

Vorlesung Wissen 1

Grundlagen adaptiver Wissenssysteme

Prof. Dr. Thomas Gabel

Frankfurt University of Applied Sciences

Faculty of Computer Science and Engineering

tgabel@fb2.fra-uas.de

Fachbereich 2 Informatik und Ingenieurwissenschaften

Organisatorisches (1)

Kontaktinformationen

- Prof. Dr. Thomas Gabel
- Gebäude 1, Raum 202
- tgabel@fb2.fra-uas.de
- Aktuelles unter: <http://www.tgabel.de> und <https://www.frankfurt-university.de/tgabel/>



Veranstaltungsinformationen

- Vorlesung: dienstags um 10.00 Uhr
- Übung: dienstags um 11.45 Uhr
 - theoretische Aufgaben, die im Vorfeld bearbeitet werden sollten
 - zu Beginn des Semesters: teils VL in der Übungszeit, später gleich viel Übungszeit
- campUAS-Kurs: Folien und weitere Unterlagen
 - Einschreibeschlüssel: &zHnJi9
- Projekt und Prüfung: mündliche Prüfung zum Semesterende (ca. 20 Minuten)
 - in Präsenz

Organisatorisches (2)

Projekt und Prüfung

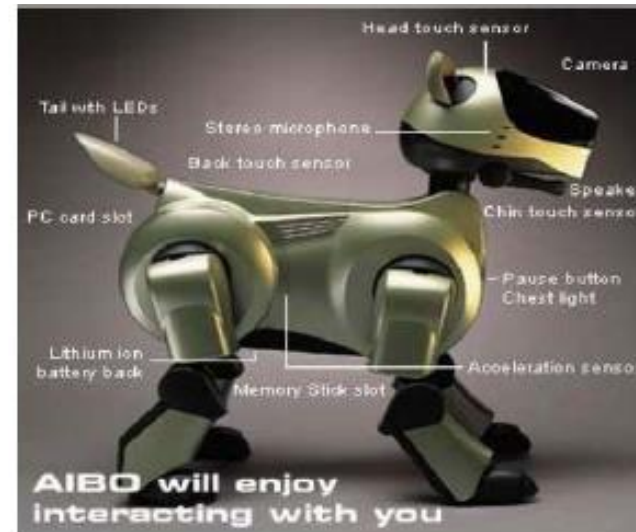
- mündliche Prüfung zum Semesterende (ca. 20 Minuten pro Person)
- Die Übungen betrachten **theoretische** Aufgaben.
 - die man auf einem Blatt Papier lösen kann
- Zusätzlich erfolgt in ca. 2-3 Wochen die Ausgabe einer Liste von Projektvorschlägen, für die gilt:
 - *Vorschläge für ein von Ihnen **im Laufe des Semesters umzusetzendes Projekt**, in dessen Rahmen Sie einen der in der Vorlesung besprochenen Algorithmen implementieren und praktisch anwenden werden*
 - *Außerdem werden Sie ihr Projekt mit einer **Live-Demo** und **kurzen Präsentation** im Rahmen der mündlichen Prüfung zum Ende des Semesters präsentieren.*
 - *Die Projekte werden mittels Abstimmung in campUAS nach einer **FCFS-Strategie** vergeben und dürfen **von Ihnen allein** oder in **Teams von bis zu zwei Personen** bearbeitet werden.*
 - *Zusätzlich zu den von mir vorgeschlagenen Projekten dürfen Sie Ihrerseits auch gern **eigenen Projektideen** vorschlagen und nach Rücksprache mit mir als “Ihr Projekt” verwenden.*
 - *Bitte beachten Sie, dass Sie sich bis spätestens **vier Wochen vor Semesterende bzw. vor dem Prüfungstermin** für ein Projektthema entschieden haben müssen.*

Vorlesungseinheit 1

Wissen, Lernen, Adaptivität



Motivation: Intelligente Systeme (1)



Video

1999: Sony kündigt den Verkaufstart eines vierbeinigen Unterhaltungsroboters mit Namen AIBO ERS-110 (Preis 2.500 \$) an: "AIBO is an autonomous robot that acts in response to external stimulation and its own judgment. AIBO is capable of interacting and co-existing with people as a new form of robotic entertainment."

