

# COMPUTATIONAL INTELLIGENCE

## 1. EINFÜHRUNG

**Prof. Dr. Sven Behnke**

# COMPUTATIONAL INTELLIGENCE (2V+2Ü) (BA-INF 123)

- Die Vorlesung führt in den Bereich Computational Intelligence ein.
  - Computational Intelligence wird manchmal auch als „Bionik der Informatik“ bezeichnet.
  - Das Ziel ist, gute Eigenschaften biologischer informationsverarbeitender Systeme wie Adaptivität, Robustheit und schnelle Parallelverarbeitung durch biologisch inspirierte Methoden wie
    - Fuzzy Systeme,
    - Evolutionäre Algorithmen,
    - Schwarm-Intelligenz,
    - Künstliche Neuronale Netze,
    - Graphische Modelle,
    - Künstliche Immunnetzwerke,
    - Embodied Intelligence,
    - Reinforcement Learning und
    - Artificial Life
- technisch umzusetzen.

# PRÜFUNGEN

- **Schriftliche** Prüfung nach Ende der Vorlesungszeit
- Zweitprüfung vor Beginn der Vorlesungszeit des Wintersemesters
- Zugangsvoraussetzung:
  - 50% der in den Übungen zu erreichenden Punkte
  - Zusammenarbeit in Zweiergruppen möglich
  - Lösungen müssen in der Übung vorgestellt werden können

# ZEITEN UND LINKS

## ■ Vorlesung:

- Donnerstags 14 (c.t.) – 16, via Zoom, Code 123  
<https://uni-bonn.zoom.us/j/93767726041?pwd=M3hDa2ZWcyt1VitoNjM3K3dEb1hkQT09>

## ■ Übungsgruppen:

- Montags 10 (c.t.) – 12, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/zap-reu-x2t>
  - Montags 12 (c.t.) – 14, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/zap-rwn-ren>
  - Montags 14 (c.t.) – 16, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/con-xyd-py7>
  - Dienstags 8 (c.t.) – 10, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/sch-wm2-77x> Code 674947
  - Dienstags 12 (c.t.) – 14, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/sch-4p3-f2p> Code 002455
  - Dienstags 14 (c.t) – 16, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/con-xyd-py7>
- 
- Anmeldung bis 26.4. via **TVS** <https://puma.cs.uni-bonn.de>

# WEBSEITE ZUR VORLESUNG

- <http://wwwais.uni-bonn.de/SS20/CI.html>
- Folien und Übungsaufgaben werden kurz vor der Vorlesung online gestellt

User: AIS

Passwort: Cosero

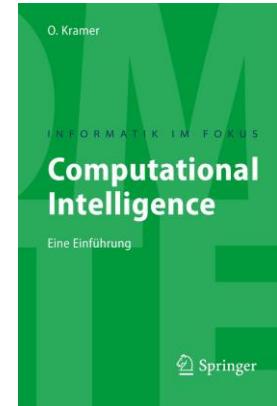


AUTONOME  
INTELLIGENTE  
SYSTEME

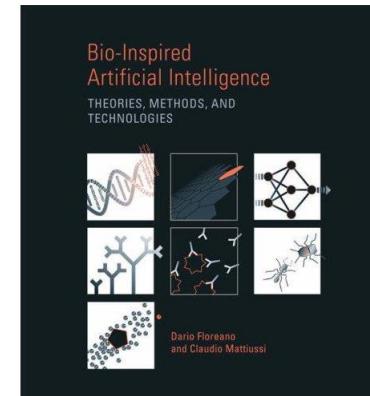


# LITERATUR

- Oliver Kramer:  
**Computational Intelligence**  
Springer, 2009.

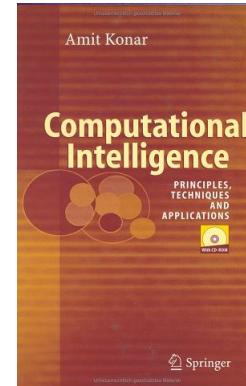


- Dario Floreano and Claudio Mattiussi:  
**Bio-Inspired Artificial Intelligence**  
MIT Press, 2008

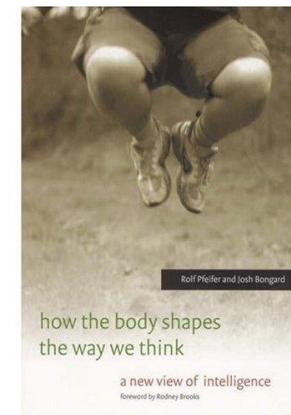


# LITERATUR

- Amit Konar:  
**Computational Intelligence**  
Springer, 2005



- Rolf Pfeifer and Josh C. Bongard:  
**How the Body Shapes the Way We Think**  
MIT Press, 2007



# LITERATUR

- I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville:  
**Deep Learning**  
MIT Press, 2016.



**Deep Learning**

An MIT Press book

Ian Goodfellow, Yoshua Bengio and Aaron Courville

# WAS IST COMPUTATIONAL INTELLIGENCE (CI)?

- Indirekte Definition über die beobachteten Eigenschaften eines Systems, das CI Komponenten realisiert [Bezdek, 1994]:

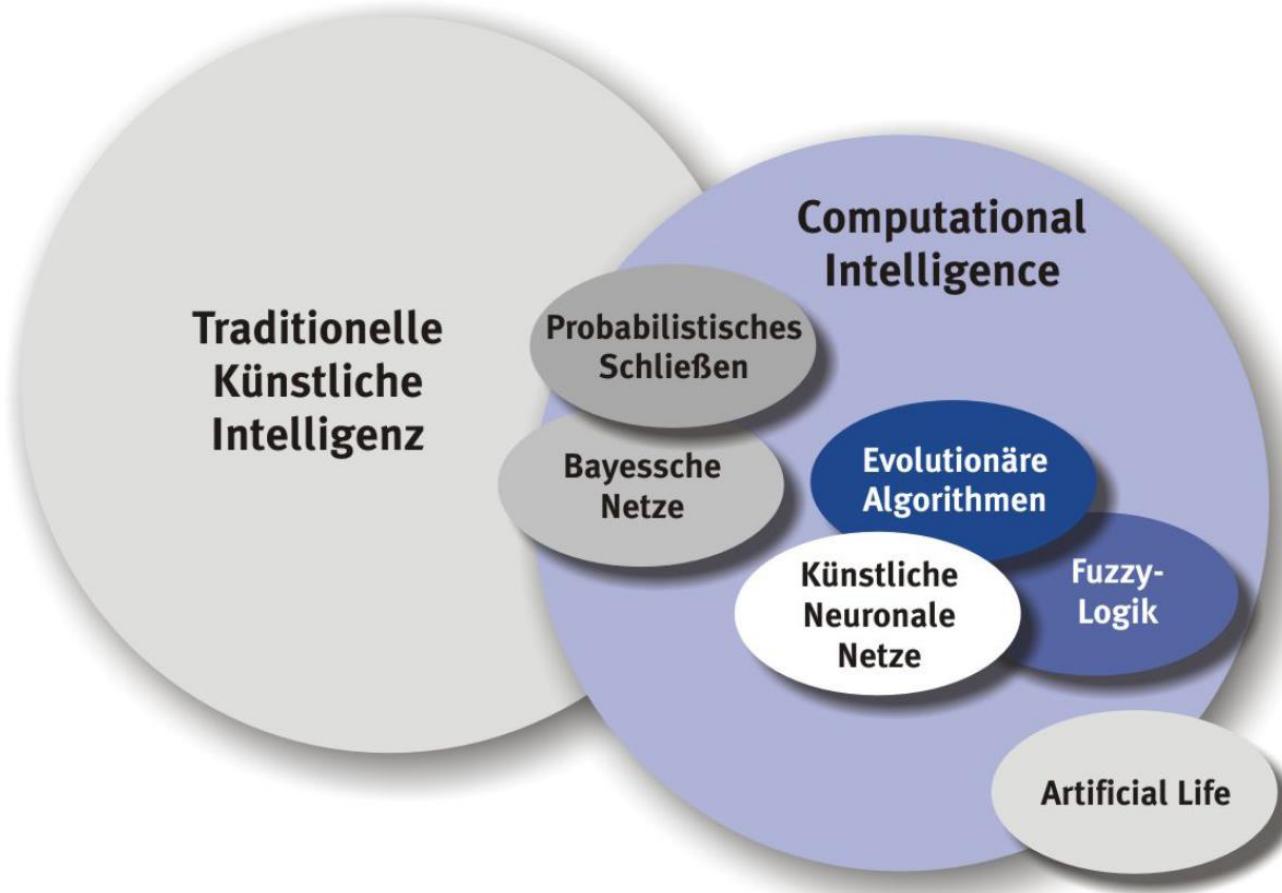
“A system is computationally intelligent when it:

- deals with **only numerical** (lowlevel) data,
- has **pattern recognition** components,
- does **not use knowledge** in the AI sense;
- and additionally when it (begins to) exhibit
  1. computational **adaptivity**,
  2. computational **fault tolerance**,
  3. **speed** approaching humanlike turnaround and
  4. **error rates** that approximate human performance."



James C. Bezdek

# BAUSTEINE DER COMPUTATIONAL INTELLIGENCE

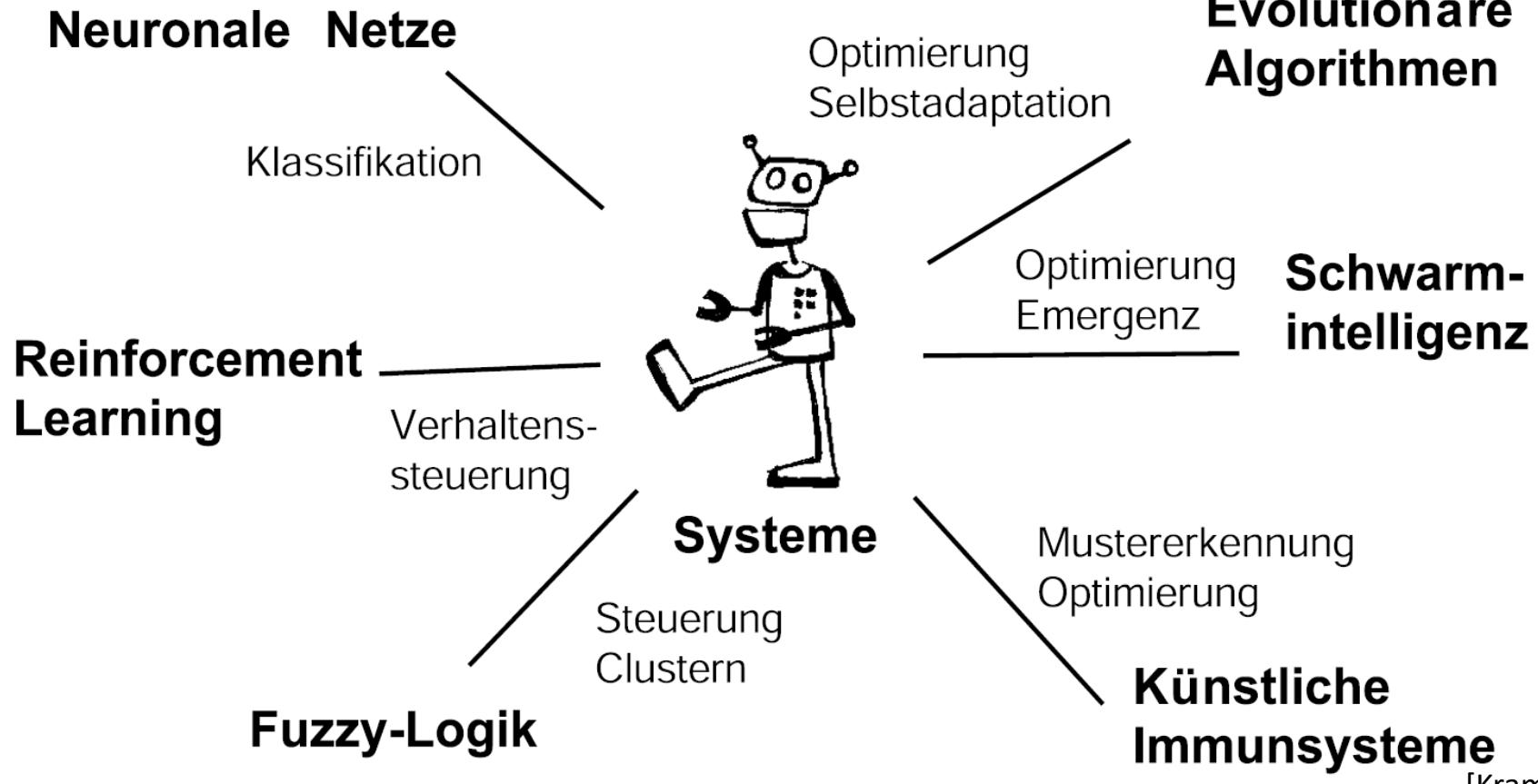




## ■ Scope:

The Field of Interest of the Society is the theory, design, application, and development of **biologically and linguistically motivated** computational paradigms emphasizing **neural networks, connectionist systems, genetic algorithms, evolutionary programming, fuzzy systems, and hybrid intelligent systems** in which these paradigms are contained.

# CI-VERFAHREN



[Kramer]

# KÜNSTLICHE INTELLIGENZ (KI)

- CI ist Teil der KI, daher werden auch deren Ziele verfolgt.
- KI-Ziele:
  - Verständnis biologischer Intelligenz
  - Entwicklung einer Theorie der Prinzipien intelligenter Systeme
  - Schaffung intelligenter Artefakte

# STARKE VS. SCHWACHE KI

- Der Begriff **künstliche Intelligenz** hat seinen Ursprung in der Dartmouth Konferenz im Sommer 1956 (Teilnehmer u.a. John McCarthy, Marvin Minsky, Allen Newell, Herbert Simon)
- Im Rahmen der so genannten **schwachen** künstlichen Intelligenz wird ein Algorithmus als intelligent bezeichnet, wenn er zur Problemlösung menschenähnliche Leistungen vollbringt wie eine Form des Lernens, der Anpassung oder der Schlussfolgerung.
- Die **starke** künstliche Intelligenz hingegen zielt darauf ab, menschliche Kognition nachzubauen, d.h. insbesondere Bewusstsein, Emotionen und Kreativität zu erschaffen.

# PHYSICAL SYMBOL SYSTEM HYPOTHESIS (PSSH)

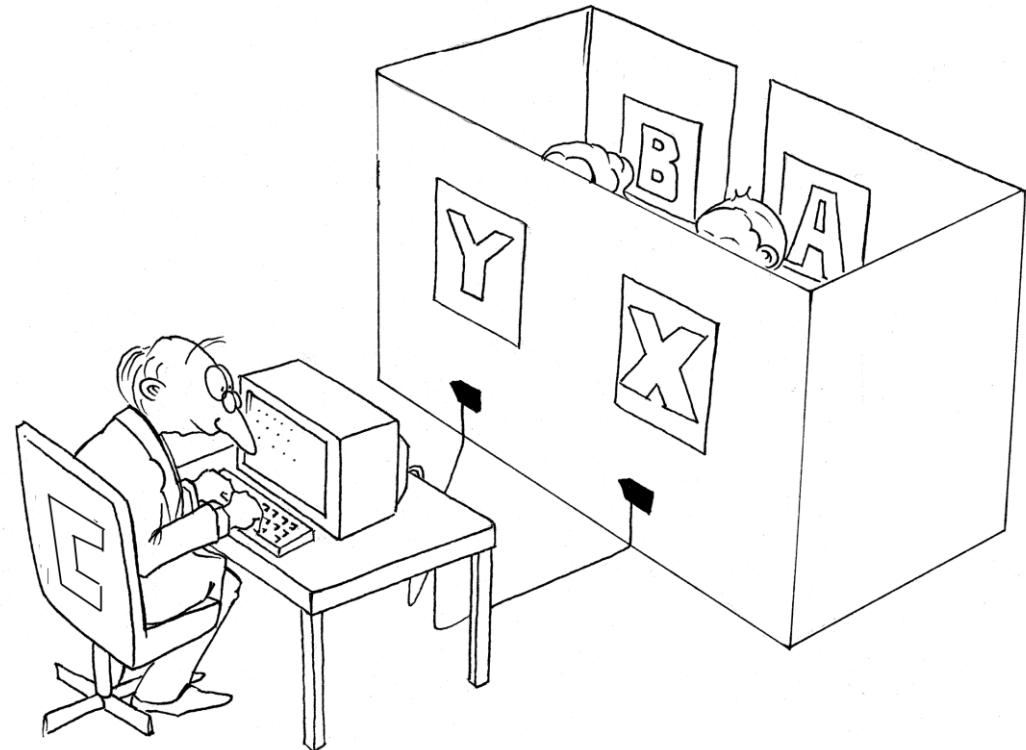
- "A physical symbol system has the **necessary and sufficient** means for general intelligent action."

