

Grundzüge der Robotik 2012

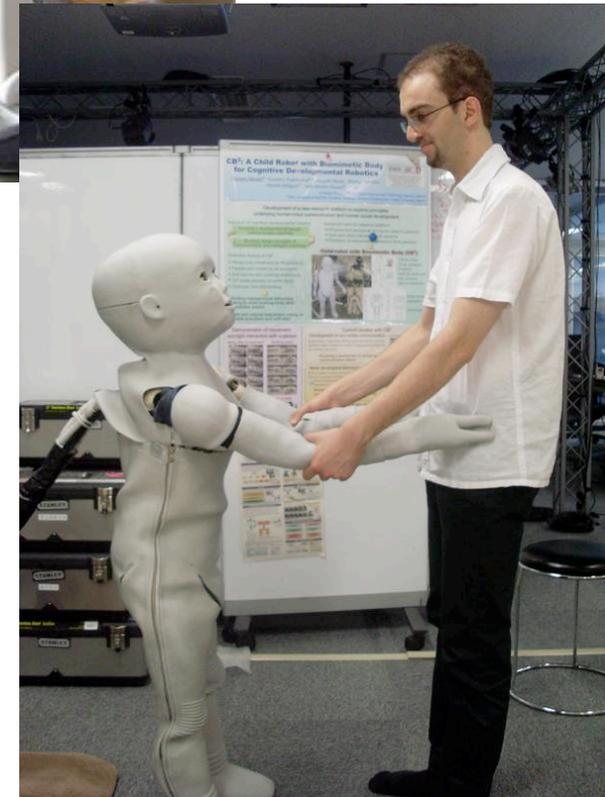
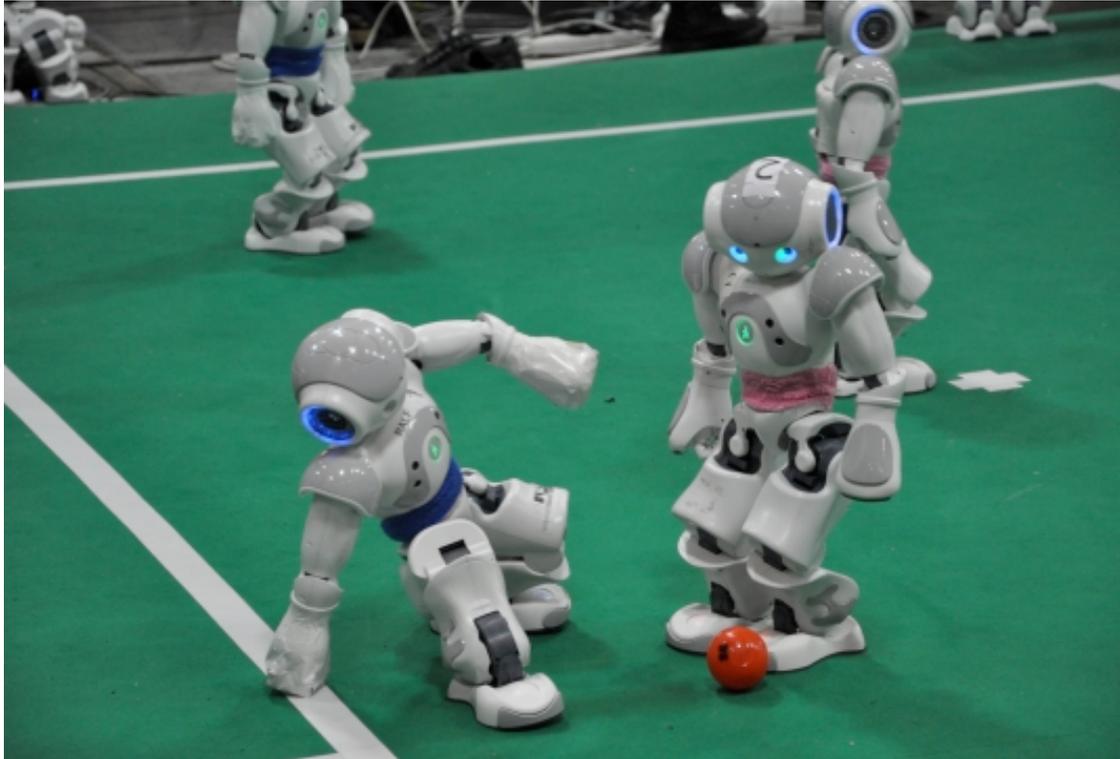
Konrad Froitzheim

