

Vorlesung
“Computational Intelligence”

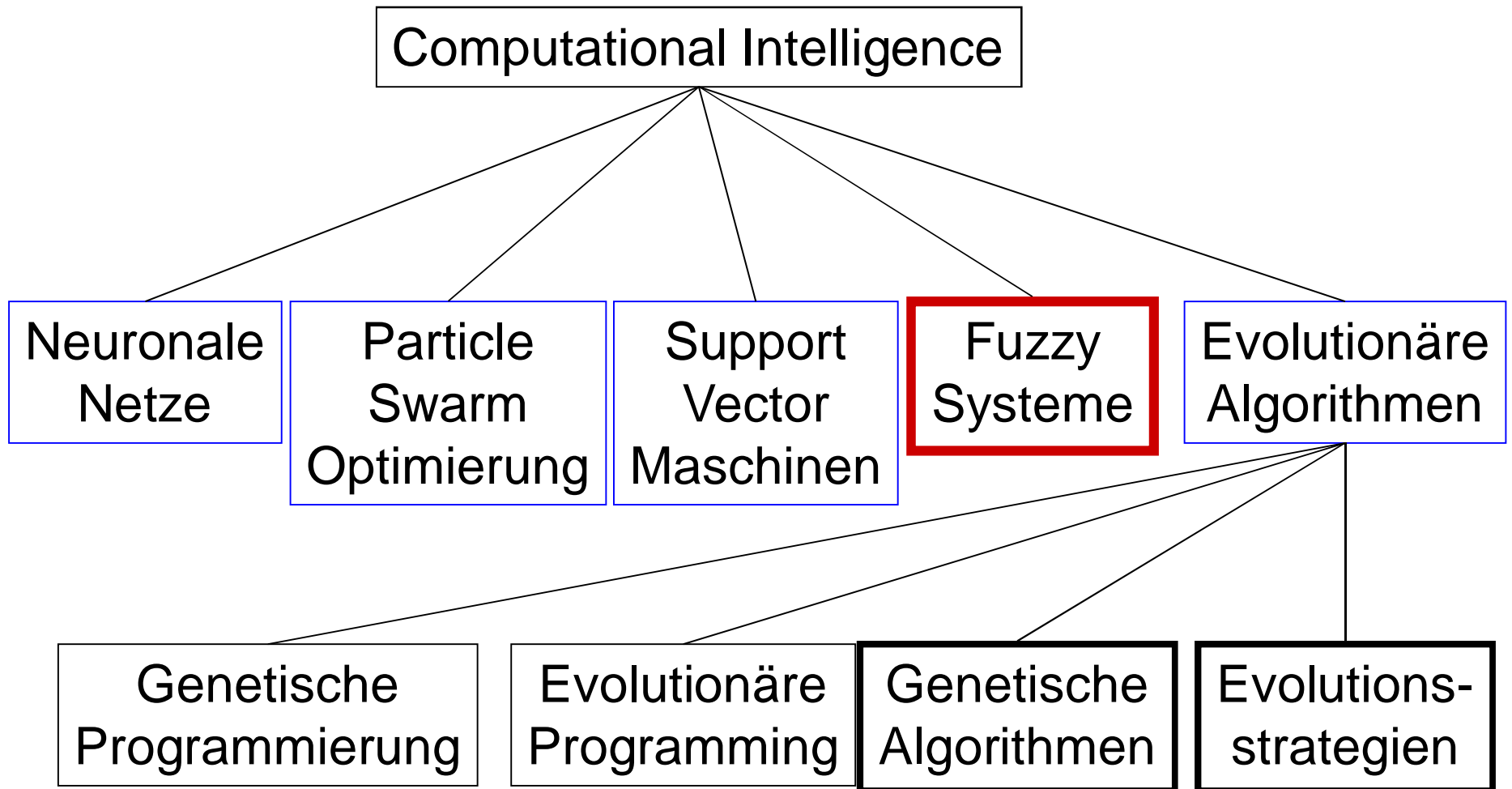
Regelbasierte Systeme und
Genetische Fuzzy-Systeme

8.5.2011

Lernziele

- Verstehen, was Fuzzy Logic bedeutet
- Zwei typische Fuzzy Logic Modelle erlernen
- Verstehen, warum Genetische Fuzzy Systeme gebraucht werden
- Kodierungen der Genetischen Fuzzy Systeme verstehen
- Zwei typische Genetische Fuzzy Systeme kennen lernen

Klassifikation (unvollständig)



Herkunft der Fuzzy Logik

- 1964 – erfunden in den USA von Lotfi Zadeh
- 1973 – Erste kommerzielle Applikation (Zement – Vermischung in Dänemark von Lauritz Peter Holmblad, Jens-Jorgen Ostergaard.)
- 1973 – Anwendung für eine Steuerung bei einer Dampfmaschine in U.K. von Ebrahim **Mamdani**.
- 1980's – Verbreitung mit viel Enthusiasmus in Japan, später auch in Singapur und anderen Teilen Asiens

- 1980's – Anwendungen auch in westlichen Staaten, ohne jedoch den eher wissenschaftlichen Charakter zu verlieren.
- 1990's - Neuro-fuzzy Anwendungen werden in Asien sehr beliebt.
- 1990's - Fuzzy control Anwendungen breiten sich auch in westlichen Ländern aus.

Beispiel - Klassifizierung

- Wie schnell können sich die folgenden Tiere fortbewegen?