[Alan Newell and Herbert Simon, 1976]

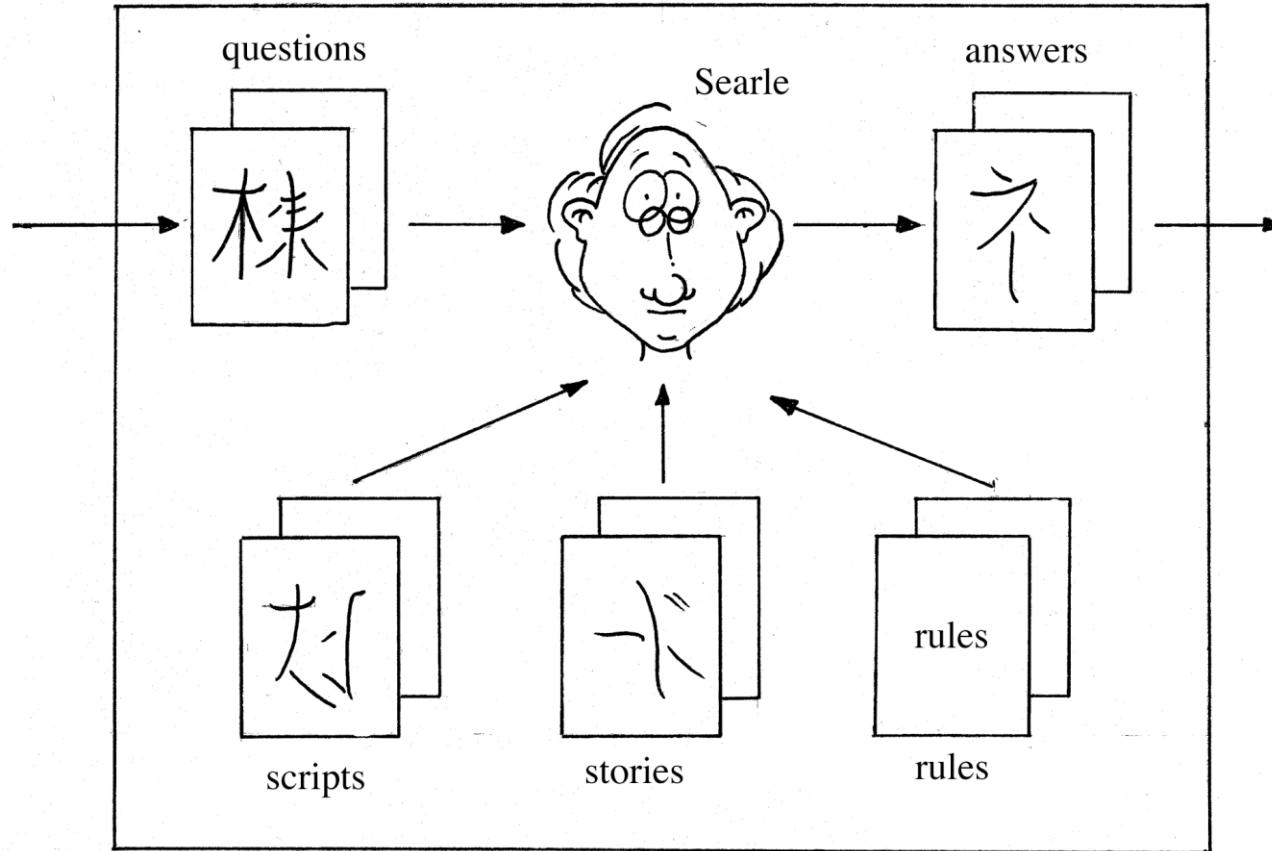
- Dies ist die Grundannahme der Good old-fashioned Artificial Intelligence (GOFAI)
- Problem: Verankerung der Symbole in der Welt (Symbol Grounding)
  - Welche Symbole sollen verwendet werden?
  - Wie können diese mit der Welt verbunden werden?

# TURING-TEST

- Imitationsspiel Mann vs. Frau  
=> Mensch vs. Computer  
[Alan Turing 1950]
- Jährlicher Loebner-Preis  
Wettbewerb
  - Silbermedaille (\$25.000)  
bislang nicht vergeben
  - Goldmedaille (\$100.000)  
wenn auch Multimedia-Inhalte  
wie Musik, Sprache, Bilder und  
Videos übertragen werden  
(totaler Turing-Test)



# SEARLE'S "CHINESE ROOM"

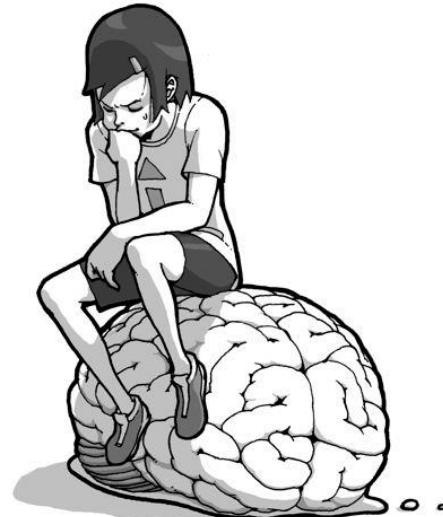


■ Argument gegen starke KI

# ZWEI SICHTWEISEN AUF INTELLIGENZ

## Klassisch:

- Kognition als Berechnung

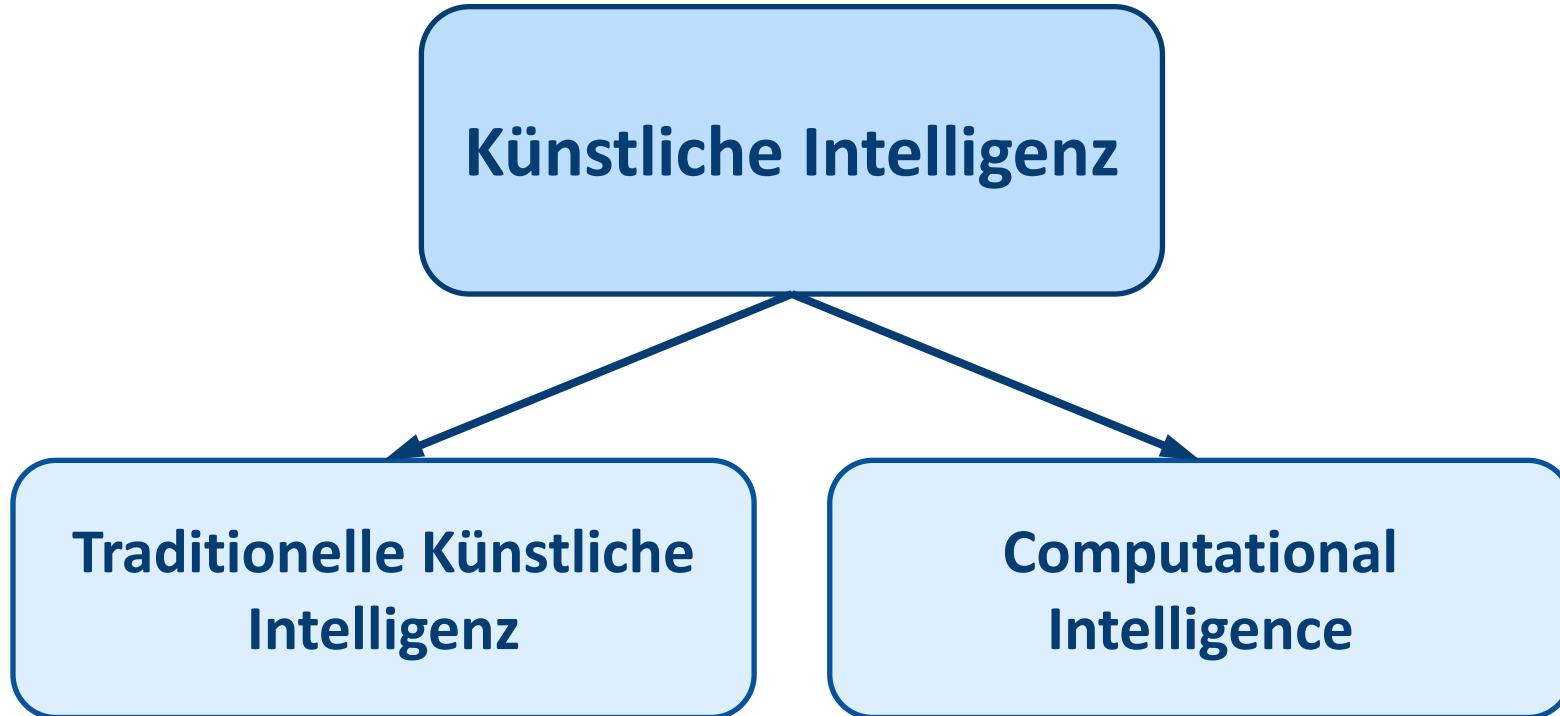


## Embodiment:

- Kognition entsteht durch sensomotorische Prozesse und Interaktion



# ZWEIGE DER KÜNSTLICHEN INTELLIGENZ



# TRADITIONELLE KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

## ■ Anspruch:

Löse Probleme mit Methoden, die ein Mensch als intelligent bezeichnen würde

## ■ Prinzipien:

- Abstraktion

- Zusammenfassen / Verdichten von Informationen

- Adaption

- Reaktion auf / Anpassung an eine sich verändernde Umwelt

- Lernen

- Aufnahme neuer Informationen

- Reorganisation des vorhandenen Wissens

- Kommunikation

- Symbolische Kommunikation mit der Umwelt

# TRADITIONELLE KI II

## ■ Prinzipien:

- Symbolische Repräsentationen
- Formalismus zur Inferenz
- Statistische Analysen

## ■ Repräsentation:

- Methoden basieren auf symbolischer Darstellung und formalen Zusammenhängen

## ■ Einige Methoden:

- Logische Inferenzsysteme
- Suchalgorithmen
- Planung
- Syntaxanalyse (Parsen von Texten)

# TRADITIONELLE KI VS. CI

- **Traditionelle KI** beschäftigt sich mit Problemen die mit **höheren** kognitiven Funktionen verwandt sind.

Beispiele:

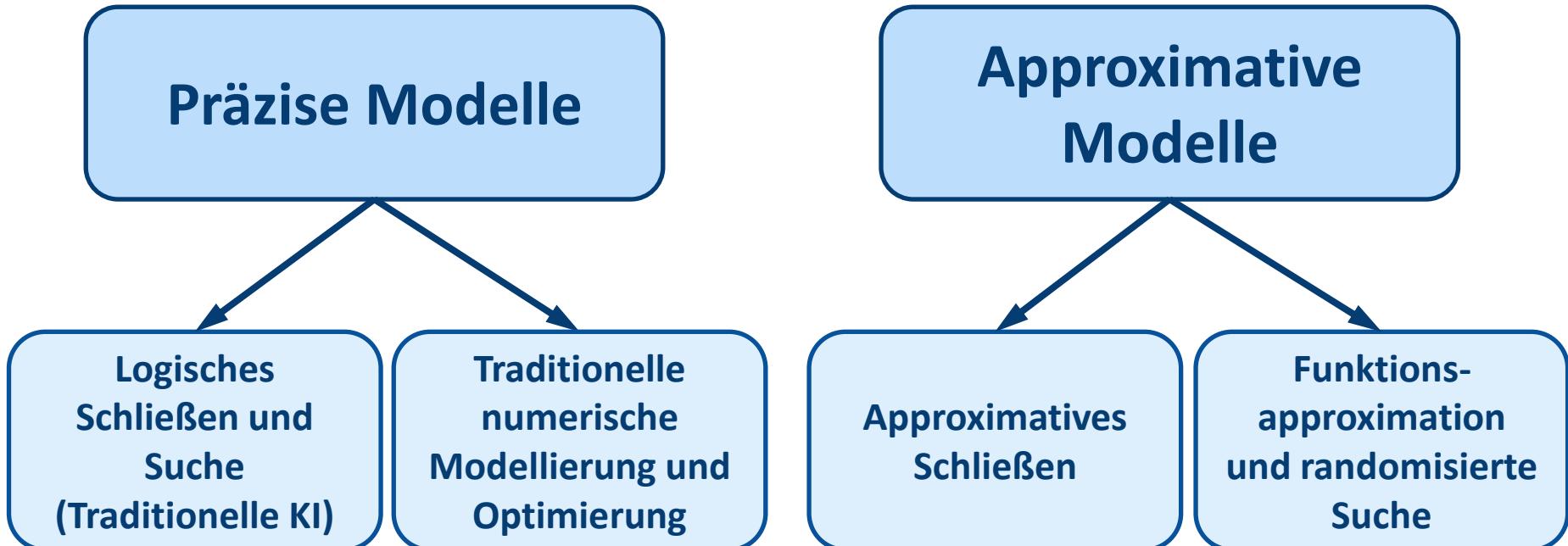
- Schach spielen
- Pfad in Labyrinth finden
- Beweisen logischer Aussagen

- **CI** beschäftigt sich mit Problemen, die mit **niederen** kognitiven Funktionen verwandt sind.

Beispiele:

- Objekterkennung in Bildern
- Spracherkennung
- Bewegungssteuerung

# PROBLEMLÖSUNGSANSÄTZE



# APPROXIMATIVE MODELLE

## Approximatives Schließen

Wahrscheinlichkeitsbasierte Modelle

Mehrwertige und Fuzzy Logik

## Funktionsapproximation und randomisierte Suche

Neuronale Netze

Evolutionäre Algorithmen

# NEURONALE NETZE

## ■ Motiviert durch das Gehirn

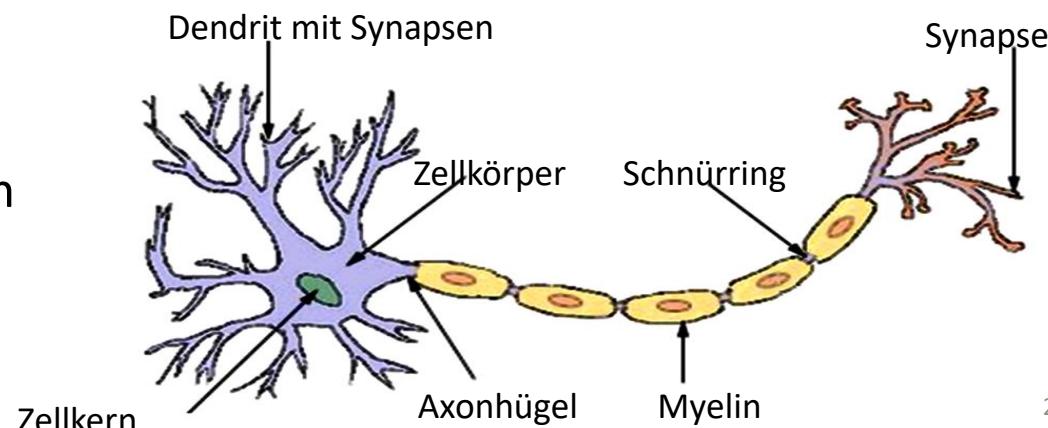
- Ermöglicht anscheinend alle intelligenten Leistungen
- Viele Milliarden hochgradig vernetzter Neuronen

## ■ Prinzipien & Charakteristika

- Die einzelnen Neuronen treffen lokale Entscheidungen
- Viele einfache Neuronen sind vernetzt und arbeiten parallel
- Gesamtnetz kann komplexe Probleme lösen
- Netz ist lernfähig

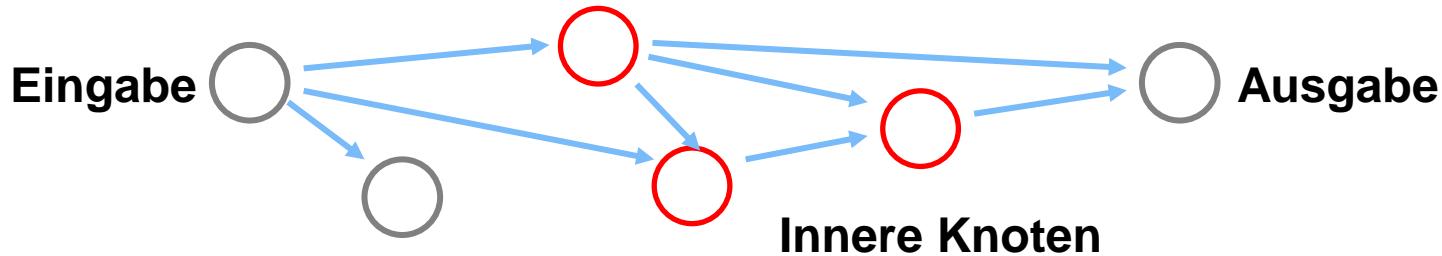
## ■ Anwendungsgebiete

- Mustererkennung / Klassifikation
- Approximation von Funktionen



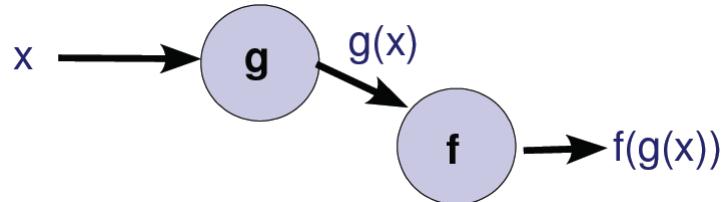
# DIE STRUKTUR NEURONALER NETZE

- Ein Neuronales Netz kann als **gerichteter Graph** beschrieben werden, d.h. es besteht aus
  - einer Menge von **Knoten** (Units, Neuronen) und
  - einer Menge von **Kanten**, die je zwei Knoten gerichtet verbinden

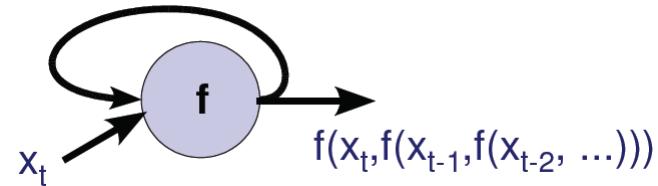


- Jeder Knoten berechnet einfache Funktion

# VORWÄRTSGERICHTET      VS.      REKURRENT



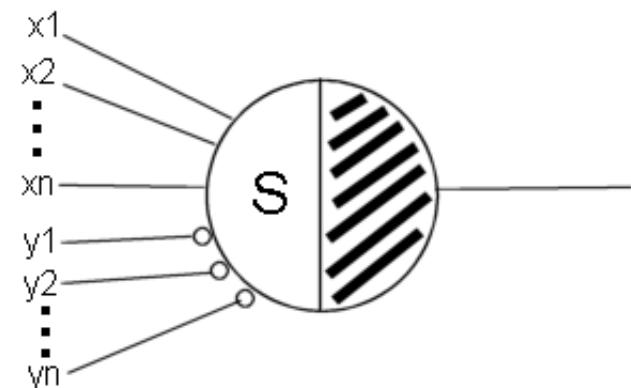
- Ohne Zyklen
- Ohne Zeitverlust
- Nach Eingabe liegt Ergebnis gleich am Ausgang vor
- Berechnungsprozesse eindeutig durch Vernetzung festgelegt