Roboter am Beispiel

- Industrieroboter
 - Schweissroboter bauen Autos
 - Lackierroboter
 - Warenkörbe im Hochregallager
 - ...
 - präzisionsprogrammiert
 - ehemals NC-Maschinen
- Autonome Roboter
 - Staubsauger und Rasenmäher
 - Drohnen
 - DARPA Grand Challenge



- Humanoide Roboter
 - Menschheitstraum
 - Terminator und seine Freunde
 - CB2
- Robocup



- Definition Roboter nach VDI 2680

„Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei (d. h. ohne mechanischen Eingriff) programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen.“

- Japan Robot Association (JARA)

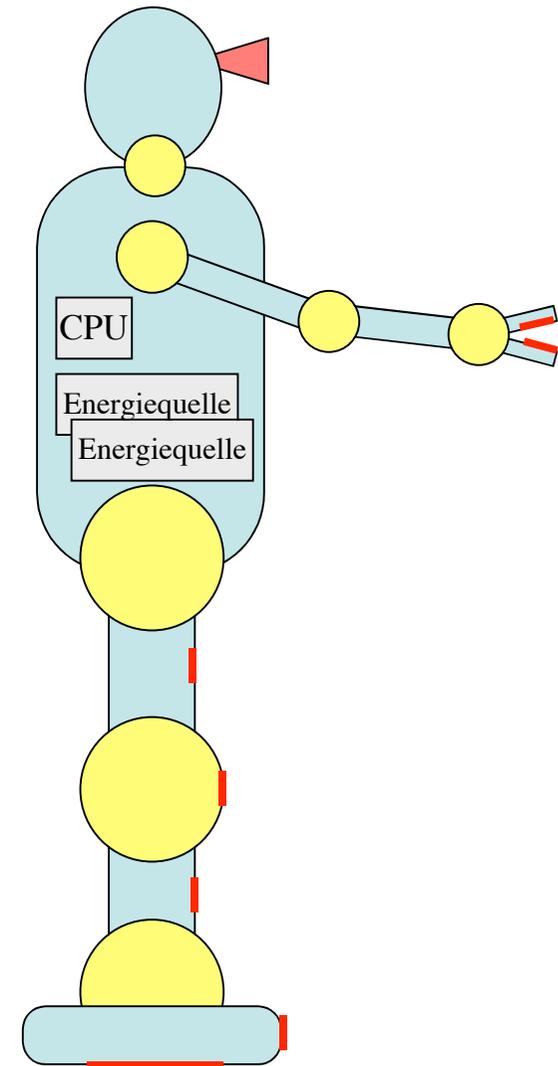
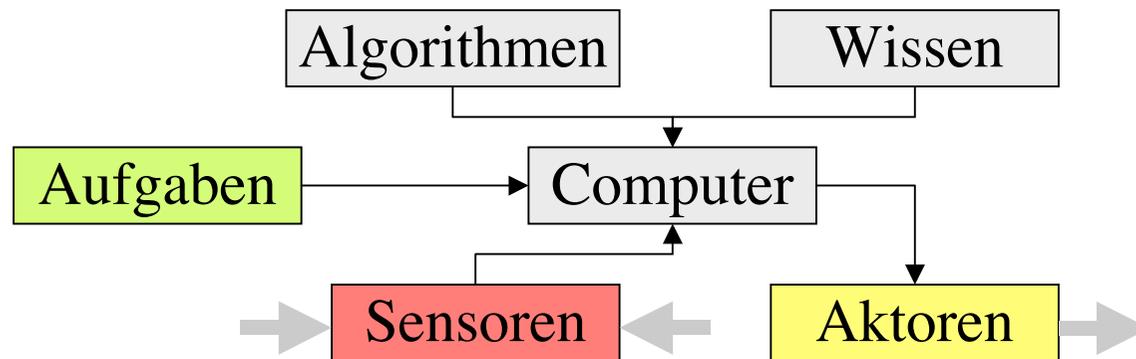
- Manual Manipulator: Handhabungsgerät, das kein Programm hat, sondern direkt vom Bediener geführt wird.
- Fixed Sequence Robot: Handhabungsgerät, das wiederholt nach einem konstanten Bewegungsmuster arbeitet. Das Ändern des Bewegungsmusters ist relativ aufwendig.
- Variable Sequence Robot: Handhabungsgerät, wie vorher beschrieben, jedoch mit der Möglichkeit, den Bewegungsablauf schnell und problemlos zu ändern.
- Playback Robot: Der Bewegungsablauf wird diesem Gerät einmal durch den Bediener vorgeführt und dabei im Programmspeicher gespeichert. Mit der im Speicher enthaltenen Information kann der Bewegungsablauf beliebig wiederholt werden.
- Numerical Control Robot: Dieses Handhabungsgerät arbeitet ähnlich wie eine NC-gesteuerte Maschine. Die Information über den Bewegungsablauf wird dem Gerät über Taster, Schalter oder Datenträger zahlenmäßig eingegeben.
- Intelligent Robot: Diese höchste Roboterklasse ist für Geräte gedacht, die über verschiedene Sensoren verfügen und damit in der Lage sind, den Programmablauf selbsttätig den Veränderungen des Werkstücks und der Umwelt anzupassen.

