



h_da

HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Computational Intelligence

Kapitel 2: Fuzzy Logik

Teil C: Fuzzy Control

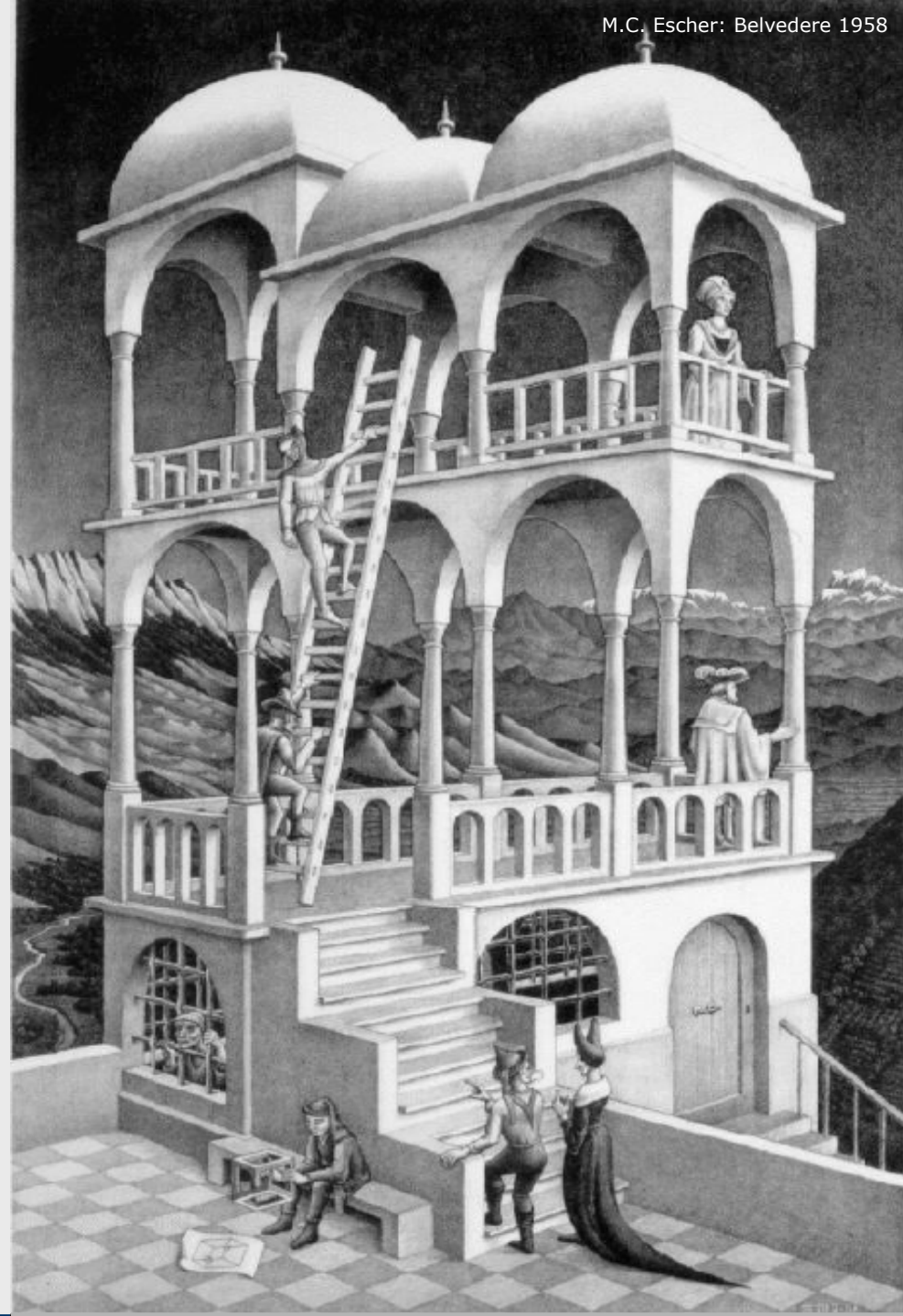
Dr. Norbert Waleschkowski



Semantis Information Builders GmbH
www.semantis-ib.de

h_da Fachbereich Informatik
Sommersemester 2011
Master-Studiengang

Diese Unterlagen sind nur für den persönlichen Gebrauch der Hörer bestimmt!