Motivation: Intelligente Systeme (2)



RoboCup@Home

- “The RoboCup@Home league aims to develop service and assistive robot technology with high relevance for future personal domestic applications.”
- größter internationaler, jährlich stattfindender Wettbewerb für autonome Service-Roboter
- Teil der RoboCup-Initiative
- verschiedene Benchmark-Tests, mit denen die Fähigkeiten der Roboter bewertet werden
- realistische nicht-standardisierte häusliche Umgebung

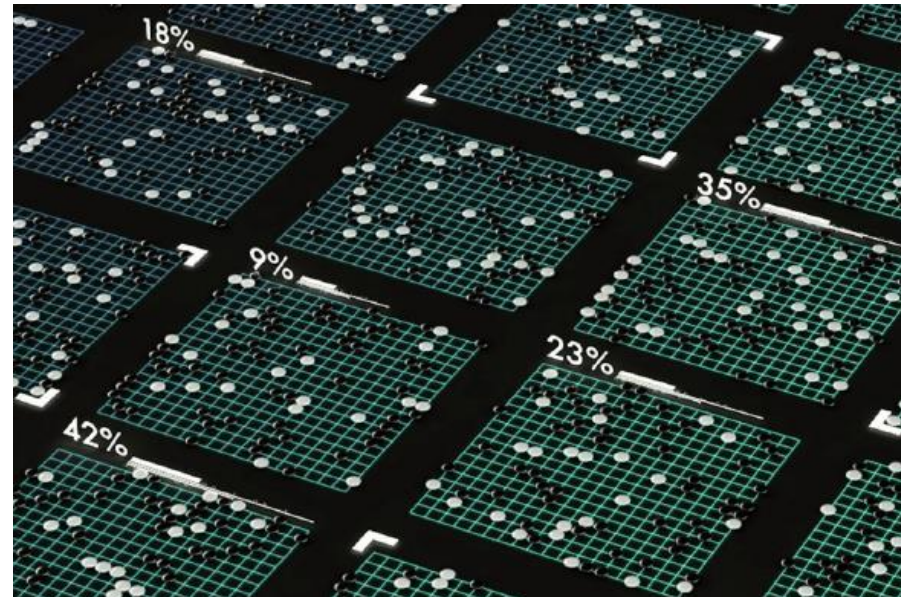


Video

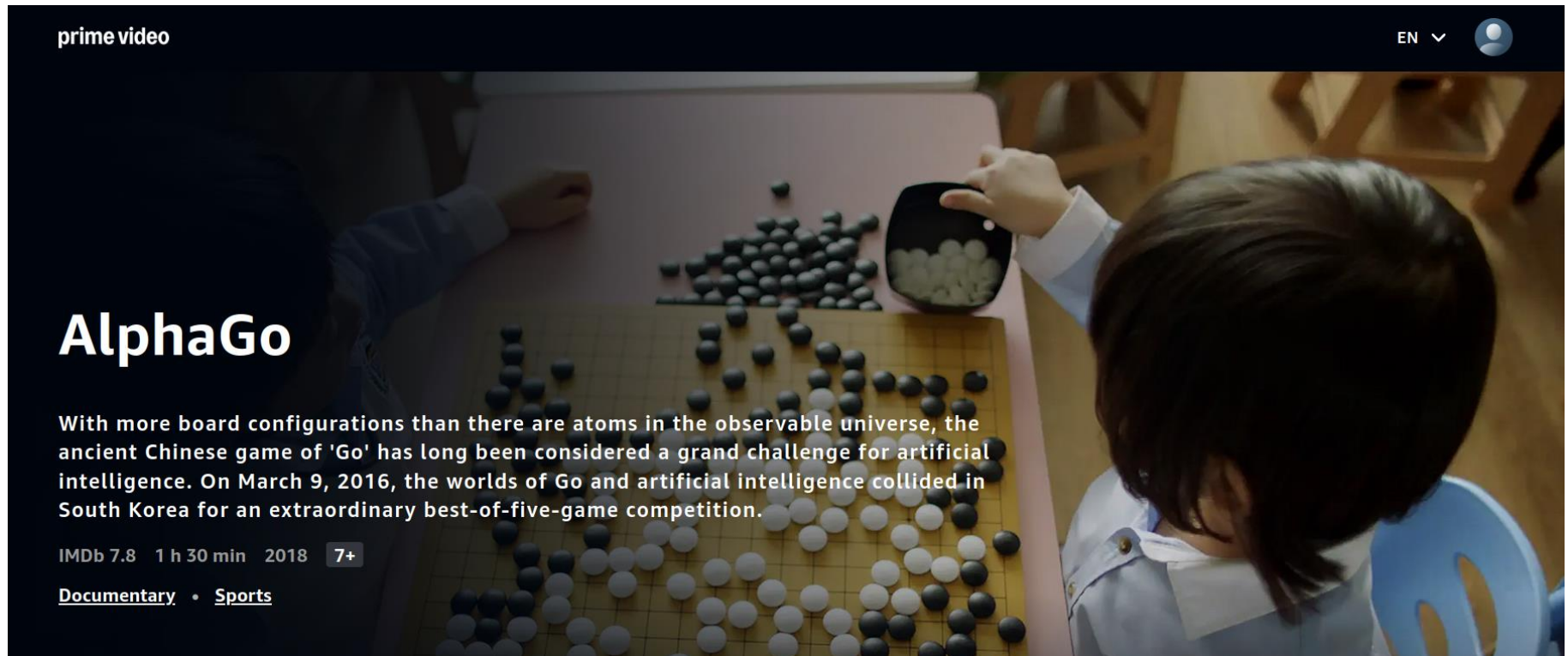
Motivation: Intelligente Systeme (3)