- Mit Zyklen
- Betrachtung der zeitlichen Dimension notwendig
- Berechnung verbraucht z.B. eine Zeiteinheit
- Eingabe an Zeitpunkt  $t$  führt zur Ausgabe zum Zeitpunkt  $t+1$
- Berechnungsprozesse nicht mehr eindeutig durch Vernetzung bestimmt

# MCCULLOCH-PITTS-NETZE (1943)

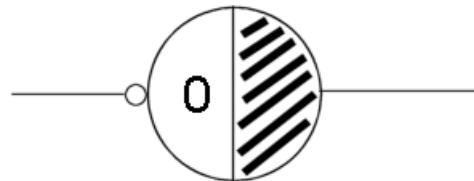
- Signale: Binärwerte (0 oder 1)
- Anschlusskanten entweder „normal“ ( $x_1, \dots, x_n$ )
- oder „hemmend“ ( $y_1, \dots, y_n$ )
- Jedes Neuron hat einen Schwellwert S



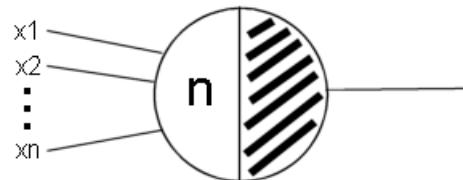
- Funktionsweise
  - Gibt 1 aus, wenn  
Summe der normalen Eingänge  $\geq$  Schwellwert S
  - Sobald mindestens ein hemmender Eingang auf 1 liegt,  
ist die Ausgabe 0 (absolut hemmend)

# MCCULLOCH-PITTS: LOGISCHE FUNKTIONEN

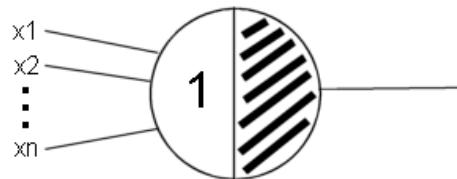
- Negation:



- Konjunktion:  
(und)

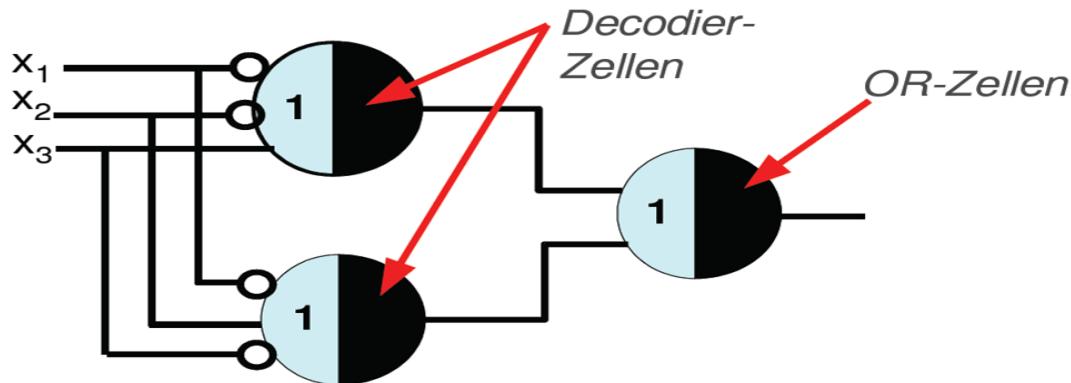


- Disjunktion:  
(oder)



# BERECHNUNG BELIEBIGER KOMBINATORISCHER FUNKTIONEN

Eingabevektoren	F
(0,0,1)	1
(0,1,0)	1
restl. Vektoren	0



- Jeder Zeile mit  $F=1$  entspricht genau eine Decodier-Zelle
- **Satz:** Jede logische Funktion  $F: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$  kann mit einem zweischichtigen McCulloch-Pitts-Netz berechnet werden
- Aber: Es können  $O(2^n)$  Decodierzellen nötig sein

# ENDLICHE AUTOMATEN

## Beispiel

zwei Zustände :  $Q_0, Q_1$

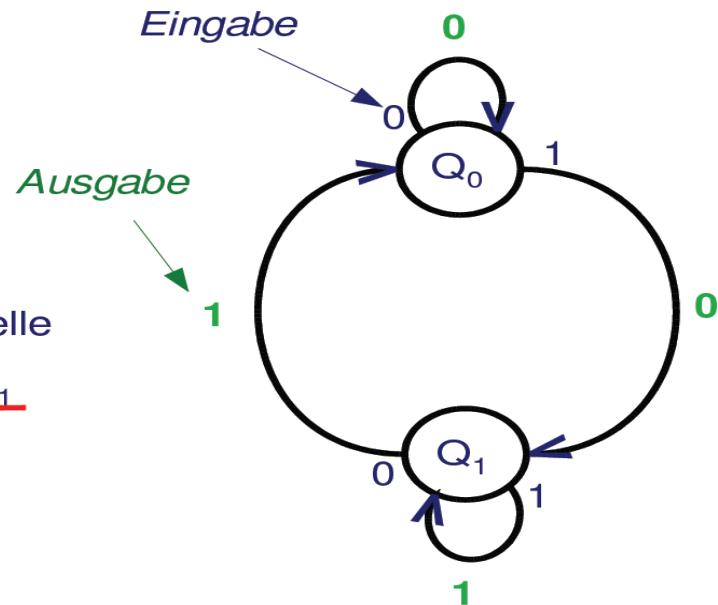
zwei Eingabewerte : 1, 0

## Zustandsübergangstabelle

	$Q_0$	$Q_1$
$Q_0$	$Q_0$	$Q_0$
$Q_1$	$Q_1$	$Q_1$

## Ausgabetabelle

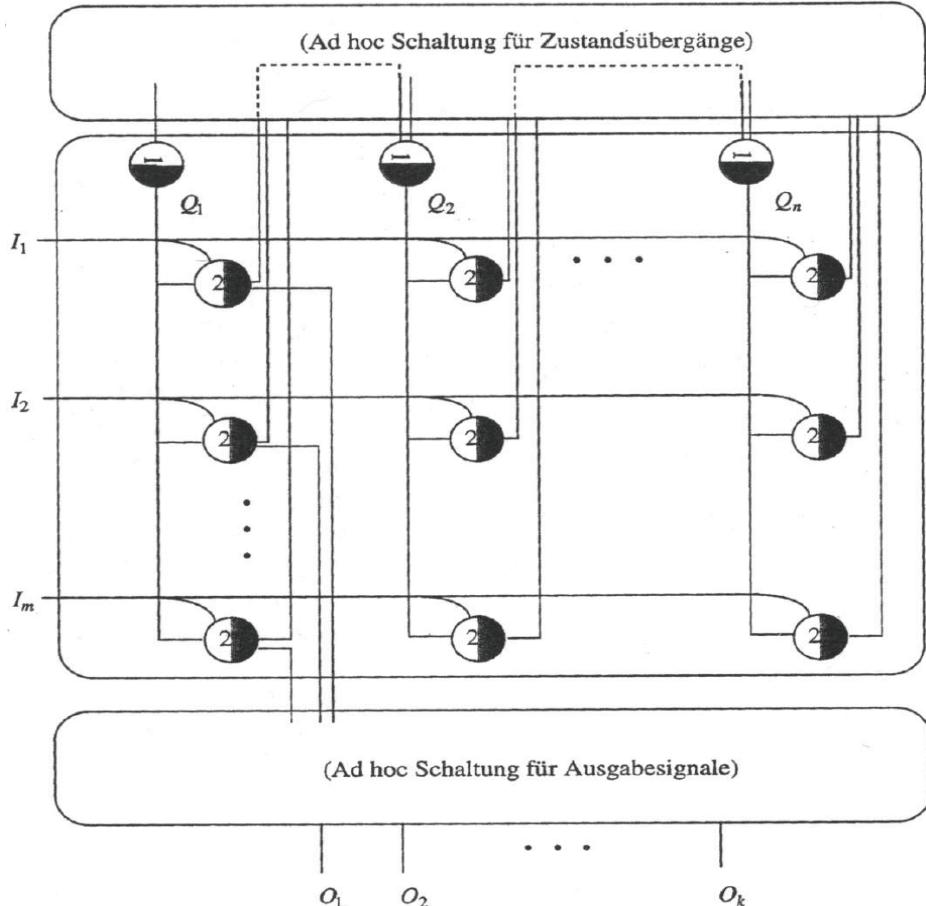
	$Q_0$	$Q_1$
0	0	1
1	0	1



■ **Satz:** Jeder endliche Automat kann mit einem Netz von McCulloch-Pitts-Zellen simuliert werden

# BEWEISIDEE

- Decodierte Eingabe über Leitungen  $I_i$
- Nur eine Leitung  $I_i$  aktiv d.h. erhält 1, Rest inaktiv d.h. erhält 0
- Netz befindet sich in einem wohldefinierten Zustand  $Q_i$ , d.h. nur eine Leitung der  $Q_i$  aktiv
- AND-Zelle kann nur aktiv sein, wenn Zustandsbit und Eingabeleitung aktiv sind
- Zu jedem Zeitpunkt  $t+1$  nur eine AND-Zelle aktiv
- Einfache Zeitverzögerung (da rekurrentes Netz)



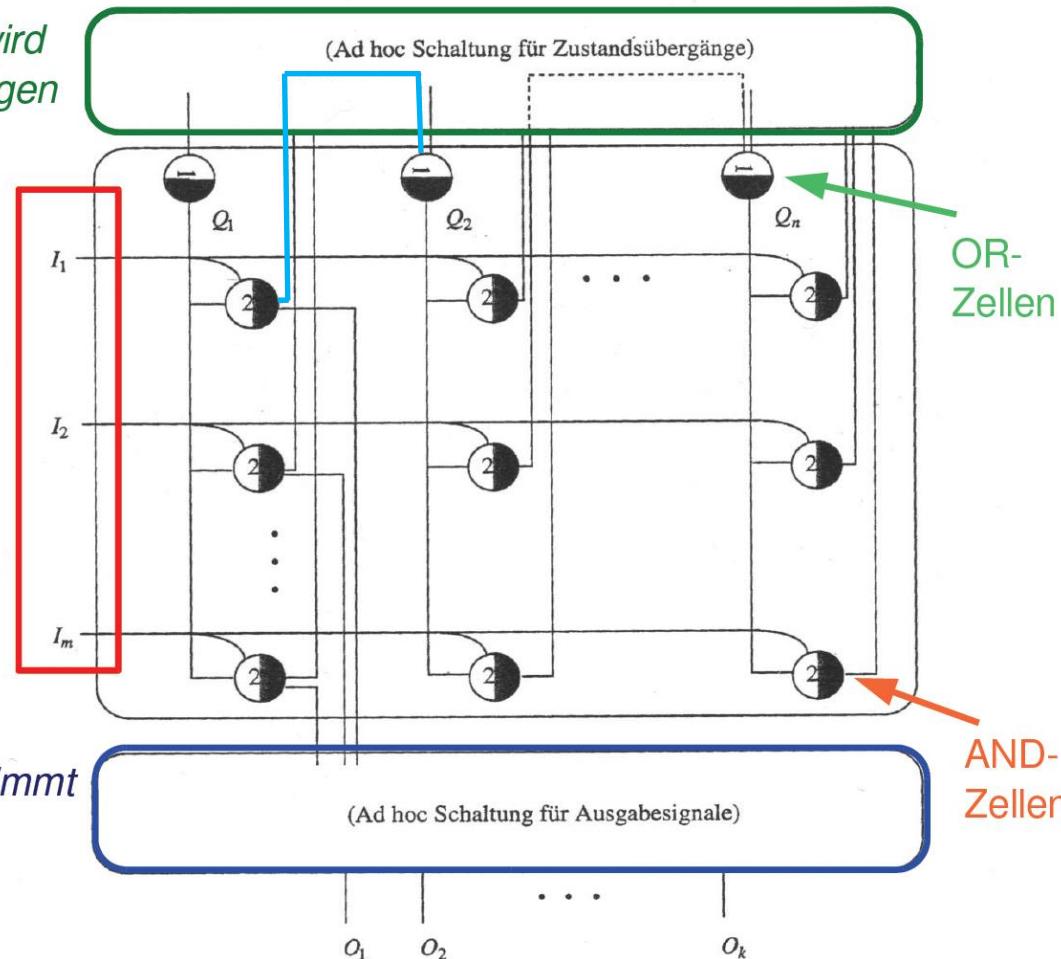
# BEWEISIDEE

Zustandsübergang wird  
hier von Verschaltungen  
bestimmt

Beispiel für  
Verschaltung:  
 $(I_1, Q_1) \rightarrow Q_2$

Eingabe-  
leitungen

Ausgabefunktion bestimmt  
Verschaltung

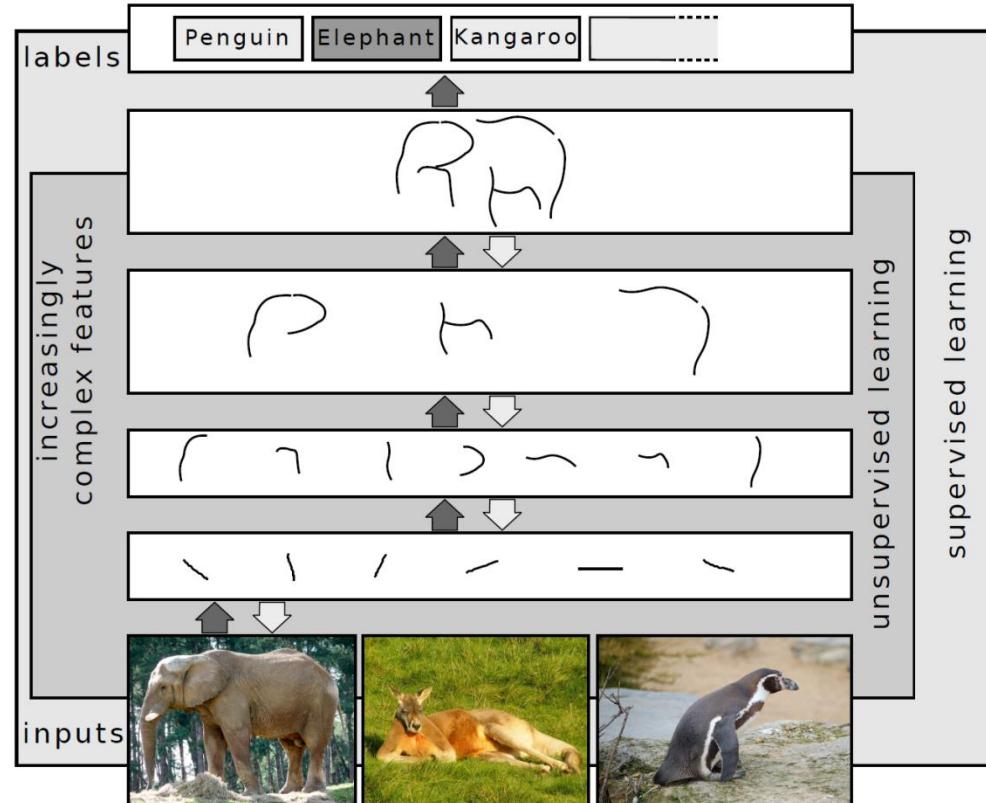


(Ad hoc Schaltung für Ausgabesignale)

# DEEP LEARNING

- Lernen hierarchischer Repräsentationen
- Höhere Konzepte durch Kombination niederer Konzepte definiert
- Wiederverwendung von niederen Konzepten in mehrern höheren Konzepten

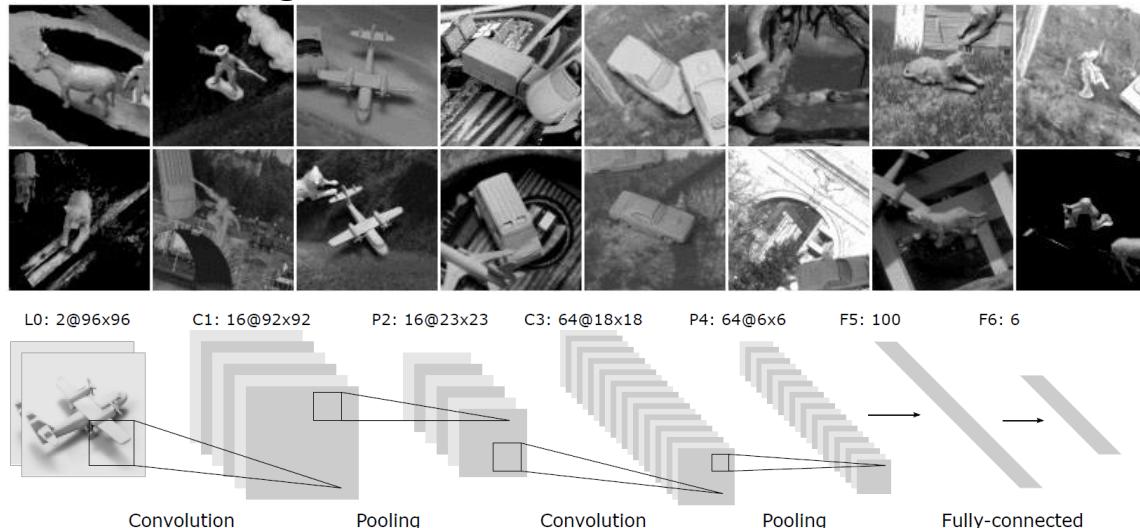
[Schulz and Behnke, KI 2012]