Kap. 2: Fuzzy Logik

2.1 Einleitung & Motivation

2.2 Fuzzy Mengen und ihre Eigenschaften

2.3 Operationen mit Fuzzy Mengen

2.4 Fuzzy Control – Ein einleitendes Beispiel

2.5 Grundlagen der Fuzzy Control

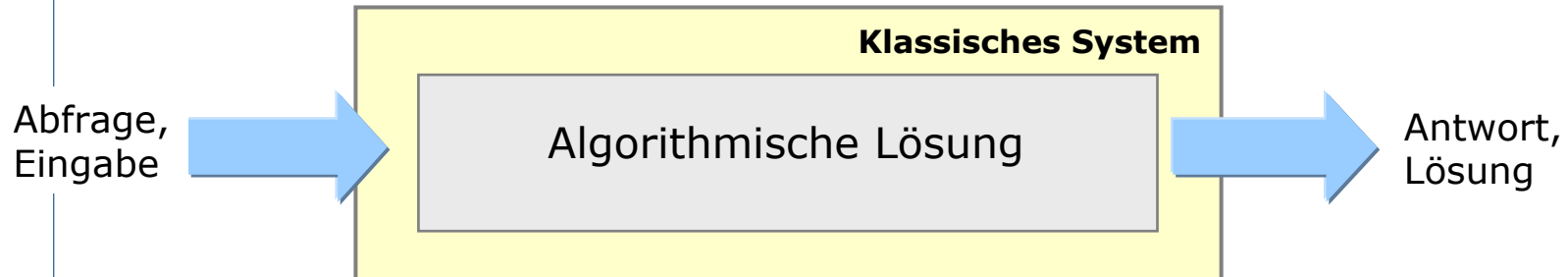
2.6 Neuro-Fuzzy-Systeme

Ein motivierendes Beispiel

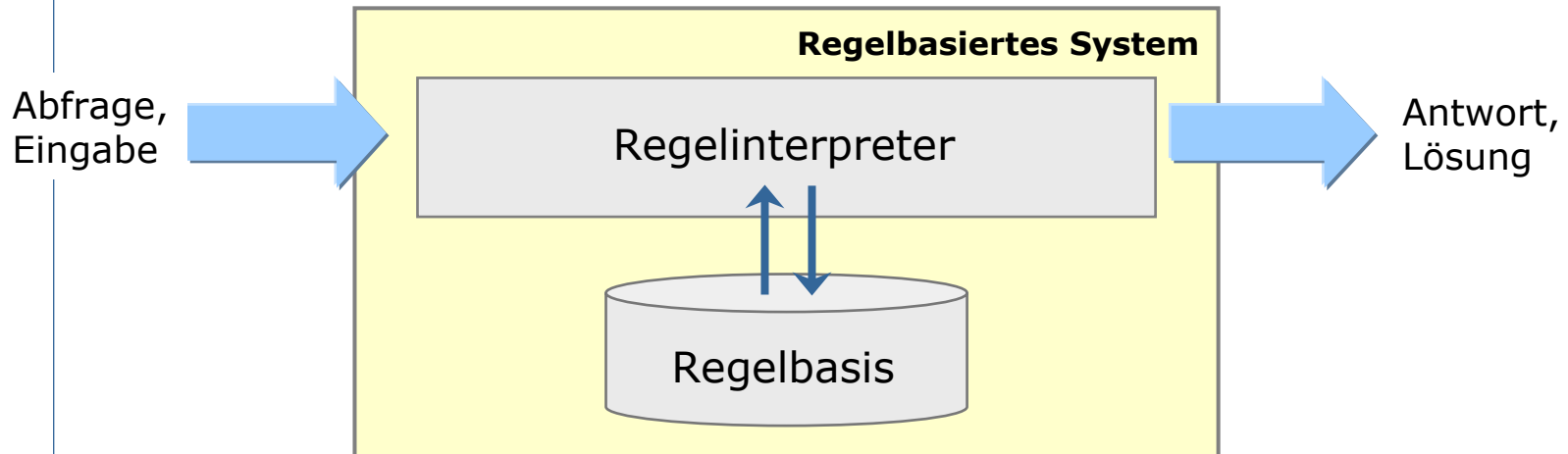
- ▲ Zuerst die Praxis ...
- ▲ Bevor wir uns der Theorie der Fuzzy Control zuwenden, soll zuerst ein motivierendes Beispiel diskutiert werden.
- ▲ Damit soll zunächst ein intuitives Verständnis der Grundprinzipien der Fuzzy Control geschaffen werden, um anschließend die Theorie leichter verstehen zu können.
- ▲ Wir betrachten hierzu eine Aufgabenstellung aus der Prozessregeltechnik. Dabei geht es um die Steuerung eines Notventils für einen Druckkessel.
- ▲ Wir betrachten hierzu eine typische Regel, wie sie von Menschen in der Praxis verwendet wird:
 - „Wenn die Temperatur in der Brennkammer **sehr hoch** ist und der Vorkammerdruck **zumindest über** dem Normalwert liegt, dann **sollte** die Methanzufuhr **gedrosselt** werden.“
- ▲ In dieser Regel finden sich einige unscharfe Begriffe wie „sehr hoch“, „zumindest über“ etc. Es stellt sich die Frage, wie diese Regel computergerecht abgebildet werden kann und welche Rollen unscharfe Mengen dabei spielen.

Der klassische Ansatz

- ▲ In einem klassischen Programm, also einer algorithmischen Problemlösung, ist das Wissen direkt im Programmcode hinterlegt.



- ▲ In einem regelbasierten System wird das Wissen in Form von Regeln repräsentiert und von der Verarbeitungslogik isoliert.