AlphaGo by Google Deepmind

- In March 2016, AlphaGo, an AI-based system by Google Deepmind defeated, for the first time, a world-champion in the classical board game Go.
- This was a success that was believed to be achievable not within the next decade.
- „The computer’s defeat of one of the world’s greatest Go players speaks to the potential for artificial-intelligence systems with real instincts. “
- Crucial to AlphaGo’s success is a combination of reinforcement learning (RL), deep neural networks (DNN) and classical tree-based search strategies (MCTS).
 - Jene 3 Techniken werden im Rahmen des Studiengangs Allgemeine Informatik in verschiedenen Veranstaltungen thematisiert (RL@GAWS, DNN@ML, MCTS@KI).
 - 2017: AlphaZero als Nachfolger; danach weitere „Spin-Offs“ (2019: AlphaStar, 2020: MuZero, 2021: AlphaFold2, 2022: DeepNash)



„Hausaufgabe“: Film schauen!



<https://www.primevideo.com/detail/AlphaGo/0KNQHKKDAOE8OCYKQS9WSSDYN0>

oder

<https://www.youtube.com/watch?v=WXuK6gekU1Y>

Zutaten für ein intelligentes System

Fähigkeit ...

- zur **Suche** nach einer Problemlösung in einer vorgegebenen Umgebung
- zur (aktiven) **Wahrnehmung** der Umwelt
- eine interne **Repräsentation für das Wissen** über die Umwelt aufzubauen, zu warten und auszunutzen
- **Schlussfolgerungen** zu ziehen und so neues Wissen über die Umgebung zu gewinnen
- zur **Planung** einer Folge von Aktionen (um ein bestimmtes Ziel zu erreichen)
- zur Ausführung von Aktionen
- zum **Handeln unter Ungewissheit** bzw. unter verfälschten Informationen
- zur Adaptivität, d.h. neues Wissen durch **Lernen** zu gewinnen



Intelligente Systeme sind adaptiv und wissensbasiert.

Überblick über die Vorlesung

1. Wissen, Lernen, Adaptivität
2. Optimierendes Lernen und dynamisches Programmieren
3. Markov'sche Entscheidungsprozesse
4. Das Bellman-Prinzip
5. Das Wertiterationsverfahren
6. Das Strategieiterationsverfahren
7. Zeitliche Differenz-Methoden
8. Modellfreies Lernen
9. Q-Lernen
10. Repräsentation der Wertfunktion
11. Reinforcement Learning mit approximierter Wertfunktion
12. Anwendungsbeispiele
13. Fortgeschrittene Methoden des Reinforcement Learning (Übergang FAAWS / Wissen 2)



Begriff des Lernens

Begriff des **Lernens** wird in den unterschiedlichsten Disziplinen mit unterschiedlichen Bedeutungen und Schattierungen verwendet.

