

Was beim Duschen alles passieren kann ....



Was beim Duschen alles passieren kann ....



Was beim Duschen alles passieren kann...



Was beim Duschen alles passieren kann...



Was beim Duschen alles passieren kann...



Regelung (control)



Bild 1. Der Mensch als Regler.

Fuzzy-Regelung (fuzzy control)

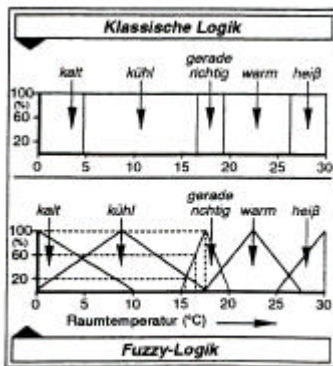


Abb. 1: Klassische und Fuzzy-Logik

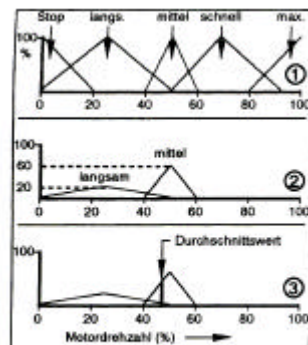


Abb. 2: So steuert die Fuzzy-Logik eine Klima-Anlage

Fuzzy-Regelungssystem (fuzzy control system)

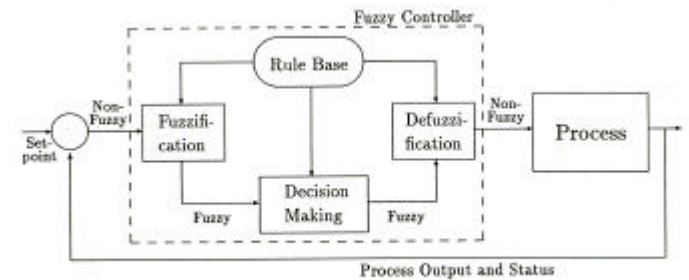


Figure 1. A schematic overview of a fuzzy control system.

## Fuzzy-Regelung (fuzzy control)

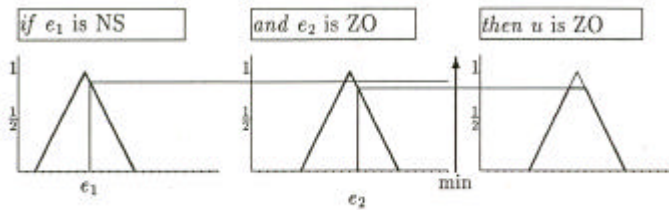


Figure 4. The firing of a single rule with max-min inference.

## Defuzzifizierung: Schwerpunktmethode (center of area)

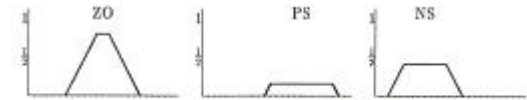


Figure 6. Three clipped output fuzzy sets.

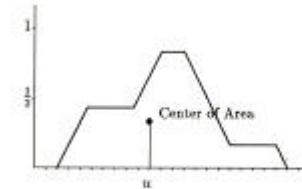
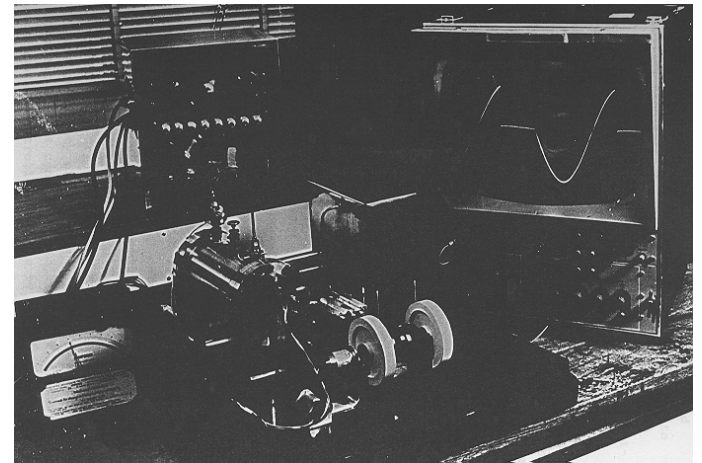


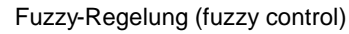
Figure 7. The combined output fuzzy set and its Center of Area.