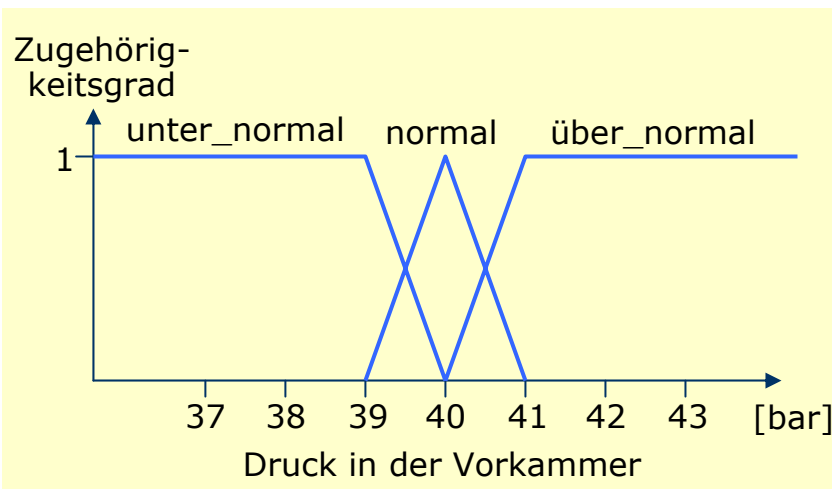
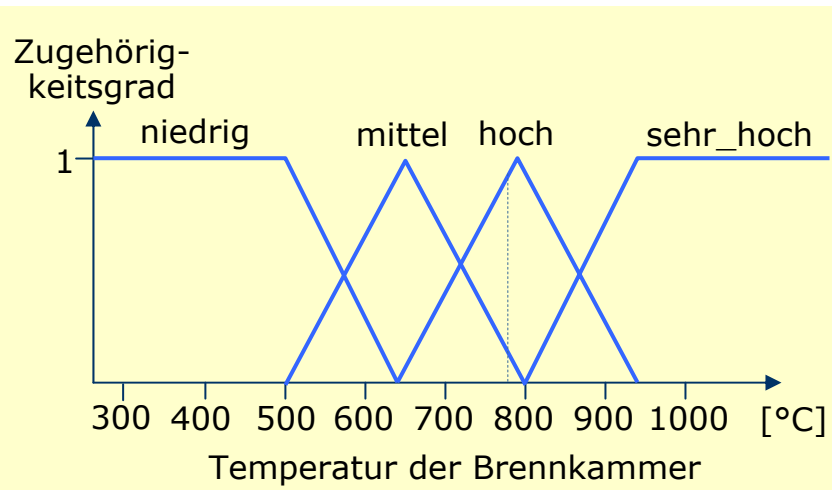
- ▲ Aber wie können unscharfe Regeln verarbeitet werden?

Verhalten eines Notventils bei einem Druckkessel

- ▲ Wie lassen sich die Begriffe der unscharfen Regel computergerecht darstellen, ohne ihren unscharfen Charakter zu verlieren?
- ▲ Regel aus der Prozessregeltechnik:
„WENN die Temperatur in der Brennkammer **sehr hoch** ist und der Vorkammerdruck **zumindest über** dem Normalwert liegt, DANN sollte die Methanzufuhr gedrosselt werden.“
- ▲ Klassische Abbildung:
WENN Temperatur $\geq 870^{\circ}\text{C}$
UND Vorkammerdruck ≥ 40 bar
DANN Notventil = 0,3
- ▲ Aber was ist bei
 - 1) Temperatur: 871°C , Druck: 39,8 bar ?
 - 2) Temperatur: 869°C , Druck: 61 bar ?

Einführung linguistischer Variablen

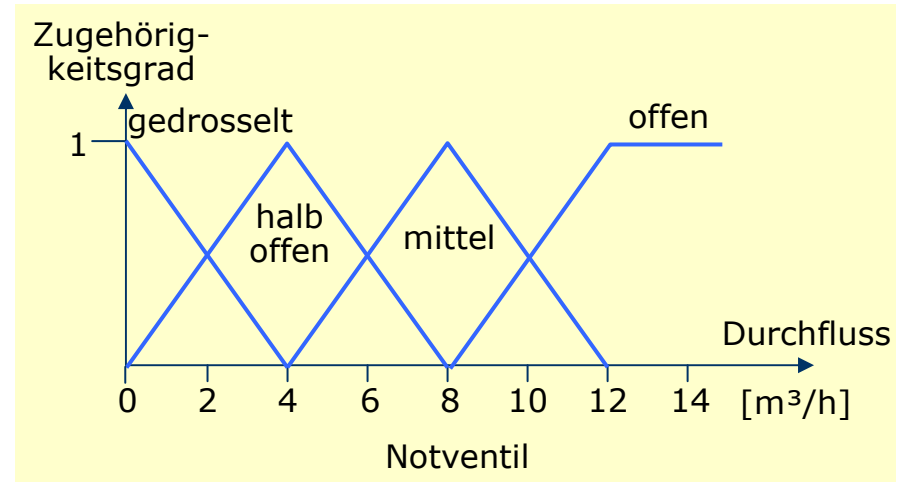
- ▲ Zunächst werden die zu kontrollierenden und zu steuernden Größen durch linguistische Variablen modelliert.