- Pädagogik
- Psychologie
- Kognitionswissenschaften
- Neurophysiologie
- künstliche Intelligenz

Mögliche „Schwerpunktbedeutungen“:

- Mensch als Schüler
- Verarbeitung von Erfahrungen
- Betrachtung höherer intellektueller Fähigkeiten
- „mehr“ als das reine Auswendiglernen
- Aufbauen adäquater Wissensstrukturen
- Bezug zu einem konkreten Lernziel
- voraussichtliche spätere Anwendung des (gelernten) Wissens

Begriff des Lernens aus Sicht der Pädagogik

Lernen charakterisiert den Prozess des Aufwachsens (und das gesamte Leben)

Baby lernt ...

- „Mama“ zu sagen
- nach Bausteine zu greifen
- nicht mehr alles direkt in den Mund zu stecken
- einen Turm aus den Bausteinen zu bauen

➔ **Lernen ist eine Kerneigenschaft und eine Voraussetzung für intelligentes Verhalten.**



Begriff des Lernens in der Psychologie

Lernen bezieht sich auf die

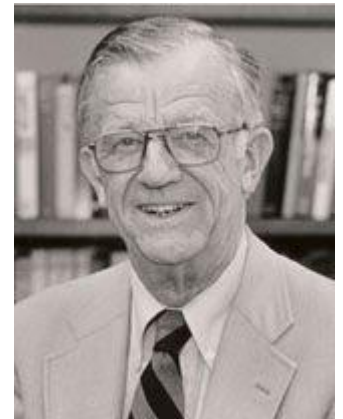
- Veränderungen im **Verhalten** oder
- Veränderungen im **Verhaltenspotenzial**

eines Organismus hinsichtlich einer **bestimmten Situation**, die auf wiederholte Erfahrungen des Organismus in dieser Situation zurückgeht.

Voraussetzung ist dabei, dass diese Verhaltensänderung nicht auf

- angeborene Reaktionstendenzen,
- Reifung oder
- vorübergehende Zustände (wie Müdigkeit, Trunkenheit o.ä.)

zurückgeht.



[G. Bower, E. Hilgard: Theorien des Lernens, 1983]

Begriff des Lernens in der Neurophysiologie

(...) der Prozess des Herausbildens relativ überdauernder **neuronaler Leitungsbögen** durch simultane Aktivität der den Bogen konsultierenden neuronalen Elemente, so dass mit fortschreitender Veränderung der Zellstrukturen eine **schnellere Aktivierung** des gesamten Bogens dann erfolgen kann, wenn nur eines der neuronalen Elemente gereizt (aktiviert) wird.

[Bugelski. The Psychology of Learning. 1956]



Begriff des Lernens in der künstlichen Intelligenz

Fakt: Lernen ist ein substanzielles Merkmal von Intelligenz.

Ziel: Übertragung der Fähigkeit zum Lernen auf **künstliche Systeme**

Praktische Vorteile:

- vereinfachte Programmierung: Training vs. Kodieren
- Ausnutzen vorliegender Erfahrungen (z.B. Datenbanken, Nutzerdaten etc.)
- Entdecken neuer Zusammenhänge in großen Datenbeständen
- vereinfachte Akquisition von Zusammenhängen in großen Datenbeständen
- automatische Anpassung an sich verändernde Bedingungen
 - Benutzer, technische Prozesse, Wissens- und Datenbestände, Rechnerumgebung, Aufgabenstellung, ...
- Korrektur von Fehlern