# Pause



## Fuzzy-Regelung (fuzzy control)



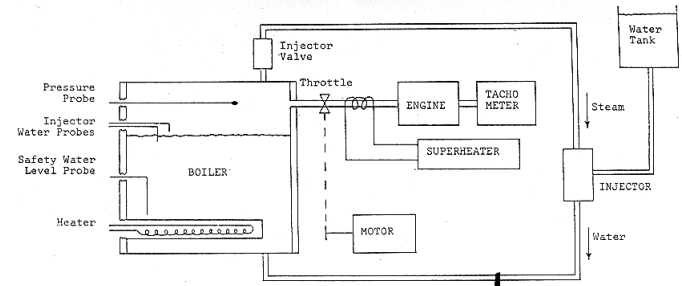


- 
- ```

graph TD
    DC[DIGITAL  
COMPUTER  
  
PDP8/S] <--> HC[HYBRID  
COMPUTER  
  
SOLARTRON  
HS7-6D]
    P[PLANT  
  
BOILER  
ENGINE] <--> SIE[SPECIAL  
INTERFACE  
ELECTRONICS]
    HC <--> SIE
    subgraph INTERFACE
        DC
        P
        HC
        SIE
    end

```
- INTERFACE

### Fuzzy-Regelung (fuzzy control)



## Fuzzy-Regelung (fuzzy control)

Diagram illustrating the relationship between independent and dependent variables in a steam engine and boiler system:

- Independent Controlled Variables:** HEAT, THROTTLE
- Dependent Measured Variables:** PRESSURE, SPEED
- System:** STEAM ENGINE AND BOILER

S. Assilian, E. Mamdani, 1973: Fuzzy Control

[illegible]

Die Variablen *CPE* und *CSE* sind ähnlich quantisiert worden, Unterteilung der Null fehlte hier.

|    |     |    |    |    |     |    |     |     |    |     |    |    |     |
|----|-----|----|----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|----|-----|
|    | -6  | -5 | -4 | -3 | -2  | -1 | 0   | +1  | +2 | +3  | +4 | +5 | +6  |
| PB | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 1  | 0  | 0   |
| PM | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 2   | 0  | 7  | 1-0 |
| PS | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 9  | 1-0 | 0  | 7  | 0   |
| NO | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 5   | 1-0 | 0  | 5   | 0  | 0  | 0   |
| NS | 0   | 0  | 0  | 2  | 0   | 7  | 1-0 | 0   | 9  | 0   | 0  | 0  | 0   |
| NM | 0   | 2  | 0  | 7  | 1-0 | 0  | 7   | 0   | 2  | 0   | 0  | 0  | 0   |
| NB | 1-0 | 0  | 8  | 0  | 4   | 0  | 1   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   |

## S. Assilian, E. Mamdani, 1973: Fuzzy Control

Die Variable *HC*  
wurde auf 15  
Punkte quantisiert:

|           | -7 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | +4 | +5 | +6 | +7 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>PB</i> | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| <i>PM</i> | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| <i>PS</i> | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| <i>NO</i> | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| <i>NS</i> | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| <i>NM</i> | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| <i>NB</i> | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

Ähnlich wurde die  
Variable *TC* auf fünf  
Punkte verteilt

|           | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 |
|-----------|----|----|---|----|----|
| <i>PB</i> | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  |
| <i>PS</i> | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  |
| <i>NO</i> | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  |
| <i>NS</i> | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  |
| <i>NB</i> | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  |

## Fuzzy-Regelung (fuzzy control)

### Fuzzy Subsets

|           |                 |
|-----------|-----------------|
| <i>PB</i> | Positive Big    |
| <i>PM</i> | Positive Medium |
| <i>PS</i> | Positive Small  |
| <i>NO</i> | Nil             |
| <i>NS</i> | Negative Small  |
| <i>NM</i> | Negative Medium |
| <i>NB</i> | Negative Big    |

Assilian, Mamdani, 1974:  
*An Experiment in  
Linguistic Synthesis  
with a Fuzzy Logic  
Controller*

### AN EXPERIMENT IN LINGUISTIC SYNTHESIS

If  $A_1$  then (If  $B_1$  then  $C_1$ )  
ELSE If  $A_2$  then (If  $B_2$  then  $C_2$ ),  
etc.

yields the resultant control action  $C'$ , given  $A_1', A_2', B_1', B_2',$  etc. as

$$C_1 = \max C_1', C_2', \text{ etc.} \\ = \sum \max \{ \min u_{a1} v_{b1} z_{c1}, \text{ mit } u_{a2} v_{b2} z_{c2}, \text{ etc.} \}$$

## Fuzzy-Regelung (fuzzy control)

### Inputvariablen:

#### • Druckabweichung

(Differenz zwischen tatsächlichem und vorgegebenem Druck.)

