisung bezieht sich die Verweisung nicht auf nachfolgende Änderungen oder Überarbeitungen dieser Norm. Jedoch werden Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf diesem Teil der IEC 61131 basieren, gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im Folgenden genannten Normen angewendet werden können. Für den Fall einer undatierten Verweisung bezieht sich diese auf die jeweils neueste Ausgabe der in Bezug genommenen Norm. Die Mitglieder von ISO und IEC führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

IEC 60050-351:1998, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 351: Automatisierungstechnik*

IEC 61131-3:1993, *Speicherprogrammierbare Steuerungen – Teil 3: Programmiersprachen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teils der IEC 61131 gelten die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Begriffe, die in diesem Abschnitt definiert werden, sind im Text kursiv gesetzt.

3.1

Akkumulation (en: accumulation)

Aggregation des Ergebnisses

Zusammenfassen der Ergebnisse der *linguistischen Regeln* zu einem Gesamtergebnis

3.2

Aggregation (en: aggregation)

Bestimmung des Degree of Firing

Kombination der Zugehörigkeitsgrade aller individuellen Teilbedingungen in einer Regel zur Berechnung des Erfüllungsgrades der *Bedingung* einer Regel

3.3

Aktivierung (en: activation)

Vorgang, durch den der Erfüllungsgrad einer *Bedingung* auf eine Fuzzy-Ausgangsmenge wirkt

3.4

Konklusion (en: conclusion)

Consequent

Ergebnis einer *linguistischen Regel*, z. B. die anzustoßenden Aktionen (der THEN-Teil einer IF..THEN-Fuzzy-Control-Regel)

3.5

Bedingung (en: condition)

Antecedent

Ausdruck, der *Teilbedingungen* umfasst, die mit den *Fuzzy-Operatoren* AND, OR und NOT verknüpft sind

3.6

scharfe Menge (en: crisp set)

Spezialfall der *unscharfen (Fuzzy-)Menge*, in welcher die *Zugehörigkeitsfunktion* nur zwei Werte annimmt, üblicherweise als 0 und 1 definiert

3.7

Defuzzifizierung (en: defuzzification)

Umsetzung einer *unscharfen (Fuzzy-)Menge* in eine numerische Größe

3.8

Zugehörigkeitsgrad (en: degree of membership)

Wert der *Zugehörigkeitsfunktion*

3.9

Fuzzifizierung (en: fuzzification)

Bestimmung der *Zugehörigkeitsgrade* eines scharfen Eingangswertes zu den *linguistischen Termen*, die für jede *linguistische Eingangsvariable* definiert sind

3.10

Fuzzy-Control (en: fuzzy control)

Art der Steuerung und Regelung, bei der der Regelungsalgorithmus auf *Fuzzy-Logik* basiert
[IEV 351-07-51, modifiziert]

3.11

Fuzzy-Logik (en: fuzzy logic)

Sammlung mathematischer Theorien, die auf der Anwendung von *unscharfen (Fuzzy-)Mengen* basieren. Die *Fuzzy-Logik* ist ein Teilgebiet der mehrwertigen Logik

3.12

Fuzzy-Operator (en: fuzzy logic operator)

Operator, der in der Theorie der *Fuzzy-Logik* verwendet wird

3.13

unscharfe Menge (en: fuzzy set)

eine *unscharfe Menge* A ist definiert als eine Menge geordneter Zahlenpaare $(x, \mu_A(x))$, wobei x ein Element des Wertebereichs U und $\mu_A(x)$ die *Zugehörigkeitsfunktion* ist, die jedem $x \in U$ eine reelle Zahl $\in [0, 1]$ zuordnet, die den *Zugehörigkeitsgrad* des Elementes x zu der Menge A beschreibt

3.14

Inferenz (en: inference)

Anwendung der *linguistischen Regeln* auf Eingangswerte, um Ausgangswerte zu erzeugen

3.15

linguistische Regel (en: linguistic rule)

IF-THEN-Regel mit *Bedingung* und *Konklusion*, von denen mindestens eine linguistisch ist

3.16

linguistischer Term (en: linguistic term)

im Zusammenhang mit Fuzzy-Control werden *linguistische Terme* durch *unscharfe Mengen* definiert