Klassische Sichtweise

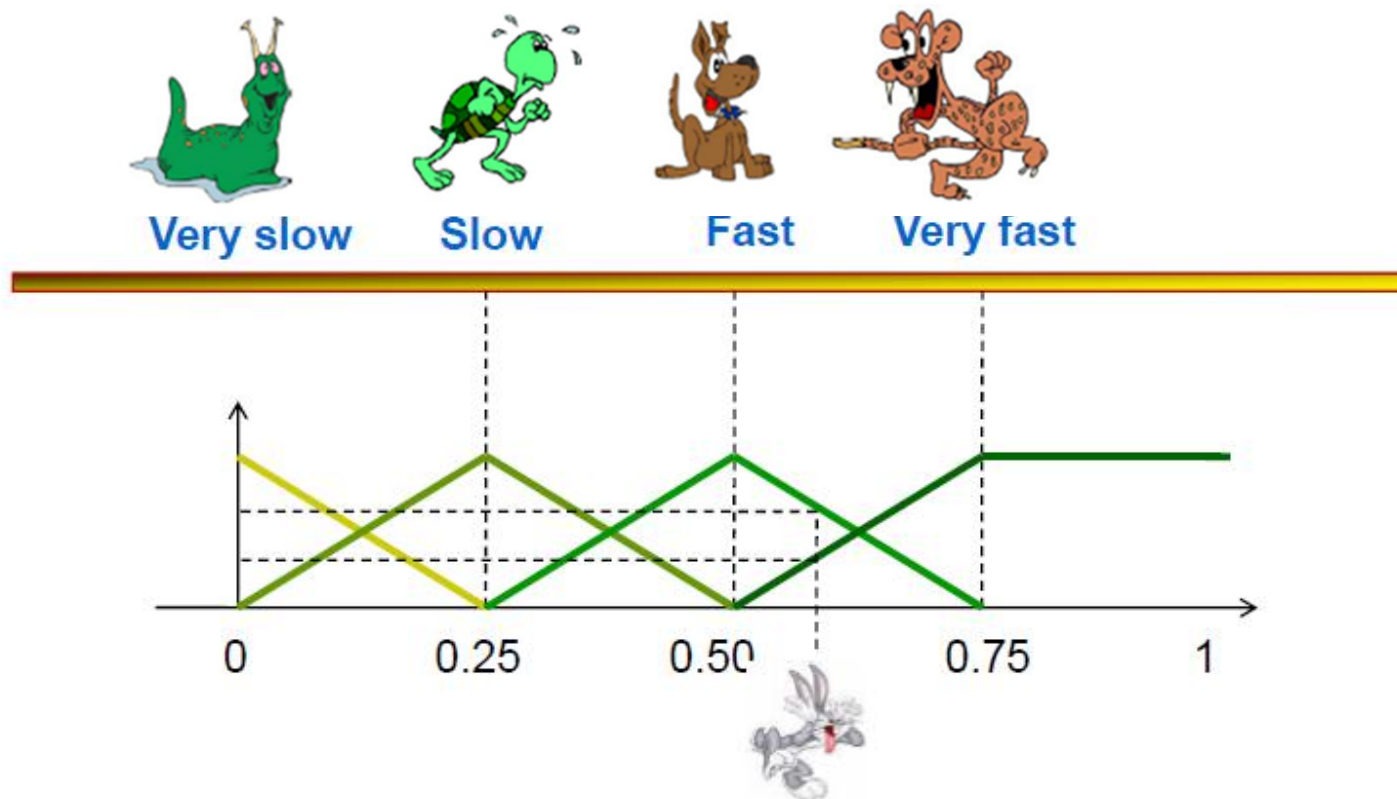
- Sehr langsam: $[0 - 0.25[$
- Langsam: $[0.25 - 0.5[$
- Schnell: $[0.5 - 0.75[$
- Sehr schnell $[0.75 - 1]$



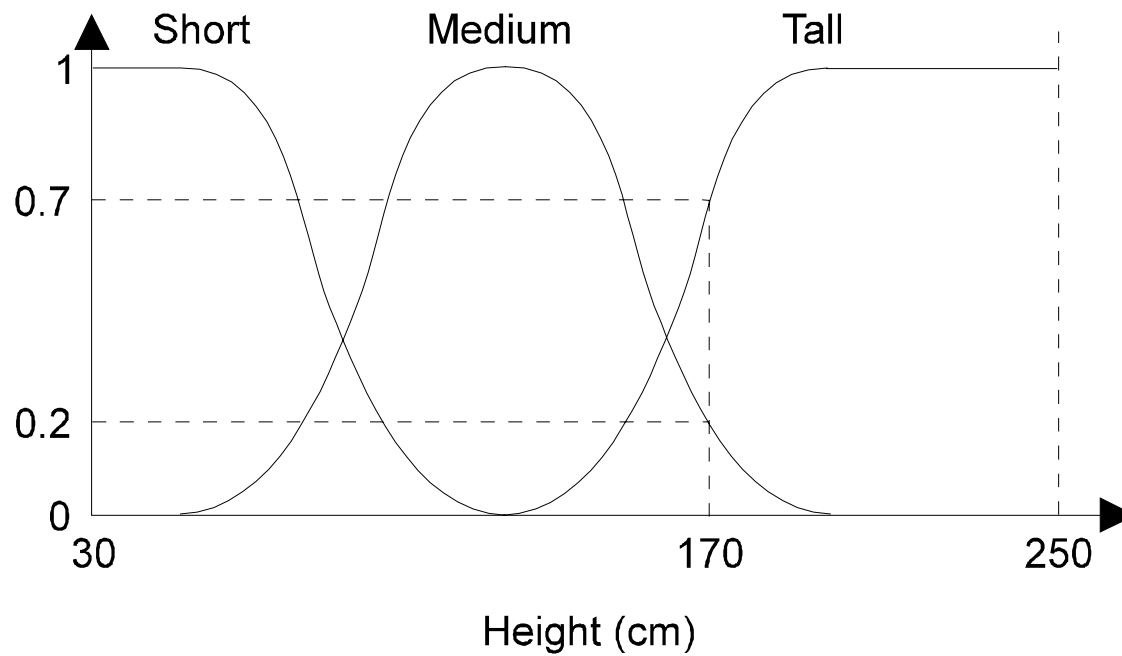
*alles normiert zu interpretieren

Fuzzy – Logik Sichtweise

- Man betrachte die Zugehörigkeit der Beobachtungen zu Gruppen



Beispiel – Grösse von Kindern



Lüfter – Raumtemperatur

3 Personen Einschätzungen

Raumtemperatur

- Sehr kalt {17, 10, 9}
- Kalt {17, 18, 20}
- Genau richtig {20, 22, 25}
- Warm {26, 28, 25}
- Heiss { ∞ , 28, 30}