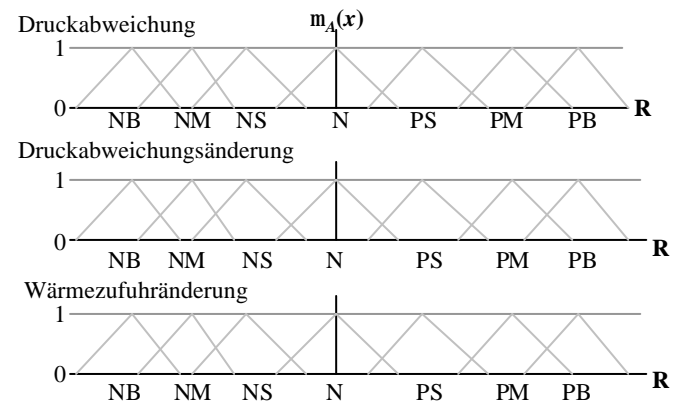
#### • Druckabweichungsänderung

(Geschwindigkeit mit der sich der tatsächliche Druck vom Sollwert entfernt bzw. nähert.)

### Outputvariable:

#### • Veränderung der Wärmezufuhr

## S. Assilian, E. Mamdani, 1973: Fuzzy Control



## S. Assilian, E. Mamdani, 1973: Fuzzy Control

### Regel 1:

WENN die *Druckabweichung* klein und positiv ist UND sich die *Druckabweichung* nicht viel ändert, DANN vermindere die *Wärmezufuhr* ein wenig.

WENN PK UND Null, DANN NK.

### Regel 2:

WENN die *Druckabweichung* etwa Null ist UND sich die *Druckabweichung* nicht viel ändert, DANN verändere die *Wärmezufuhr* nicht.

WENN Null UND Null, DANN Null.

### Regel 3:

WENN die *Druckabweichung* klein und positiv ist UND sich die *Druckabweichung* langsam vergrößert, DANN vermindere die *Wärmezufuhr* ein wenig.

WENN PK UND NK, DANN NK

## S. Assilian, E. Mamdani, 1973: Fuzzy Control

### Druckabweichung

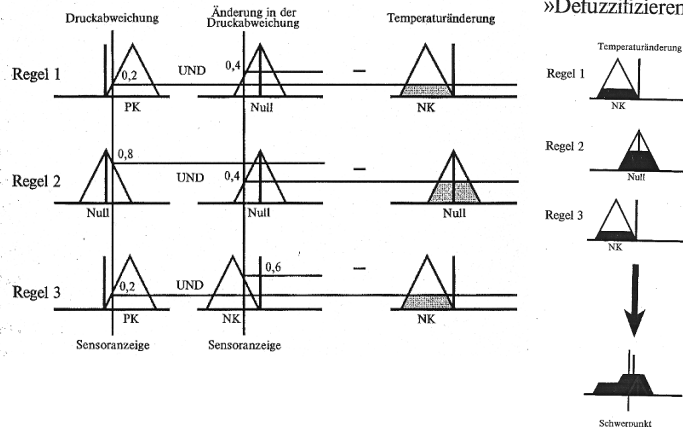
Änderung  
in der Druck-  
abweichung

|      | Negativ,<br>groß<br>NG | Negativ,<br>mittel<br>NM | Negativ,<br>klein<br>NK | Null<br>Null | Positiv,<br>klein<br>PK | Positiv,<br>mittel<br>PM | Positiv,<br>groß<br>PG |
|------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| NG   |                        |                          |                         | PG           |                         |                          |                        |
| NM   |                        |                          |                         | PM           |                         |                          |                        |
| NK   |                        |                          |                         | PK           | NK Regel 3              |                          |                        |
| Null |                        |                          |                         | Null Regel 2 | NK Regel 1              | NM                       | NG                     |
| PK   |                        |                          |                         | NK           |                         |                          |                        |
| PM   |                        |                          |                         | NM           |                         |                          |                        |
| PG   |                        |                          |                         | NG           |                         |                          |                        |