# BEISPIEL: OBJEKTKATEGORISIERUNG

## DATENMENGE: NORB JITTERED-CLUTTERED

- 5 Kategorien a 10 Objekte, 6 Beleuchtungen, 9x18 Aufnahmewinkel
- Zufällige Perturbationen von Position, Skala, Winkel der Bildebene, Helligkeit, Kontrast, Hintergrund-Textur, Distraktor-Objekt am Rand
- 291.600 Trainingsbilder und 58.320 Testbilder

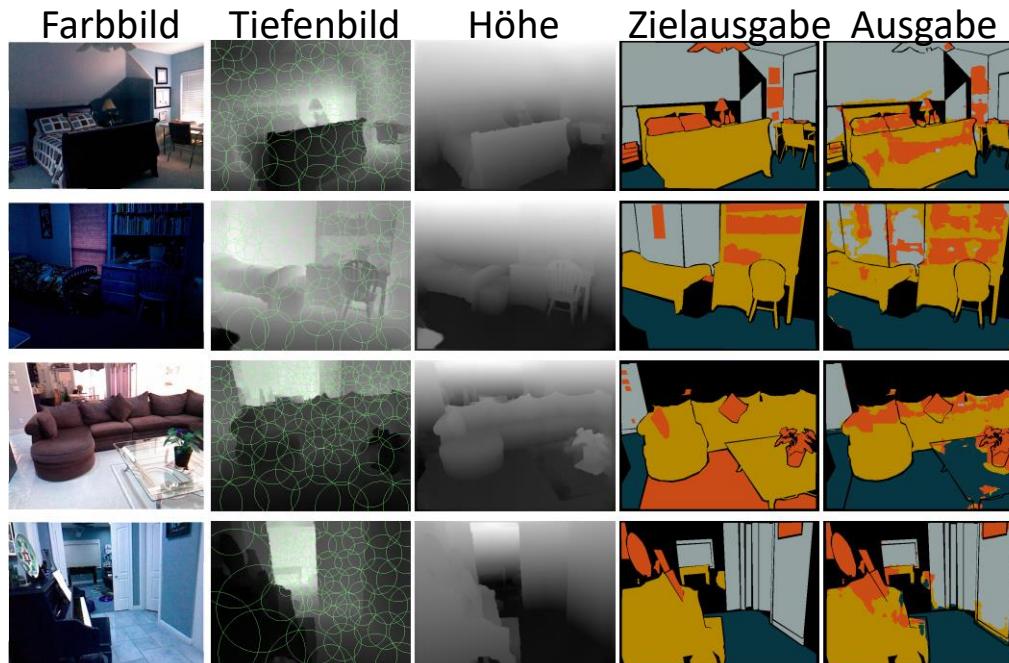


- Konvolutionale Architektur, Max-Pooling, Cross-Entropie-Training
- Testfehler: 5,6% (LeNet7: 7,8%)

[Scherer, Müller, Behnke, ICANN 2010]

# BEISPIEL: KATEGORISIERUNG VON OBERFLÄCHEN

- RGB-D-Eingaben, Höhe über Boden geschätzt
- Skalierung der Eingabe mit der Tiefe

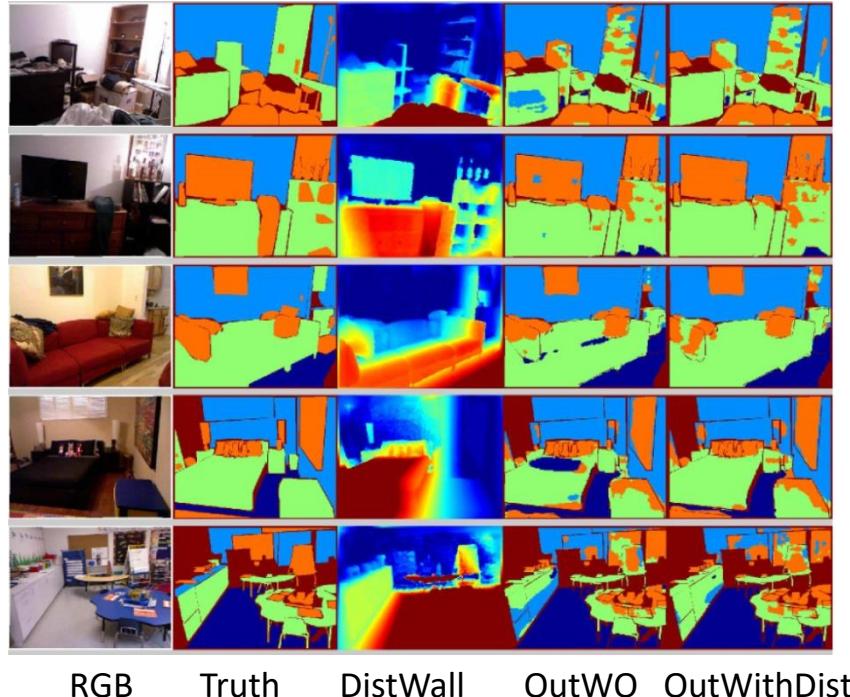


[Schulz, Höft, Behnke, ESANN 2015]

# GEOMETRISCHE UND SEMANTISCHE MERKMALE FÜR RGB-D OBJEKTKLASSENSEGMENTIERUNG

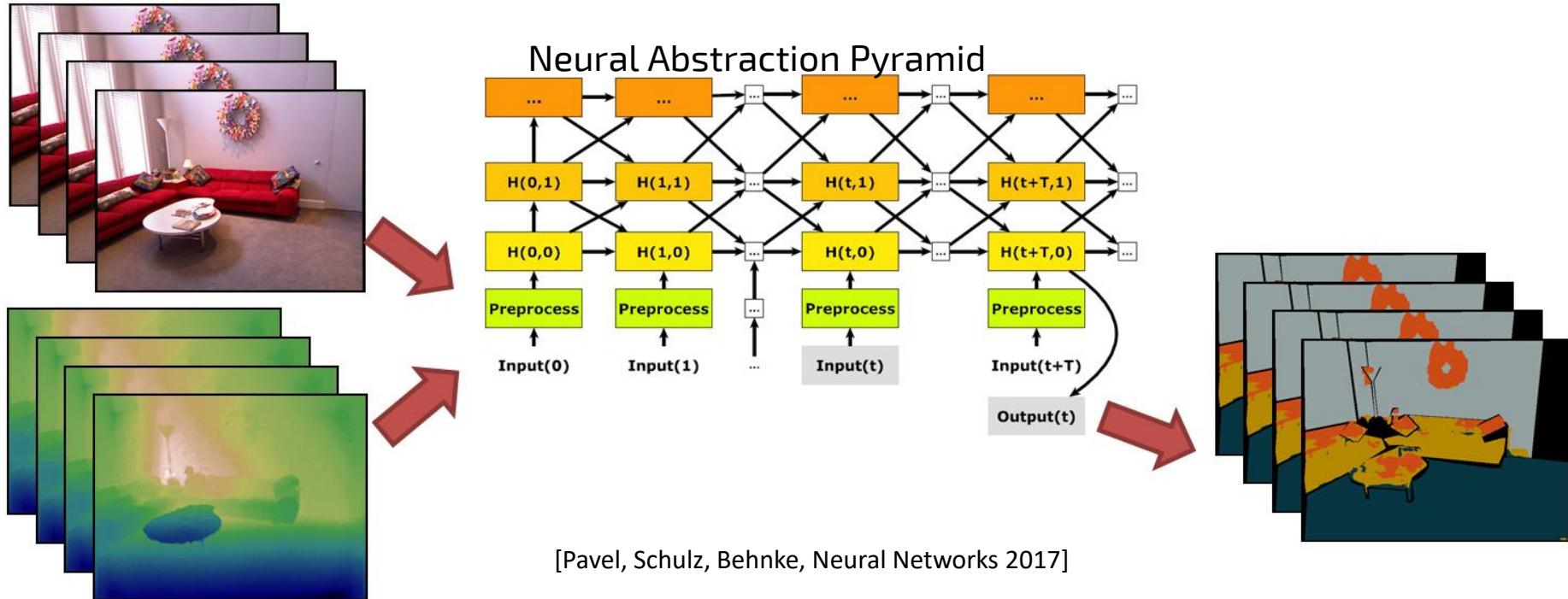
- Neues **geometrisches** Merkmal: Wandabstand
- **Semantische** Merkmale vortrainiert aus ImageNet
- Beide helfen signifikant

[Husain et al. RA-L 2016]



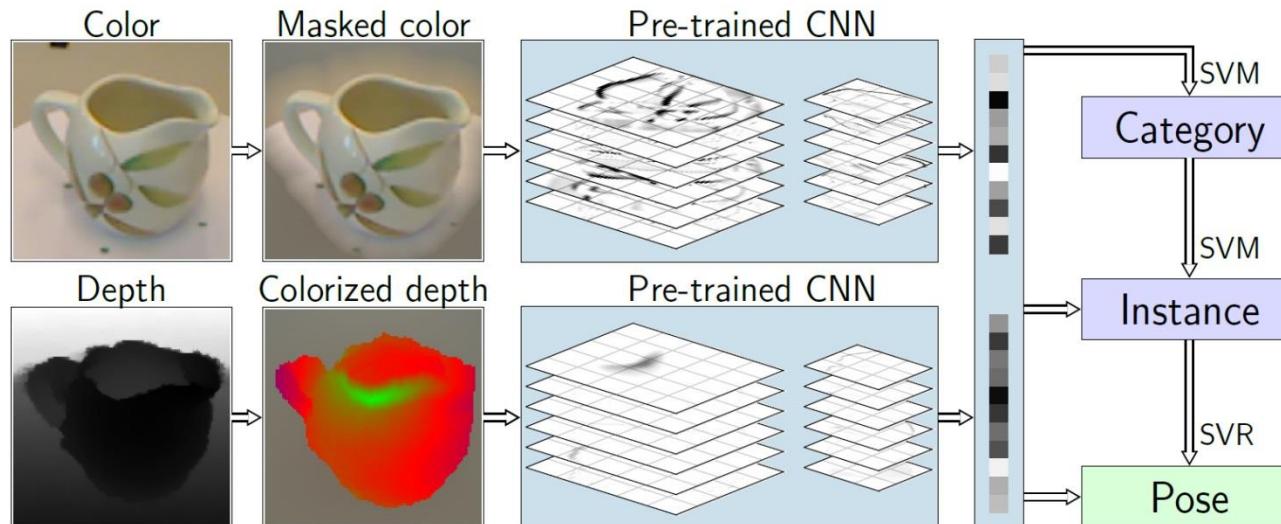
# OBJEKTKLASSENSEGMENTIERUNG VON RGB-D-VIDEO

- Rekursive Berechnung ermöglicht effiziente zeitliche Integration



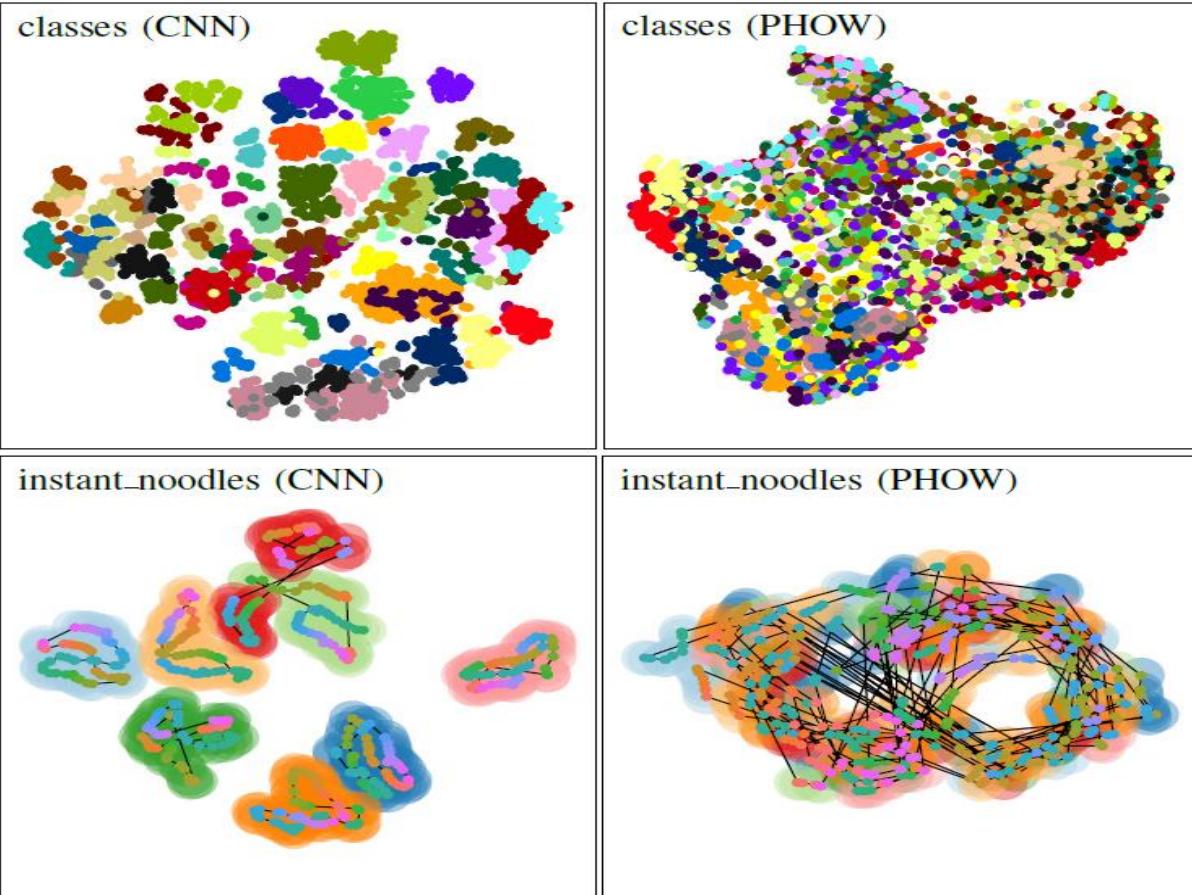
# BEISPIEL: OBJEKTERKENNUNG / POSENSCHÄTZUNG

- Transfer vortrainierter Merkmale auf ähnliche Datenmenge
- Umwandlung von Tiefenbild in Farbbild
- Neuer Rekord auf Washington Objects Datenmenge



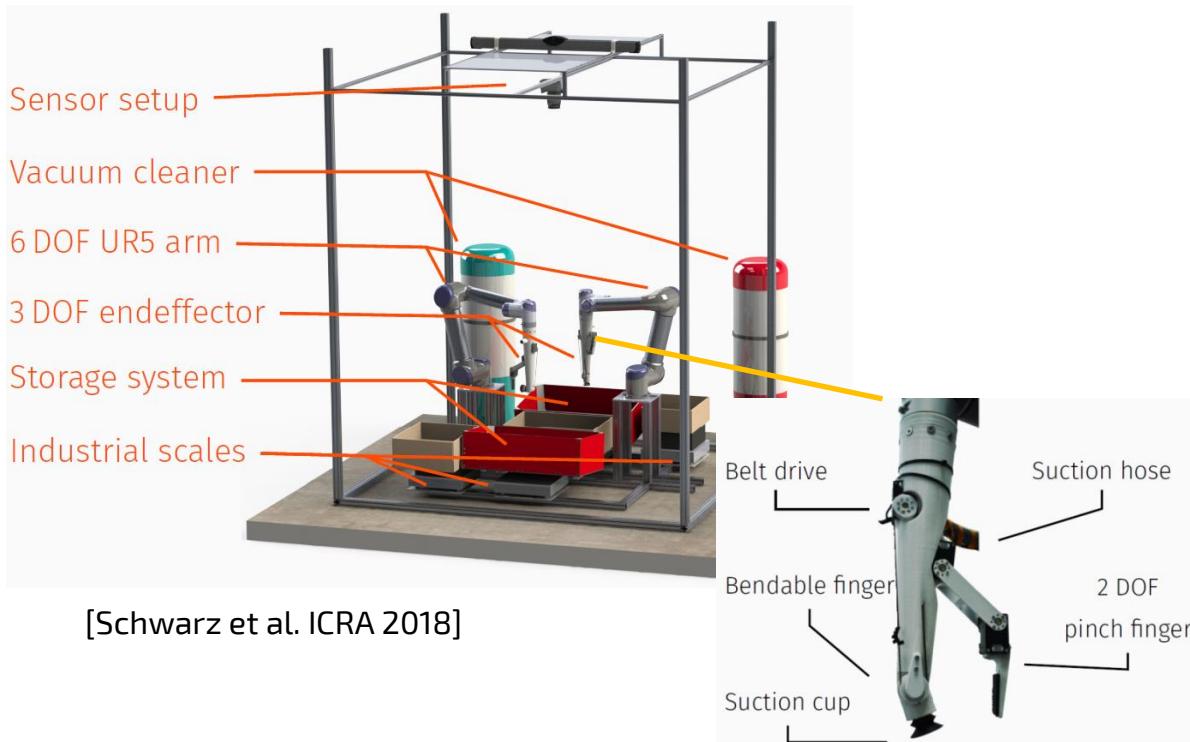
# ENTWIRRUNG DURCH MERKMALEXTRAKTION

2D-Einbettung  
der hoch-  
dimensionalen  
Merkmalsräume



# AMAZON ROBOTICS CHALLENGE

- Einlagern und Kommissionierung von Waren
- Zweiariges Robotersystem



[Schwarz et al. ICRA 2018]