3.17

linguistische Variable (en: linguistic variable)

Variable, deren Werte *linguistische Terme* sind

3.18

Zugehörigkeitsfunktion (en: membership function)

Funktion, die den *Zugehörigkeitsgrad* über dem Wertebereich einer gegebenen *unscharfen Menge* definiert
[IEV 351-17-52, modifiziert]

3.19

Singleton (en: singleton)

unscharfe Menge, deren *Zugehörigkeitsfunktion* gleich Eins an einer Stelle und gleich Null an allen anderen Stellen ist

3.20

Teilbedingung (en: subcondition)

Elementarer Ausdruck in der Form einer Variablen oder als Term „*linguistische Variable* IS *linguistischer Term*“¹

3.21

Regelwerk (en: rule base)

Gesamtheit der *linguistischen Regeln*, um bestimmte Ziele zu erreichen

3.22

Wichtungsfaktor (en: weighting factor)

Wert zwischen 0..1, der den Grad der Bedeutung, Glaubwürdigkeit, Vertrauenswürdigkeit einer *linguistischen Regel* angibt

4 Integration in die Speicherprogrammierbare Steuerung

Die Fuzzy-Control-Anwendungen, die in Fuzzy-Control-Sprache (FCL) nach Abschnitt 5 programmiert sind, müssen in Funktionsbausteine (oder Programme) eingeschlossen sein, so wie sie in IEC 61131-3 definiert sind. Das Konzept der Funktionsbaustein-Typen und Funktionsbaustein-Instanzen, das in IEC 61131-3 angegeben ist, gilt für diese Norm.

Die Funktionsbaustein-Typen, die in Fuzzy-Control-Sprache (FCL) definiert sind, müssen die Eingangs- und Ausgangsparameter und die für die Fuzzy-Control-Anwendung erforderlichen Regeln und Deklarationen enthalten.

Die zugehörigen Funktionsbaustein-Instanzen müssen die spezifischen Daten der Fuzzy-Control-Anwendungen enthalten.

Funktionsbausteine, die in Fuzzy-Control-Sprache FCL definiert sind, können in Programmen und Funktionsbausteinen verwendet werden, die in einer der Sprachen nach IEC 61131-3 geschrieben sind, z. B. Kontaktplan, Anweisungsliste usw. Die Datentypen der Eingangs- und Ausgangsparameter des in FCL geschriebenen Funktionsbausteins oder Programms müssen mit denen aus der entsprechenden „Aufrufumgebung“ zusammenpassen, so wie es in Bild 1 veranschaulicht ist.