- ▲ Einführung der ling. Variablen **Temperatur** mit den Ausprägungen {niedrig, mittel, hoch, sehr_hoch}
- ▲ Jeder möglichen Temperatur der Brennkammer wird über eine Zugehörigkeitsfunktion ein Wert der linguistischen Variablen zugewiesen. Eine Temperatur von 780° wird so z.B. als „ziemlich hoch und kaum noch mittel“ eingeschätzt.
- ▲ Auch der **Vorkammerdruck** wird durch eine linguistische Variable beschrieben.
- ▲ Auf diese Weise erhalten wir unscharfe Mengen.

Einführung unscharfer Produktionsregeln

- Die ling. Variable **Notventil** beschreibt die Öffnung des Notventils. Damit wird die einem Brennofen zuzuführende Menge an Methan als Reaktion auf den in der Brennkammer herrschenden Druck und die Temperatur gesteuert.



- Wie kann diese unscharfe Information nun verarbeitet werden? Hierzu führen wir unscharfe Produktionsregeln ein:

Regelmenge

Regel1: WENN Temperatur = sehr_hoch
ODER Vorkammerdruck = über_normal
DANN Notventil = gedrosselt

Regel2: WENN Temperatur = hoch
UND Vorkammerdruck = normal
DANN Notventil = halb_offen

Regel3: WENN
DANN

Verarbeitung unscharfer Produktionsregeln (1)

- ▲ Aber wie können werden solche Regeln verarbeitet werden?
- ▲ Was passiert nun bei einer Temperatur von 910°C und einem Vorkammerdruck von 40,5 bar ?
- ▲ Zunächst erfolgt eine **Fuzzifizierung**: Jeder ling. Variablen (z.B. 910°C), die in der Prämisse einer Regel auftaucht, wird für die vorliegende Ausprägung ihr Zugehörigkeitsgrad zur jeweiligen unscharfen Menge zugeordnet:

Ling. Variablen

Temperatur 910°C:

sehr_hoch	0,8
hoch	0,3
mittel	0,0
niedrig	0,0

Druck 40,5 bar:

unter_normal	0,0
normal	0,5
über_normal	0,5

Regelmenge

Regel 1:

WENN Temperatur = sehr_hoch
 ODER Vorkammerdruck = über_normal
 DANN Notventil = gedrosselt

Regel 2:

WENN Temperatur = hoch
 UND Vorkammerdruck = normal
 DANN Notventil = halb_offen

Regel 3:

WENN
 DANN ...

Erfüllungsgrad Prämisse

Regel 1:

$$0,8 = \max\{0,8 \mid 0,5\}$$

Regel 2:

$$0,3 = \min\{0,3 \mid 0,5\}$$

Regel 3:

.....

- ▲ In Anlehnung an Durchschnitt und Vereinigung unscharfer Mengen ergibt sich der Erfüllungsgrad der Prämisse einer Regel aus der logischen Verknüpfung der Zugehörigkeitsgrade.

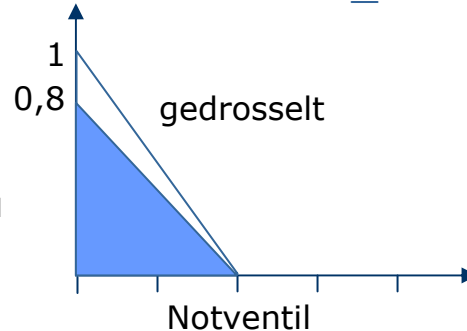
Verarbeitung unscharfer Produktionsregeln (2)

- ▲ Folgende Forderung erscheint sinnvoll: Die Konklusion einer Regel ist zum gleichen Grade erfüllt wie ihre Prämisse.
- ▲ Aus den Regeln ergibt sich danach als Konsequenz, dass das Notventil zu einem Grad von 0,8 gedrosselt (Regel 1) und zu einem Grad von 0,3 auf halb_offen (w/Regel 2) gestellt werden soll. Wie kann diese Aussage interpretiert und umgesetzt werden?
- ▲ Dies geschieht über die linguistische Variable Notventil. Zur Umsetzung gibt es verschiedene Verfahren wie z.B.