- Aufbau und Komponenten

- Aktoren
- Gelenke (-> Freiheitsgrade)
- Sensoren, z.B. Drucksensor, Kamera
- Energiequelle
- Computer koordiniert
- Software
- Gehäuse

- Aktoren

- Elektromotoren
- pneumatische Antriebe
- Forschungs nach muskelähnlichen Materialien



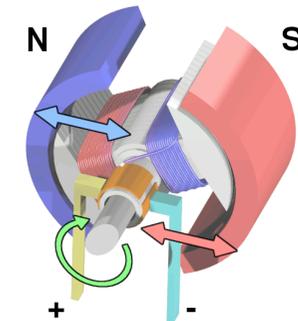
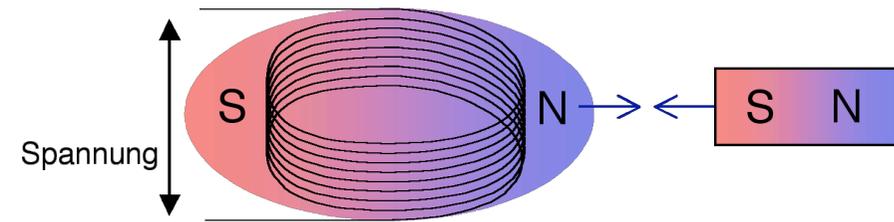
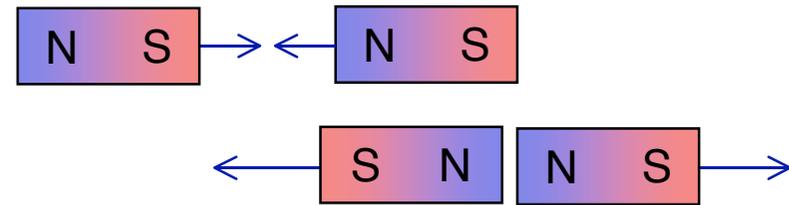
Inhaltsübersicht

1. Motoren und Computer
 - 1.1 Ein einfacher Elektromotor
 - 1.2 Pulsbreitenmodulation
 - 1.3 Dekoder
2. Embedded Computer
 - 2.1 Analog -> Digital und umgekehrt
 - 2.2 Sensoren, MEMS
 - 2.3 Eingebettete Prozessoren
3. Autonome Roboter
 - 3.1 Gehen
 - 3.2 Greifen
4. Maschinelles Lernen
5. Roboter und Menschen
 - 5.1 Uncanny Valley
 - 5.2 CB2
6. Stand der Robotik
 - 6.1 ASIMO
 - 6.2 Roboter and der TU Bergakademie Freiberg