Lüftergeschwindigkeit

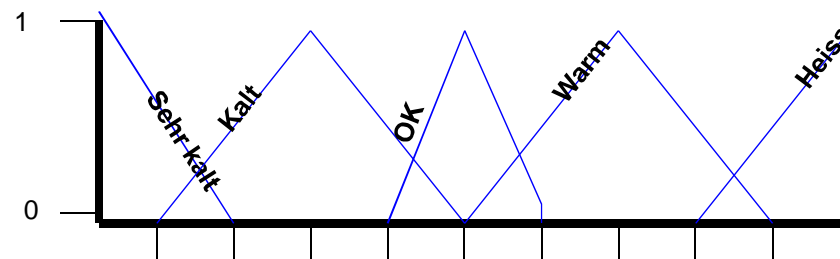
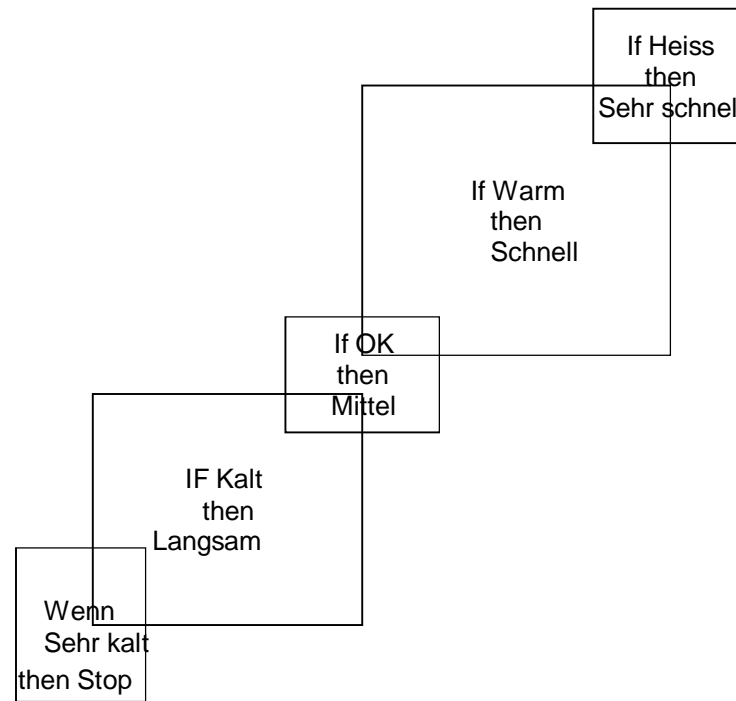
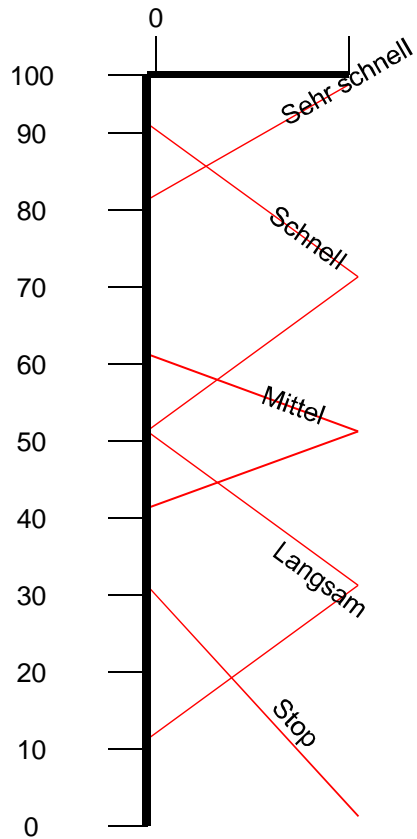
- Stop {0, 0, 0}
- Langsam {50, 30, 10}
- Mittel {60, 50, 40}
- Schnell {90, 70, 50}
- Sehr schnell { ∞ , 100, 80}

Regeln

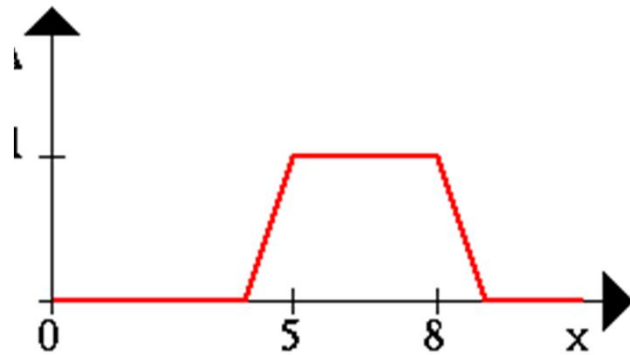
Steuerung der Klimaanlage:

- **IF** Sehr kalt **then** stop
- **If** Kalt **then** langsam
- **If** OK **then** mittel
- **If** Warm **then** schnell
- **IF** Heiss **then** sehr schnell

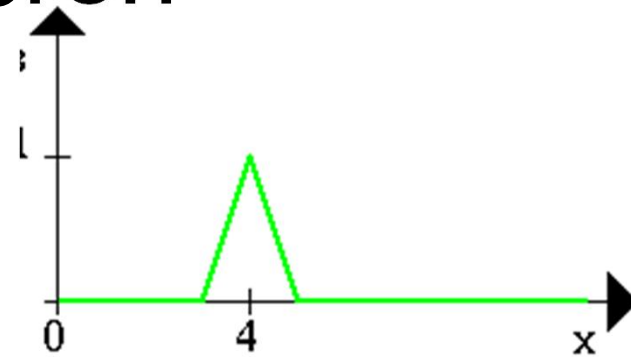
Fuzzy Klimaanlage



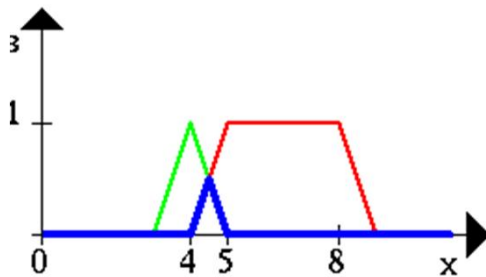
Andere Zugehörigkeitsfunktionen und Operatoren



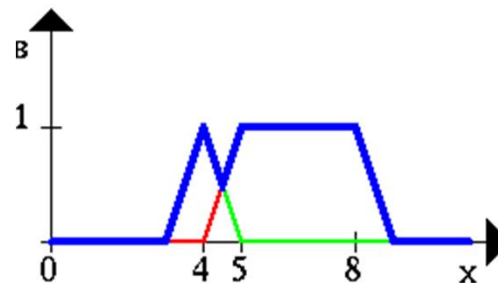
A



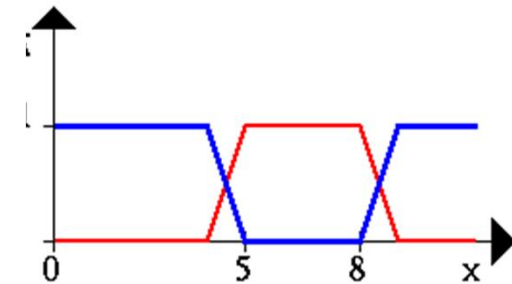
B



$A \wedge B$



$A \vee B$



$\neg A$

Regelbasierte Systeme

- Einzelne Regel folgen dem Schema:
 - *When (conditional) Then (recommendation)*
- Regelsystem entsteht durch das Zusammenfügen vieler Regeln
- **Aktion** wird ermittelt durch das **Kombinieren** der vorhandenen Regelempfehlungen (recommendation)
- Bewertung der Qualität des Regelsystems erfolgt an Hand von **Zielen**
- Regelsysteme müssen für **ALLE** möglichen Systemzustände eine auszuführende **Aktion** ermitteln können

Regelbasiert Systeme

- Notwendige Voraussetzungen:
 - (System-) *conditions* werden an Hand von **Kriterien** beschrieben
 - *Recommendation* ist die Empfehlung einer oder mehrerer Handlung(en)
 - **Aktion** ist die resultierende Handlung (unter Abwägung aller Empfehlungen)
 - *Ziele* beschreiben das gewünschte Regelergebnis und dienen der **Bewertung** der einzelnen Regeln und/oder des gesamten Regelsystems