¹ Nationale Fußnote: IS: englischsprachiges Schlüsselwort in der FCL-Sprache

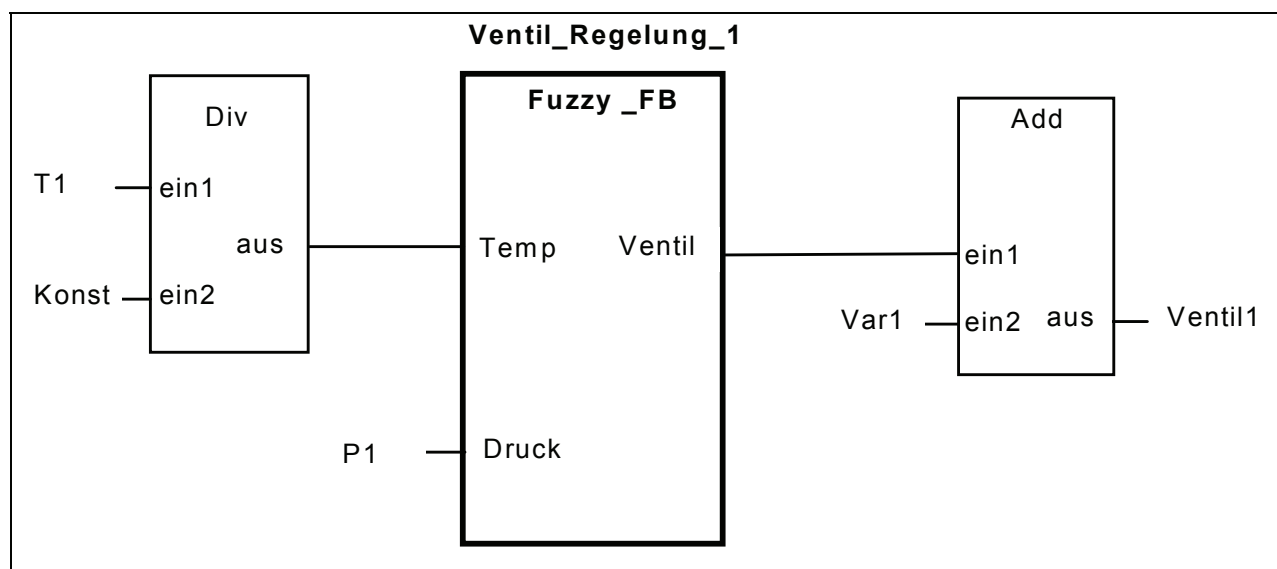


Bild 1 – Beispiel eines Fuzzy-Control-Funktionsbausteins in Funktionsbaustein-Sprachendarstellung (FBS)

In diesem Beispiel ist Ventil_Regelung_1 eine vom Anwender definierte Funktionsbaustein-Instanz des Funktionsbaustein-Typs Fuzzy_FB. Der Funktionsbaustein-Typ Fuzzy_FB kann in Fuzzy-Control-Sprache FCL nach Abschnitt 5 programmiert werden. Der Funktionsbaustein Fuzzy_FB wird hier in einem Programm oder einem Funktionsbaustein verwendet, die in der graphischen Sprache FBS (Funktionsbaustein-Sprache) nach IEC 61131-3 dargestellt sind.

5 Fuzzy-Control-Sprache FCL

5.1 Austausch von Fuzzy-Control-Programmen

Die Definition der Fuzzy-Control-Sprache FCL basiert auf den Definitionen der Programmiersprachen nach IEC 61131-3. Die Interaktion des Fuzzy-Control-Algorithmus mit seiner Programmumgebung geschieht so, dass er vor dem Programm „verborgen“ ist. Der Fuzzy-Control-Algorithmus wird deshalb nach außen als ein Funktionsbaustein nach IEC 61131-3 dargestellt. Die erforderlichen Elemente zum Beschreiben der internen linguistischen Teile des Fuzzy-Control-Funktionsbausteins wie Zugehörigkeitsfunktionen, Regeln, Operatoren und Methoden müssen so festgelegt werden, wie es in diesem Abschnitt definiert ist.

Die Sprachelemente von FCL normen eine gemeinsame Darstellung zum Datenaustausch zwischen Fuzzy-Control-Konfigurierungswerkzeugen verschiedener Hersteller, so wie es in Bild 2 gezeigt ist. Durch Verwendung dieser gemeinsamen Darstellung kann jeder Hersteller von Speicherprogrammierbaren Steuerungen seine Hardware, Software-Editoren und Compiler weiterhin verwenden. Der Hersteller braucht nur die Datenschnittstelle in seinen spezifischen Editor zu implementieren. Der Kunde wird die Fuzzy-Control-Projekte zwischen verschiedenen Herstellern austauschen können.

