Einführung in die Automatisierungstechnik

Studiengang: Produktionstechnik, Systems Engineering

- Vorlesung 05 -

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Fischer
Dr.-Ing. Gerald Ströbel

Bremer Institut für Messtechnik, Automatisierung und Qualitätswissenschaft

Lehrziele und Gliederung

V1 Motivation, Anwendungsbereiche, Prozesse und Methoden der Automatisierungstechnik

V2 Automatisierung in der Produktion

V3 Boolesche Algebra 1

Ü1 Matlab Einführung

V4 Bolsche Algebra 2: Graphen

Ü2 Übung Boolsche Algebra

V5 **Fuzzy Logic**

Ü3 Fuzzy Logic

V6 Neuronale Netze

Ü4 Neuronale Netze

V7 Automatisiertes Messen und Steuern

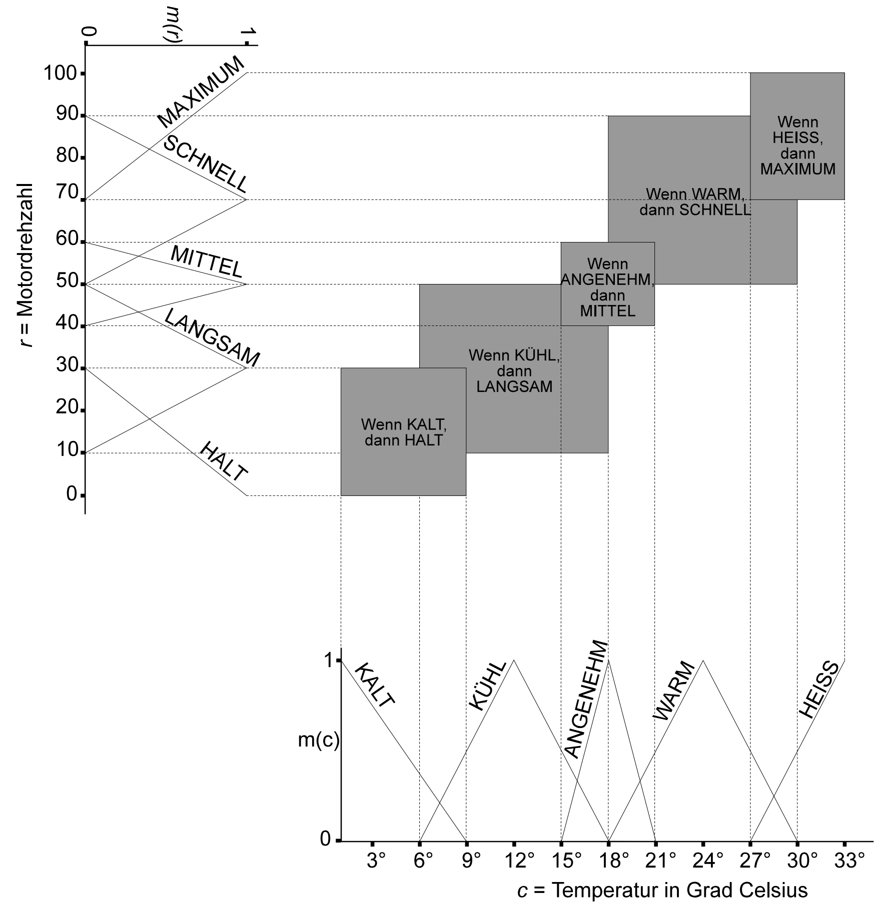
Ü5 Automatisiertes Messen und Steuern

V8 Speicherprogrammierbare Steuerungen

Ü6 Übungen und Musterklausuren

Fuzzy Logic
- Einführung -

Fuzzy Logic auch ***Unscharfe Logik***



Fuzzy Logic

- Einführung – Definition -

Der Begriff "fuzzy logic", zu deutsch unscharfe Logik, wurde von Lotfi Asker Zadeh geprägt, der in seinem Papier "Fuzzy Sets" (Zadeh 1965, S. 338 ff.) im Jahre 1965 eine Theorie zur Beschreibung und Verknüpfung von unscharfen Mengen vorstellte.

Unscharfe Logik steht für

- Unbestimmtheit,
- für Wagheit,
- Mehrwertigkeit, dafür, dass alles nur zu einem gewissen Grad zutrifft.

Damit stellt die unscharfe Logik eine Erweiterung der klassischen oder binären Logik dar,

mit: ja oder nein, schwarz oder weiß, 1 oder 0, {t, f}

Mit der unscharfen Logik sind qualitative Beschreibungen von Objekten möglich.

z. B. sehr groß oder klein, mittel, für die Größe eines Menschen

Fuzzy Logic

- Einführung – Anwendungen -

Unscharfe Logik wird heute vor allem in der

- Regelungstechnik (nichtlineare Systeme) eingesetzt und

eher selten in

- Entscheidungsfindungsprozessen (z.B. technische Diagnose)

Im Bereich der Regelungstechnik werden die Steuerungen, die auf unscharfe Logik basieren, Fuzzy-Steuerungen oder unscharfe Steuerungen genannt. Unscharfe Steuerungen werden in

- Klimaanlagen,
- Antiblockiersystemen,
- Kopiermaschinen,
- Fernsehern,
- Staubsaugern,
- Camcordern
- Waschmaschinen u.ä. verwendet
- allg. in SPS Systemen

Fuzzy Logic

- Einführung / Historie -

Besonders in Japan wurden in den 1990 Jahren unscharfe Steuerungen in einer Vielzahl von Anwendungen entwickelt und eingesetzt.

- Vor allem lassen sich mit unscharfen Steuerungen Prozesse regeln, die sich bislang nicht oder nur unbefriedigend mit herkömmlicher Regelungs-technik steuern ließen.

Die Benutzung von Alltagswissen und umgangssprachlichen Formulierungen, wie
"Wenn es regnet, dann spanne den Schirm auf"
oder
"Wenn es dunkel ist, dann schalte das Licht ein",
machen es einfacher, Prozesse zu automatisieren. Dabei bedarf es nicht eines exakten mathematischen Modells des zu regelnden Prozesses.

- Steuerungsvorgänge realisierbar, die von Menschen nicht mehr geregelt werden können, etwa das Stabilisieren eines fliegenden Hubschraubers, bei dem ein Rotorblatt fehlt.

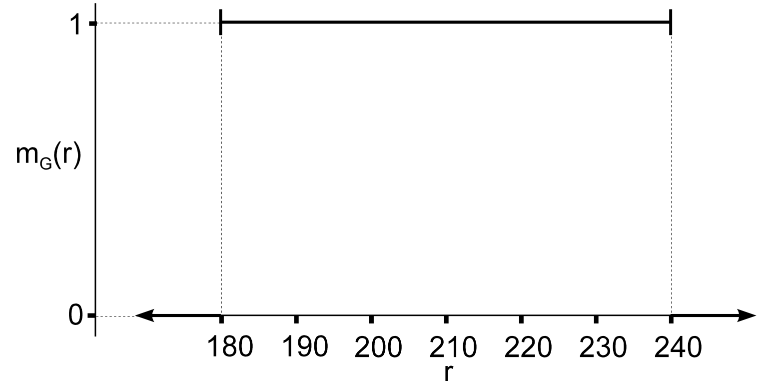
Fuzzy Logic

- Theoretischer Hintergrund – Unscharfe Mengen -

Unscharfe Logik befasst sich mit unscharfen Mengen. Jedes Element einer unscharfen Menge gehört zu einem gewissen Grad dazu. Elemente scharfer Mengen (crisp Sets) dagegen zählen entweder zu der Menge oder nicht.

Die Menge *G* der reellen Zahlen von 180 bis 240 ist scharf und wir schreiben

$$G = \{l \in \Re \mid 180 \leq l \leq 240\}.$$



Graph einer Zugehörigkeitsfunktion m_G einer scharfen Menge; verändert nach (Bezdek, Pal 1992, S. 2)

Ebenso kann *G* durch seine charakteristische zweiwertige Zugehörigkeitsfunktion m_G beschrieben werden:

$$m_G\ (l) = 1;\ \ 180 \leq l \leq 240$$
$$0;\ \ sonst.$$

Den Graph von m_G zeigt Bild 1. Jede reelle Zahl *l* ist entweder in *G* oder nicht. Weil m_G alle reellen Zahlen $l \in \Re$ auf zwei Punkte {0, 1} abbildet, zählen scharfe Mengen zur binären Logik

Fuzzy Logic

- Theoretischer Hintergrund – Unscharfe Mengen-

In der Logik werden die Werte von m_G Wahrheitswerte genannt in Hinblick auf die Frage:
"Ist l in G ?"
Die Antwort ist ja dann, und nur dann, wenn $m_G(l) = 1$, andernfalls ist die Antwort nein.