[Amazon]

# OBJEKTERFASSUNG UND SZENENGENERIERUNG

■ Drehteller + DLSR



■ Einfügen in komplexe Szenen



# SZENENINTERPRETATION UND GREIFPLANUNG

- Semantische Segmentierung mit RefineNet [Lin et al. CVPR 2016]
- Saugposen auf ebenen Flächen im Zentrum der Segmente



bronze_wire_cup	conf: 0.749401
irish_spring_soap	conf: 0.811500
playing_cards	conf: 0.813761
w_aquarium_gravel	conf: 0.891001
crayons	conf: 0.422604
reynolds_wrap	conf: 0.836467
paper_towels	conf: 0.903645
white_facecloth	conf: 0.895212
hand_weight	conf: 0.928119
robots_everywhere	conf: 0.930464
mouse_traps	conf: 0.921731
windex	conf: 0.861246
q_tips_500	conf: 0.475015
fiskars_scissors	conf: 0.831069
ice_cube_tray	conf: 0.976856

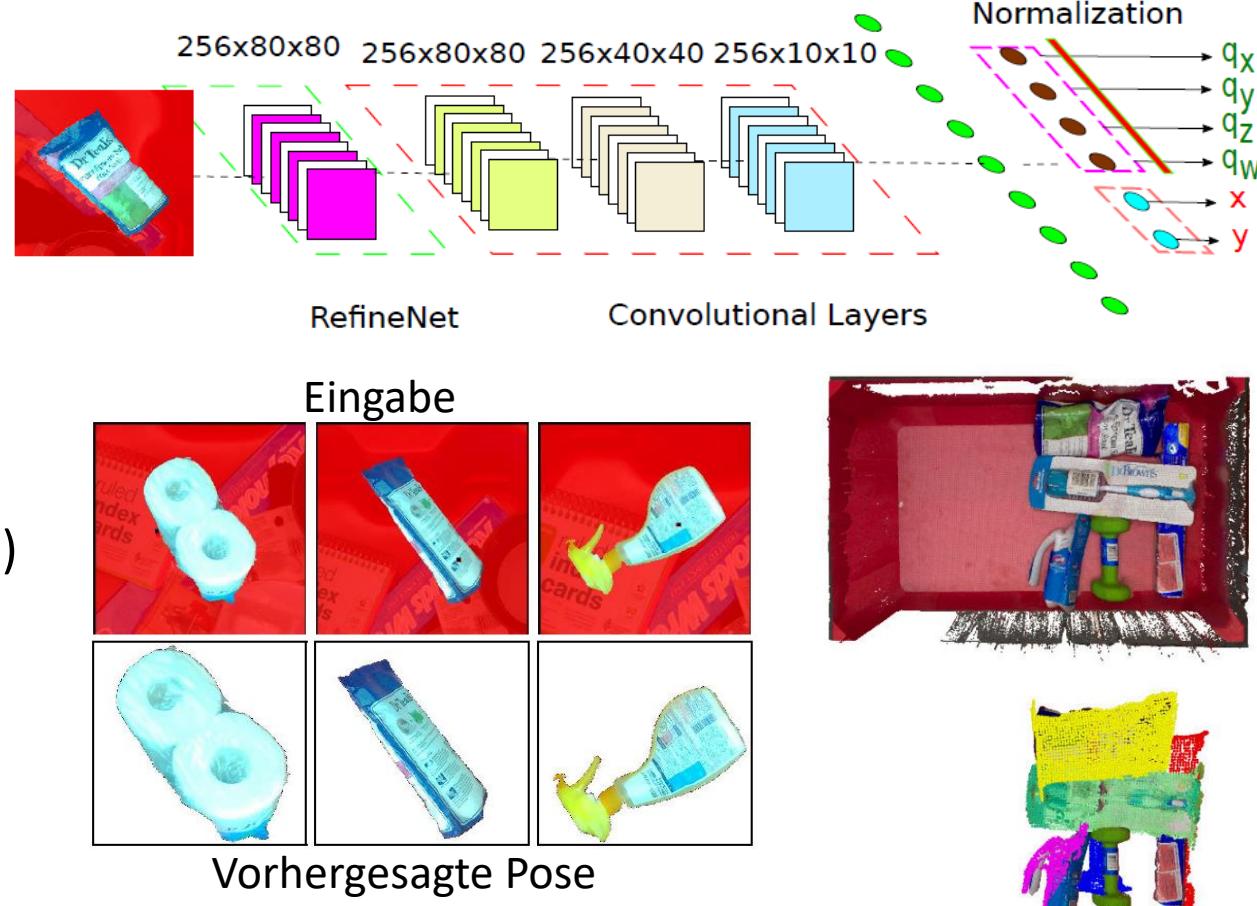


# AMAZON ROBOTICS CHALLENGE 2017 FINALE



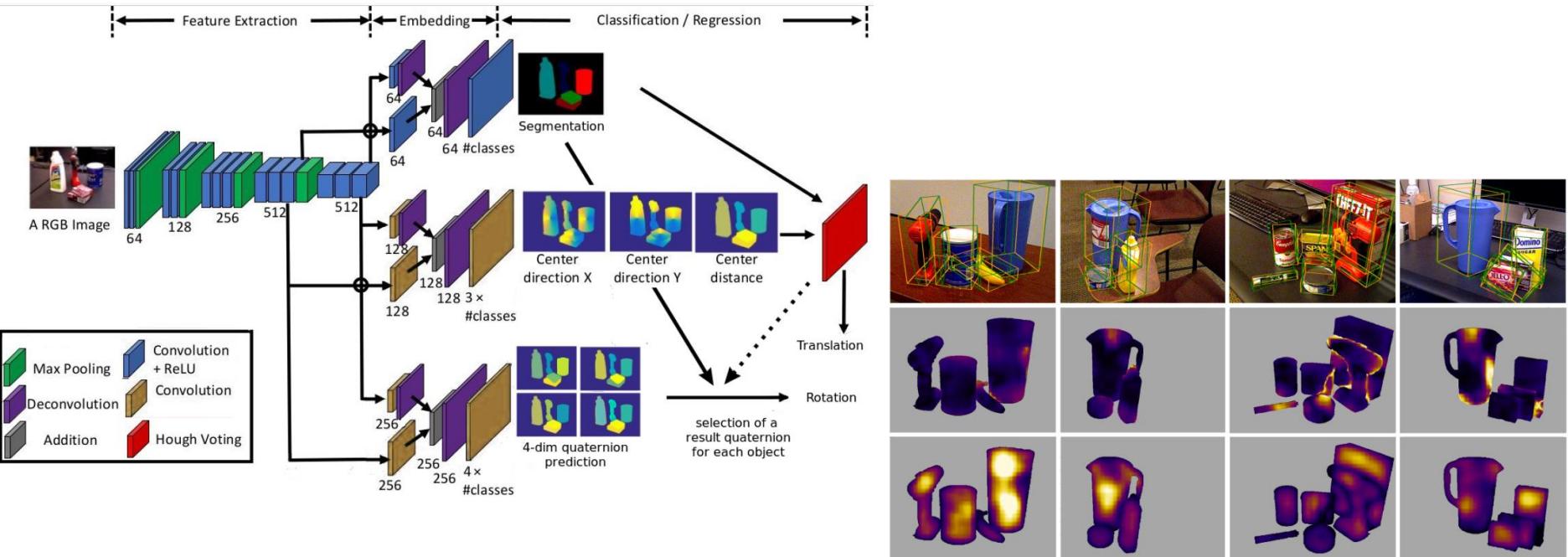
# SCHÄTZUNG VON OBJEKTPOSEN

- Ausschneiden einzelner Segmente
- Oberste Schicht von RefineNet wird als Eingabe verwendet
- Vorhersage von Posenparametern (Position, Orientierung)



# DICHTE KONVOLUTIONALE 6D-POSENSCHÄTZUNG

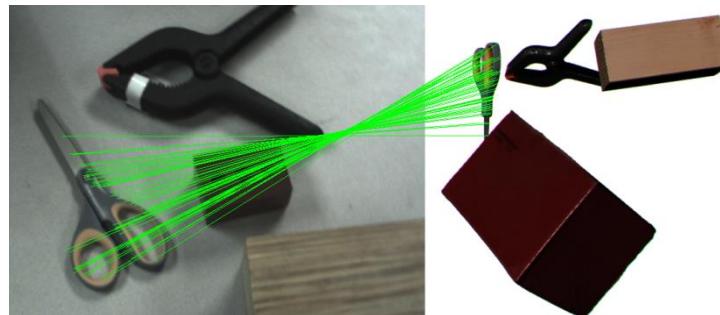
- Erweiterung von PoseCNN [Xiang et al. RSS 2018]
- Dichte Vorhersage von Objektzentren und Orientierungen, ohne Ausschneiden



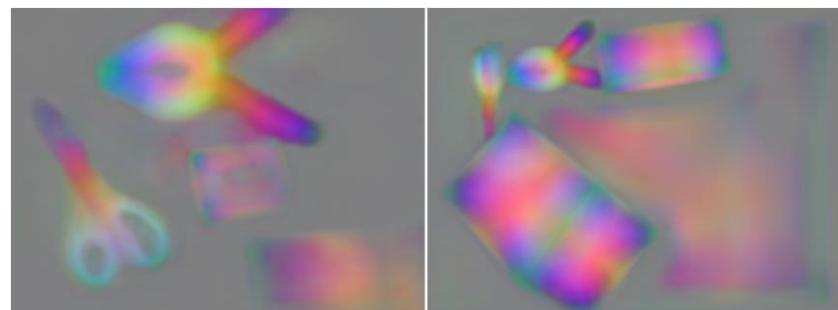
[Capellen et al, VISAPP 2020]

# SELBSTÜBERWACHTES LERNEN DICHTER MERKMALE

- Oberflächenmerkmale sollen konstant bleiben, auch wenn sich Sichtwinkel, Beleuchtung, etc. ändern
- Merkmale sollen eindeutig sein, um Korrespondenzen zwischen verschiedenen Ansichten herzustellen
- Lernen dichter Merkmale aus Korrespondenzen mit Kontrast-Fehlerfunktion [Schmidt et al. 2016]

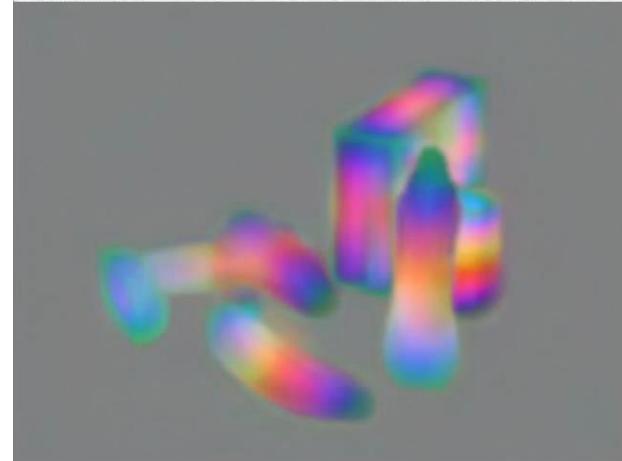


Bekannte Korrespondenzen



Gelernte Merkmale

# GELERNTES ZENENABSTRAKTION



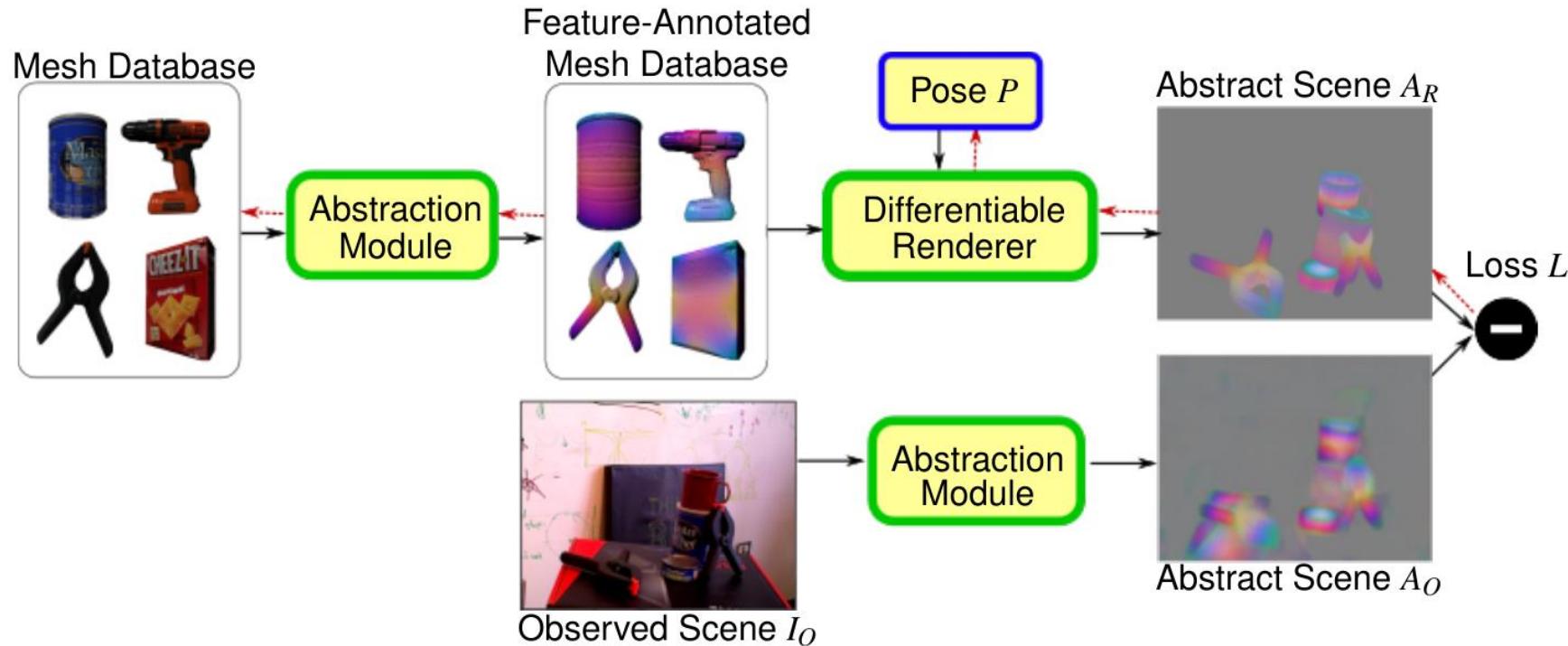
# MERKMALESKRIPTOREN ALS TEXTUREN FÜR 3D-OBJEKTMODELLE

- Gelernte Merkmalskanäle als “Farben” für Textur in 3D-Objektmodellen
- Nutzung für 6D-Posenschätzung



# ABSTRAKTE OBJEKTREGISTRIERUNG

- Vergleiche gerenderte und zu interpretierende Szene in gelerntem Merkmalsraum
- Passe Modellpose durch Gradientenabstieg an



# BEISPIEL-SZENE

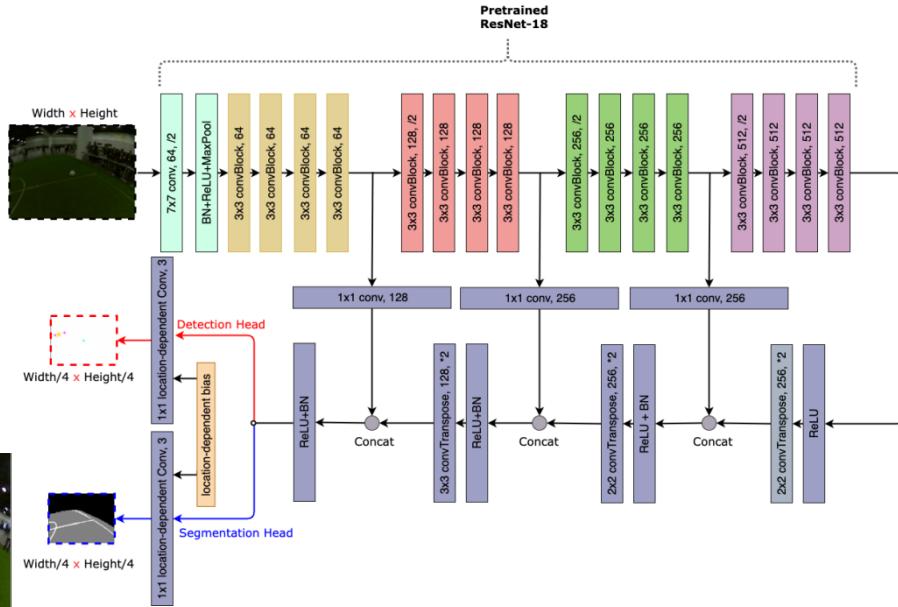
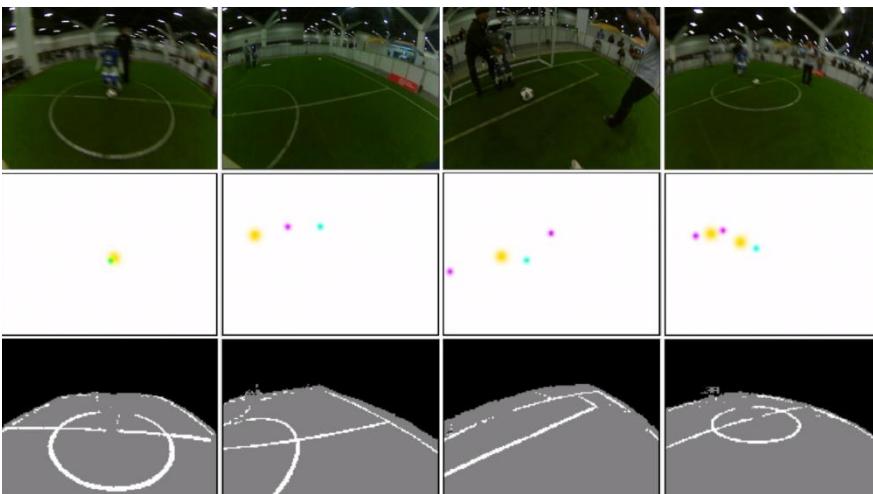