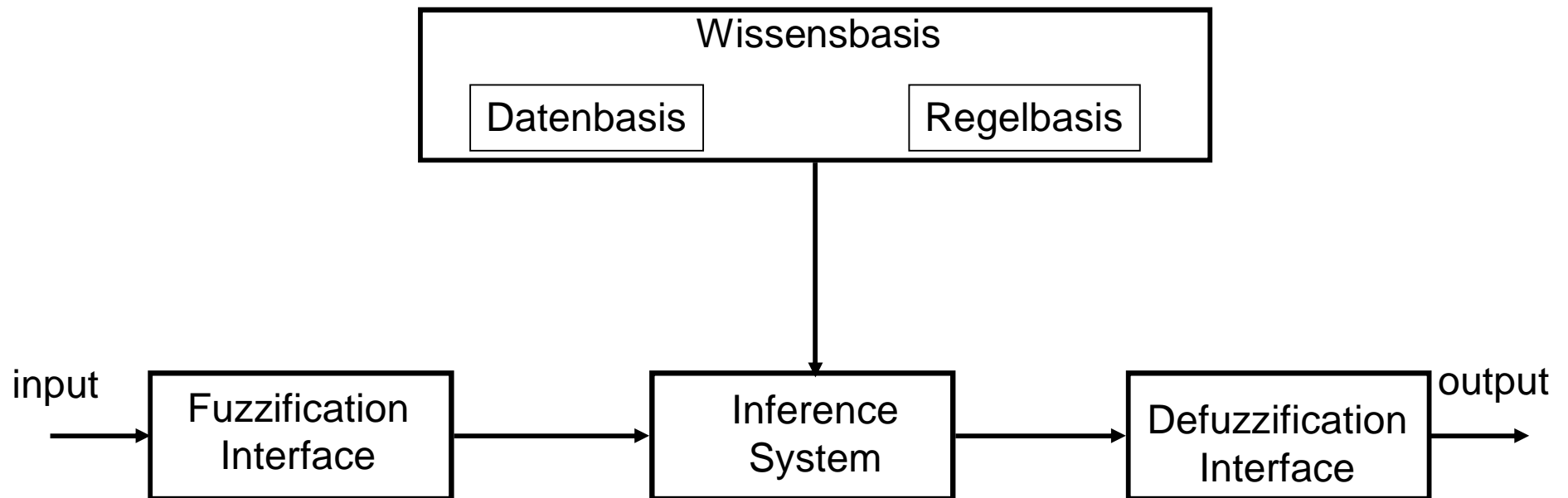
Fuzzy Systeme

- Fuzzy Systeme
 - Sind die grundlegenden Methodiken um linguistische Informationen zu repräsentieren und zu bearbeiten
 - Nutzen **Fuzzy Logic** um entweder das Wissen darzustellen oder Interaktionen zu modellieren in Umgebungen mit **Unsicherheit** und **Unschärfe**
- Genetische Fuzzy Systeme
 - Nutzung von EAs zum Design von Fuzzy Systemen

Unterteilung der Fuzzy-System

- Mamdani Fuzzy-Regelbasierte Systeme
 - Repräsentiert eher die “klassischen” Fuzzy-Systeme
- Takagi-Sugeno-Kang (TSK) Fuzzy-Regelbasierte System
 - Versucht die Ausgaben eher als direkte Funktionen zu modellieren (die später vorgestellten Genetischen Fuzzy Systeme basieren auf diesem Typen)

Mamdani-Fuzzy Regelbasierte Systeme

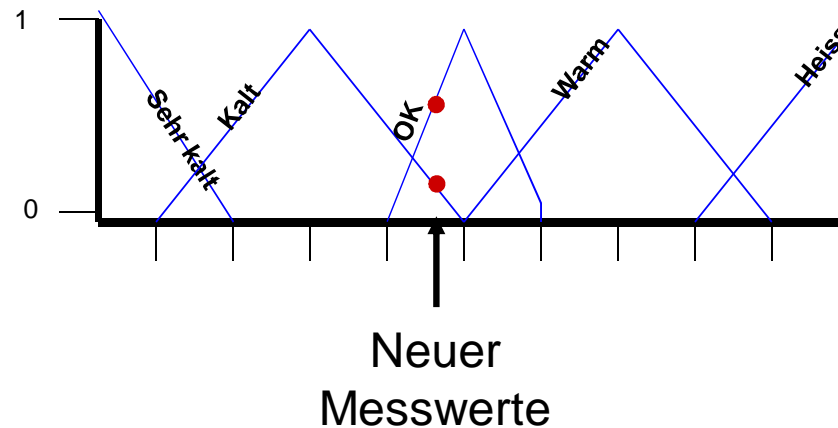


Mamdani-Fuzzy Regelbasierte Systeme

- Fuzzifikation
 - Skalierung und Zuordnung der Eingangsgrößen zu Fuzzy-Mengen
- Inferenz Mechanismen
 - Schätzung der „Sinnhaftigkeit“
 - Ableitung der Kontrollsteuerung
- Defuzzifikation
 - Konvertiert die Fuzzy-Ausgabe in Kontrollsignale

Mamdani Typ

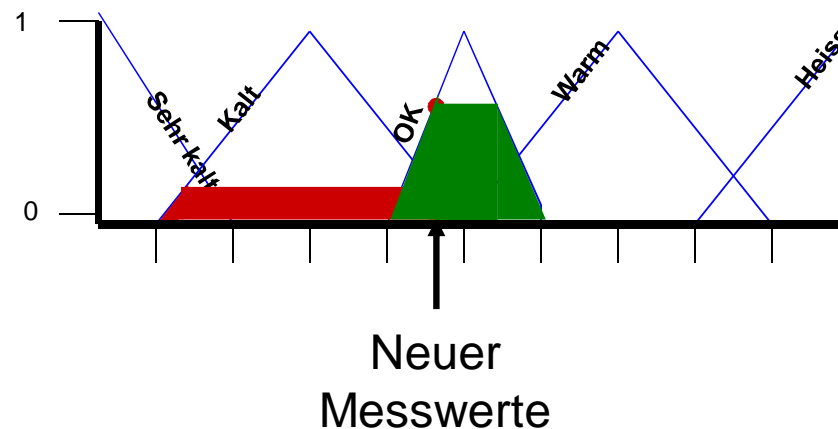
- 1. Möglichkeit: Maximum der Zugehörigkeitswerte



Ergebnis: OK

Mamdani Typ

- 2. Möglichkeit: Zugehörigkeitsbestimmung

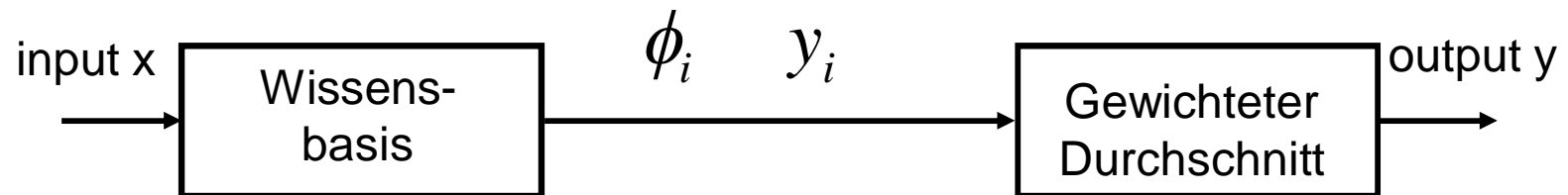


Ergebnis: OK

Übung in 3er-Gruppen

- Klassifizieren Sie den Verbrauch von Autos im Sinne von Fuzzy-Regeln (sehr wenig, wenig, normal, viel, sehr viel)
 - Nutzen Sie dabei klare Grenzen im Sinne von l/100km
 - Klassifizieren Sie danach einen Fiat Panda, VW Golf, 5er BMW, 7er BMW, Porsche 911.
- Vergleichen Sie die Klassifizierung mit anderen Gruppen.