Unscharfe Mengen enthalten Elemente, die unpräzisen Eigenschaften zu einem bestimmten Grad entsprechen, beispielsweise die Menge B der Zahlen, die "nahe 210" sind.

B wird durch seine Zugehörigkeitsfunktion m_B bestimmt, die Wahrheitswerte (truth values) auf das gesamte Einheitsintervall [0, 1] abbildet.

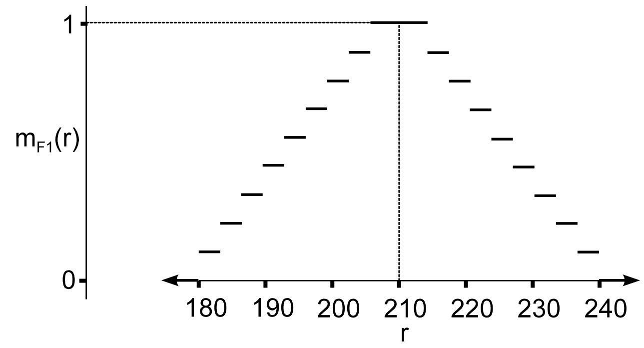
Der Wert $m_B(l)$ ist der Grad der Mitgliedschaft von l in B. Dadurch sind alle Schattierungen von grau zwischen schwarz (=1) und weiß (=0) möglich.

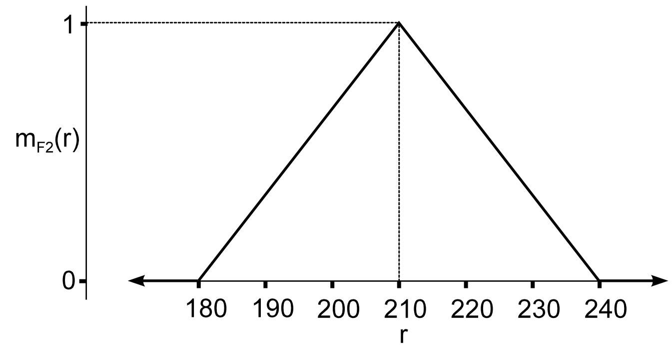
Weil die Eigenschaft "nahe 210" vage ist, gibt es keine eindeutige Zugehörigkeitsfunktion für B. Je nach beabsichtigter Anwendung ließen sich verschiedene Eigenschaften bestimmen, beispielsweise nach (Bezdek, Pal 1992, S. 2):

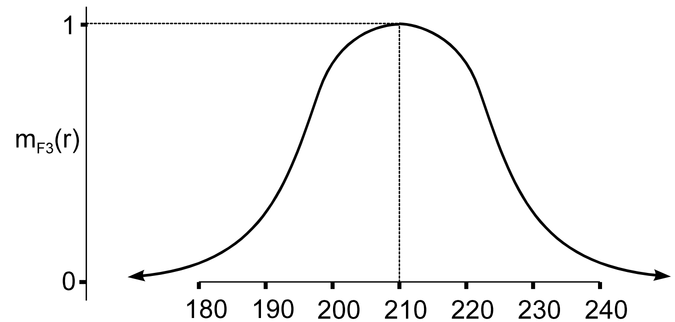
(i) Normalität: $m_B(210) = 1$

(ii) Monotonie: Je näher l an 210 ist, desto näher ist $m_B(l)$ an 1 und umgekehrt

(iii) Symmetrie: Zahlen, die gleich weit links und rechts von 210 sind, sollten gleiche Zugehörigkeit besitzen.







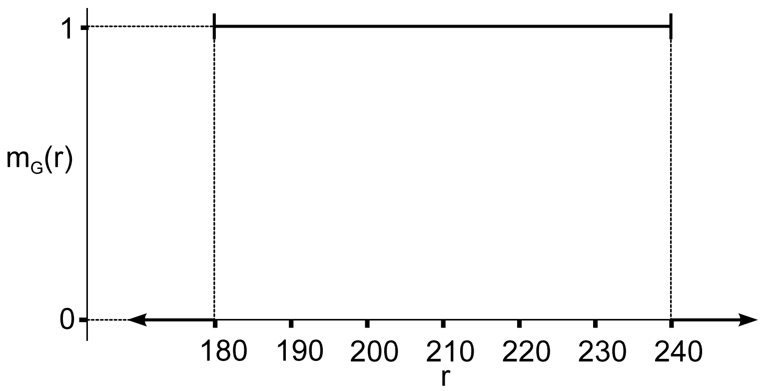
Fuzzy Logic

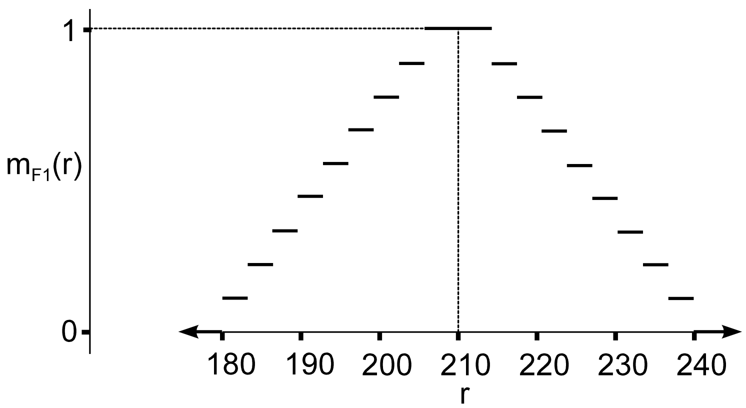
- Theoretischer Hintergrund – Unscharfe Mengen-

Angenommen, die Zahlen in *G* und *F* stehen für die Größen von Basketball spielenden Menschen (*b*). Wenn jetzt $m_G(b) = 1$, dann ist nur bekannt, dass die Größe zwischen 180 und 240 liegt. Andererseits, wenn $m_B(b) = 0{,}98$ gilt, dann wissen wir, dass die Größe des basketballspielenden Menschen sehr nahe an 210 ist. Welche der beiden Informationen ist damit sinnvoller bzw. genauer?

Die Zugehörigkeitsfunktion ist das Grundkonzept in der Theorie von den unscharfen Mengen. Mit ihren Wahrheitswerten wird ausgedrückt, zu welchem Grad Objekte unpräzise definierten Eigenschaften genügen.

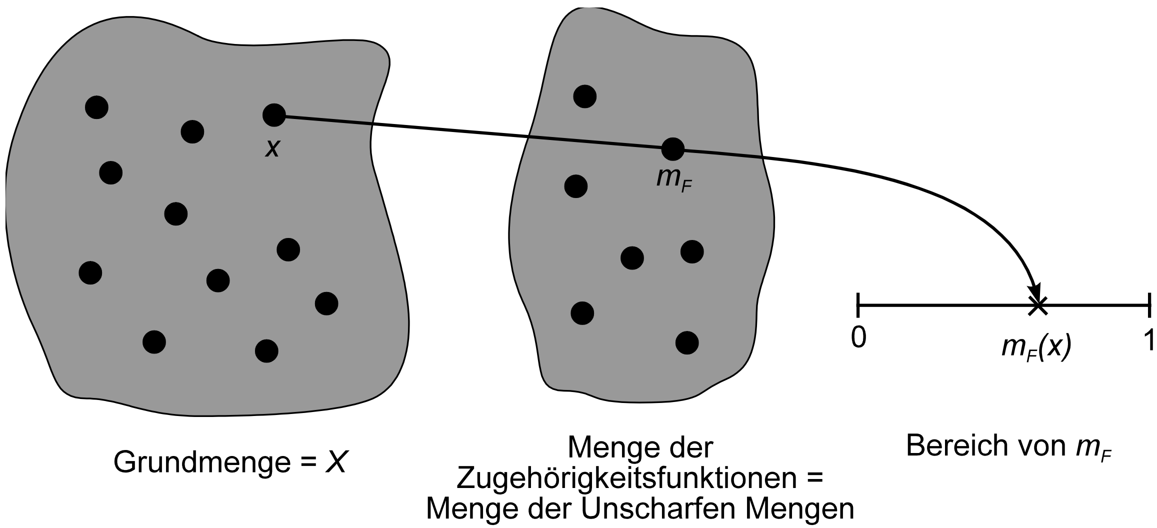
Unscharfe Mengen sind immer Funktionen, die aus einer Grundmenge *X*, beispielsweise die reellen Zahlen, auf das Einheitsintervall [0, 1], dem Bereich der Zugehörigkeitsfunktion von m_F, abbilden (Abb. 19.3)





Fuzzy Logic

- Theoretischer Hintergrund – Unscharfe Mengen-



Unscharfe Mengen sind Funktionen, die aus einer Grundmenge X, beispielsweise die reellen Zahlen, auf das Einheitsintervall [0, 1], dem Bereich der Zugehörigkeitsfunktion von m_F , abbilden.