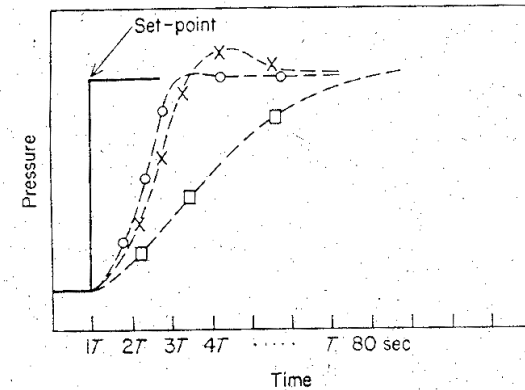
## S. Assilian, E. Mamdani, 1973: Fuzzy Control

### Fuzzy-Anwendungsregeln

»Defuzzifizieren«



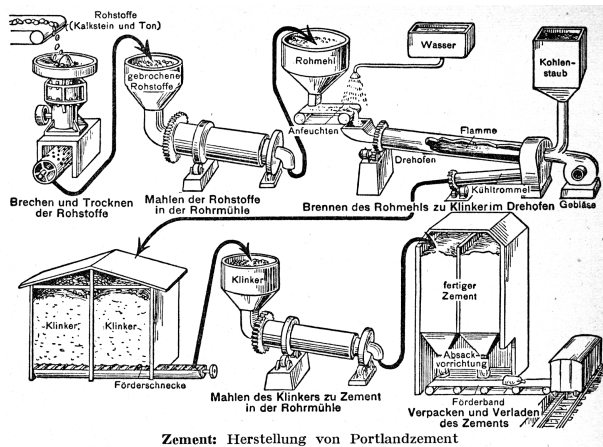
## S. Assilian, E. Mamdani, 1973: Fuzzy Control



Fixed controller (DDC algorithm), x, □; Fuzzy controller, ○.



L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973:  
Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen



L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973:  
Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

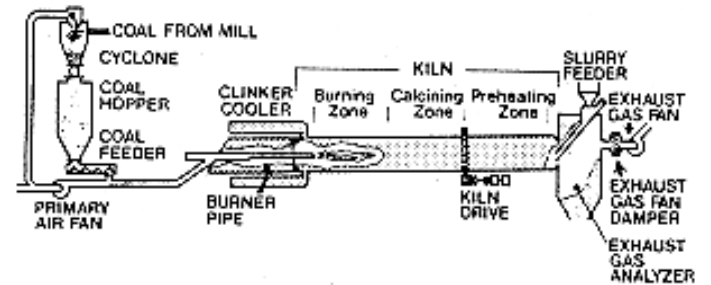


Fig. 17. The cement kiln process.

L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973:  
Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

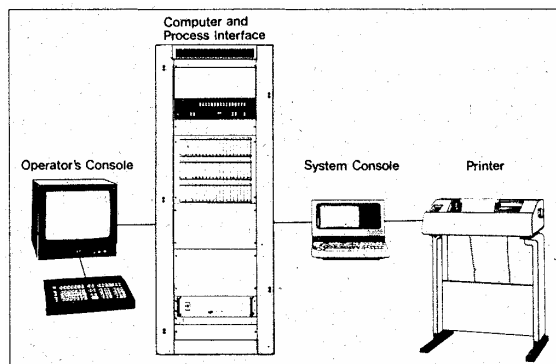


Fig. 12. The FLS Supervision, Dialogue and Reporting (SDR) computer system.

L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973:  
Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

| Case | Condition        | Action to be taken                                                                        | Reason                                                                      |
|------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 10   | BZ OK            | a. Increase I.D. fan speed                                                                | To raise back-end temperature and increase oxygen percentage for action 'b' |
|      | OX low           |                                                                                           |                                                                             |
|      | BE low           | b. Increase fuel rate                                                                     | To maintain burning zone temperature                                        |
| 11   | BZ OK            | a. Decrease fuel rate slightly                                                            | To raise percentage of oxygen                                               |
|      | OX low           |                                                                                           |                                                                             |
|      | BE OK            |                                                                                           |                                                                             |
| 12   | BZ OK            | a. Reduce fuel rate                                                                       | To increase percentage of oxygen for action 'b'                             |
|      | OX low           | b. Reduce I.D. fan speed                                                                  | To lower back-end temperature and maintain burning zone temperature         |
|      | BE high          |                                                                                           |                                                                             |
| 13   | BZ OK            | a. Increase I.D. fan speed                                                                | To raise back-end temperature                                               |
|      | OX OK            | b. Increase fuel rate                                                                     | To maintain burning zone temperature                                        |
|      | BE low           |                                                                                           |                                                                             |
| 14   | BZ OK            | NONE. However, do not get overconfident, and keep all conditions under close observation. |                                                                             |
|      | OX OK            |                                                                                           |                                                                             |
|      | BE OK            |                                                                                           |                                                                             |
| 15   | BZ OK            | When oxygen is in upper part of range                                                     | To reduce back-end temperature                                              |
|      | OX OK            | a. Reduce I.D. fan speed                                                                  | To reduce back-end temperature                                              |
|      | BE high          | When oxygen is in lower part of range                                                     | To raise oxygen percentage for action 'c'                                   |
|      |                  | b. Reduce fuel rate                                                                       | To raise oxygen percentage for action 'c'                                   |
|      |                  | c. Reduce I.D. fan speed                                                                  | To lower back-end temperature and maintain burning zone temperature         |
| 16   | BZ OK            | a. Increase I.D. fan speed                                                                | To raise back-end temperature                                               |
|      | OX high          | b. Increase fuel rate                                                                     | To maintain burning zone temperature and reduce percentage of oxygen        |
|      | BE low           |                                                                                           |                                                                             |
| 17   | BZ OK            | a. Reduce I.D. fan speed                                                                  | To lower percentage of oxygen                                               |
|      | OX high slightly |                                                                                           |                                                                             |
|      | BE OK            |                                                                                           |                                                                             |