Begriff des Lernens in der künstlichen Intelligenz

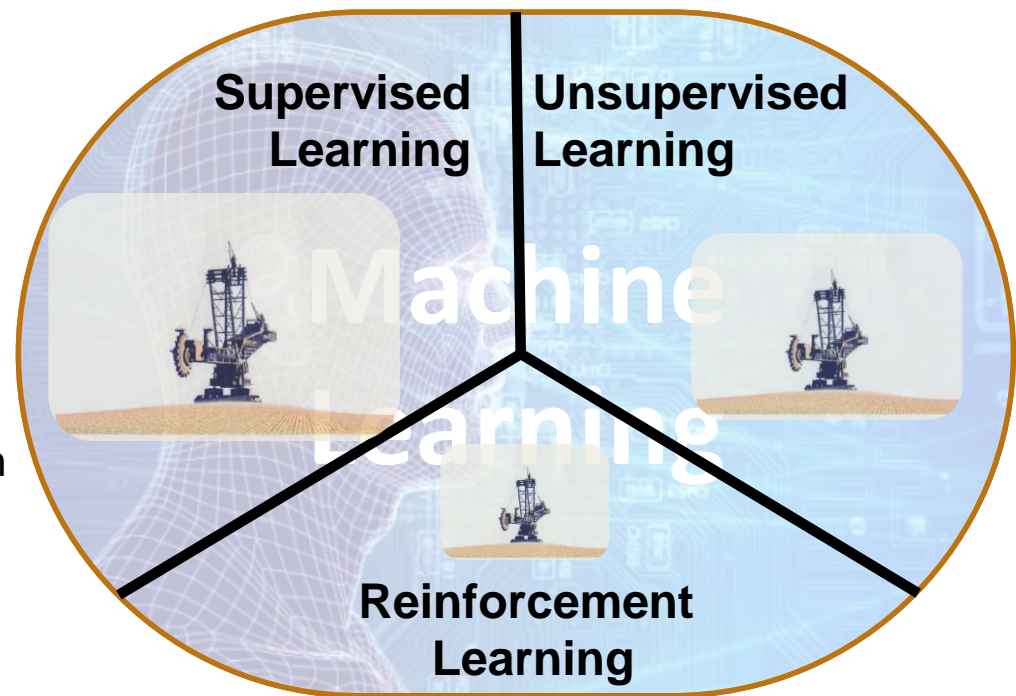
Die **künstliche Intelligenz (KI)** zielt darauf ab,

- Agenten zu konstruieren, die sich intelligent verhalten, und
- die zugrundeliegenden Prozesse und Mechanismen zu verstehen.

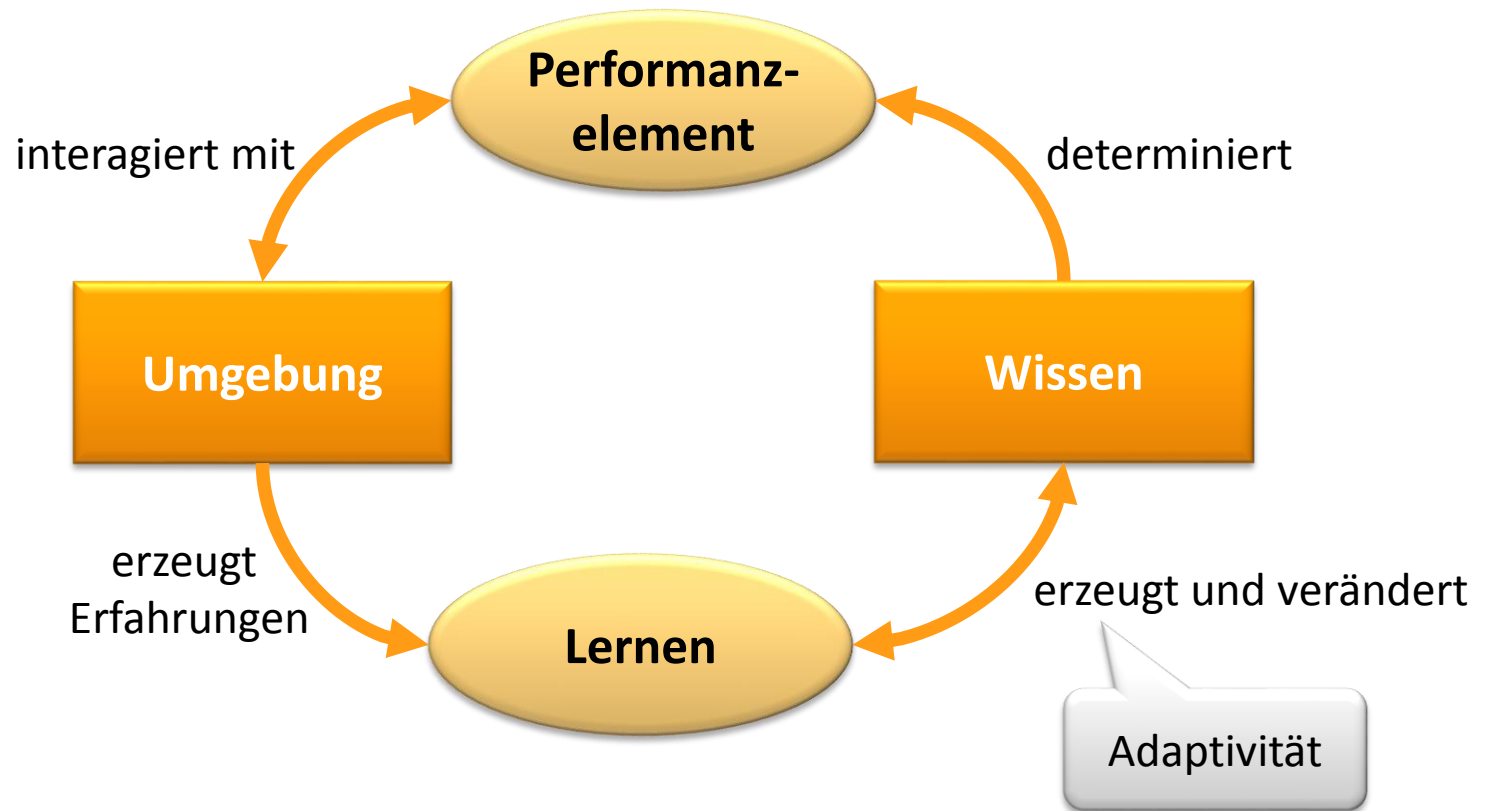
Maschinelles Lernen (ML) ist eines der wichtigsten Teilgebiete der KI.