Fuzzy Logic

- Theoretischer Hintergrund – Unscharfe Mengen-

Es soll gelten: $F(X)$ = alle unscharfen Mengen von X, d. h.

$$m \in \mathcal{F}(X) \Leftrightarrow m : X \to [0, 1]$$

oder in Worten: *m* ist genau dann ein Element der Menge aller unscharfen Mengen (aller Zugehörigkeitsfunktionen), wenn *m* eine Funktion ist, die aus der Grundmenge X auf das Einheitsintervall [0, 1] abbildet.

Seien nun $m_A, m_B \in \mathcal{F}(X)$, also zwei unscharfe Mengen (Zugehörigkeitsfunktionen), dann soll für jedes x aus der Grundmenge X gelten:

$$(=)\ \textit{Gleichheit} \qquad A = B \Leftrightarrow m_A(x) = m_B(x) \qquad (1)$$

In Worten: Zwei unscharfe Mengen A und B sind genau dann gleich, wenn für jedes x ihre Zugehörigkeitsfunktionen den gleichen Wahrheitswert liefern.

$$(\subset)\ \textit{Enthaltung} \qquad A \subset B \Leftrightarrow m_A(x) \le m_B(x) \qquad (2)$$

In Worten: Eine unscharfe Menge A ist enthalten in oder Teilmenge von einer unscharfen Menge B genau dann, wenn für jedes x der Wahrheitswert der Zugehörigkeitsfunktion von A kleiner oder gleich dem Wahrheitswert der Zugehörigkeitsfunktion von B ist.

Fuzzy Logic

- Theoretischer Hintergrund – Unscharfe Mengen -

(-) *Komplement* $m_{\bar{A}}(x) = 1 - m_A(x)$ (3)

In Worten: Das Komplement einer unscharfen Menge *A* ist die Menge, für die jeder Wahrheitswert ihrer Zugehörigkeitsfunktion für jedes *x* gerade die Differenz von 1 und dem Wahrheitswert der Zugehörigkeitsfunktion von *A* und dem selben *x* ist.

($\cap$) *Durchschnitt* $m_{A \cap B}(x) = \min \{m_A(x), m_B(x)\}$ (4)

In Worten: Der Durchschnitt zweier unscharfer Mengen *A* und *B* ist für jedes *x* das jeweilige Minimum der zwei Wahrheitswerte der Zugehörigkeitsfunktionen von *A* und *B*.

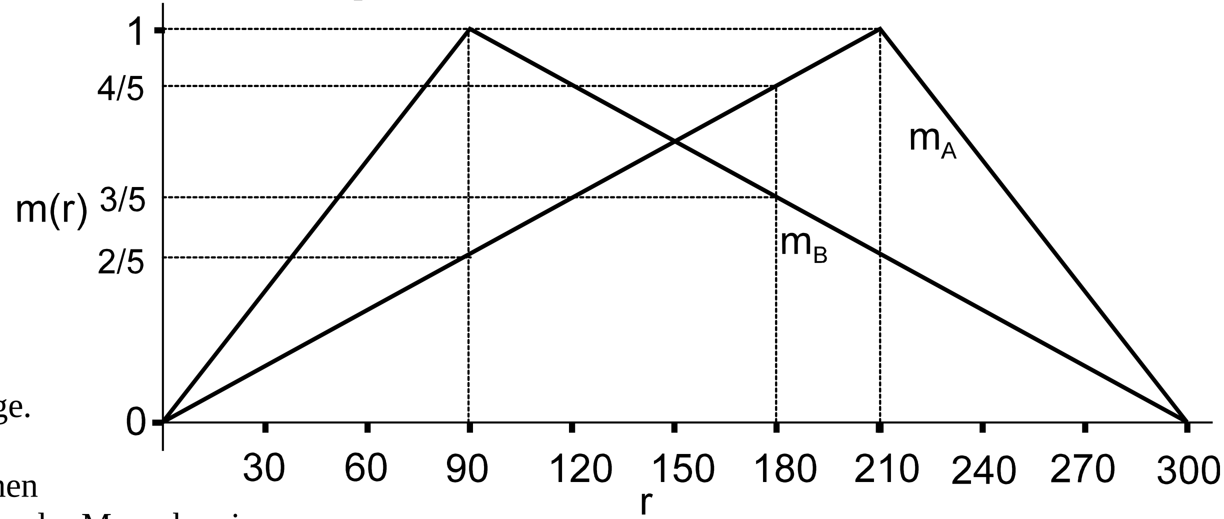
($\cup$) *Vereinigung* $m_{A \cup B}(x) = \max \{m_A(x), m_B(x)\}$ (5)

In Worten: Die Vereinigung zweier unscharfer Mengen *A* und *B* ist für jedes *x* das jeweilige Maximum der zwei Wahrheitswerte der Zugehörigkeitsfunktionen von *A* und *B*.

Fuzzy Logic

- Beispiel 1 -

Zugehörigkeitsfunktion zu Beispiel 1; verändert nach (Bezdek, Pal 1992, S. 3)



Beispiel 1

Sei M = Menge der Menschen
und $m \in M$ ein Mensch aus dieser Menge.
Weiter sei
$x = g(m)$ = die Größe eines Menschen
und $X = [0,300]$ = alle möglichen Größen der Menschen in cm.

Bild 19.4 zeigt die Zugehörigkeitsfunktionen der unscharfen Mengen
m_A, der Menschen, die "nahe 210“ cm groß sind,

und
m_B, der Menschen, die "nahe 90" cm groß sind.

Damit gilt:

$m_A(90) = 2/5$	Der Grad, zu welchem ein 90 cm Mensch etwa 210 cm groß ist, beträgt also 2/5.
$m_{\bar{A}}(90) = 1 - (2/5) = 3/5$	3/5 ist also der Grad, zu welchem ein 90 cm großer Mensch nicht 210 cm groß ist.
$m_A(180) = 4/5$	beschreibt den Grad, zu welchem ein 180 cm Mensch etwa 210 cm groß ist.
$m_B(180) = 3/5$	ist demnach der Grad, zu welchem ein 180 cm großer Mensch ungefähr 90 cm groß ist.