1. Motoren und Computer

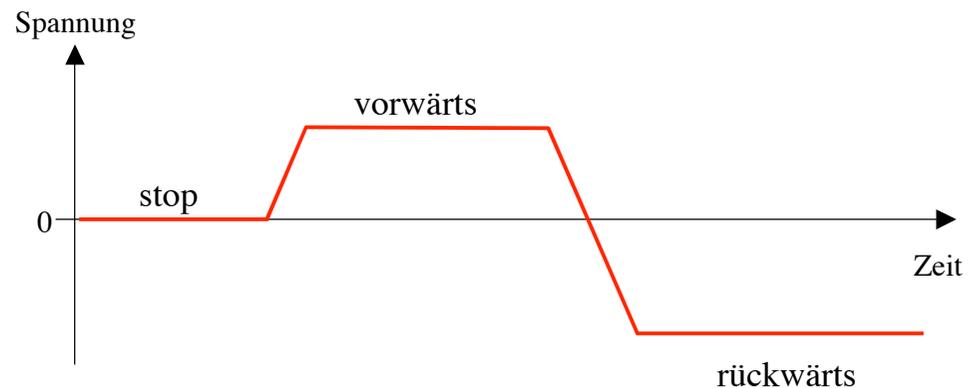
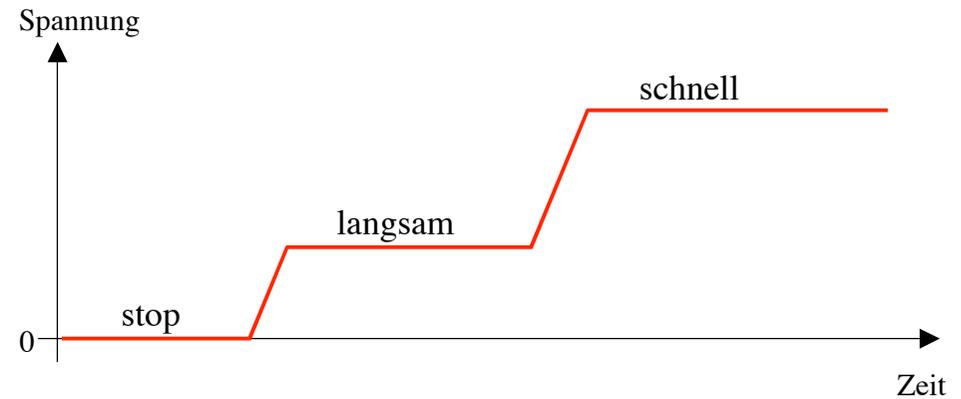
1.1 Ein einfacher Elektromotor

- Stromquelle
 - Batterie, Netzteil, Trafo, ...
- Magnet
 - festes Magnetfeld (Nordpol, Südpol)
 - Anziehung: N-S
 - Abstoßung: N-N, S-S
- Spule: Elektromagnet
 - Strom fließt durch die Spule
 - Magnetfeld entsteht
 - Abstoßung/Anziehung mit Magnetfeld der Spule
- Experiment Bastelmotor
 - Stromquelle
 - Kupferlackdraht 0,3mm, Magnet
 - Holzbrett, Büroklammern



1.2 Pulsbreitenmodulation

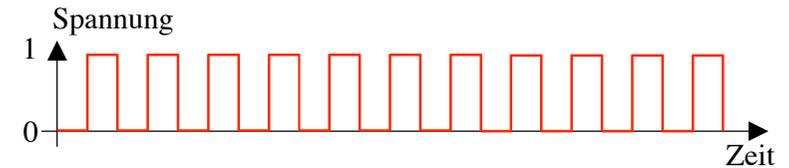
- Elektrizität
 - Spannung [Volt]
 - Strom [Ampere]
- Spannung steuert Drehzahl
 - Stellknopf am Trafo
- Experiment
 - Playmobil Lok mit Trafo
 - Spannung und Zeit
- Fahrtrichtung
 - Pole vertauschen
 - positive Spannung => vorwärts
 - negative Spannung => rückwärts



- Digitale Computer
 - geben direkt 0 und 1 aus
 - nur null Spannung oder volle Spannung
 - also keine genaue Spannungsregelung
 - andere Größen (12,73 ...) müssen simuliert werden

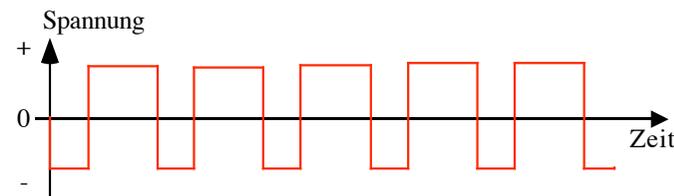
- Pulsbreitensteuerung (PWM)