Fuzzy Systeme – Takagi-Sugeno-Kang (TSK) Typ



Fuzzy Systeme – Takagi-Sugeno-Kang (TSK) Typ

- Bestehen aus N_r IF-THEN Regeln R_i

$R_i : \text{IF } x_1 \text{ is } g_i^{(1)} \text{ and } x_2 \text{ is } g_i^{(2)} \text{ and } \dots x_K \text{ is } g_i^{(K)}$

$\text{THEN } y_i = b_{i0} + b_{i1} \cdot x_1 + b_{i2} \cdot x_2 + \dots + b_{iK} \cdot x_K$

- y_i ist der Output von Regel R_i
- $g_i^{(z)}$ beschreibt die Zugehörigkeit (oder den Grad der Zugehörigkeit) der Regel zu einem Fuzzy-Set z
- $b_{i0}, b_{i1}, \dots, b_{iK}$ sind Konstanten

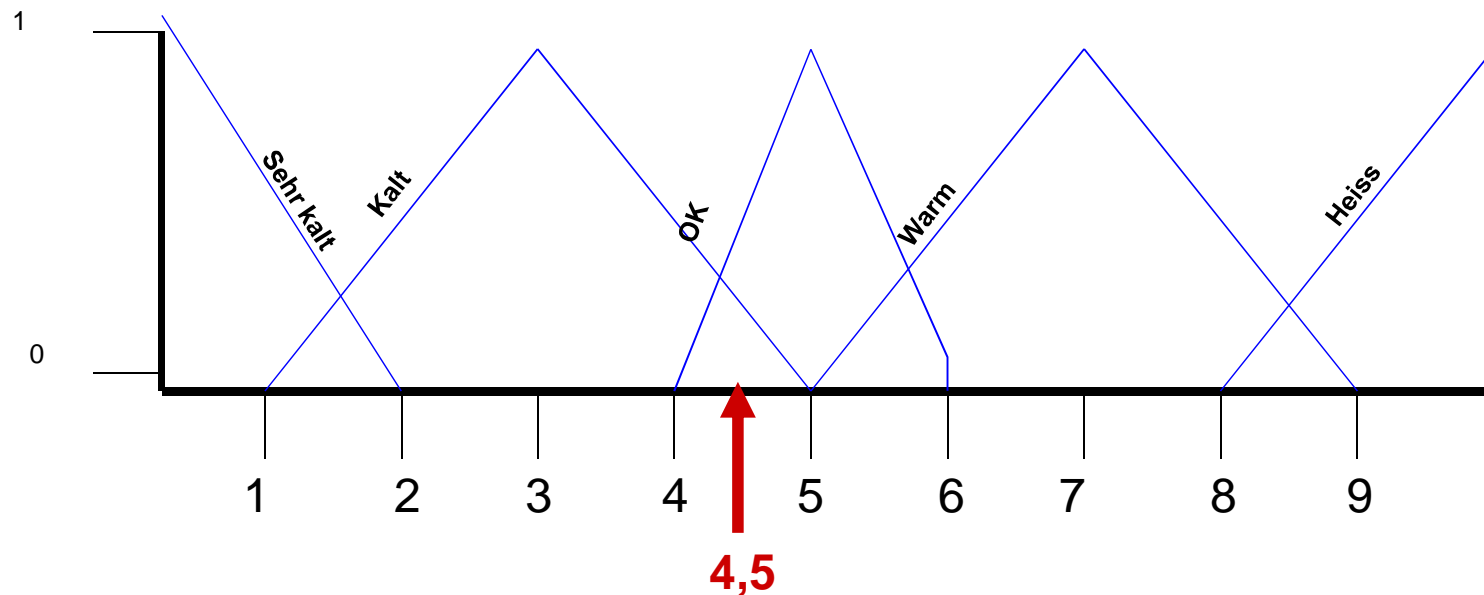
Regelsystemergebnis

$$y = \frac{\sum_{i=1}^K \phi_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^K \phi_i} = \frac{\sum_{i=1}^K \phi_i \cdot (b_{i0} + b_{i1} \cdot x_1 + \dots + b_{iK} \cdot x_K)}{\sum_{i=1}^K \phi_i}$$

$$\phi_i = g_i^{(1)}(x_1) \wedge g_i^{(2)}(x_2) \wedge \dots \wedge g_i^{(K)}(x_K) = \prod_{w=1}^K g_i^{(w)}(x_w)$$

ϕ_i beschreibt dabei die Stärke/Zugehörigkeit der Regel R_i im Gesamtsystem

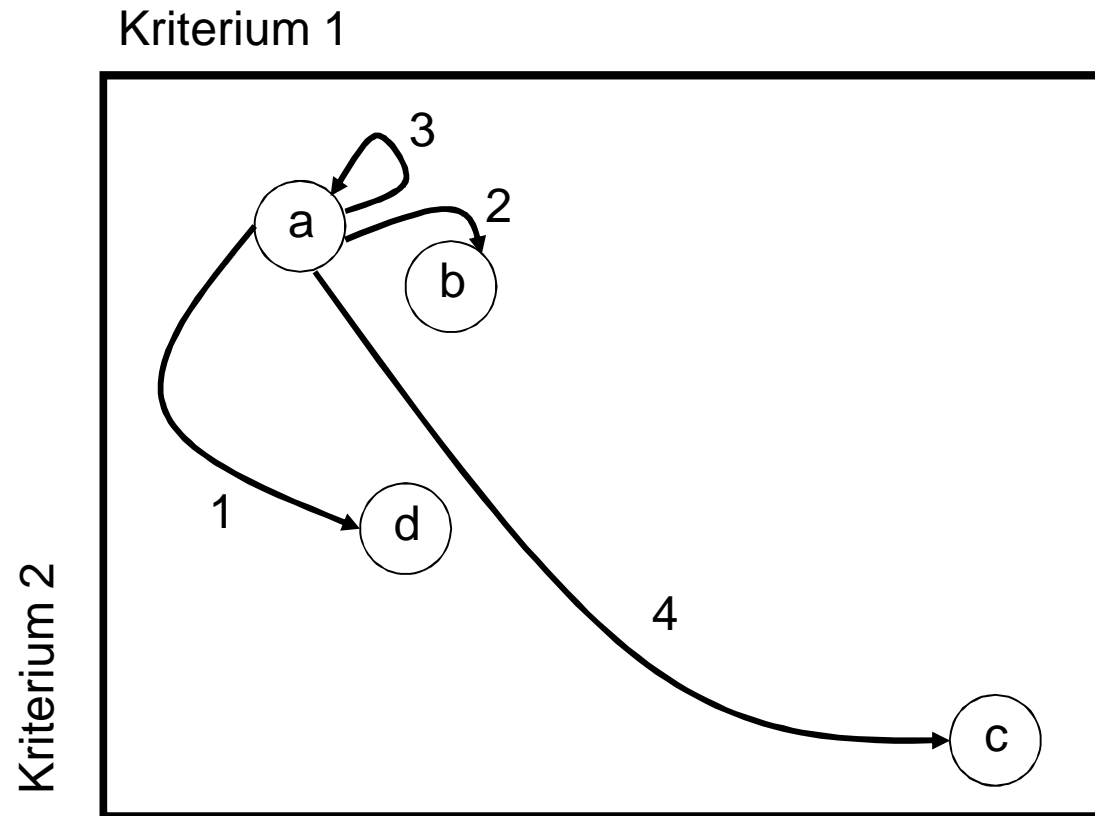
Übung: Bestimmen Sie den Output



- A) nach Maximum mit Mamdani
- B) nach Zugehörigkeit mit Mamdani
- C) nach Takagi-Sugeno-Kang
($b_{10}=0, b_{11}=4, b_{20}=0, b_{21}=5$)