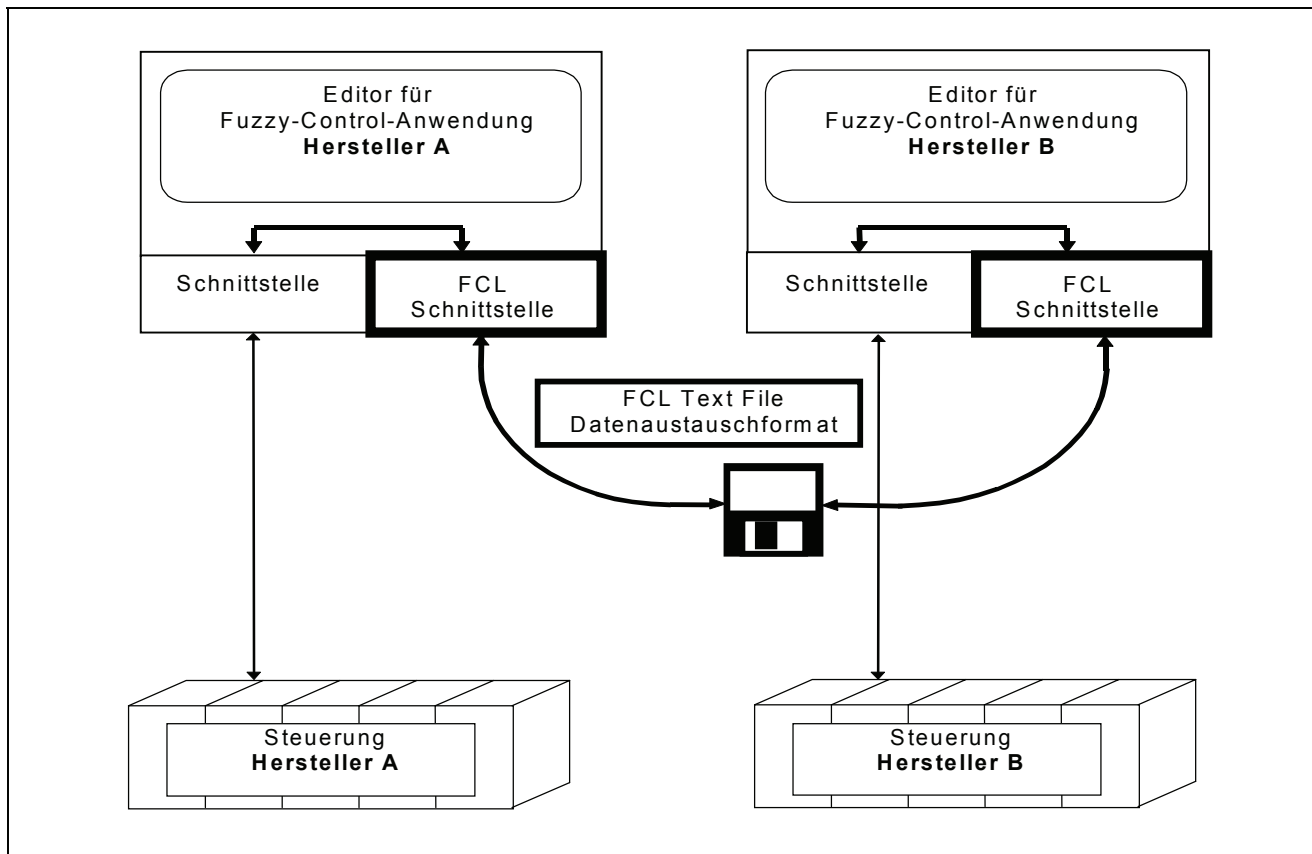


Bild 2 – Datenaustausch von Programmen in Fuzzy-Control-Sprache (FCL)

5.2 Elemente der Fuzzy-Control-Sprache

Die Elemente der Fuzzy-Control-Sprache in diesem Unterabschnitt sind mit Hilfe von Beispielen beschrieben. Die detaillierte Erzeugungsregel ist in 5.4 angegeben.

5.2.1 Funktionsbaustein-Schnittstelle

Nach Abschnitt 4 erfordert die externe Sicht des Fuzzy-Funktionsbausteins, dass die folgenden genormten Sprachelemente der IEC 61131-3 benutzt werden:

FUNCTION_BLOCK <i>Funktionsbaustein_Name</i>	Funktionsbaustein
VAR_INPUT	Deklaration der Eingangsparameter
<i>Variablen_Name: Datentyp;</i>	
....	
END_VAR	
VAR_OUTPUT	Deklaration der Ausgangsparameter
<i>Variablen_Name: Datentyp;</i>	
....	
END_VAR	
VAR	Lokale Variablen
<i>Variablen_Name: Datentyp;</i>	
....	
END_VAR	
END_FUNCTION_BLOCK	

Mit diesen Sprachelementen ist es möglich, eine Funktionsbaustein-Schnittstelle zu beschreiben. Die Funktionsbaustein-Schnittstelle wird mit den Parametern definiert, die in den und aus dem Funktionsbaustein übergeben werden. Die Datentypen dieser Parameter müssen nach IEC 61131-3 definiert werden.