- AN AUS ...
- Trägheit der Motormasse gleicht Impulse aus
- 1 = AN = 18V; 0 = AUS = 0V
- Verhältnis AN/AUS bestimmt Spannung
- 1:1 \Rightarrow 9V, 1:2 \Rightarrow 6V



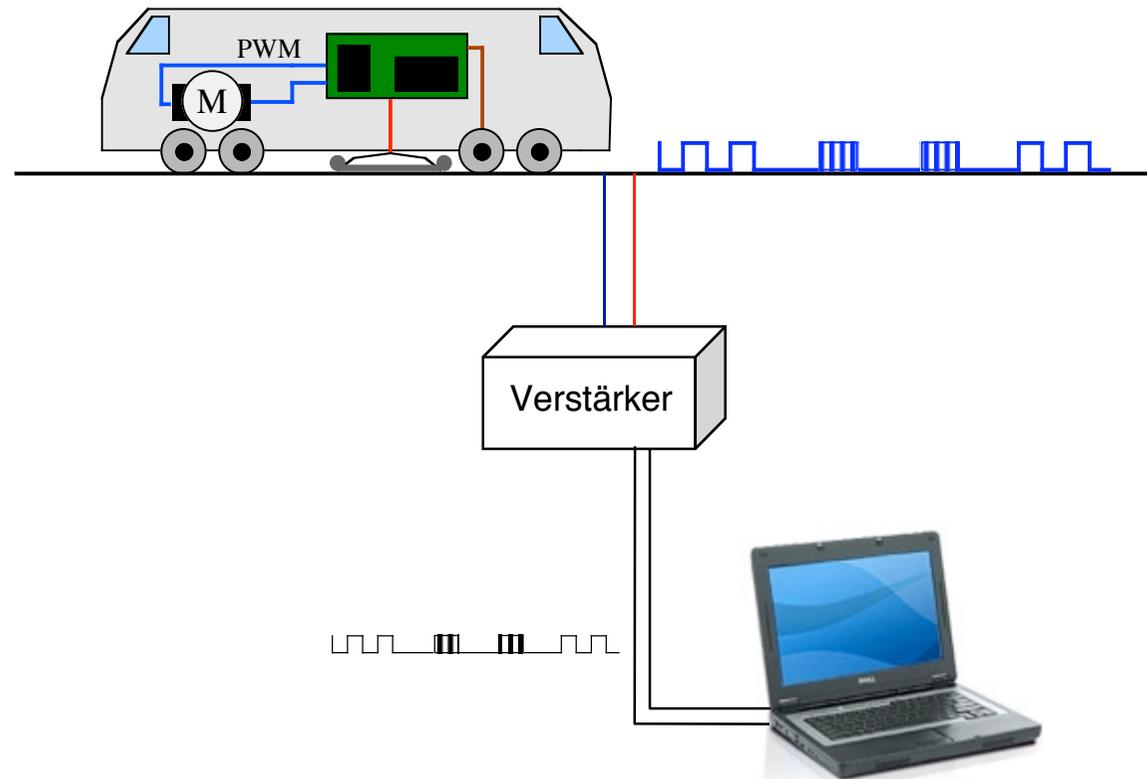
- Richtungssteuerung:

- negative und positive Spannung wechseln ab
- Verhältnis + und -

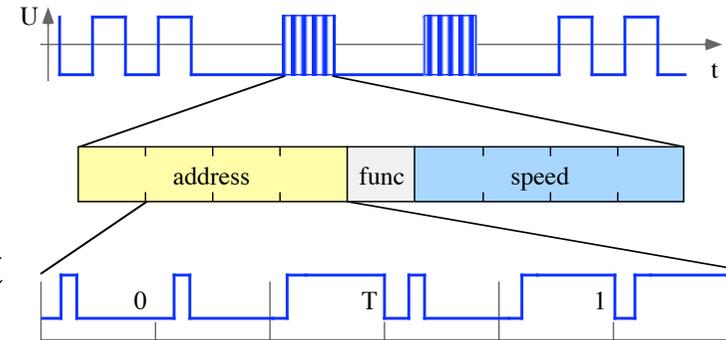


1.3 Dekoder

- Beispiel digitale Modellbahn
- Steuercomputer in jeder Lok
 - Motorsteuerung mit Pulsbreitensteuerung
 - Lampen ein/aus
 - Hupe
- Kommandos empfangen
 - Fahrtrichtung
 - Geschwindigkeit regeln
 - weitere Funktionen ein/aus