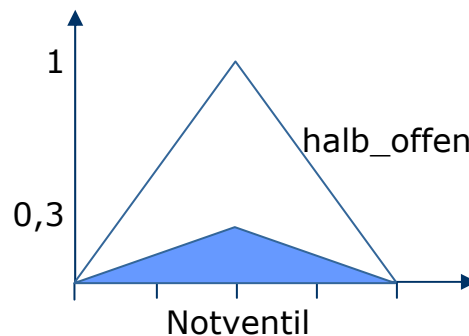
MAX_PROD

oder

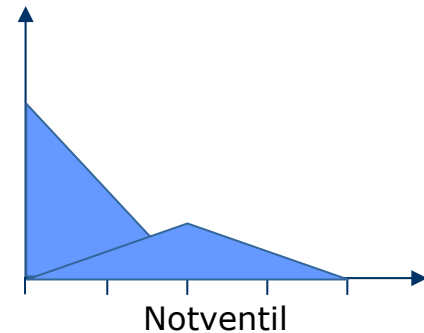
MAX_MIN



WENN Temperatur = sehr_hoch
ODER Vorkammerdruck = über_normal
DANN Notventil = gedrosselt



WENN Temperatur = hoch
UND Vorkammerdruck = normal
DANN Notventil = halb_offen



So soll das Notventil
eingestellt werden.

MAX_PROD

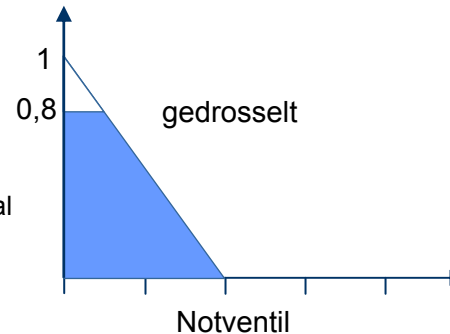
Die Zugehörigkeitsfunktionen der Fuzzy Sets der linguistischen Variablen werden mit den Erfüllungsgraden der Regelprämissen gestaucht (multipliziert) und zu einer unscharfen Gesamtmenge zusammengefasst.

Verarbeitung unscharfer Produktionsregeln (3)

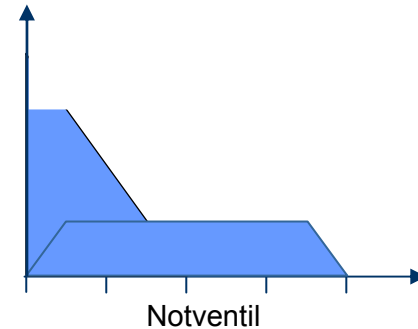
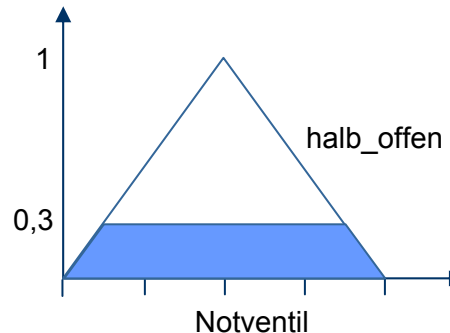
MAX_MIN

Die Fuzzy Sets der Variablen *Notventil* werden durch den Erfüllungsgrad der Regelprämissen be-grenzt und zu einer unscharfen Menge zusammengefasst.

WENN Temperatur = sehr_hoch
ODER Vorkammerdruck = über_normal
DANN Notventil = gedrosselt



WENN Temperatur = hoch
UND Vorkammerdruck = normal
DANN Notventil = halb_offen

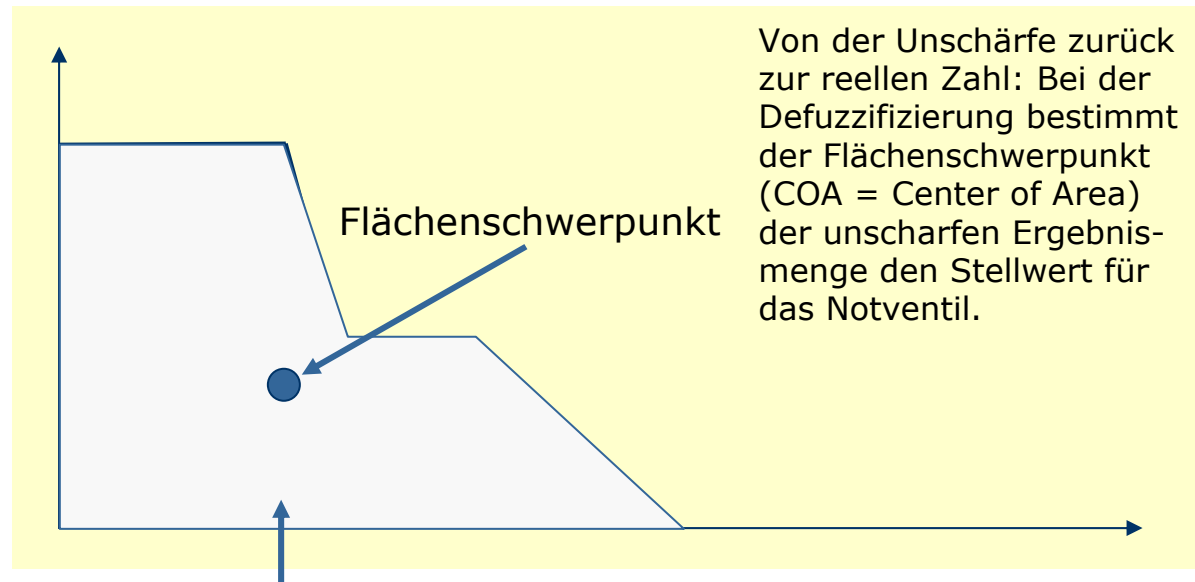


So soll das Notventil eingestellt werden.