Bild 3 zeigt ein Beispiel für eine Funktionsbaustein-Deklaration in Strukturiertem Text (ST) und Funktionsbaustein-Sprache (FBS).

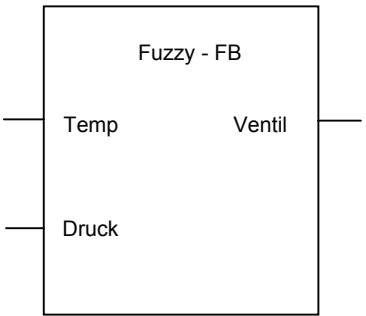
<pre> FUNCTION_BLOCK Fuzzy-FB VAR_INPUT Temp: REAL; Druck: REAL; END_VAR VAR_OUTPUT Ventil: REAL; END_VAR END_FUNCTION_BLOCK </pre>	
<i>Strukturierter Text (ST)</i>	<i>Funktionsbaustein-Sprache (FBS)</i>

Bild 3 – Beispiel einer Schnittstellendeklaration in Strukturiertem Text und Funktionsbausteinsprache

5.2.2 Fuzzifizierung

Die Werte der Eingangsvariablen müssen in *Zugehörigkeitsgrade* für die *Zugehörigkeitsfunktionen* umgewandelt werden, die für die Variable definiert sind. Diese Umwandlung wird zwischen den Schlüsselwörtern FUZZIFY und END_FUZZIFY beschrieben.

<pre> FUZZIFY <i>Variablen_Name</i> TERM <i>Term_Name</i> := <i>Zugehörigkeits_Funktion</i> ; END_FUZZIFY </pre>

Nach dem Schlüsselwort FUZZIFY muss der Name der Variablen angegeben werden, die für die Fuzzifizierung benutzt wird. Dies ist der Name einer vorher in der VAR_INPUT-Sektion definierten Variablen. Diese *linguistische Variable* muss durch einen oder mehrere *linguistische Terme* beschrieben werden. Die *linguistischen Terme* werden durch das Schlüsselwort TERM eingeleitet und durch *Zugehörigkeitsfunktionen* beschrieben, um die Variable zu fuzzifizieren. Eine *Zugehörigkeitsfunktion* ist eine abschnittsweise lineare Funktion. Sie ist durch eine Liste von Punkten definiert.

Zugehörigkeitsfunktion ::= (Punkt i), (Punkt j), ...

Jeder Punkt ist ein Wertepaar der Variable und des Zugehörigkeitsgrades dieses Wertes, getrennt durch ein Komma. Die Paare sind in Klammern eingeschlossen und durch Kommata getrennt.

Punkt i ::= Wert des Eingangs i | Variablen_Name des Eingangs i, Wert i des Zugehörigkeitsgrades

Mit dieser Definition können alle einfachen Elemente, z. B. Rampe und Dreieck definiert werden. Die Punkte müssen in aufsteigender Reihenfolge des Variablenwertes angegeben werden. Die Zugehörigkeitsfunktion ist zwischen aufeinander folgenden Punkten linear. Der Zugehörigkeitsgrad jedes Terms wird deshalb aus dem scharfen Eingangswert durch lineare Interpolation zwischen den zwei relevanten benachbarten Punkten der Zugehörigkeitsfunktion berechnet.

Die Mindestanzahl von Punkten ist zwei. Die größte Anzahl ist nach den Erfüllungsklassen in Abschnitt 6 begrenzt.

Beispiel einer *Zugehörigkeitsfunktion* mit drei Punkten für den *linguistischen Term* „warm“:

TERM warm ::= (17.5, 0.0) (20.0, 1.0) (22.5, 0.0);

Wenn der Wert einer *linguistischen Variablen* kleiner als der erste Basispunkt in der Tabelle ist, müssen alle Werte unterhalb des ersten Punkts in der Tabelle denselben *Zugehörigkeitsgrad* haben, wie er für den ersten Punkt definiert ist.

Wenn der Wert einer *linguistischen Variablen* größer als der letzte Basispunkt in der Tabelle ist, müssen alle Werte größer als der letzte Punkt in der Tabelle denselben *Zugehörigkeitsgrad* haben, wie er für den letzten Punkt definiert ist.