Fuzzy Logic
- Beispiel 1 -

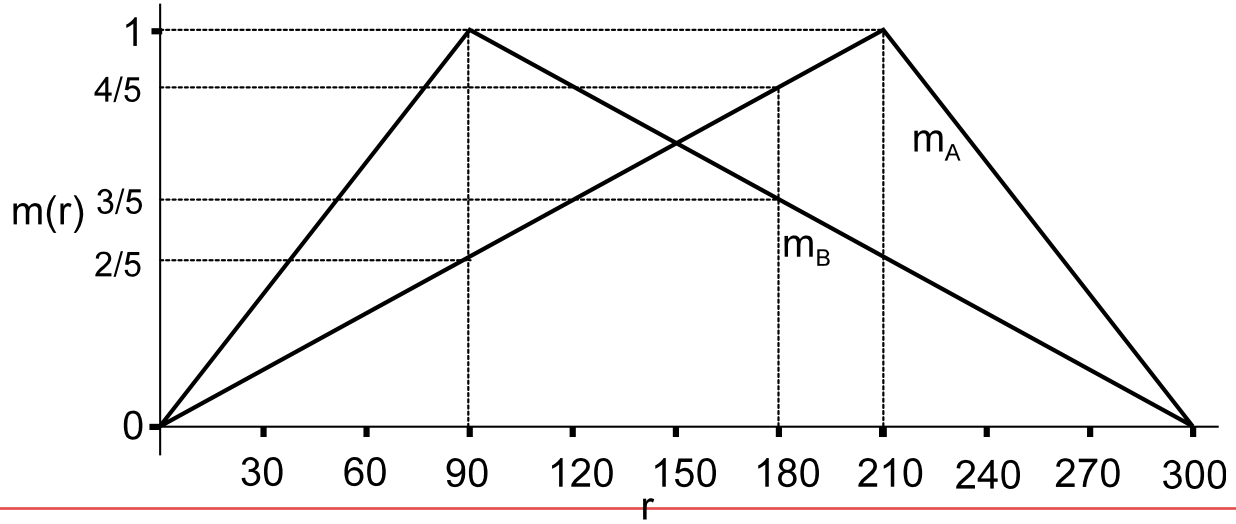
Durchschnitt $m_{A \cap B}$ (180) = min {4/5, 3/5} = 3/5

ist demnach der Grad, zu dem er 90 UND 210 cm groß ist.

Vereinigung $m_{A \cup B}$ (180) = max {4/5, 3/5} = 4/5

beschreibt, inwieweit er 90 cm ODER 210 cm groß ist.

Die Gleichungen 2 bis 5 führen zu einigen interessanten Situationen. Dazu betrachte die Zugehörigkeitsfunktion m_N im Bild die die Grundlage für folgendes Beispiel liefert.



Fuzzy Logic
- Beispiel 1 -

Sei $X = [a, b]$ und $m_N(x) = 0.5 \qquad x \in X$

Mit den Gleichungen (3) bis (5) ergibt sich:

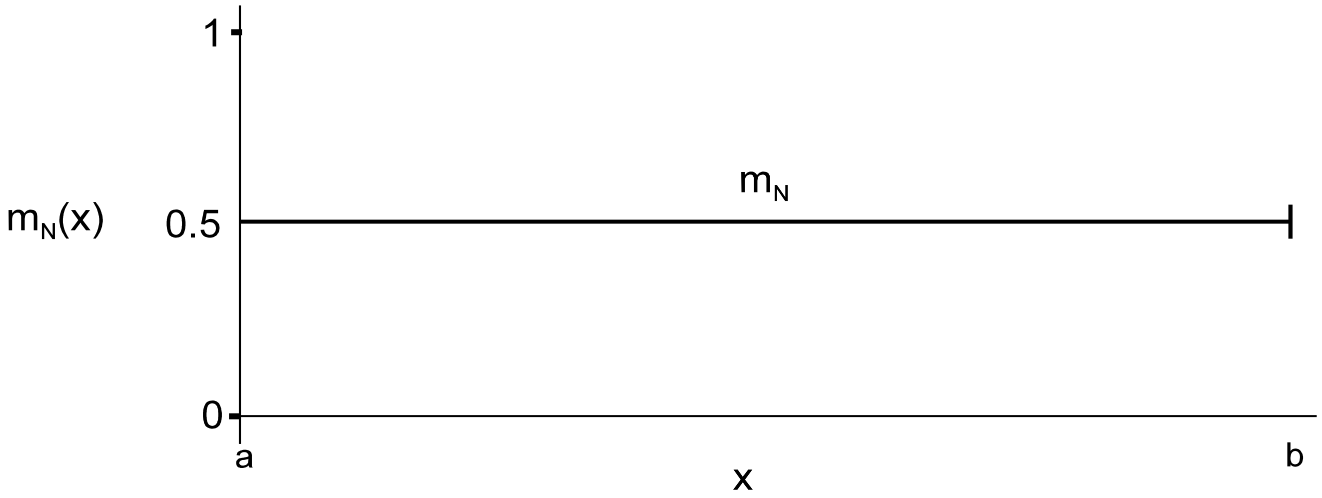
$$m_{\overline{N}}(x) = 1 - (0.5) = 0.5 \qquad x \in X$$
$$m_{N \cap \overline{N}}(x) = \min\{0.5, 0.5\} = 0.5 \qquad x \in X$$
$$m_{N \cup \overline{N}}(x) = \max\{0.5, 0.5\} = 0.5 \qquad x \in X$$

Damit gilt für diese unscharfe Menge:

$$N = \overline{N} = N \cap \overline{N} = N \cup \overline{N}.$$

So ist die Vereinigung von N mit seinem Komplement eine Teilmenge von X!

Aber auch $N = \overline{N}$ ist bemerkenswert, denn es ist ein Widerspruch zur klassischen Logik, die auf N *ODER* $\overline{N}$ basiert und nicht auf N *UND* $\overline{N}$.



Fuzzy Logic

- Beispiel 2 -

Stelle Dir ein volles Glas vor. Ist es voll? Die klassische Logik kennt nur ja oder nein. Egal wie voll das Glas ist, wir müssen auf- oder abrunden. Die Antwort lautet also ja.

Mit der unscharfen Logik lautet die Antwort: Das Glas ist zu einem gewissen Grad voll. Wenn es wirklich ganz voll ist, dann ist es zu 100 % voll!

Klassische Logik ist ein Sonderfall der unscharfen Logik:

Wenn das Glas nicht ganz voll ist, dann ist es z. B. zu 93 % voll und wir wissen, dank unscharfer Logik, wie voll das Glas ist, wenigstens ungefähr. Mit unscharfer Logik lässt sich die Realität genauer abbilden.

Nun trinke das Glas aus. Wie viel ist noch im Glas? Die klassische Logik will eine klare Antwort, also: Das Glas ist leer. Wir müssen abrunden. Aber ein kleiner Schluck könnte noch drin sein. Und die unscharfe Antwort: "Es ist zu 2 % voll" ist damit wieder genauer. Was ist aber, wenn das Glas halbvoll ist? Versuche mit der klassischen Logik zu antworten. Ist es voll? Ist es leer? Soll auf- oder abgerundet werden? Es ist keine befriedigende Antwort möglich. Die unscharfe Logik kennt aber die Antwort: Es ist zu 50 % voll (und damit auch zu 50 % leer und zu 50 % nicht voll).

Es gilt nicht:

$N \; ODER \; \overline{N}$

sondern

$\boldsymbol{N \; UND} \; \overline{N}$ **.**

Widerspruch-Beispiele: Denke an den Friseur, der auf seinem Schild stehen hat: "Ich rasiere alle Männer dieser Stadt, die sich nicht selbst rasieren". Wer rasiert den Friseur? Oder die Aussage: "Traue mir nicht!" Wenn wir dem Menschen trauen, dann tun wir es laut Aussage nicht und wenn wir ihm nicht trauen, dann tun wir es.

Fuzzy Logic

- Beispielanwendung - Klimaanlage -

X sei die Raumtemperatur in Grad Celsius und *Y* die Drehzahl des Motors der Klimaanlage

Angenommen, dass bei hoher Drehzahl des Motors die Luft gekühlt wird, dann soll die Drehzahl bei niedriger Temperatur auch niedrig sein und bei hoher Temperatur ebenfalls hoch.
Zweitens gilt es, die unscharfen Mengen für *X* und *Y* zu bestimmen. Dazu werden scharfe Werte unscharfen Mengen zugeordnet, was auch Fuzzifizierung genannt wird.

Eine Möglichkeit für *X* sind die fünf unscharfen Mengen

KALT,
KÜHL,
ANGENEHM,
WARM und
HEISS,

deren Zugehörigkeitsfunktionen graphisch dargestellt sind.