- ▲ Das Ergebnis ist in beiden Fällen eine unscharfe Menge, die alle „zulässigen“ Ventileinstellungen beinhaltet.
- ▲ Aber wie kann aus dieser Fuzzy Set eine konkrete Größe abgeleitet werden?
- ▲ Die Fuzzy Set wird defuzzifiziert !

Defuzzifizierung der Ergebnisgrößen (1)

- ▲ **Defuzzifizierung:** Abbildung einer Fuzzy Set auf einen konkreten Zahlenwert
- ▲ **Häufigste Form:** Die gesuchte Größe – in diesem Falle die Notventileinstellung – ergibt sich als Flächenschwerpunkt der Fuzzy Set.

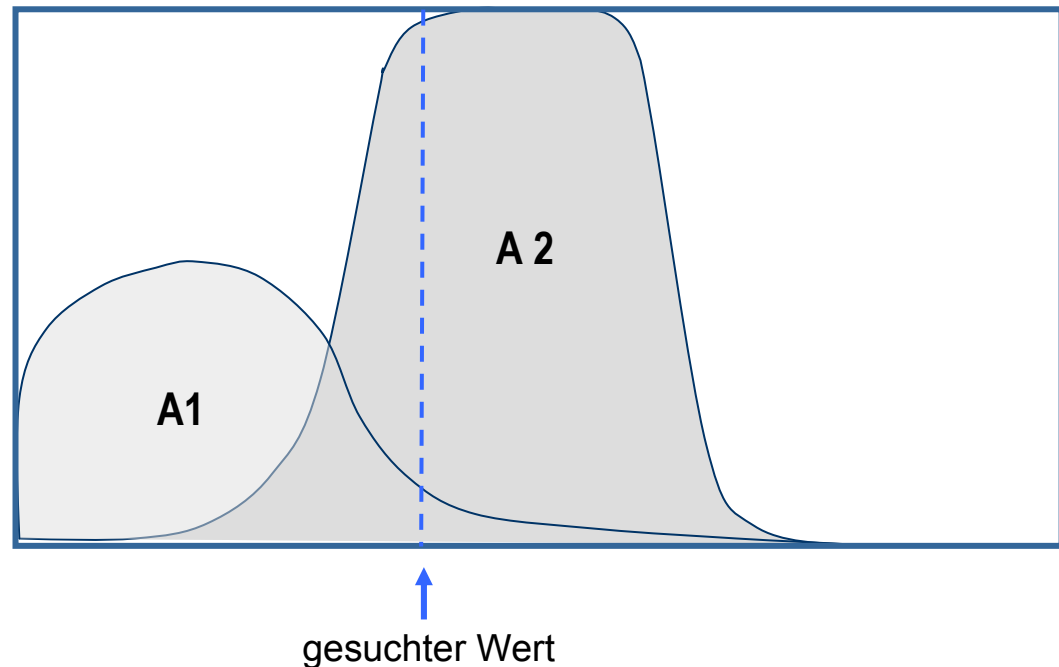


Notventil = 2,7 m³/h

$$y = \frac{\int_{y \in Y} y \cdot f(x_1, \dots, x_n)(y) dy}{\int_{y \in Y} f(x_1, \dots, x_n)(y) dy}$$

Defuzzifizierung der Ergebnisgrößen (2)

- ▲ Defuzzifizierung: Abbildung einer Fuzzy Set auf einen konkreten Zahlenwert
- ▲ Alternative: Die gesuchte Größe wird so ermittelt, dass die Senkrechte durch den gesuchten Wert auf der Abszisse die Gesamtfläche in zwei gleich große Flächen ($A1 = A2$) unterteilt.