Systemzustände – Auswirkungen der Aktionsentscheidungen bei mehreren Kriterien

Exemplarisch hier nur für einen Zustand a und mögliche andere Zustände wenn eines von 4 Verfahren genutzt wird.

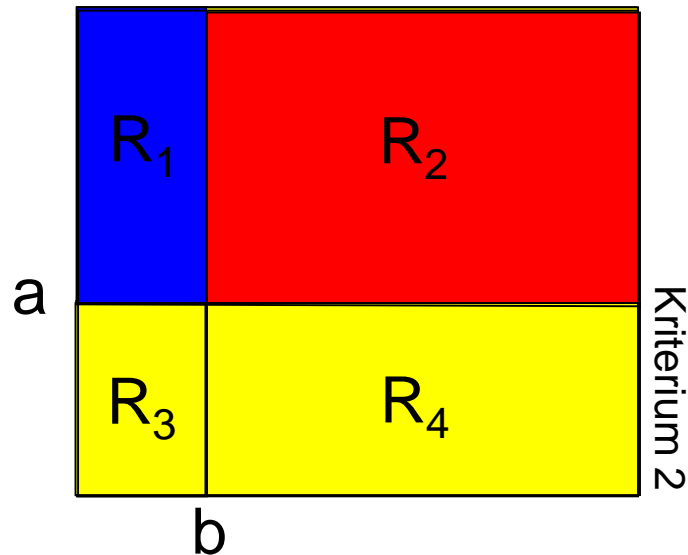


Allgemeines Problem: die Systemzustände können vorher nicht genau definiert und auch nicht abgeschätzt werden (nicht abzählbar).

Starre regelbasierte Systeme

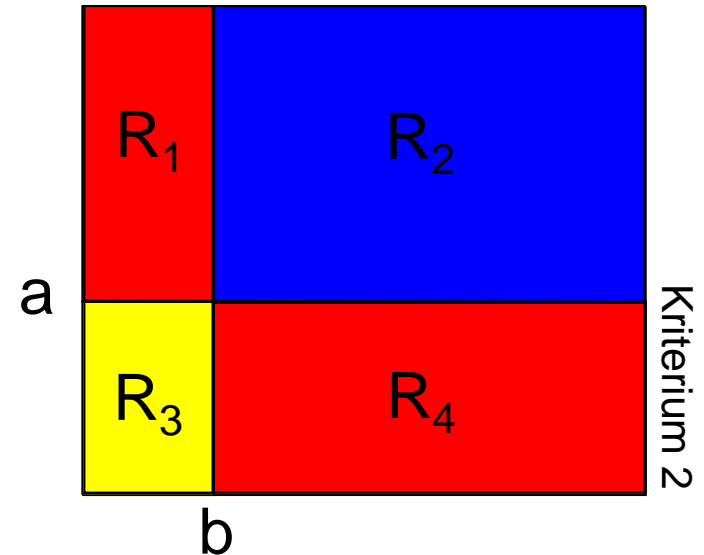
- Iterativer Ansatz

Kriterium 1



- Wahrscheinlichkeits-basierter Ansatz

Kriterium 1



 Verfahren Ω_1
 Verfahren Ω_2
 Verfahren Ω_3

Übung

- Nehmen Sie ein System mit 5 Kriterien an. Jedes Kriterium wird in 10 Intervalle unterteilt. Jede Regel kann 3 Verfahren empfehlen.
- Wie viele Simulationen wären notwendig um alle Verfahren in allen möglichen Systemsituationen zu testen?

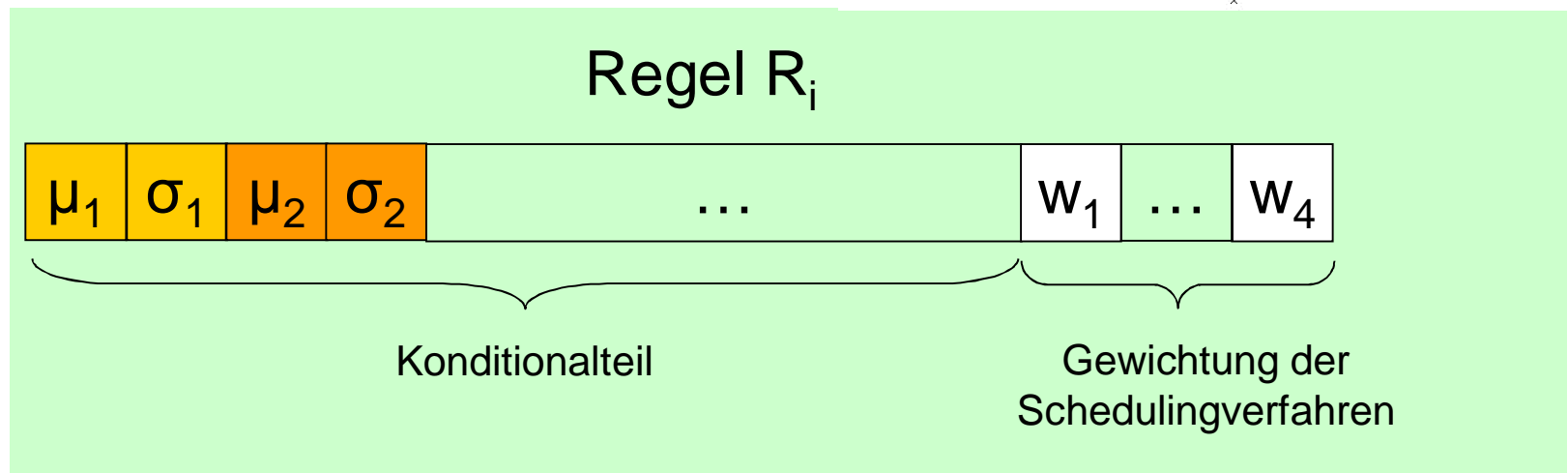
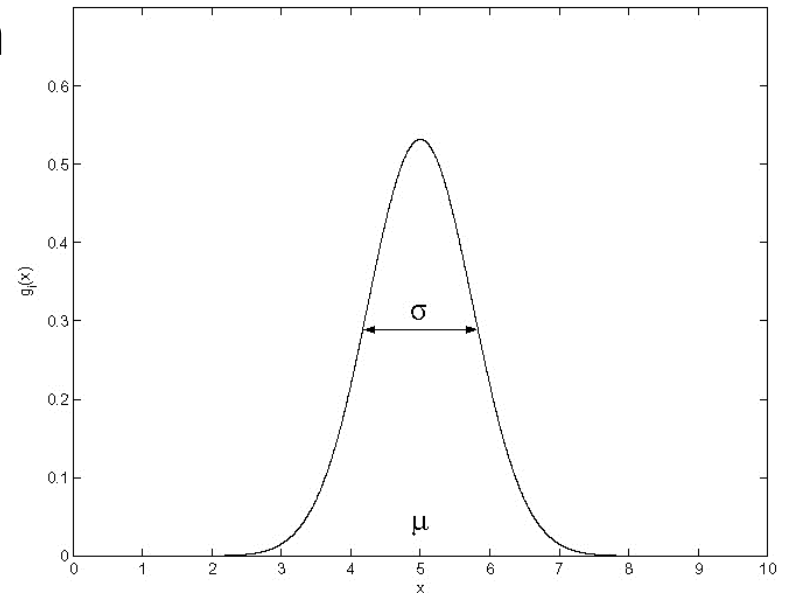
Genetische Fuzzy Systeme