# ROBOCUP 2019 IN SYDNEY



# OBJEKTDETEKTION BEIM ROBOTERFUßBALL

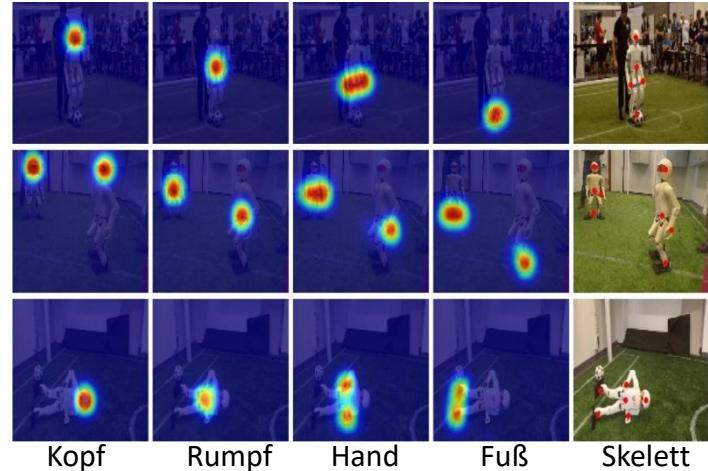
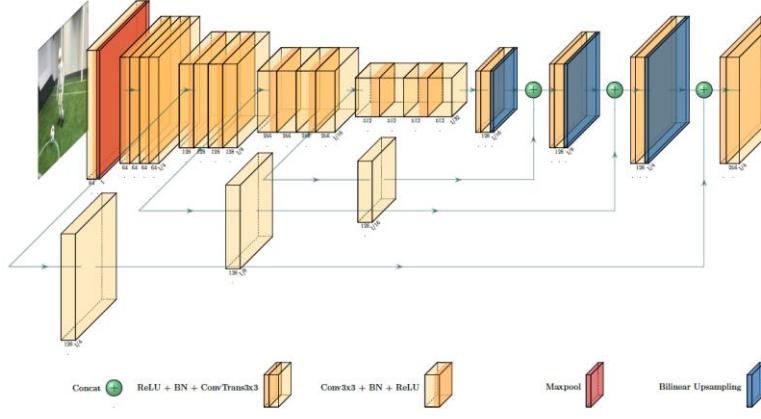
- Detektion von Ball, Torpfosten und Robotern
- U-förmige Netzwerkarchitektur
- Bildartige Ausgabe pro Klasse
  - Objektpositionen als Aktivitätsblobs
  - Semantische Segmentierung



- Detektiert Objekte, die für Menschen schwer zu erkennen sind
- Robust gegen Beleuchtungsänderungen

# SCHÄTZUNG DER ROBOTERPOSE

## ■ Aktivitätsblobs für Körperteile

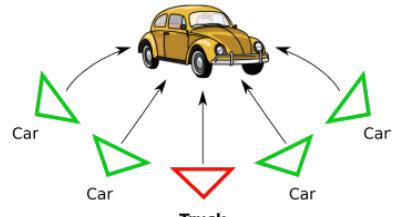
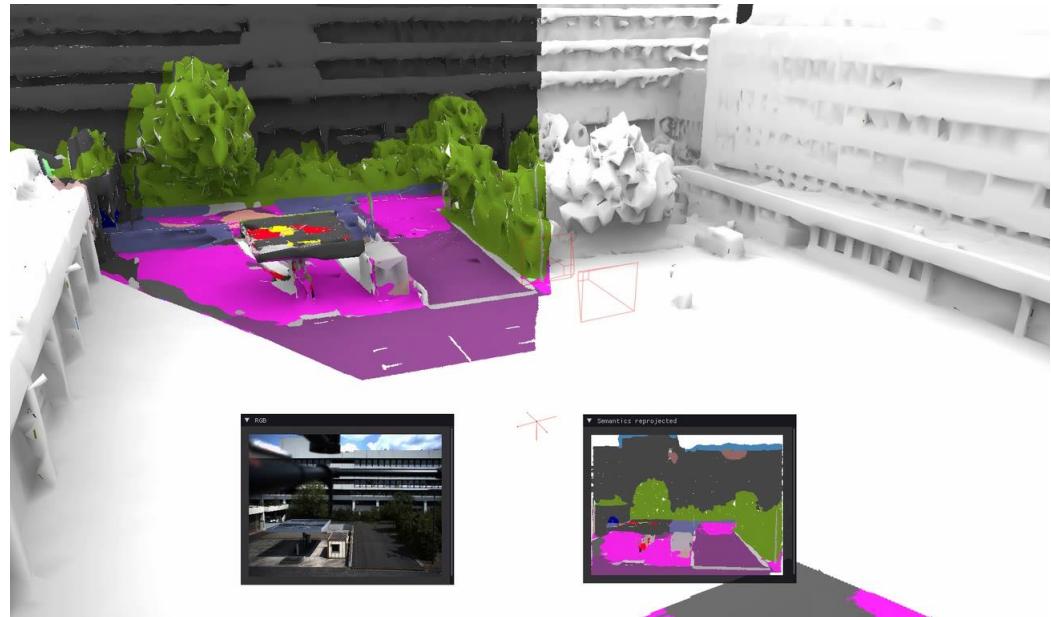


## ■ Part affinity fields zeigen benachbarte Körperteile an

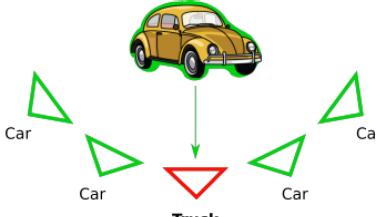


# SEMANTISCHE KARTIERUNG

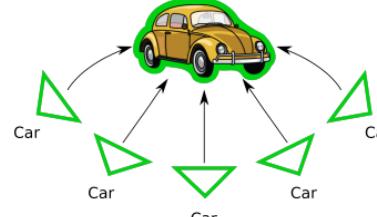
- Semantische Segmentierung von Bildern
- 3D-Kartierung durch Registrierung von Messungen eines 3D-Laserscanners
- Segmentierung wird als Textur für Mesh verwendet
- Fusion verschiedener Ansichten
- Label-Propagation



Initiale Fusion



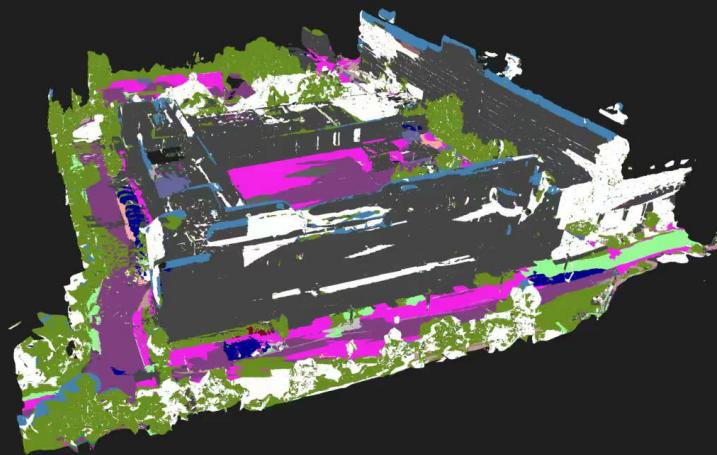
Rückführung



Verbesserte Interpretation

[Rosu et al., under review]

# SEMANTISCHE KARTE



[Rosu et al., under review]

# OBJEKTKATEGORISIERUNG BESSER ALS MENSCHEN



GT: horse cart

1: horse cart

2: minibus

3: oxcart

4: stretcher

5: half track



GT: birdhouse

1: birdhouse

2: sliding door

3: window screen

4: mailbox

5: pot



GT: forklift

1: forklift

2: garbage truck

3: tow truck

4: trailer truck

5: go-kart



GT: letter opener

1: drumstick

2: candle

3: wooden spoon

4: spatula

5: ladle



GT: coucal

1: coucal

2: indigo bunting

3: lorikeet

4: walking stick

5: custard apple



GT: komondor

1: komondor

2: patio

3: llama

4: mobile home

5: Old English sheepdog



GT: yellow lady's slipper

1: yellow lady's slipper

2: slug

3: hen-of-the-woods

4: stinkhorn

5: coral fungus



GT: spotlight

1: grand piano

2: folding chair

3: rocking chair

4: dining table

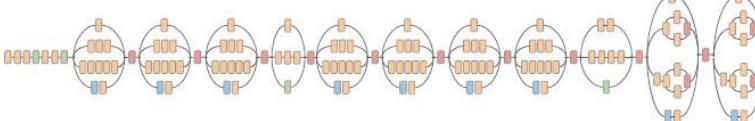
5: upright piano

# ERKENNUNG VON HAUTKREBS

## CNN-Training auf 129.450 Bildern

Skin lesion image

Deep convolutional neural network (Inception v3)



Training classes (757)

- Acral-lentiginous melanoma
- Amelanotic melanoma
- Lentigo melanoma
- ...
- Blue nevus
- Halo nevus
- Mongolian spot
- ...

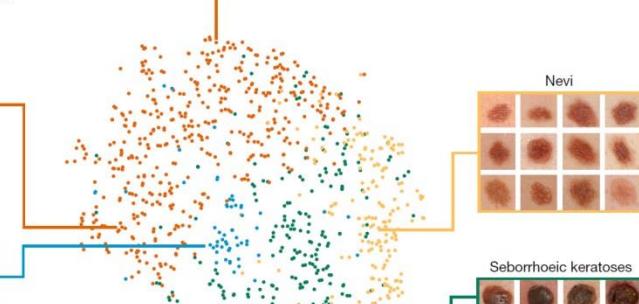
Inference classes (varies by task)

92% malignant melanocytic lesion

8% benign melanocytic lesion

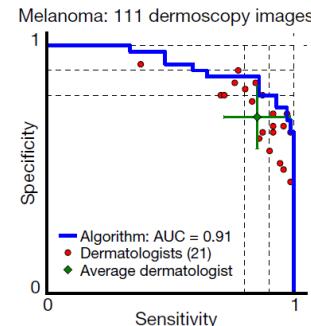
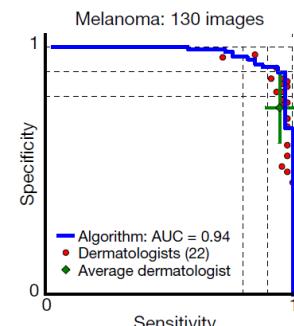
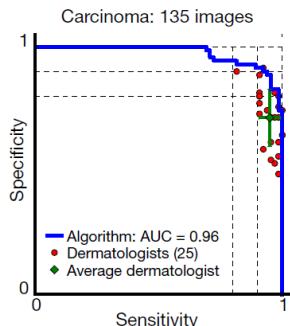
Melanocytic malignant

Squamous cell carcinomas



## Gelernte Merkmale

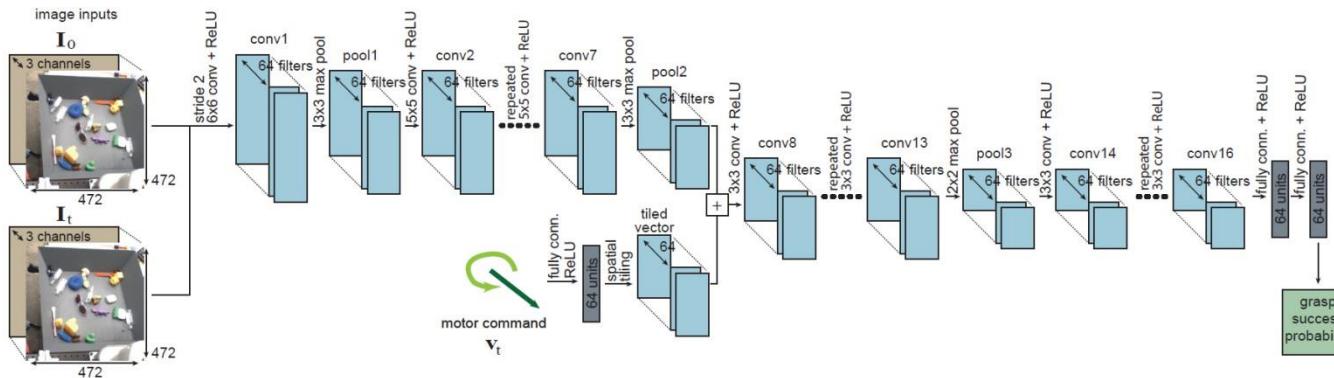
## Vergleich zu Dermatologen



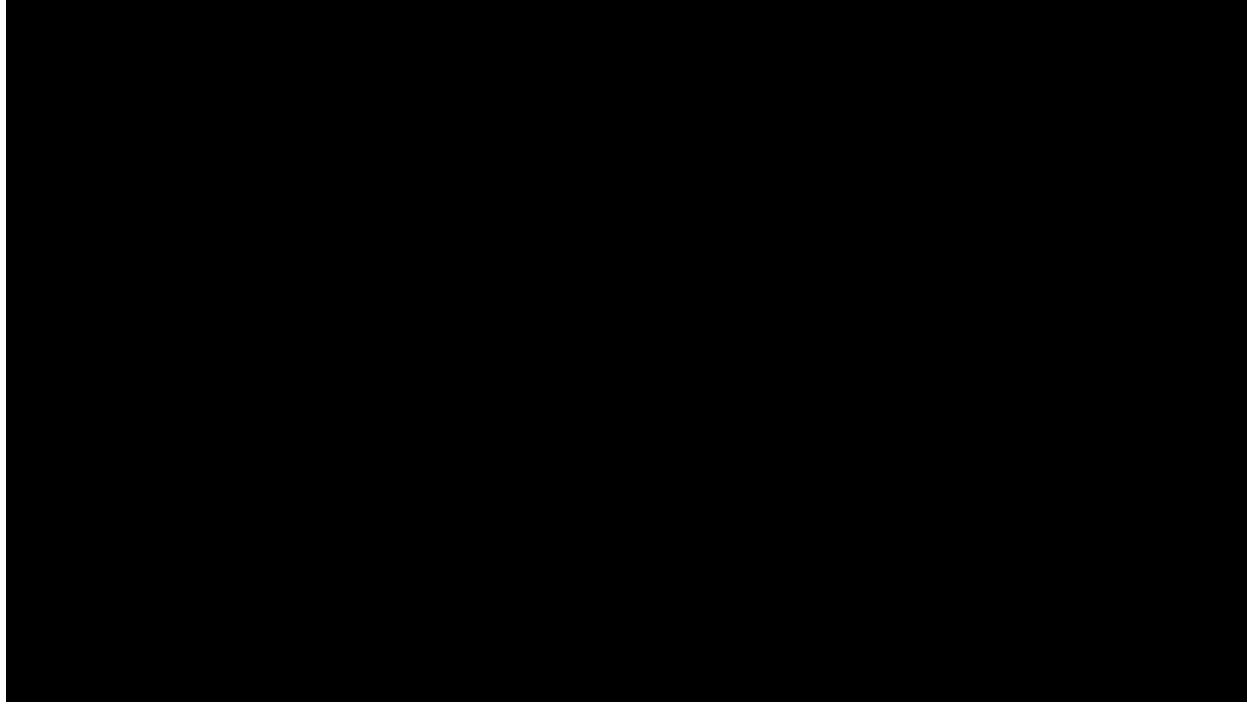
[Esteva et al. Nature 2017]

# GOOGLE: LERNEN DER KAMERA-GREIFER KOORDINATION FÜR GRIFF IN DIE KISTE

- Zahlreiche Objekte ungeordnet in Kiste
- Unkalibrierte Farbkamera
- Konvolutionales Neuronales Netz zur Vorhersage des Greiferfolgs



# NVIDIA: BB8 SELBSTFAHRENDES AUTO



- Deep learning - Netzwerk (DAVENET)
- Ende-zu-Ende-Training mit Beispielen von Menschen

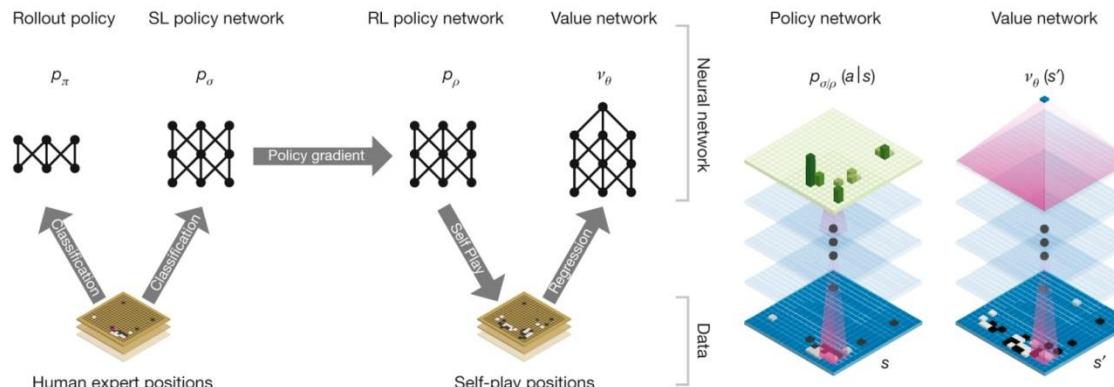
[Huang, GTC 2016]

# GOOGLE DEEPMINDS: ALPHAGO

■ Im März 2016 gewann AlphaGo 4-1 gegen den Top Go-Spieler Lee Sedol

■ Ansatz:

- Tiefe konvolutionale neuronale Netze, um Nutzen und Aktionen aus Spielsituation vorherzusagen
- Überwachtes Training mit Spielen von Menschen
- Verstärkendes Lernen durch Spiel gegen sich selbst
- Monte Carlo-Simulation mit Bewertung durch trainierte Netze

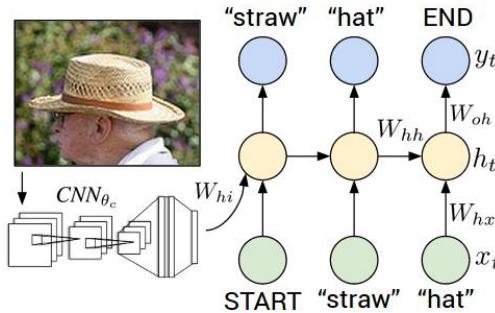


[Silver et al.: Nature 529, 484–489, 2016]

# GENERIEREN VON BILDBESCHREIBUNGEN

## ■ Rekurrentes neuronales Netz

[Karpathy, Fei-Fei 2015]



man in black shirt is playing guitar.