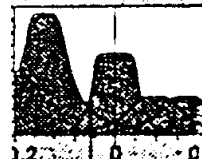
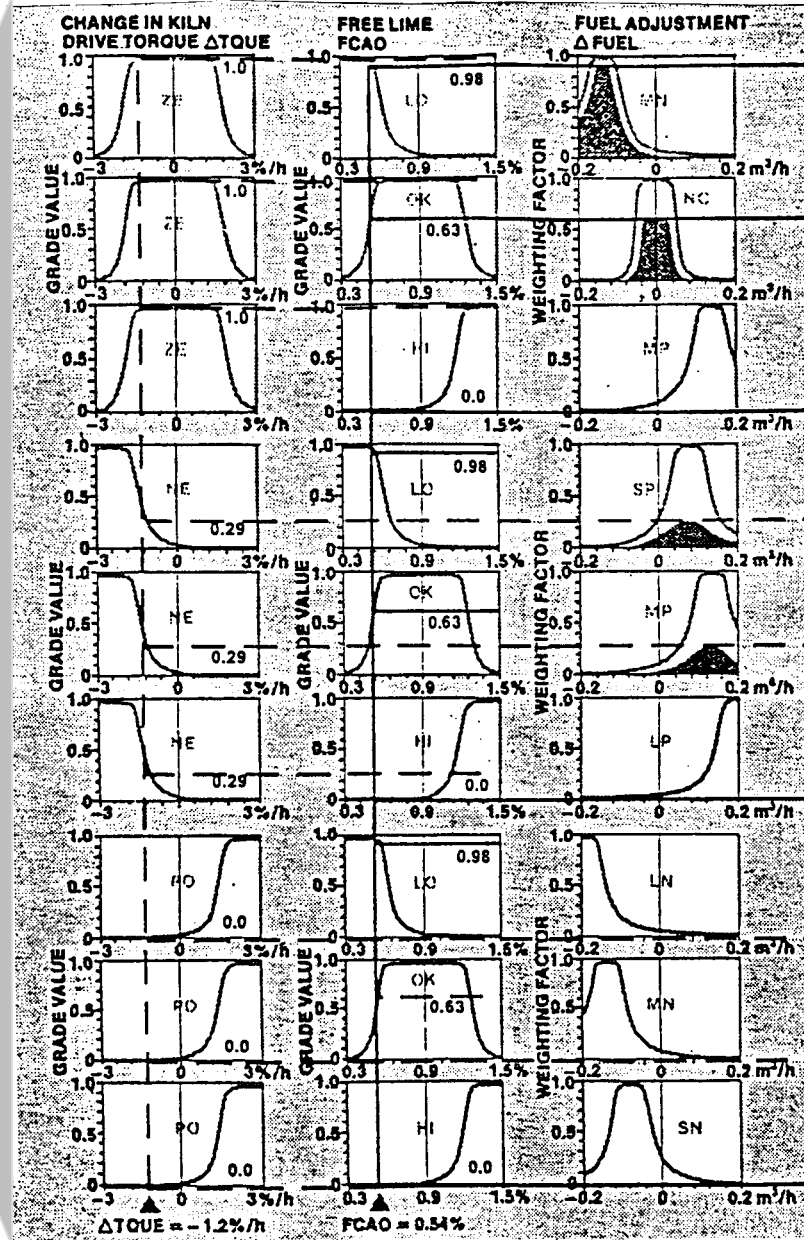


Defuzzifizierung

- Bei vielen Regeln sieht das so aus:

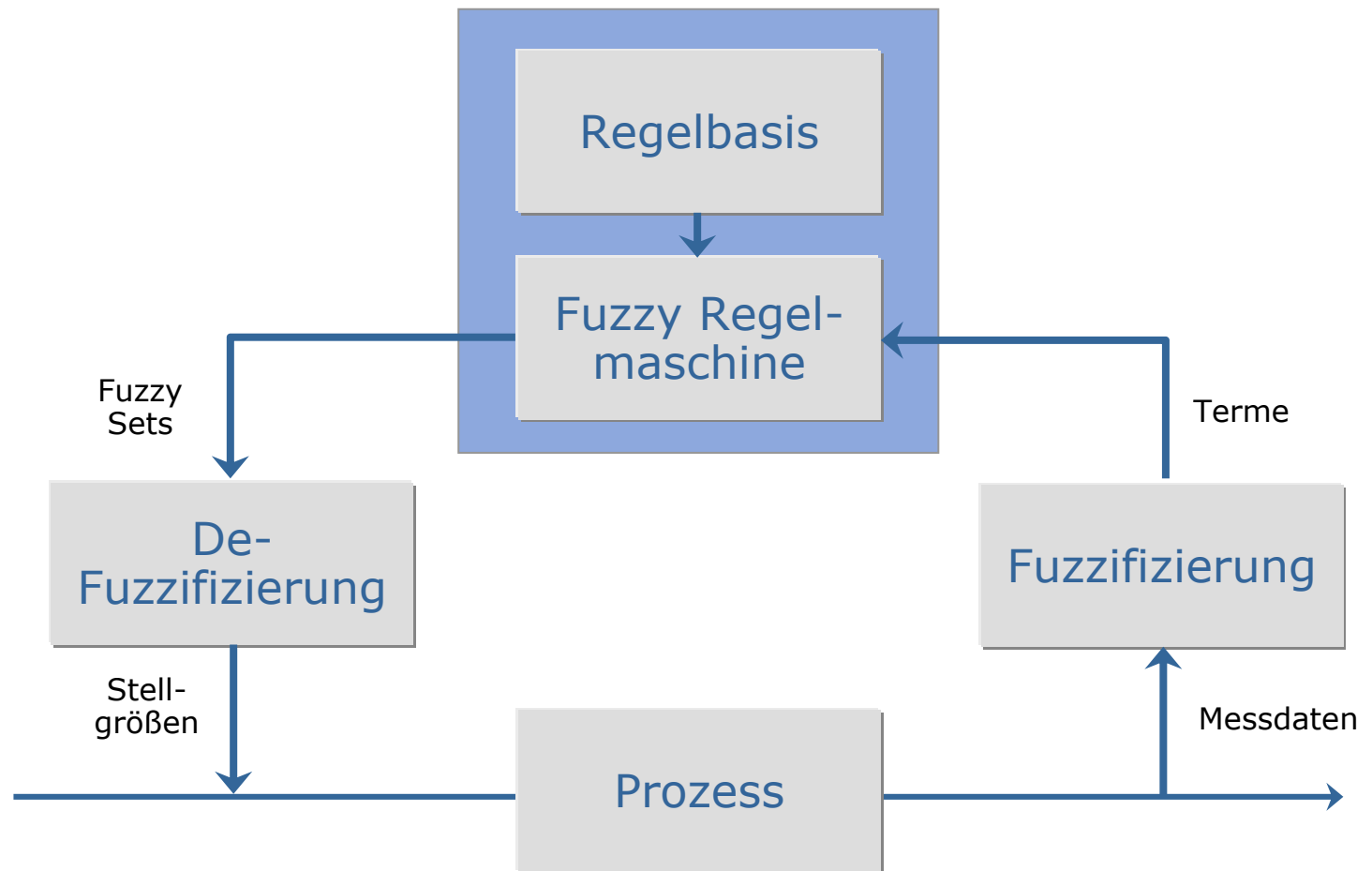
„Gleichzeitige“
Anwendung der
Produktions-
Regeln