Unterarten / Kategorien des Lernens:

- Lernen von einem Lehrer
 - ➔ überwachtes Lernen
 - ➔ Supervised Learning
- Lernen aus Erfahrungen
 - ➔ optimierendes Lernen
 - ➔ Reinforcement Learning
- Lernen (Erkennung) von Strukturen in empirischen Datenmengen
 - ➔ unüberwachtes Lernen
 - ➔ Unsupervised Learning
- *Meta-Lernen: Lernen zu Lernen*



Allgemeines Lernmodell



Kategorien des maschinellen Lernens (1)



Unüberwachtes Lernen

- Daten strukturieren
- Clustering

Überwachtes Lernen

- Lernen aus Beispielen
- gegebene Ein- / Ausgabe-Beziehungen

Reinforcement Learning

- selbständiges Lernen
- biologisch motiviert
- auf Basis von Versuch und Irrtum

Begriffsbildung

Definition: Attribute, die bestimmte Eigenschaften einer Situation oder eines Objektes bezeichnen, werden **Merkmale** genannt.

- Man unterscheidet reellwertige und diskrete Merkmale.
- Beispiele
 - Temperatur am heutigen Tag → reellwertig
 - durchschnittlicher Anstieg der Temperatur an den letzten 10 Tagen → reellwertig
 - Grauwert eines Pixels → reellwertig
 - Glocke läutet → binär, diskret
 - Monat → diskret, 12 mögliche Werte
 - Geschlecht einer Person → diskret

Definition: Unter einem **Eingabemuster** versteht man einen Vektor von Merkmalen, der eine Situation / ein Objekt beschreibt.

- Im überwachten Lernen gehört zu jedem Eingabemuster zusätzlich der gewünschte / tatsächliche **Ausgabewert / Zielwert**. Zusammen spricht man von einem **Trainingsmuster**.
- Beispiel: Im Falle einer Klassifikationsaufgabe die Klassenzugehörigkeit.

Definition: Die Menge aller Trainingsmuster nennt man **Trainingsdatenmenge**.