Definition von Rampen:

FUZZIFY Temp;

TERM kalt := (3, 1) (27, 0);

TERM warm := (3, 0) (27, 1);

END_FUZZIFY

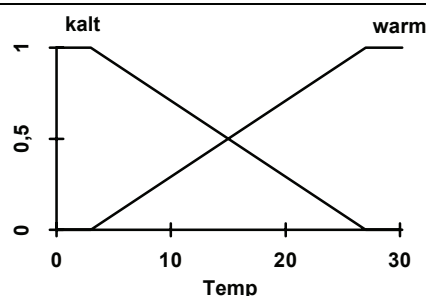


Bild 4 – Beispiel für Rampen-Terme

ANMERKUNG Der Datentyp der Punkte der Zugehörigkeitsfunktionen ist nicht definiert. Der Hersteller muss einen Compiler zu Verfügung stellen, der die notwendige Umwandlung ermöglicht.

Um die Fuzzy-Control-Anwendung on-line anzupassen, können die Basispunkte in den Zugehörigkeitsfunktionen verändert werden. Dies kann durch Verwendung von Variablen geschehen, die Eingänge des Funktionsbausteins sind. Diese Variablen müssen in der VAR_INPUT Sektion des Funktionsbausteins deklariert werden. Ein Beispiel für den Gebrauch von Variablen zur Definition der Punkte der Zugehörigkeitsfunktionen ist in Bild 5 angegeben.

ANMERKUNG Die Werte der Punkte der Zugehörigkeitsfunktionen können zur Ablaufzeit außerhalb der Sequenz liegen.

```

VAR_INPUT
    Temp: REAL;          (* Dieser Eingang muss fuzzifiziert werden *)
    Druck: REAL;          (* Dieser Eingang muss fuzzifiziert werden *)
    bp_warm1, bp_warm2: REAL; (* Diese Eingänge dienen zur on-line-Anpassung *)
END_VAR
FUZZIFY Temp
    TERM warm:= (bp_warm1, 0.0), (21.0, 1.0), (bp_warm2, 0.0);
...
END_FUZZIFY

```

Bild 5 – Beispiel einer Verwendung von Variablen für Zugehörigkeitsfunktionen

5.2.3 Defuzzifizierung

Eine *linguistische Variable* für eine Ausgangsvariable muss in einen numerischen Wert umgewandelt werden. Diese Umwandlung wird zwischen den Schlüsselwörtern DEFUZZIFY und END_DEFUZZIFY beschrieben.

Nach dem Schlüsselwort DEFUZZIFY muss die Variable angegeben werden, die zur *Defuzzifizierung* verwendet wird. Dies ist der Name einer vorher definierten Variablen in der VAR_OUTPUT-Sektion.

```

DEFUZZIFY Variablen_Name
    RANGE(min..max) ;
    TERM Term_Name := Zugehörigkeitsfunktion ;
    Defuzzifizierungsmethode ;
    Voreinstellungswert ;
END_DEFUZZIFY

```

Die Definition von *linguistischen Termen* ist in 5.2.2 angegeben.

Singletons (Einermengen) sind besondere *Zugehörigkeitsfunktionen*, die für Ausgänge benutzt werden, um die *Defuzzifizierung* zu vereinfachen. Sie werden nur durch einen einzelnen Wert für den *linguistischen Term* beschrieben. In Bild 6 sind Beispiele für solche Terme angegeben.