- Benutzen typische Kodierungen gängiger Fuzzy Systeme
- Die einzelnen Parameter werden mit Hilfe Evolutionärer Algorithmen bestimmt/erlernt.
- Es gibt zwei grundlegend verschiedene Ansätze, die sich bei der Erstellung der Regelbasis unterscheiden: **Pittsburgh Approach, Michigan Approach**

Kodierung der Klassifizierungskriterien – 1 Beispiel

- Kodierung durch Gaussfunktionen
- Jedes Klassifizierungskriterium wird durch μ und σ Wert spezifiziert

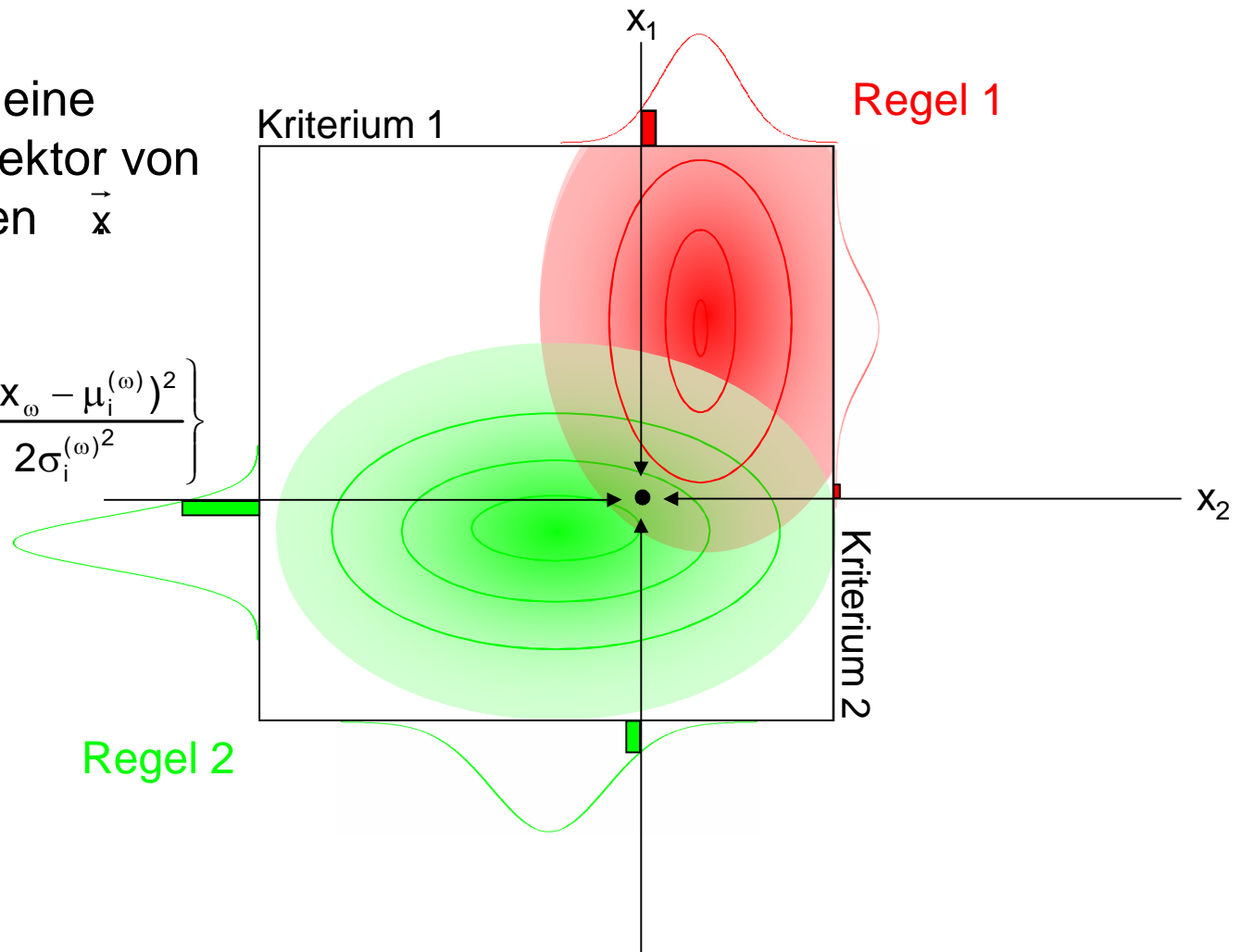
$$g(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ \frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$$



Einflussbereich von Regeln

- Bestimmung der Zugehörigkeit $\phi_i(\vec{x})$ für eine Regel R_i und einen Vektor von 2 Klassifikationswerten \vec{x}

$$\phi_i(\vec{x}) = \prod_{k=1}^{N_{\omega}} \frac{1}{\sigma_i^{(\omega)} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ \frac{-(x_{\omega} - \mu_i^{(\omega)})^2}{2\sigma_i^{(\omega)^2}} \right\}$$



Bestimmung der Reglerausgabe

- 1) Erstellen eines Vektors

$$\vec{\phi}(\vec{x}) = \left(\phi_1(\vec{x}), \phi_2(\vec{x}), \dots, \phi_{N_r}(\vec{x}) \right)$$

der Zugehörigkeiten aller Regeln.