Fig. 1. Extract from textbook for cement kiln operators (ref. 1).

# L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973: Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

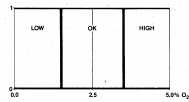


Fig. 2. Representation of the terms "LOW", "OK", and "HIGH" in the classic O/I logic (false/true logic).

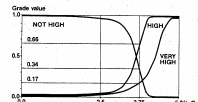


Fig. 4. Representation of the basic term "HIGH" and the related terms "VERY HIGH" and "NOT HIGH".

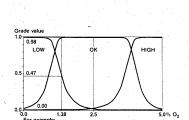


Fig. 3. Representation of the terms of Fig. 2 in fuzzy logic.

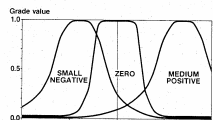


Fig. 5. Representation of three other fuzzy terms generally used. Note the normalized -1/1 abscissa scale.

```
0 NAME: WIX2CTL\N
1 *
2 * THIS PROGRAM CONTROLS THE
3 * OXYGEN BY ADJUSTING THE
4 * COAL FEED RATE.
5 INPUT O2\W1\0.7,1.6,3\
6 OUTPUT DCOAL\W1\19SP,0.5\
7 *
8 IF LOW(O2) THEN MNEG(DCOAL)
9 IF OK(O2) THEN ZERO(DCOAL)
10 IF HIGH(O2) THEN MPPOS(DCOAL)
11 *
12 END
```

Example of a FCL computer program for fuzzy logic control.

# L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973: Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

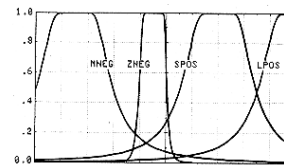


Fig. A.1. Graphical representation of some membership functions.

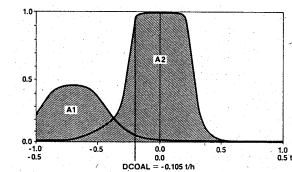


Fig. 8. The resultant burning adjustment is determined by combining the area values of Fig. 7 and ascertaining the abscissa values so that A1 = A2.

# L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973: Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

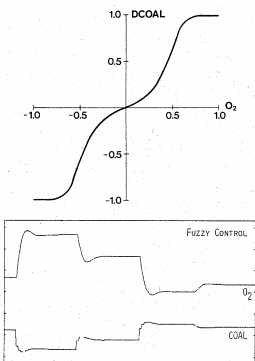


Fig. 9. Normalized input/output relationship and simulated response for fuzzy controller of fig. 6.

```
0 NAME: WICONTL\N
1 *
2 * SIMPLIFIED CONTROL STRATEGY OF 9 CONTROL RULES.
3 * EACH RULE DEFINES ADJUSTMENT OF THE FUEL RATE (DFUEL)
4 * BASED ON MEASUREMENTS OF THE CHANGE IN KILN DRIVE
5 * TORQUE (DTQUE) AND THE FREE LIME CONTENT (FCAD).
6 *
7 INPUT DTQUE\W1\0.3\1,-3,0,3\
8 INPUT FCAD\W1\0.3\2,0,3,0,9,1,5\
9 OUTPUT DFUEL\W1\19SP,0.2\
10 *
11 IF ZERO(DTQUE) AND LOW(FCAD) THEN MNEG(DFUEL)
12 IF ZERO(DTQUE) AND OK(FCAD) THEN ZERO(DFUEL)
13 IF ZERO(DTQUE) AND HIGH(FCAD) THEN MPPOS(DFUEL)
14 *
15 IF NEG(DTQUE) AND LOW(FCAD) THEN SPDS(DFUEL)
16 IF NEG(DTQUE) AND OK(FCAD) THEN MPPOS(DFUEL)
17 IF NEG(DTQUE) AND HIGH(FCAD) THEN LPOS(DFUEL)
18 *
19 IF POS(DTQUE) AND LOW(FCAD) THEN LNEG(DFUEL)
20 IF POS(DTQUE) AND OK(FCAD) THEN MNEG(DFUEL)
21 IF POS(DTQUE) AND HIGH(FCAD) THEN SNEG(DFUEL)
22 *
23 END
```