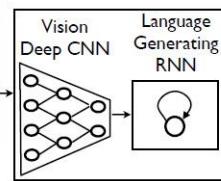


construction worker in orange safety vest is working on road.



two young girls are playing with lego toy.

# GENERIEREN VON BILDBESCHREIBUNGEN



A group of people shopping at an outdoor market.  
There are many vegetables at the fruit stand.



Two dogs play in the grass.



A skateboarder does a trick on a ramp.



A dog is jumping to catch a frisbee.



Two hockey players are fighting over the puck..



A little girl in a pink hat is blowing bubbles.



A red motorcycle parked on the side of the road.



A herd of elephants walking across a dry grass field.



A close up of a cat laying on a couch.

Describes without errors

Describes with minor errors

Somewhat related to the image

Unrelated to the image

[Vinyals et al. 2015]

# TRÄUMENDE TIEFE NETZWERKE



[Mordvintsev et al. 2015]

# ÜBERTRAGUNG DES MALSTILS

Original



Turner

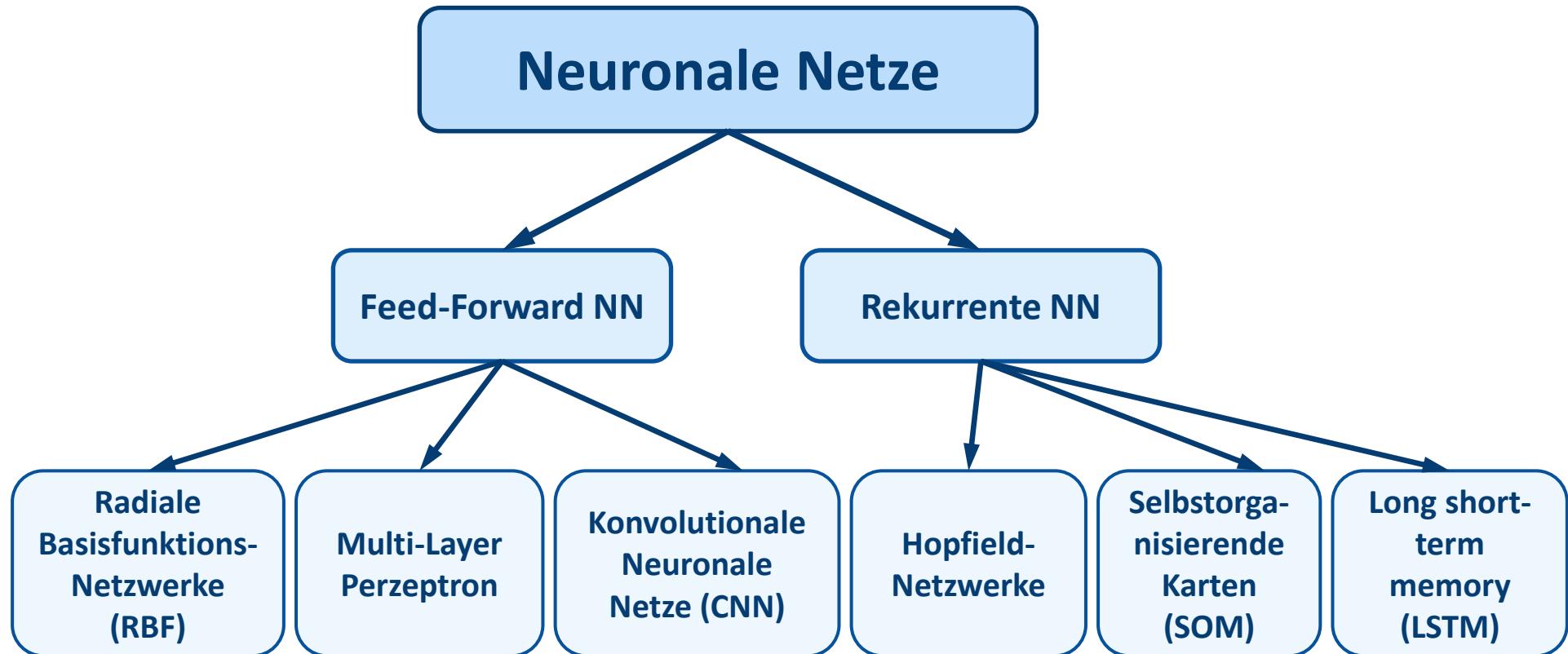


van Gogh



[Gatys et al. 2015]

# KÜNSTLICHE NEURONALE NETZE



# EVOLUTIONÄRE ALGORITHMEN

## ■ Motiviert durch die natürliche Evolution

- Hat angepasste Arten hervorgebracht
- Ist der Ursprung der Vielfalt allen Lebens

## ■ Prinzipien & Charakteristika

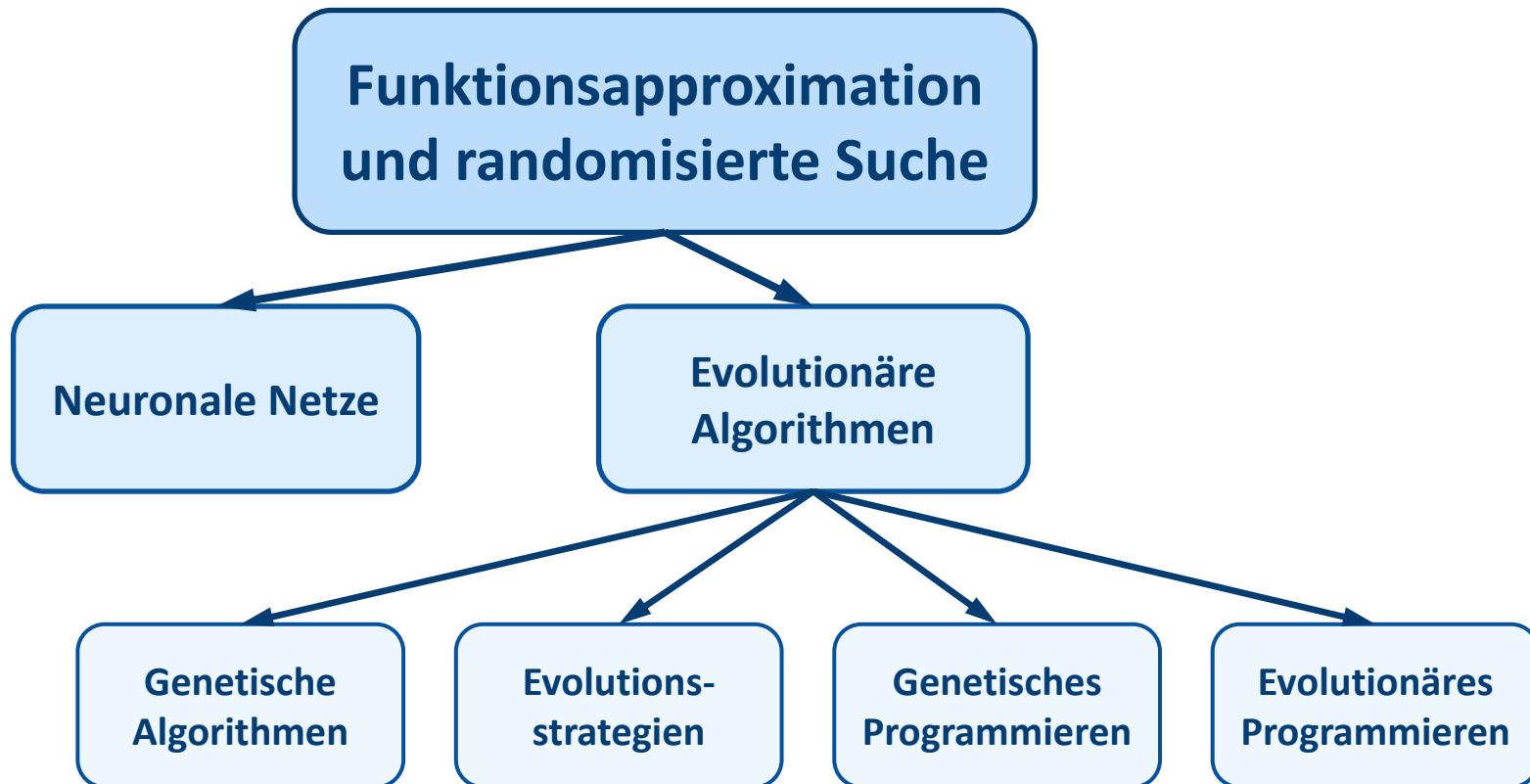
- Populationsbasiert
- Veränderung der Individuen mittels genetischer Operatoren (Rekombination und Mutation)
- Unterschiedliche Überlebens- und Reproduktionsrate (Selektion) gemäß Anpassungsgrad an die Umwelt
- Optimiererverfahren 0. Ordnung, d.h. ableitungsfrei

## ■ Anwendungsgebiete

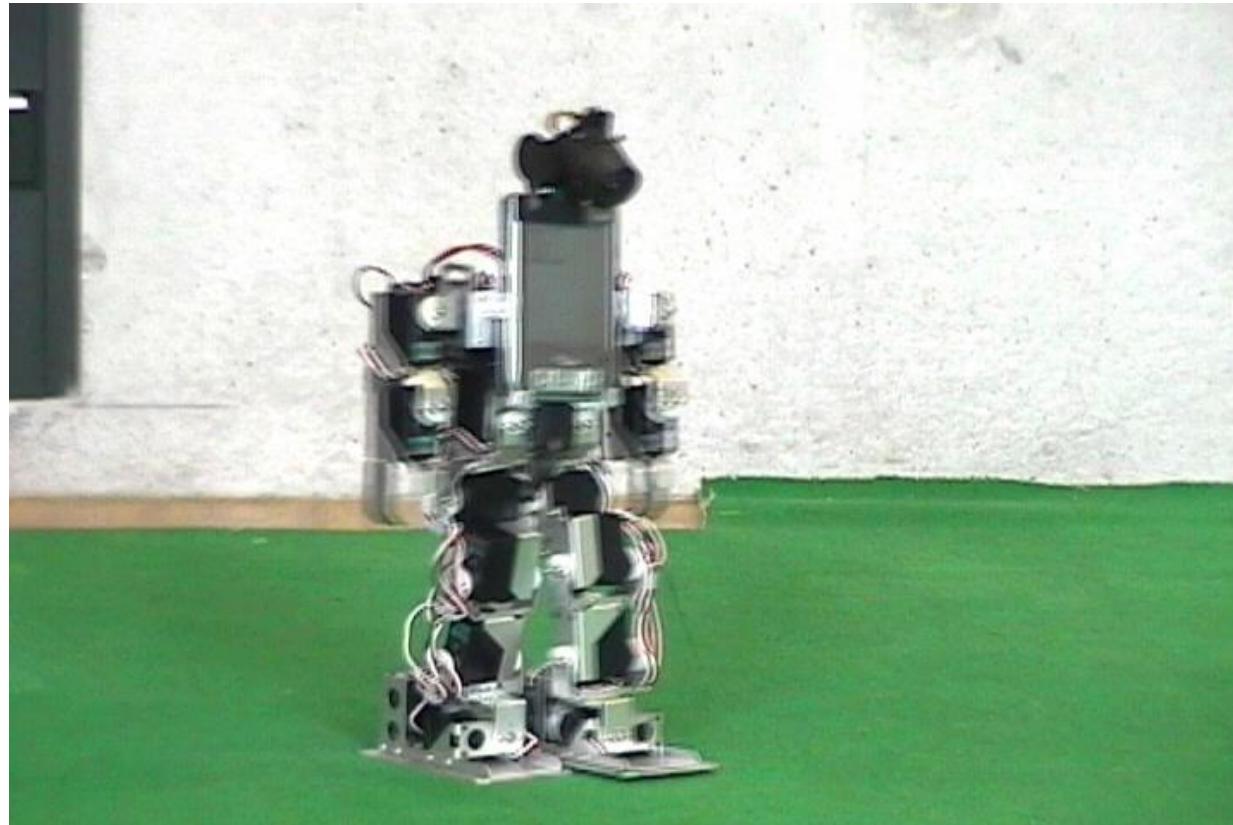
- Optimierung analytisch unbekannter Zusammenhänge
- Optimierung von Problemen mit nicht berechenbaren Ableitungen
- Optimierung von 'schweren' Problemen



# EVOLUTIONÄRE ALGORITHMEN



## BEISPIEL: OPTIMIERUNG DES GANGS



[Julio Pastrana, Masterarbeit, 2005]

# FUZZY-LOGIK

## ■ Motiviert durch Unschärfe in der realen Welt

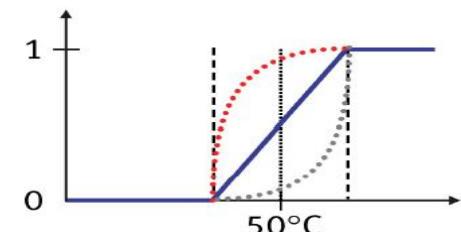
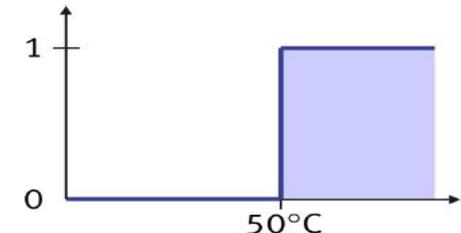
- Beobachtungen in der Umwelt lassen sich mit klassischen mathematischen Mitteln nur schwer beschreiben

## ■ Prinzipien & Charakteristika

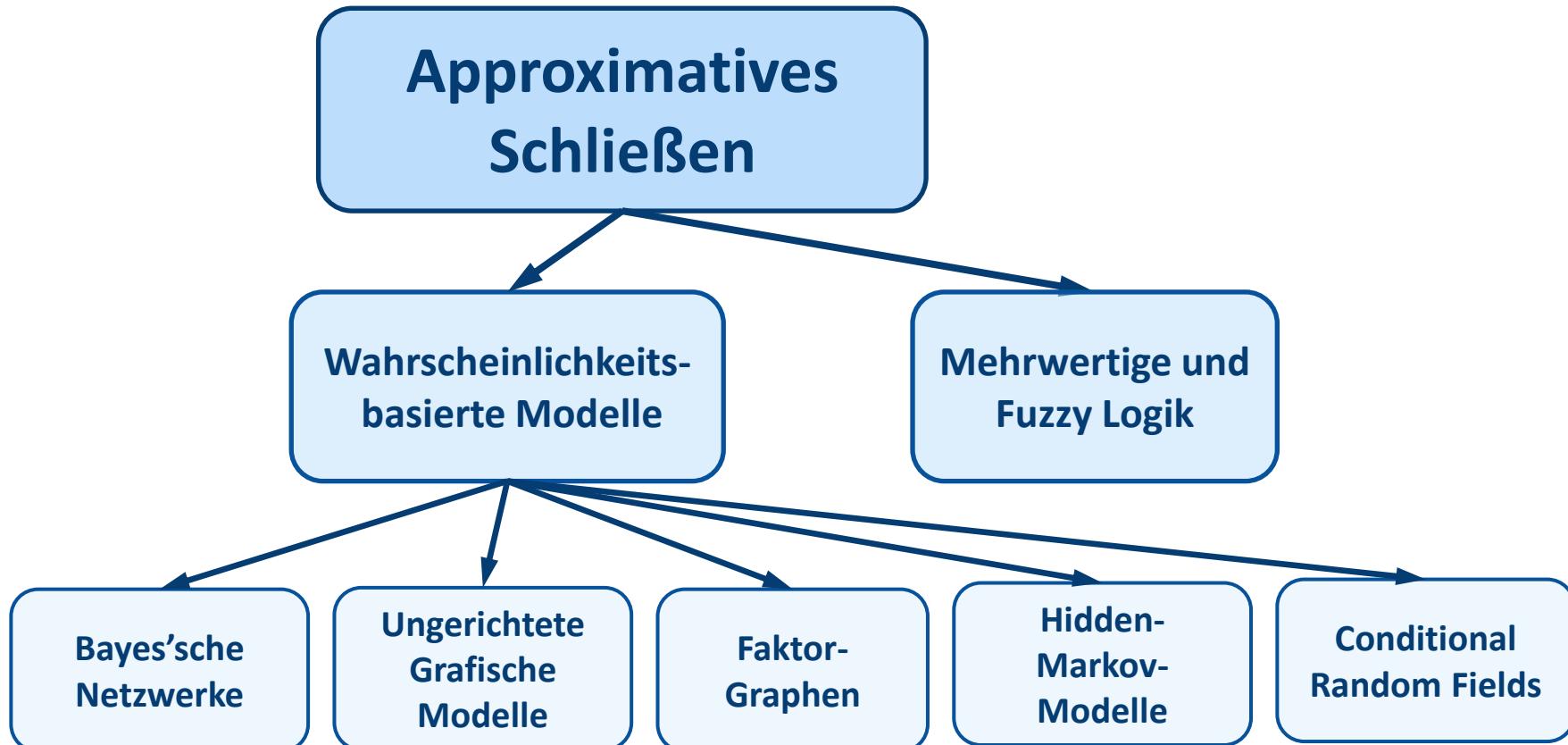
- Erweiterung der traditionellen Logik um graduelle Wahrheitswerte
- Beliebige Werte zwischen wahr und falsch
- => Erweiterung der logischen Operatoren notwendig
  - Konjunktion (Und) -> tNorm (z.B. minimum)
  - Disjunktion (Oder) -> tConorm (z.B. maximum)
  - Negation (Nicht) -> FuzzyNegation (z.B.  $N(x)=1-x$ )
- Verbale Beschreibung von Informationen
- Klassische Logik ist als Spezialfall enthalten

## ■ Anwendungsgebiete

- Steuerungs- und Regelungstechnik (Konsumerelektronik, Maschinenbau, Automobilbau, Medizintechnik, . . . )
- Bildverarbeitung, Sprachverarbeitung, . . .