Kategorien des maschinellen Lernens (2)

Überwachtes Lernen
(Supervised Learning)

Voraussetzung: Zusammenhänge
liegen in Form von bekannter
Ein-/Ausgabebeziehungen vor

→ **Trainingsbeispiele**

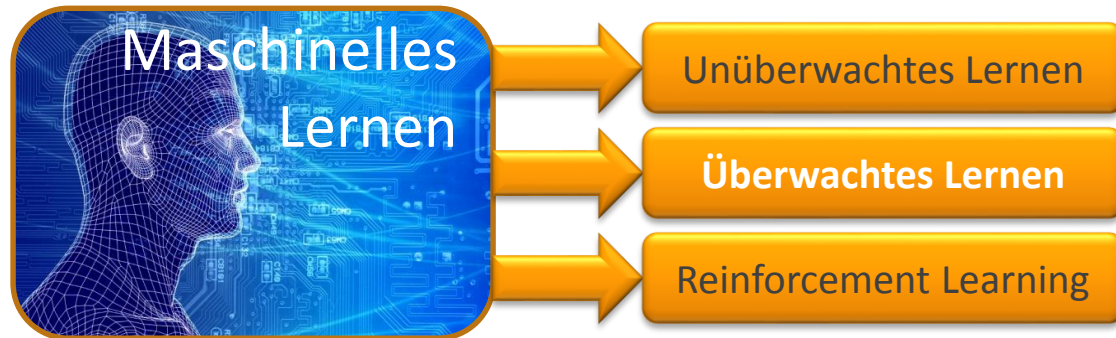
Ziel: Aus wenigen Beispielen soll auf einen “vernünftigen” Zusammenhang geschlossen werden.

→ **Modellbildung und Generalisierung**

Anwendungen:

Mustererkennung, Klassifikation, Prognose ...

- Klassifikation von handgeschriebenen Ziffern, Spam-eMails oder Kundenverhalten
- Prognose durch Lernen aus vergangenen Ereignissen (z.B. Finanzmärkte, Wechselkurse)
- autonomes Autofahren durch Beobachten eines Lehrers



Überwachtes Lernen eines Modells (1)

Formalisierung

- Gegeben ist eine Trainingsdatenmenge $\rightarrow D = \{(x_1, t_1), \dots, (x_N, t_N)\}$
- Merkmalsvektor der Trainingsmuster $\rightarrow x_i \in \mathbb{R}^n$
- Zielwerte des Trainingsmuster $\rightarrow t_i \in \mathbb{R}^m$

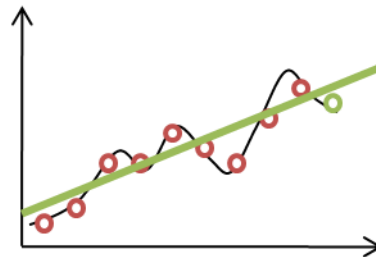
Ziel des Lernvorgangs:

- Lerne ein **Modell** in Form einer parametrisierten Funktion F_P , die die Eingabemuster auf Ausgaben abbildet.
- Lernen bedeutet dann, einen Satz von Parametern P zu finden, so dass für alle Trainingsmuster gilt:

$$F_P(x_i) \approx t_i$$

Beispiel:

- Finde w_1 und w_2 , so dass
- $$F_P(x_i) = w_1 x_i + w_2 \approx t_i$$



Kategorien des maschinellen Lernens (3)

Unüberwachtes Lernen (Unsupervised Learning)

- Trainingsdaten bestehen aus einer Menge von Beschreibungen von Situationen / Objekten

- Lernaufgabe lautet:

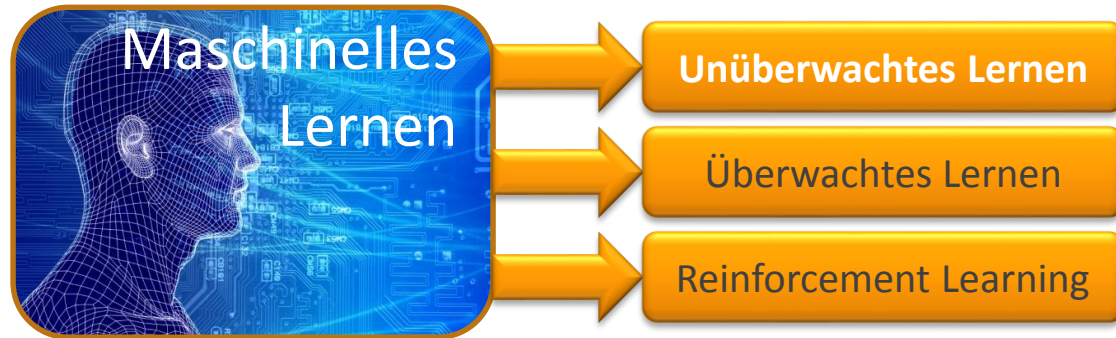
Lerne, was

- typisch
- ähnlich
- interessant
- besonders

innerhalb der gegebenen Daten ist!