Fuzzy Logic

- Beispielanwendung - Klimaanlage -

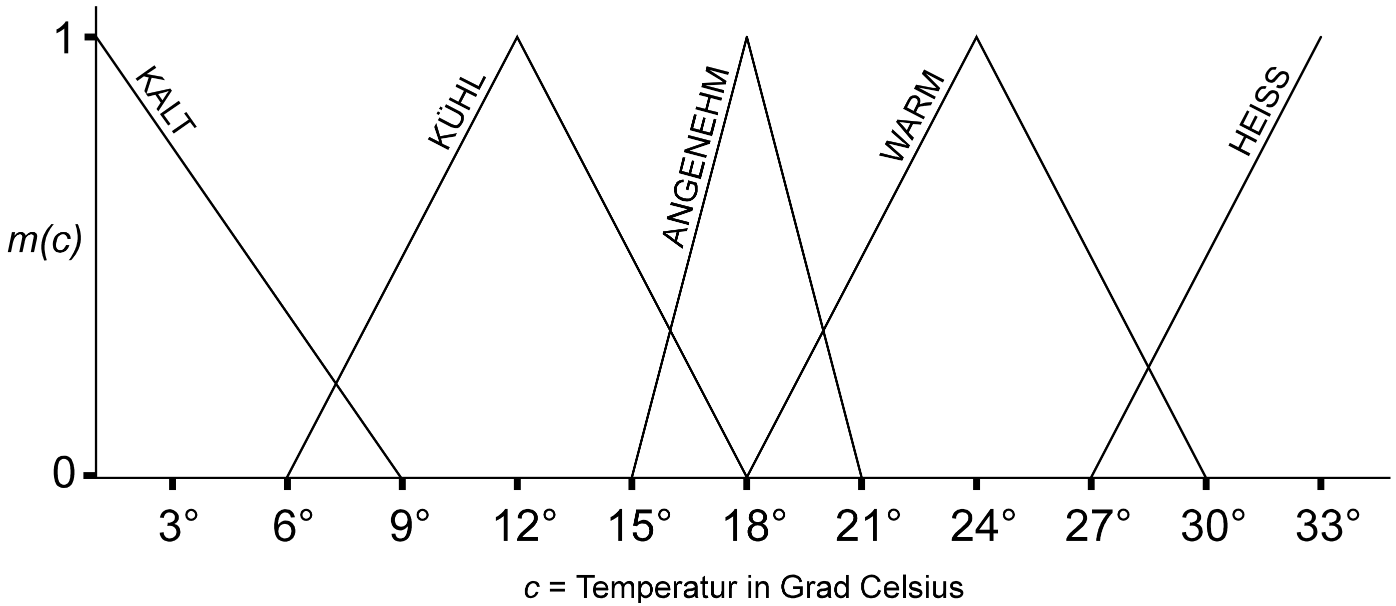


Abb. 19-6 Die Zugehörigkeitsfunktion *KALT*, *KÜHL*, *ANGEHNEM*, *WARM* und *HEISS;* verändert nach (Kosko 1993, S. 162)

Statt Dreiecke hätten auch Glockenkurven, Trapezoide oder ähnliches gewählt werden können. In der Praxis sind Dreiecke oftmals ausreichend.

Fuzzy Logic

- Beispielanwendung - Klimaanlage -

5 unscharfen Mengen (*KALT*, *KÜHL*, *ANGENEHM*, *WARM* und *HEISS*)

Die Mengen *KALT* und *HEISS* sind als halbe Dreiecke gezeichnet, da ihre nicht gezeichnete Hälfte nur Temperaturen außerhalb des Bereichs abdecken würde.

Einige Dreiecke, und damit die unscharfen Mengen, sind breiter als andere. Dieses ist der Einfluss gesunden Menschenverstandes in die Regelungstechnik.
Die breitesten unscharfen Mengen sind nicht so entscheidend und eignen sich nur zur groben Kontrolle der Motordrehzahl. Für eine genauere Kontrolle sind "schmalere" unscharfe Mengen notwendig.

Und die Menge *ANGENEHM* steht deshalb nur für einen kleinen Bereich um die eigentlich gewünschte Temperatur von 18 Grad Celsius.
Dadurch soll das Kontrollsystem der Klimaanlage, unsere unscharfe Steuerung, schnell dafür sorgen, dass die Temperatur in den Bereich kommt, wo es für uns Menschen angenehm ist.

In diesem Bereich allerdings soll die Motordrehzahl mit "Feingefühl" geregelt werden, damit es nicht zu unangenehmen Schwankungen kommt, wie etwa bei herkömmlichen Klimaanlagen, die nicht auf unscharfer Logik basieren.

Fuzzy Logic

- Beispielanwendung - Klimaanlage -

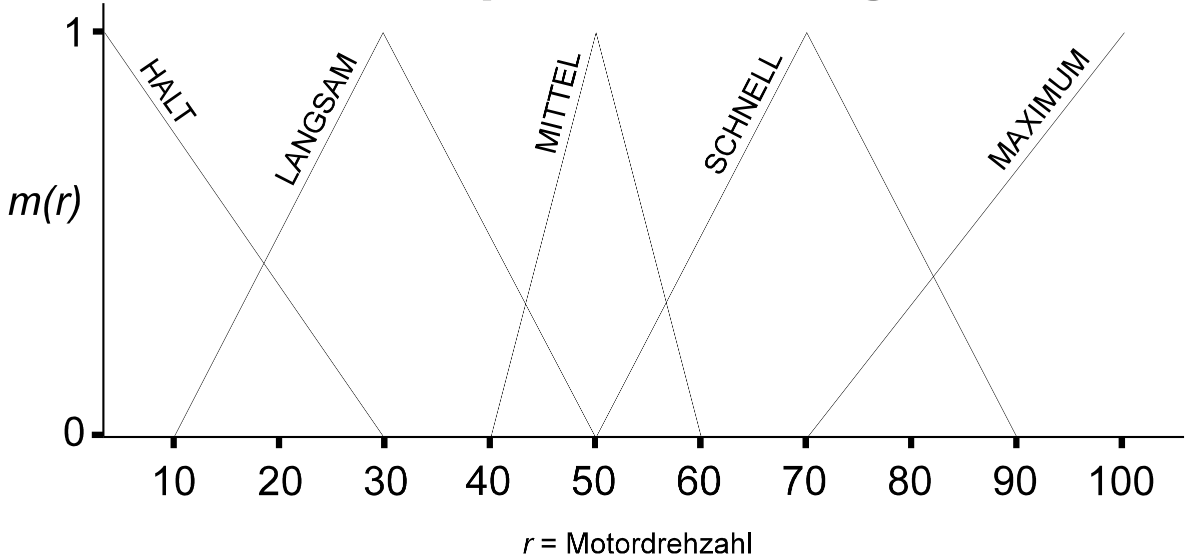


Abb. 19-1 Die Zugehörigkeitsfunktionen *HALT*, *LANGSAM*, *MITTEL*, *SCHNELL* und *MAXIMUM;* verändert nach (Kosko 1993, S. 162)

Auch für die Motordrehzahl werden unscharfe Mengen definiert und wir erhalten

HALT,
LANGSAM,
MITTEL,
SCHNELL und
MAXIMUM

Fuzzy Logic

- Beispielanwendung – Unscharfe Regeln -

Abschließend müssen nun noch die unscharfen Regeln (fuzzy rules) aufgestellt werden.

Es gilt zu verbinden:

die Mengen, die die Motordrehzahl repräsentieren, mit den Mengen, die die Temperaturen repräsentieren.

Jeder Motordrehzahl-Menge wird eine Temperatur-Menge zugewiesen.
Ist die Temperatur im Bereich KALT, dann wollen wir, dass der Motor ausgeschaltet wird, damit es nicht noch kälter wird. Wir wollen ja, dass die Temperatur im angenehmen Bereich bleibt.

Damit haben wir schon die erste Regel:

Wenn X ist KALT, dann Y ist HALT. Der Motor sollte mit mittlerer Drehzahl laufen, wenn die Temperatur angenehm ist:

Wenn X ist ANGENEHM, dann Y ist MITTEL.