- 2) Bestimmung einer Matrix **C** der Ausgabengewichtung

$\vec{\Omega}(R_i) = (w_{i1} \ w_{i2} \ \dots \ w_{i4})^T$ für alle Regeln.

$$C = \left[\vec{\Omega}(R_1) \ \vec{\Omega}(R_2) \ \dots \ \vec{\Omega}(R_{N_r}) \right]$$

- 3) Berechnung der Überlagerungen $\vec{\Psi}$ alle Regeln

$$\vec{\Psi} = \vec{\phi}(\vec{x}) \cdot C^T$$

- 4) Ausgabe ist durch maximale positive Empfehlung bestimmt.

$$\arg \max_{1 \leq h \leq 4} \{ \vec{\Psi}_h \}$$

Pittsburgh Ansatz

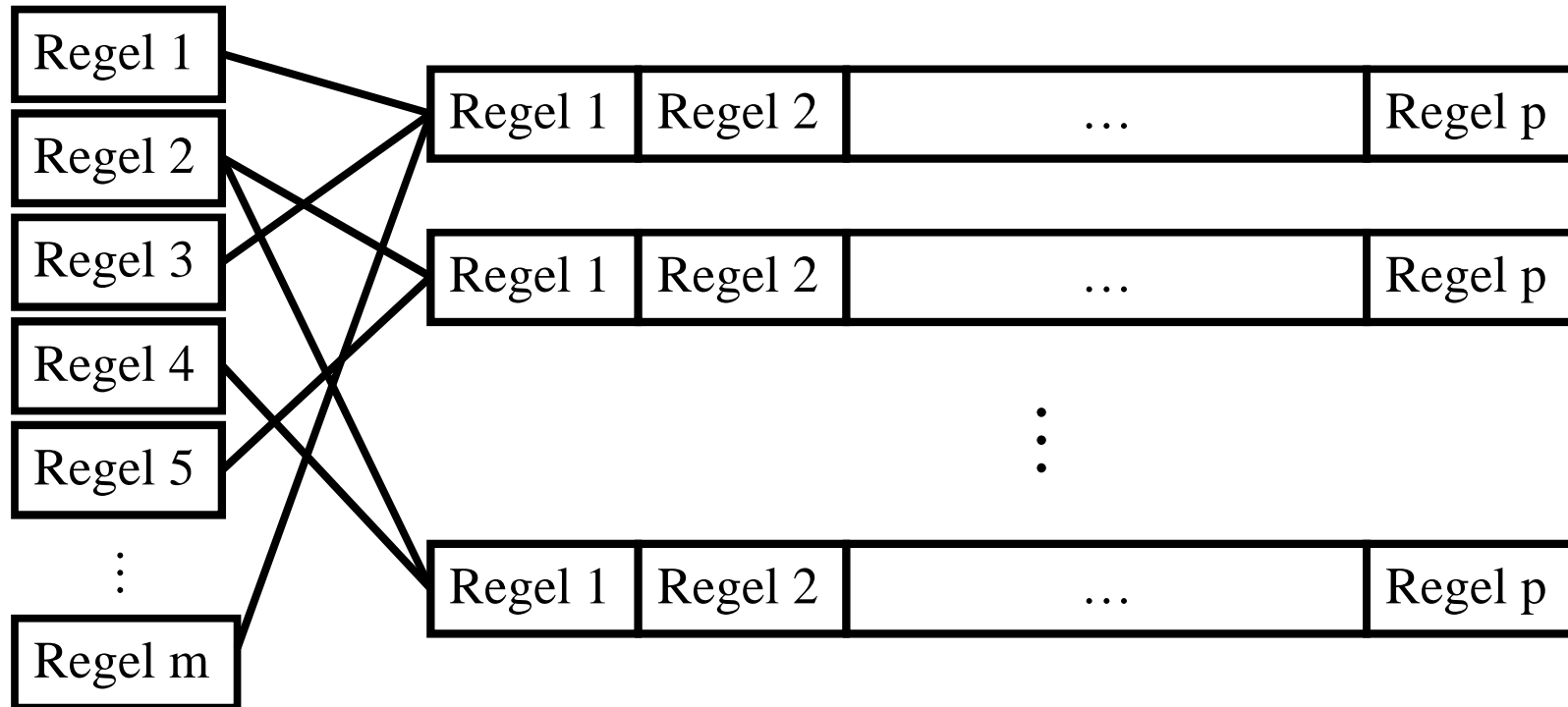
- 1 Individuum repräsentiert eine Regelbasis

| | | | |
|---------|---------|-----|---------|
| Regel 1 | Regel 2 | ... | Regel n |
|---------|---------|-----|---------|

- Anmerkungen:
 - Wie viele einzelne Regeln sollten eine Regebasis bilden?
 - Zu viele: erschwertes Lernen mittels Evolutionärer Algorithmen
 - Zu wenige: schlechtes Regelsystem
 - Mögliche Lösungen:
 - Fitnessfunktion beachtet die Anzahl der Regeln
 - Selektions-Operator bevorzugt kurze Regeln bei gleicher Fitness

Michigan Ansatz

- 1 Individuum repräsentiert eine Regel



- Regelbasen werden dynamisch zusammengesetzt
- Fitness einer Regel definiert sich durch die durchschnittliche Fitness der Regelsysteme unter Beteiligung der Regel

Michigan Ansatz

- Fragestellungen:
 - Wie wird verhindert das viele „gleiche“ Regeln dynamisch zu einem Regelsystem zusammengesetzt werden? -> Clustering + Selektion aus verschiedenen Clustern
 - Ein genaues „Buchhalten“ stellt sicher, dass alle Regeln gleich häufig evaluiert werden
 - Controller Scattering wird durch Einführung eines Thresholds und eines Default-Verfahrens vermieden

Übung

- Wie viele Simulationen (Auswertung einer ganzen Regelbasis) sind für Pittsburgh und Michigan Ansatz nötig wenn:
 - Eine Regelbasis enthält 10 Regeln
 - 100 Generationen berechnet werden
 - Bei Michigan Ansatz jede Regel in 20 Regelbasen getestet wird
 - Die Populationsgrösse in beiden Fällen 100 beträgt?

Hausaufgabe

- Heute gibt es keine Hausaufgabe, so dass Sie sich auf den Test morgen vorbereiten können

Vorlesungsplanung

- 21.02.2012: Einkriterielle Evolutionäre Optimierung I (CF)
- 28.02.2012: Einkriterielle Evolutionäre Optimierung II (CF)
- 06.03.2012: Test (1+2), Mehrkriterielle Evolutionäre Optimierung I (CF)
- 13.03.2012: Statistische Lerntheorie I (JP)
- 20.03.2012: Statistische Lerntheorie II (JP)
- 27.03.2012: Test (4+5), Neuronale Netze (JP)
- 10.04.2012: Mehrkriterielle Evolutionäre Optimierung II (CF)
- 08.05.2012: Genetische Fuzzy Systeme (CF)
- **09.05.2012**: Test (3+7+8), Simulated Annealing und andere Suchmethoden (CF)
- 15.05.2012: Meta-Heuristiken (ACO, PSO) (CF)
- 22.05.2012: Support Vector Maschinen I (JP)
- 29.05.2012: Support Vector Maschinen II (JP)
- 05.06.2012: Test (6+7+12), Clustering (JP)
- 12.06.2012: Lernen und Spieltheorie (JP)
- 26.06.2012: 1. Termin mündliche Prüfungen
- 03.07.2012: 2. Termin mündliche Prüfungen