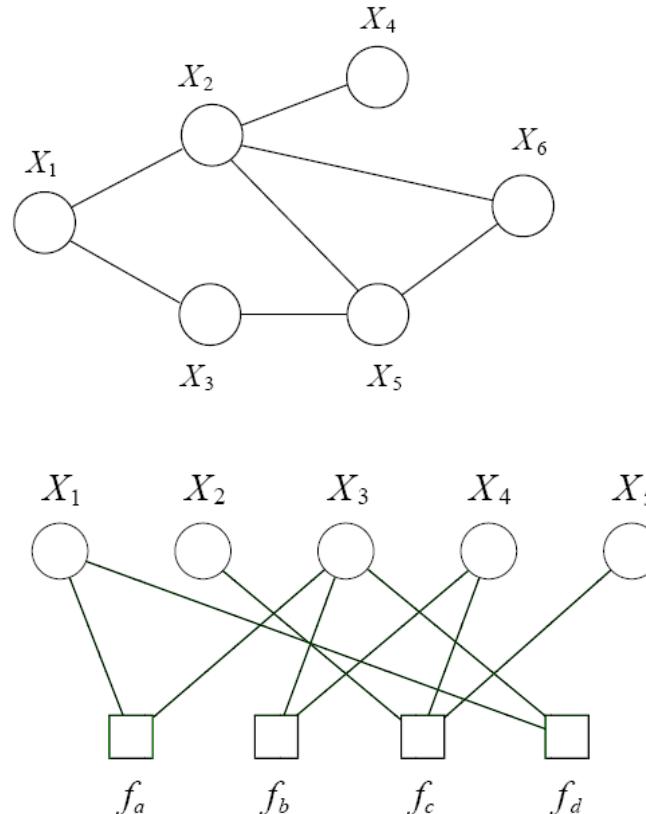
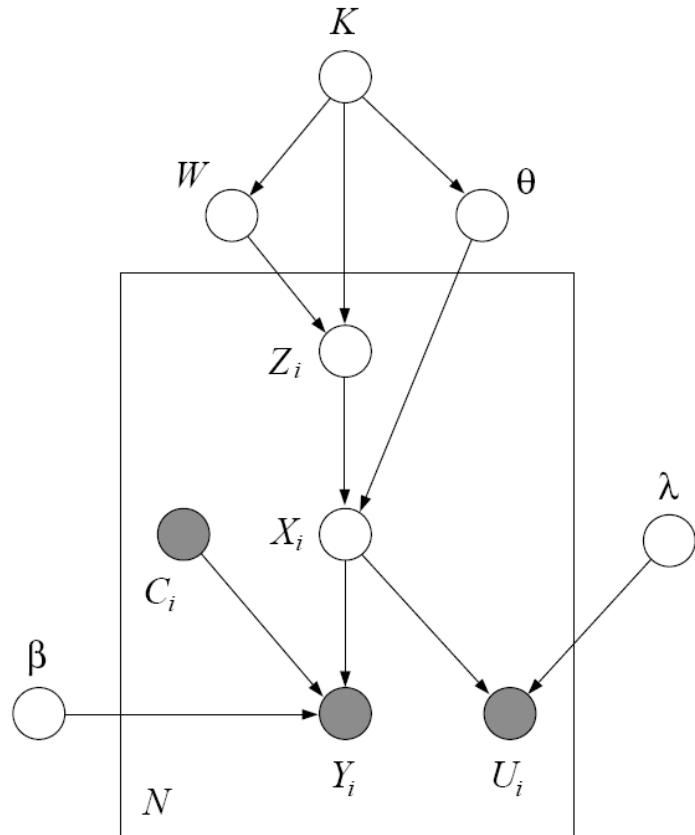


# APPROXIMATIVES SCHLIESSEN

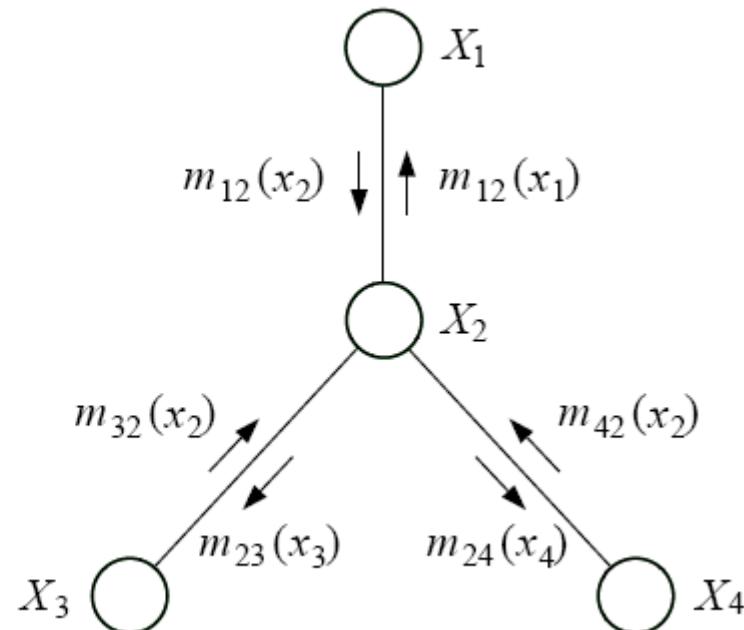
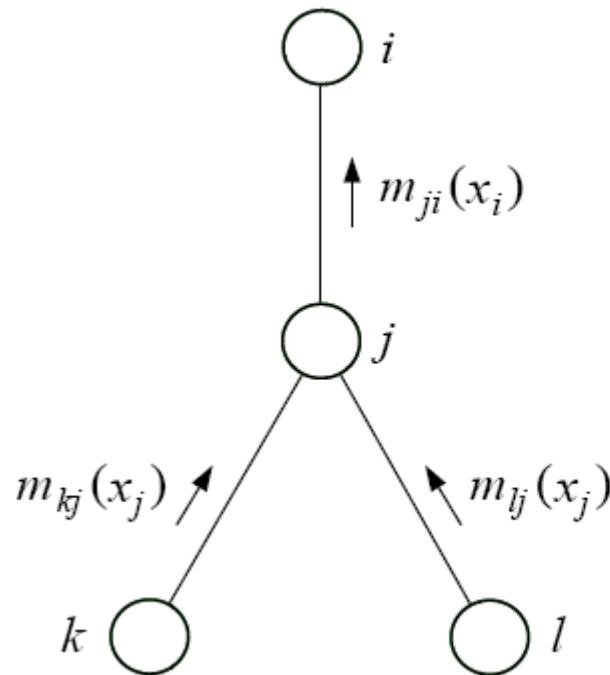


# GRAFISCHE MODELLE

## ■ Modellierung lokaler bedingter Wahrscheinlichkeiten



# INFERENCE DURCH NACHRICHTENAUSTAUSCH



# SCHWARMINTELLIGENZ

## Motiviert durch „Superorganismen“

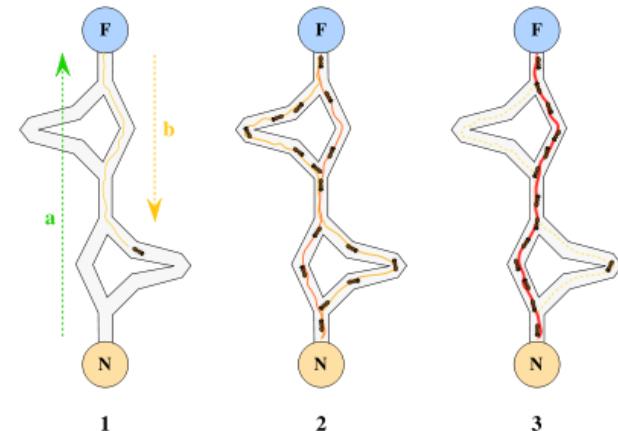
- Staatenbildende Insekten, Fisch- und Vogelschwärme sowie Herden
- Kommunikation und spezifische Handlungen von Individuen können intelligente Verhaltensweisen des betreffenden „Superorganismus“, d.h. der sozialen Gemeinschaft, hervorrufen

## Prinzipien & Charakteristika

- Selbstorganisation
- Keine zentrale Kontrolle
- Lokale Interaktion
- Teilweise Aufgabe der Autonomie

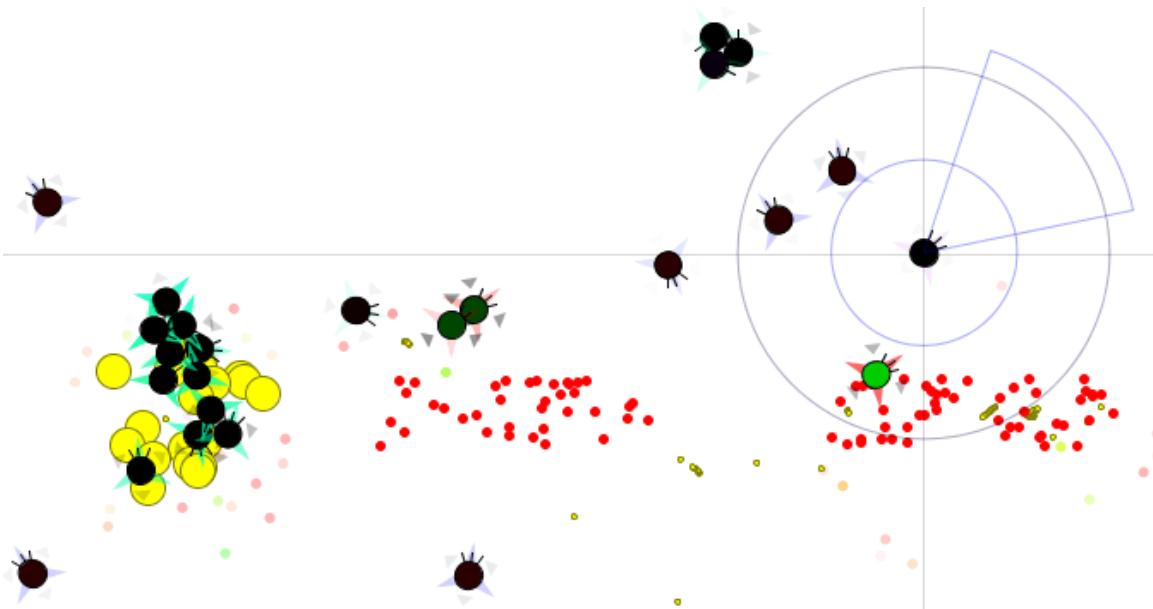
## Anwendungsgebiete

- Kombinatorische Optimierung (z.B. kürzeste Wege)
- Kollektive Entscheidungsfindung (z.B. Particle Swarm Optimization)
- Multi-Agenten-Systeme (z.B. RoboCup-Fußball)



# BEISPIEL: VERTEILTE, EVOLUTIONÄRE OPTIMIERUNG VON SCHWÄRMEN

[David Kriesel, Diplomarbeit, 2009]



# ARTIFICIAL LIFE

## ■ Untersuchung einfacher künstlicher Lebensformen

- Realisierung von Eigenschaften von Lebewesen

- Reproduktion

- Evolution

- Informationsaustausch

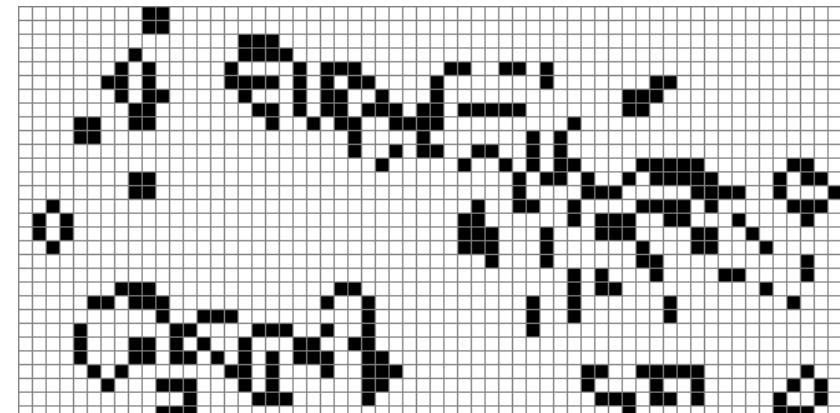
- Entscheidungsfreiheit

- Beispiele:

- Game-of-Life (Conway)

- Computerviren

- Synthetische Biologie



# KÜNSTLICHE IMMUNNETZWERKE

Inspiriert vom Immunsystem der Wirbeltiere

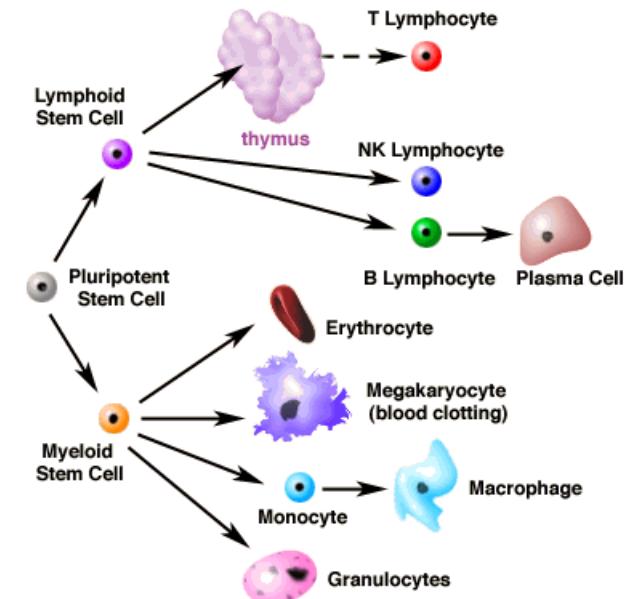
- Immunsystem erlaubt Überleben in feindlicher Umwelt

## Prinzipien & Charakteristika

- Mustererkennung
- Vielfalt
- Selbst/Fremd – Unterscheidung
- Autonomie
- Lernen und Gedächtnis

## Anwendungen

- Anomalie-Erkennung
- Lernende Virenscanner



# COMPUTATIONAL INTELLIGENCE VS. SOFT COMPUTING

- “Soft computing differs from conventional (hard) computing in that, unlike hard computing, it is tolerant of imprecision, uncertainty and partial truth.
- In effect, the role model for soft computing is the human mind. The guiding principle of soft computing is: Exploit the tolerance for imprecision, uncertainty and partial truth to achieve tractability, robustness and low solution cost.
- The principal constituents of soft computing (SC) are
  - Fuzzy logic (FL),
  - Neural network theory (NN) and
  - Probabilistic reasoning (PR),  
with the latter subsuming
    - belief networks, genetic algorithms,
    - chaos theory and
    - parts of learning theory. . . .



Lotfi Zadeh

## COMPUTATIONAL INTELLIGENCE VS. SOFT COMPUTING II

- ... What is important to note is that SC is not a melange of FL, NN and PR.
  - Rather, it is a partnership in which each of the partners contributes a distinct methodology for addressing problems in its domain.
  - In this perspective, the principal contributions of FL, NN and PR are **complementary** rather than competitive." [Lotfi Zadeh]
- 
- Entspricht der CI bzgl. der betrachteten Teilgebiete
  - Unterschied liegt in der Betonung synergistischer Effekte durch Fusion von zwei oder mehr Modellen / Techniken

# Übungen

- Tutoren: Jacobus Conradi, Peer Schütt und Moritz Zappel

	Mo	Di	Mi	Do	Fr
8(c.t.) – 10		<b>Übung</b> Schütt			
10 (c.t.) – 12	<b>Übung</b> Zappel				
12 (c.t.) – 14	<b>Übung</b> Zappel	<b>Übung</b> Schütt			
14 (c.t.) – 16	<b>Übung</b> Conradi	<b>Übung</b> Conradi		<b>Vorlesung</b>	

Montags 10 (c.t.) – 12, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/zap-reu-x2t>

Montags 12 (c.t.) – 14, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/zap-rwn-ren>

Montags 14 (c.t.) – 16, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/con-xyd-py7>

Dienstags 8 (c.t.) – 10, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/sch-wm2-77x> Code 674947

Dienstags 12 (c.t.) – 14, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/sch-4p3-f2p> Code 002455

Dienstags 14 (c.t.) – 16, <https://bbbzentral.informatik.uni-bonn.de/b/con-xyd-py7>

- Anmeldung bis 26.4. via **TVS** <https://puma.cs.uni-bonn.de>
- Erste Übung am 27./28. April