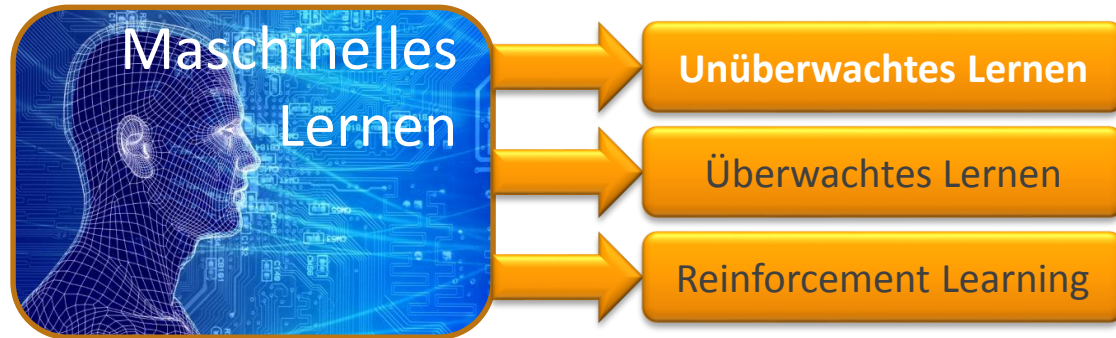
- Beispiele:

- Clustering → gruppierere Dinge zueinander, die auf natürliche Weise zueinander gehören
- z.B. unterscheide Pflanzen von Tieren; finde Ausreißer in Messexperimenten



Kategorien des maschinellen Lernens (4)

Unüberwachtes Lernen
(Unsupervised Learning)



Beispiel: **Pavlov'scher Hund**

- 4 verschiedene Ereignisse:
 - **G**locke läutet, **F**utter wird gegeben, **B**esitzer trifft ein, **L**icht an
- Repräsentation mit Vektoren der Länge 4 (**G,F,B,L**), deren Einträge 0 oder 1 sind
- Trainingsmuster durch Experimente gesammelt:
 - (0; 0; 1; 0), (1; 1; 0; 1), (0; 0; 1; 1), (0; 0; 0; 0), (1; 1; 0; 0), (1; 1; 1; 0), (1; 1; 1; 1), (0; 0; 0; 0), (1; 1; 1; 0), (0; 0; 0; 1), (1; 1; 0; 0)
- Während des Lernens passt sich ein neuronales Netz auf die spezielle Struktur der Trainingsmuster hin an.
 - z.B. viele Muster der Form (1; 1; *; *)
 - Hund lernt, dass es Futter gibt, sobald eine Glocke läutet (Speichelfluss)

Kategorien des maschinellen Lernens (5)

Reinforcement Learning (optimierendes Lernen)

- Trainingsdaten bestehen aus eine Sequenz von Zuständen und ausgeführten Aktionen sowie von erhaltenen Belohnungen (Rewards)
- **Lernsituation**
 - kein Vorwissen über eine gute Strategie
 - Kein Lehrer vorhanden!
 - Lernen aus Erfolg / Misserfolg → biologisch inspiriert
 - Belohnungen und Kosten, die zeitverzögert sein können
- **Lernaufgabe:**
Erlerne eine Strategie, um die Belohnungen zu maximieren.
- **Beispiele**
 - Gehen lernen
 - Radfahren lernen
 - Wagen-Stab-Balancier → Lernen, einen Stab zu balancieren (sh. nächste Folie)



Unüberwachtes Lernen

Überwachtes Lernen

Reinforcement Learning



Beispiel (Reinforcement Learning)

Wagen-Stab-Balancierer

- Gut: Stab steht oben, Wagen ist in der Mitte.
- Schlecht: Stab ist umgefallen oder Wagen fährt an den Rand.



Video

Ziel

- Das System soll sich aus eigener Erfahrung verbessern.
- Der Lehrer gibt nicht an, wie, sondern nur, ob das Ziel erreicht wurde.

Zusammenfassung: Überblick Lernaufgaben