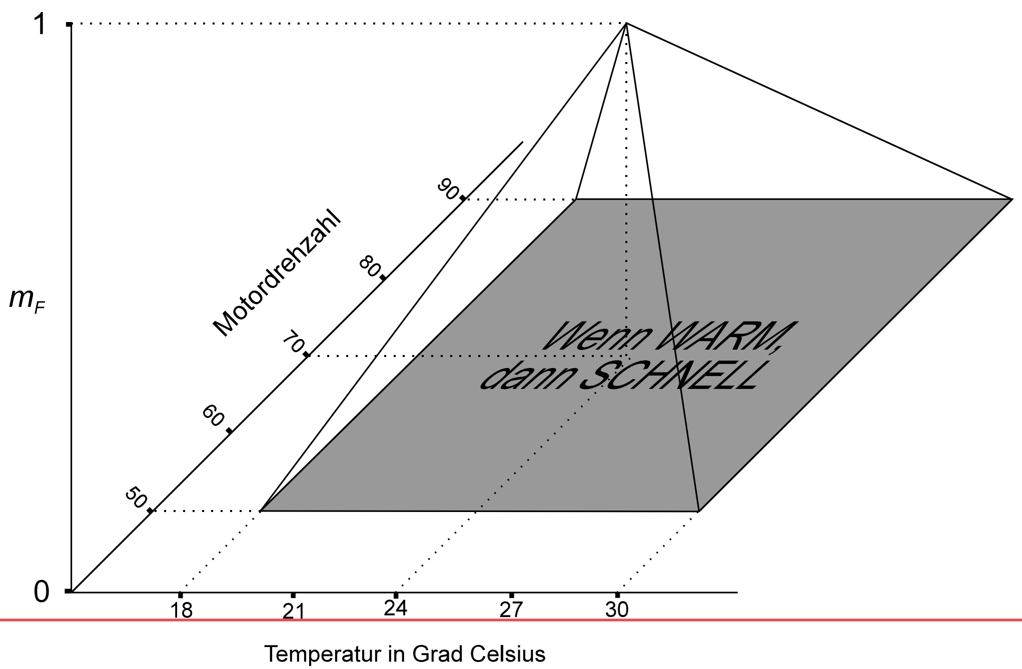
Fuzzy Logic

- Beispielanwendung - Klimaanlage -

So lassen sich fünf Regeln umgangssprachlich bestimmen:

1. Regel: Wenn die Temperatur kalt ist, dann halte den Motor an.
2. Regel: Wenn die Temperatur kühl ist, dann soll der Motor langsam laufen.
3. Regel: Wenn die Temperatur angenehm ist, dann soll der Motor mit mittlerer Drehzahl laufen.
4. Regel: Wenn die Temperatur warm ist, dann soll der Motor schnell laufen.
5. Regel: Wenn die Temperatur heiß ist, dann soll der Motor mit maximaler Drehzahl laufen.

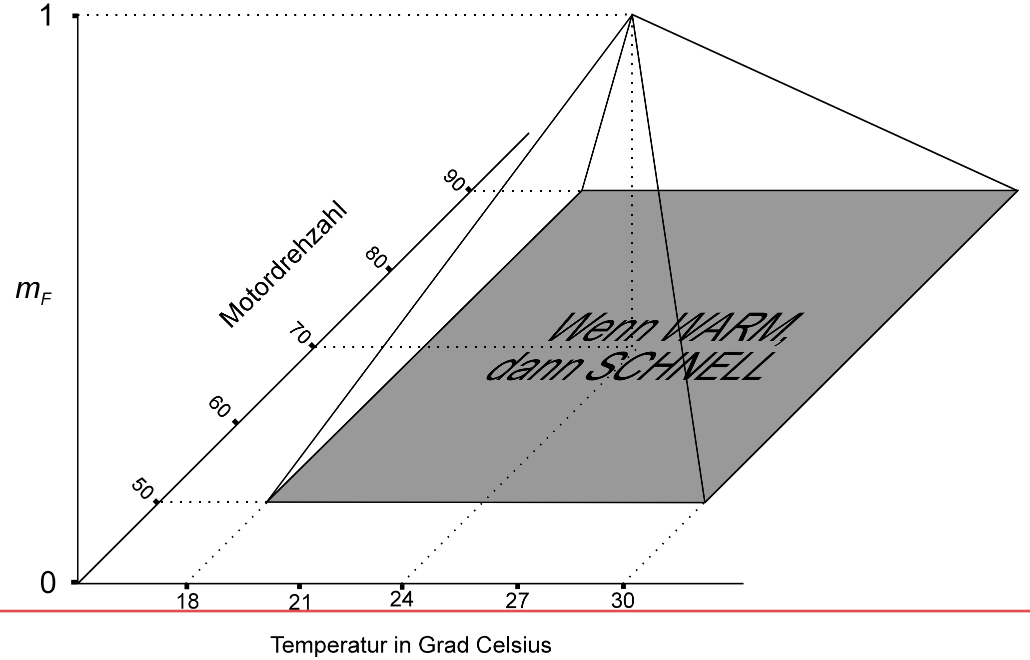
Diese Regeln sind Alltagswissen. Es handelt sich um unscharfe Regeln, denn "kalt" und "schnell" usw. treffen nur zu einem gewissen Grad zu und stehen für unscharfe Mengen. Unscharfe Regeln lassen sich als Patches graphisch darstellen



Fuzzy Logic
- Beispielanwendung - Klimaanlage -

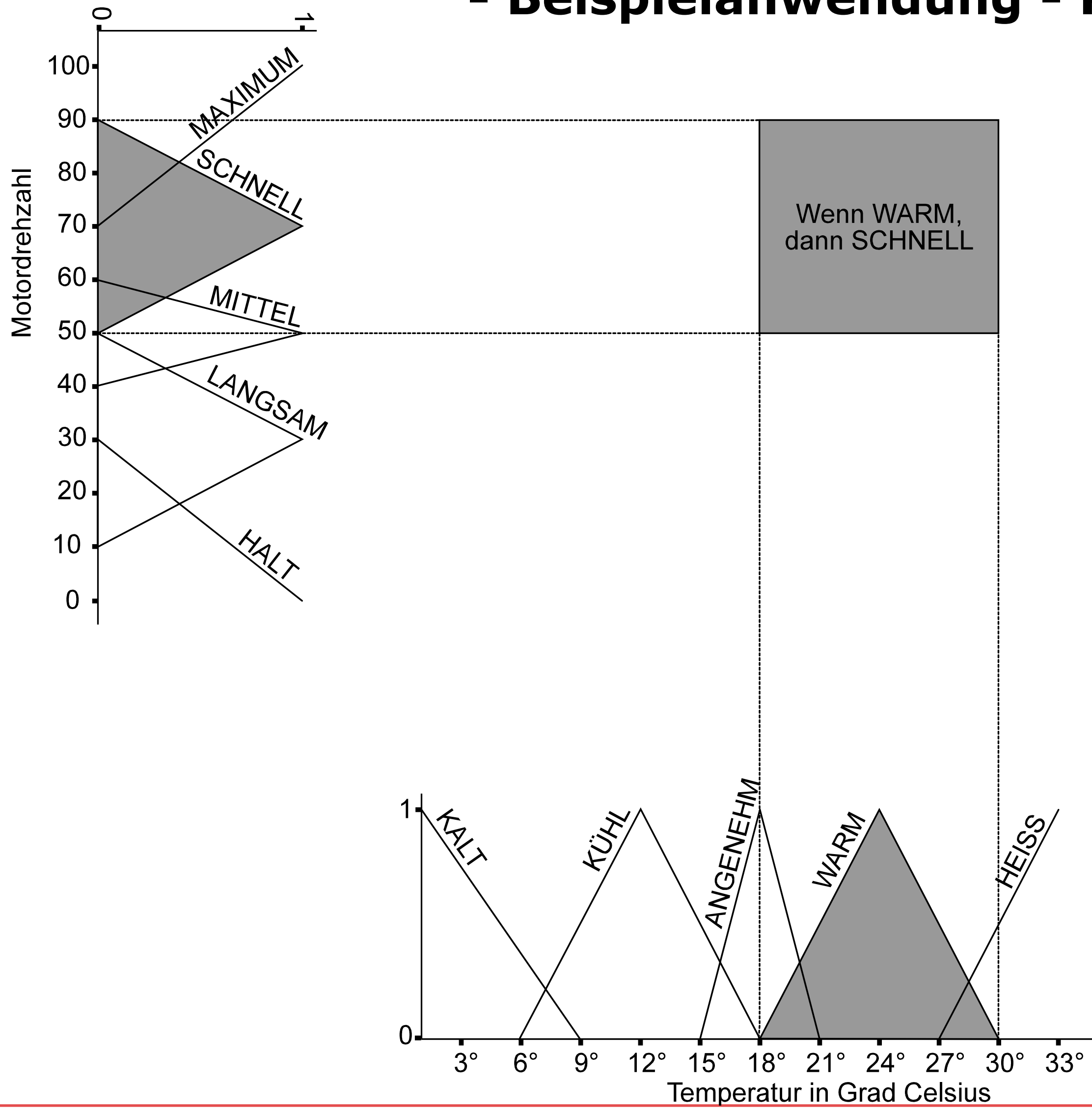
Mathematisch ist das Patch in unserem Fall das Produkt zweier Dreiecke, also eine Pyramide.