Fuzzy Regelsysteme haben einen „demokratischen“ Charakter. Alle Regeln können am Entscheidungsprozess teilnehmen und mehr oder weniger stark in den Entscheidungsprozess eingreifen. Viele Regeln leisten einen Teilbeitrag.

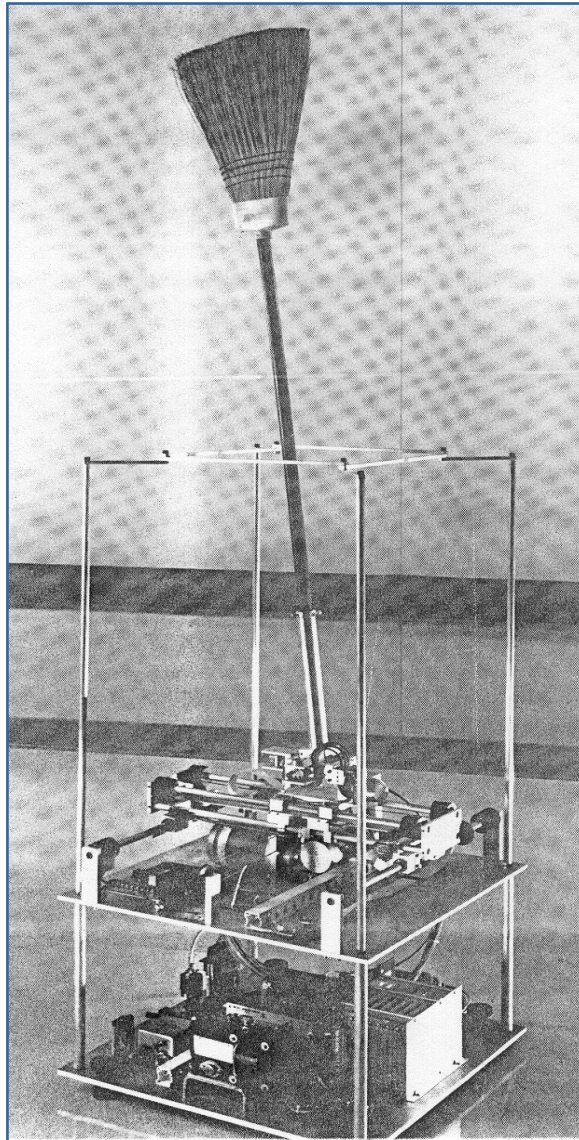


Struktur der Fuzzy Control

- ▲ Damit ergibt sich die Grobarchitektur eines unscharfen Regelsystems wie folgt:



Zum Abschluss ein weiteres praktisches Anwendungsbeispiel



Die Besenbalancier-Maschine

- ▲ Diese Besenbalanciermaschine gibt es wirklich. Sie kann einen auf dem Kopf stehenden Besen kontinuierlich ausbalancieren.
- ▲ Sie stand (bis zur Übernahme durch einen Mitbewerber) in der Eingangshalle der Hecht Nielsen Company in San Diego, Kalifornien.
- ▲ Der Auslenkungswinkel kann bis zu 12° betragen.
- ▲ Sie wurde zuerst durch ein System in neuronaler Architektur gesteuert.
- ▲ Später gab es auch alternative Implementierungen als reine Fuzzy Systeme.

Nun die Theorie ...