Fig. 10. Control strategy with two inputs and one output.

# L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973: Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

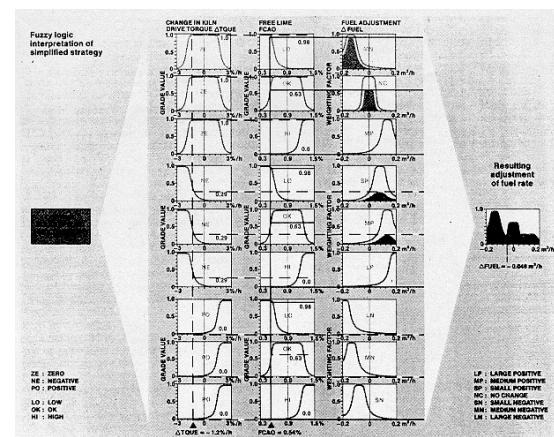


Fig. 11. Graphical interpretation of the control strategy of Fig. 10.



L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973:  
Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

```

1  * NAME: CO2CONTROL.V
2
3  * IF CO IS DETECTED, THIS PROGRAM ADJUSTS THE COAL FEED
4  * * * * * RATED TO THE LOWER DAMPER POSITION
5
6  * SAVE COUNT
7
8  * FETCH CO AND THE SMOKE CHAMBER TEMP.
9
10 *
11 INPUT COWLMIS(1),0,0,2%
12 INPUT TEMPWMIS(1),170,190,210%
13
14 * DECLARE FUZZY OUTPUT VARIABLES
15
16 OUTPUT DSI(1),0,81,5%
17 OUTPUT DS(1),0,25%
18
19 * DEFINE MIN TIME BETWEEN CONTROL ACTIONS
20
21 CONSTANT LIMIT(5)
22 CONSTANT KEYS(1)
23
24 COUNT=COUNT+1
25 IF COUNT LT LIMIT THEN JMP(EXT1)
26
27 * CONTROL RULES
28
29 IF HIGH(CO) AND NOT HIGH(TEMP) THEN ZERO(DSI),LPDS(DSI)
30 IF HIGH(CO) AND HIGH(TEMP) THEN SMEG(DSI),ZERO(DSI)
31
32 * CONTROL ACTION ONLY IF CO IS HIGH, IE, ONLY IF AT LEAST
33 * ONE RULE IS FULFILLED IN DEGREE 0.8
34
35 END OUTPUTS 0%
36
37 * IF CONTROL ACTION, RESET COUNTER AND SPECIFY GRAPHIC OUTPUT
38
39 IF NOT CONTROL THEN JMP(EXT1)
40
41 COUNT=0
42 PLOT DSI

```

Fig. 14. Printout of FLC program COCONTL.

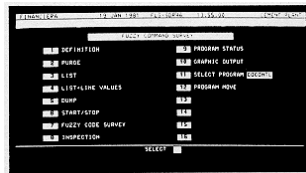


Fig. 13. FLC menu on SDR system console.



Fig. 15. SDR system console during the inspection of FCL program being executed.

L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973:  
Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

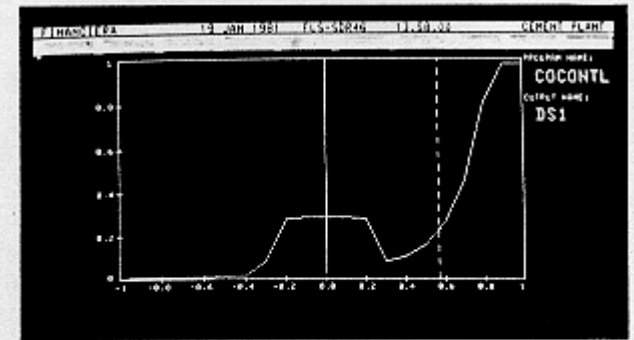


Fig. 16. Graphic representation on SDR system console of OUTPUT variable DS1 corresponding to line values in Fig. 15.