Auf dem Pyramidenboden ist jeder Temperatur eine Motordrehzahl zugeordnet. Mit der zu jedem Temperatur-Motordrehzahl-Paar gehörenden Höhe der Pyramide lässt sich bestimmen, zu welchem Grad das jeweilige Temperatur-Motordrehzahl-Paar zu dem Regel-Patch gehört. Nur in der Mitte sind es 100 % und außerhalb der Pyramide 0 %.



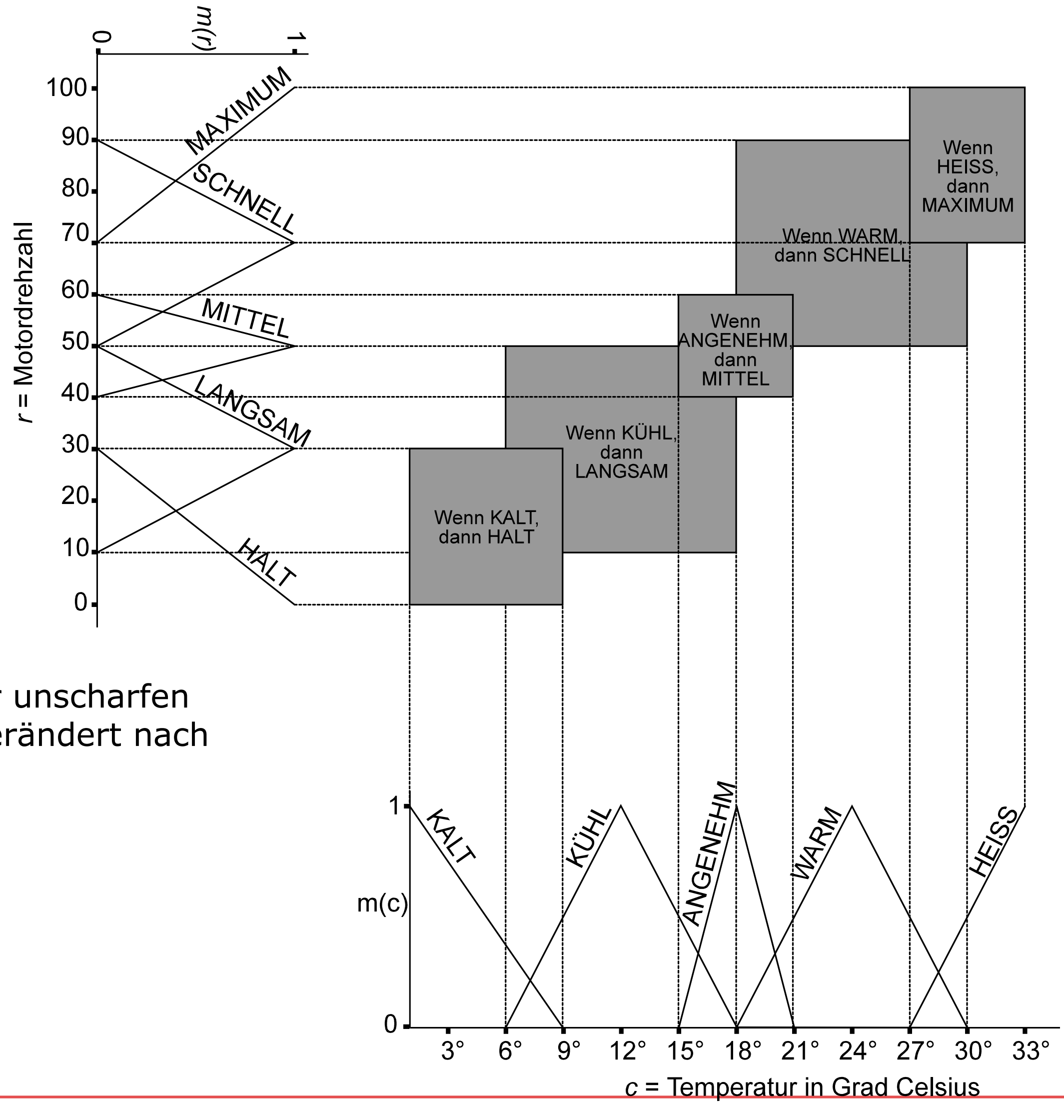
Fuzzy Logic

- Beispielanwendung - Klimaanlage -



Das Bild ist das „Patch“ der unscharfen Regel "Wenn warm, dann schnell" als Rechteck gezeichnet, also nur der Pyramidenboden, nämlich das Produkt der Basis des WARM-Dreieckes und der Basis des SCHNELL-Dreieckes. Dies ist ausreichend, um festzulegen, welchem Temperaturbereich welche Motordrehzahlen zugeordnet werden.

Fuzzy Logic
- Beispielanwendung - Klimaanlage -

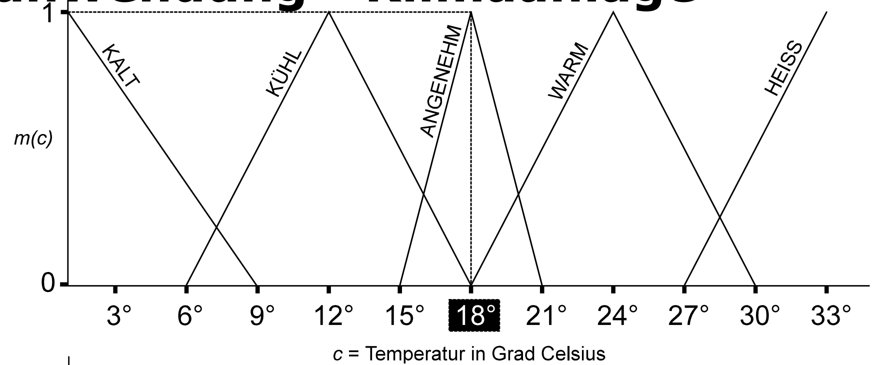


Darstellung der Regeln einer unscharfen Steuerung als Rechtecke; verändert nach (Kosko 1993, S. 166)

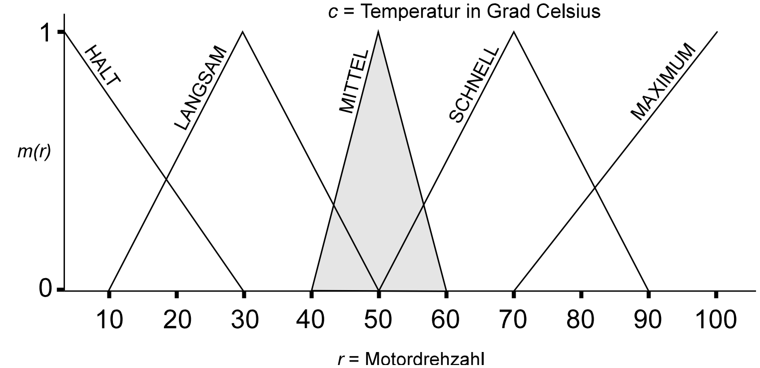
Fuzzy Logic

- Beispielanwendung - Klimaanlage -

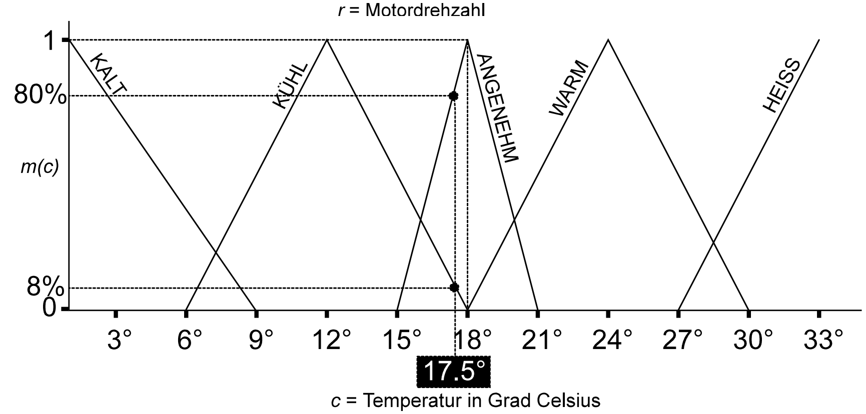
Zugehörigkeit von 18° zu den unscharfen Temperatur-Mengen; verändert nach (Kosko 1993, S. 172)