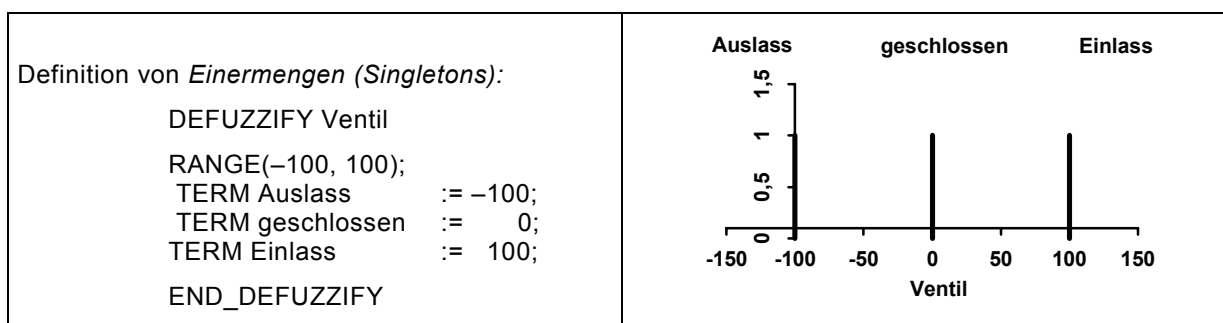


Bild 6 – Beispiel von Singleton-Termen

Die Defuzzifizierungsmethode muss durch das Sprachelement METHOD definiert werden.

```
METHOD : Defuzzifizierungsmethode ;
```

Verwendet werden dürfen die folgenden Defuzzifizierungsmethoden (siehe Tabellen 1 und 2).

Tabelle 1 – Defuzzifizierungsmethoden

Schlüsselwort	Erläuterung
CoG (Centre of Gravity)	Schwerpunkt (Anmerkung 1)
CoGS (Centre of Gravity for Singletons)	Schwerpunkt für Singletons
CoA (Centre of Area)	Flächenschwerpunkt (Anmerkungen 2 und 3)
LM (Left Most Maximum)	Linkes Maximum (Anmerkung 4)
RM (Right Most Maximum)	Rechtes Maximum (Anmerkung 4)
ANMERKUNG 1	Im Englischen ist „Center of Gravity“ gleichbedeutend mit „Centroid of Area“.
ANMERKUNG 2	Im Englischen ist „Center of Area“ gleichbedeutend mit „Bisector of Area“.
ANMERKUNG 3	CoA ist nicht anwendbar, wenn Singletons verwendet werden.
ANMERKUNG 4	LM- und RM-Defuzzifizierungsmethoden sind asymmetrisch bei Null.

Tabelle 2 – Gleichungen für Defuzzifizierungsmethoden

COG	$U = \frac{\int_{\text{Min}}^{\text{Max}} u \cdot \hat{1}(u) du}{\int_{\text{Min}}^{\text{Max}} \hat{1}(u) du}$
COGS	$U = \frac{\sum_{i=1}^p [u_i \cdot \hat{1}_i]}{\sum_{i=1}^p [\hat{1}_i]}$
COA	$U = u', \int_{\text{Min}}^{u'} \hat{1}(u) du = \int_{u'}^{\text{Max}} \hat{1}(u) du$
RM	$U = \sup(u'), \hat{1}(u') = \sup_{u \in [\text{Min}, \text{Max}]} \hat{1}(u)$
LM	$U = \inf(u'), \hat{1}(u') = \inf_{u \in [\text{Min}, \text{Max}]} \hat{1}(u)$
wobei: U das Ergebnis der Defuzzifizierung ist; u die Ausgangsvariable ist; p die Anzahl der Einermengen (Singletons) ist; μ die Zugehörigkeitsfunktion der akkumulierten unscharfen Mengen ist; i der Index ist Min der kleinste Wert für die Defuzzifizierung ist, der in RANGE definiert ist. Im Fall von Einermengen (Singletons) Min = –unendlich; Max der größte Wert für die Defuzzifizierung ist, der in RANGE definiert ist. Im Fall von Einermengen (Singletons) Max = +unendlich; sup der größte Wert ist; in der kleinste Wert ist.	

Falls der *Zugehörigkeitsgrad* für alle *linguistischen Terme* einer Ausgangsvariablen 0 ist, bedeutet das, dass keine Regel für diese Variable aktiv ist. In diesem Fall ist die *Defuzzifizierung* nicht in der Lage, einen gültigen Wert zu erzeugen. Deswegen darf ein Voreinstellungswert für den Ausgang definiert werden. Dieser Voreinstellungswert ist der Wert für die Ausgangsvariable, falls keine Regel aktiv ist.

DEFAULT := Wert | NC;

Nach dem Schlüsselwort DEFAULT (Voreinstellung) muss der Wert festgelegt werden. Ansonsten muss das Schlüsselwort NC (no change, keine Änderung) festgelegt werden, um anzuzeigen, dass der Ausgang gegenüber dem vorherigen Zeitpunkt unverändert bleibt, falls keine Regel aktiv ist.