L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973:  
Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

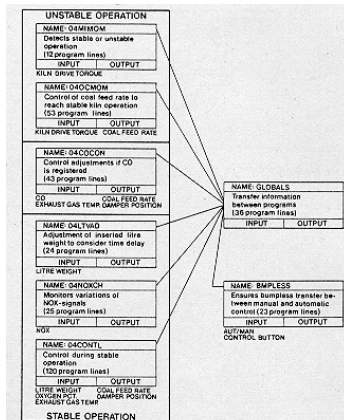


Fig. 18. Structure of Kiln Control Program.

L. P. Holmblad, J.-J. Østergaard, 1973:  
Fuzzy Control bei einem Zementbrennofen

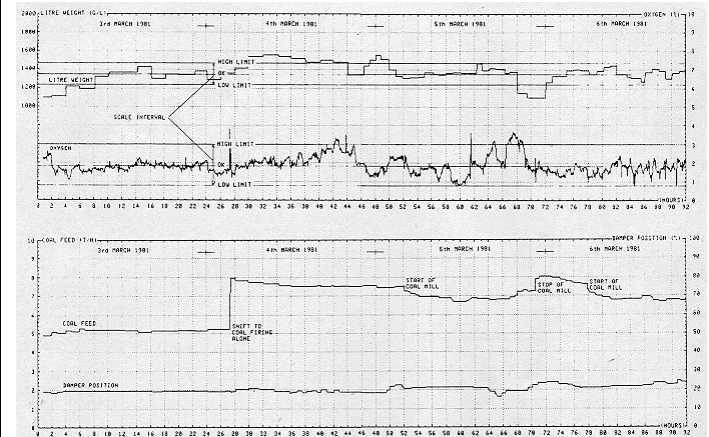


Fig. 19. Fuzzy control of cement kiln operation.

## Anwendung der Fuzzy-Regelung: Auto

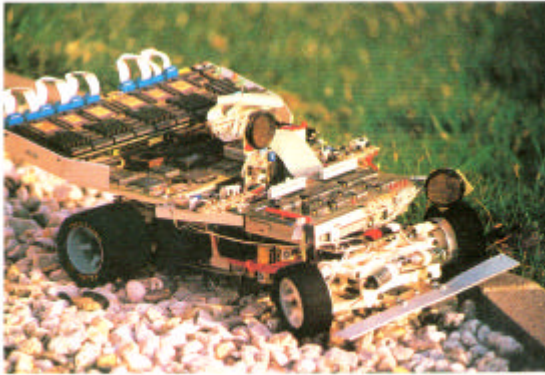
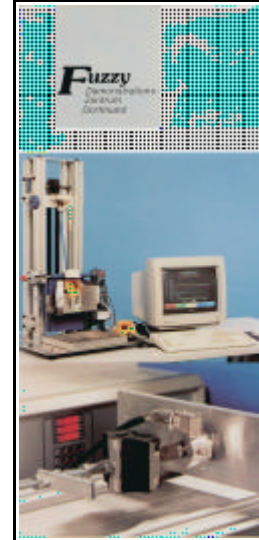


Bild 1: Eine moderne Anwendung von Fuzzy Control ist das batteriegetriebene Auto, das 1991 am Lehrstuhl für Untersuchungs-forschung der RWTH Aachen gebaut wurde. Seine Wissensbasis umfasst einige hundert Regeln. Es erreicht eine Geschwindigkeit von bis zu 80 Kilometern pro Stunde und vermeidet selbständig Hindernisse.

## Anwendung der Fuzzy-Regelung: Bierzapfen; invertiertes Pendel



Demonstrationsobjekt:  
Adaptive Fuzzy Regelung eines invertierten Pendels

## Anwendung der Fuzzy-Regelung: Laufkatze

### Ein Lehrbuchbeispiel



Bild 8. Cassinelli, v. Kikuchi. Be-richteter Fuzzy-Technik bei Inform, konzentriert der Modell-konstruktion, die Fuzzy-Regelung ermöglicht die Abbildung der Komplexität auf eine geringere Komplexität.



Bild 9. Eine kleine übertragene Last kann auf einer Schiene mit einer Fuzzy-Regelung steuert werden.

Die die Vorteile der Fuzzy-Technologie nutzt die in-terdisziplinäre Zusammenarbeit von In-genieurwissenschaften und Informatik. Die Fuzzy-Regelung ermöglicht die Abbildung der Komplexität auf eine geringere Komplexität.