Bei 18^0 soll die Motorendrehzahl zur unscharfen Menge *MITTEL* gehören; verändert nach (Kosko 1993, S. 172)



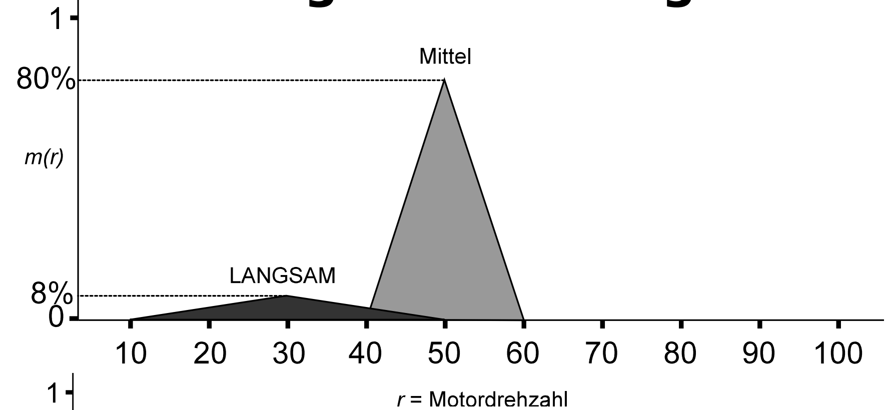
Regel *ANGENEHM* und Regel *KÜHL* feuern; verändert nach (Kosko 1993, S. 173)



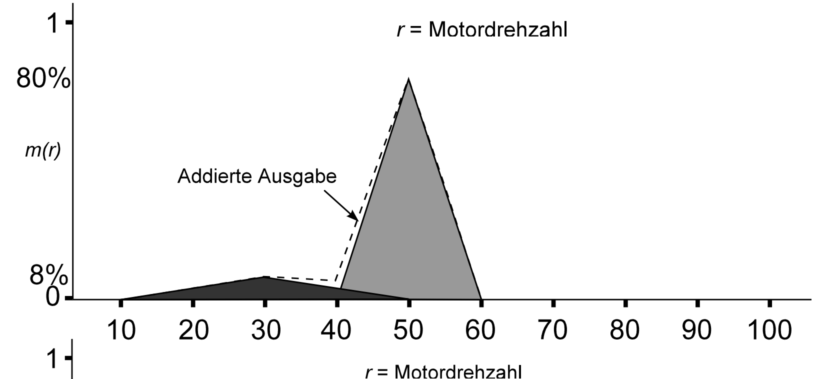
Fuzzy Logic

- Beispielanwendung - Klimaanlage -

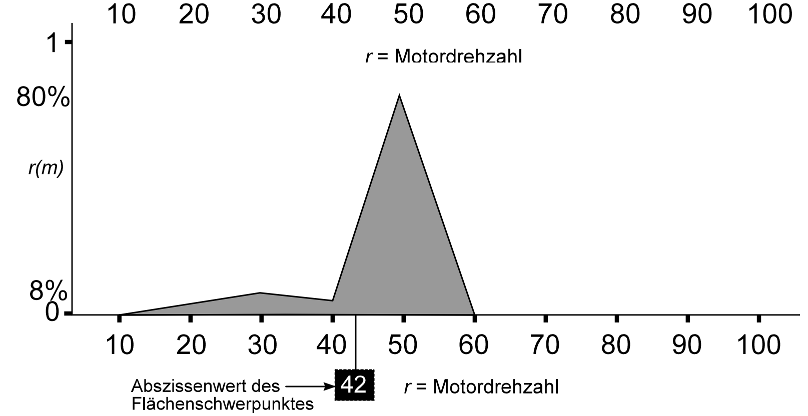
Regel *MITTEL* feuert zu 80 % und Regel *LANGSAM* zu 8 %; verändert nach (Kosko 1993, S. 173)



Addition zweier unscharfer Mengen; verändert nach (Kosko 1993, Seite 174)



Defuzzifizierung zweier unscharfer Mengen; verändert nach (Kosko 1993, S. 174)



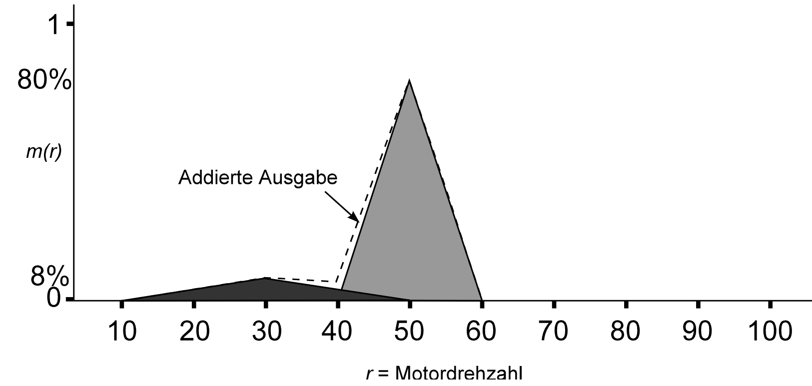
Fuzzy Logic

- Beispielanwendung - Klimaanlage -

Zur Defuzzifizierung der zwei Dreiecke werden diese einfach addiert und der Abszissenwert des Flächenschwerpunktes der Ergebnismenge verwendet.

Diese Defuzzifizierungsmethode wird Schwerpunktmethode (centroid method, center of gravity, center of area) genannt und ist sehr gebräuchlich. Die Berechnung für eine Koordinate x_s des Schwerpunktes $S(x_s, y_s)$ des unter einer Funktion $y = f(x)$ zwischen $x = x_A$ und $x = x_E$ gelegenen Flächenstücks ist aus der Mathematik bekannt (Preuß 1992, S. 183):

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



Fuzzy Logic

- Beispielanwendung - Klimaanlage -

Wenn die Randkurve der zusammengesetzten Flächen aus Geradenstücken besteht, dann lässt sich die Integration vorab durchführen. Bei *m* Polygonsegmenten, die durch jeweils 2 Punkte

$$P_k(x_k, y_k)$$

und

$$P_{k+1}(x_{k+1}, y_{k+1})$$

beschrieben sind, lässt sich der Abszissenwert des Schwerpunktes auch folgendermaßen berechnen:

$$x_S = \frac{\sum_{k=1}^{m} (x_{k+1} - x_k)\left[(2x_{k+1} + x_k)\, y_{k+1} + (2x_k + x_{k+1})\, y_k\right]}{3\sum_{k=1}^{m} (x_{k+1} - x_k)\,(y_{k+1} + y_k)}$$

Das ergibt für unsere Steuerung eine Motordrehzahl von 42. Unsere unscharfe Steuerung regelt die Motordrehzahl etwas runter und die Temperatur kann sich so etwas erwärmen.

Lehrziele und Gliederung

V1 Motivation, Anwendungsbereiche, Prozesse und Methoden der Automatisierungstechnik

V2 Automatisierung in der Produktion

V3 Boolesche Algebra 1

Ü1 Matlab Einführung

V4 Bolsche Algebra 2: Graphen

Ü2 Übung Boolsche Algebra

V5 **Fuzzy Logic**

Ü3 Fuzzy Logic

V6 Neuronale Netze

Ü4 Neuronale Netze

V7 Automatisiertes Messen und Steuern

Ü5 Automatisiertes Messen und Steuern

V8 Speicherprogrammierbare Steuerungen

Ü6 Übungen und Musterklausuren