Die die Vorteile der Fuzzy-Technologie nutzt die in-terdisziplinäre Zusammenarbeit von In-genieurwissenschaften und Informatik. Die Fuzzy-Regelung ermöglicht die Abbildung der Komplexität auf eine geringere Komplexität.

Die die Vorteile der Fuzzy-Technologie nutzt die in-terdisziplinäre Zusammenarbeit von In-genieurwissenschaften und Informatik. Die Fuzzy-Regelung ermöglicht die Abbildung der Komplexität auf eine geringere Komplexität.

Die die Vorteile der Fuzzy-Technologie nutzt die in-terdisziplinäre Zusammenarbeit von In-genieurwissenschaften und Informatik. Die Fuzzy-Regelung ermöglicht die Abbildung der Komplexität auf eine geringere Komplexität.



Bild 10. Die drei Fuzzy-Modelle zeigen den Zusammen-hang von Fuzzy-Regelung und Fuzzy-Regelung. Die Fuzzy-Regelung ermöglicht die Abbildung der Komplexität auf eine geringere Komplexität.

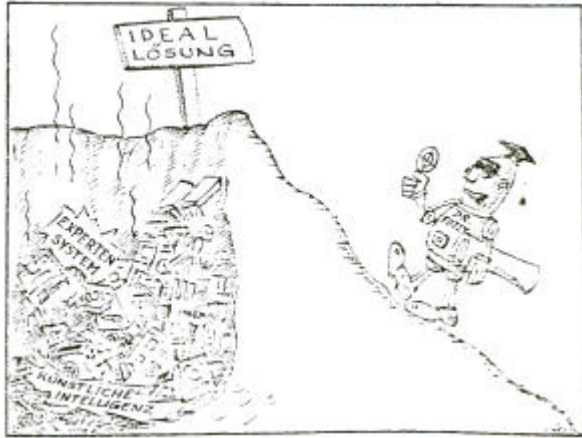
Elektronik, 1992

## Anwendung der Fuzzy-Regelung: Auto



Prof. Lotfi Zadeh, Begründer der Fuzzy Logik und Referent des 1. Aachener Fuzzy-Symposiums, auf dem INFORM-Stand der FUZZ-IEEE in San Diego.

Die 90er Jahre: „Ideallösung Fuzzy“



Die 90er Jahre: „Ideallösung Fuzzy“



Anwendung der Fuzzy-Regelung: U-Bahn in Sendai, Japan



U-Bahn auf Höhenflug: Seit 1988 sind in der japanischen Stadt Sendai fuzzygesteuerte U-Bahn-Züge in Betrieb. Ihr sanftes

Bremsen und Beschleunigen hat auch andere Stadtväter überzeugt. Noch in diesem Jahr geht eine ähnliche Bahn in Tokio auf Strecke.

Fuzzy-Waschmaschine, -Staubsauger (Domotechnica 1993)



Die "Fuzzy-Waschmaschine", die auf der Domotechnica vorgestellt wurde.



Im Bild sind die bei der ZVE strengsten Versuchsbedingungen für den Staubsauger zu sehen.



## Fuzzy-Waschmaschinen



**KARSTADT**

**Fuzzy Logisch.**

Wasserverbrauch nur 35 Liter

Washing Machine 5541 W

1699,- + 1299,- € 664,11

## Expertensystem und Fuzzy Control Systeme

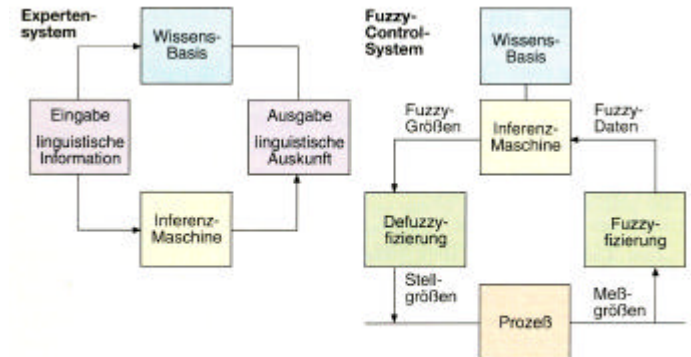


Bild 3: Expertensysteme (links) und Fuzzy-Control-Systeme („unscharfe Regler“; rechts) haben sehr ähnliche Grundstruk-

turen: Bei beiden bilden Wissensbasis und Inferenzmaschine den Kern, und es werden nicht-numerische Daten verarbeitet.