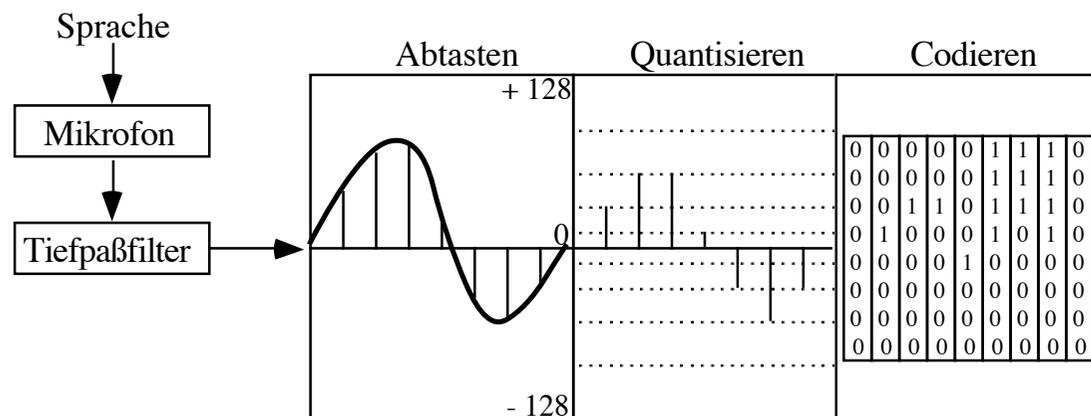
- Kommando-Pakete auf der Schiene
 - Adresse der Lok (0 bis 80)
 - Werte für Geschwindigkeit (0 bis 15)
 - Bsp: Lok 19, Licht an, Geschw. 12
- Pakete werden im Computer zusammengestellt
 - aus **Bits** (0 oder 1)
 - Adresse 19 (**11001000**)
 - Funktion ein (**11**)
 - Geschwindigkeit 12 (**00001111**)
 - Paket: 110010001100001111
- Alle Loks empfangen Pakete
 - Adresse im Paket = eigene Adresse?
 - Nein? Nichts ändern
 - Ja? Dann Licht an und Motorspannung auf 12 regeln
 - Prinzip LAN: Broadcast
- Ähnliche Ideen im Ethernet / LAN
 - Pakete, Adressen, verteilte Verarbeitung



2. Embedded Computer

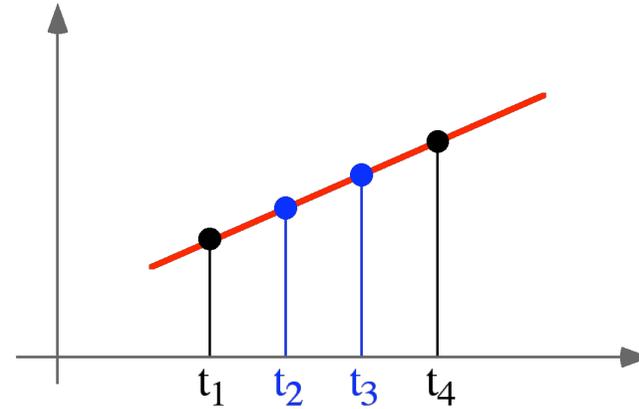
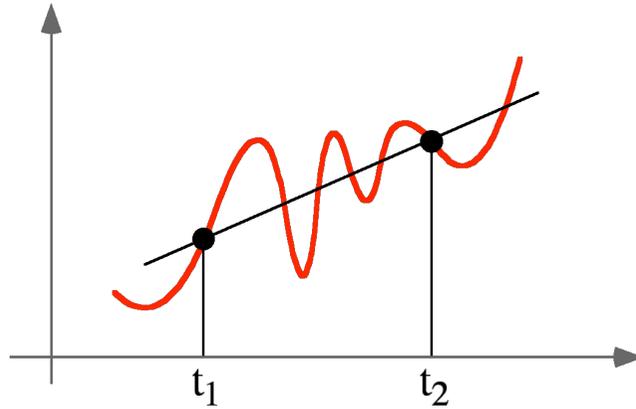
2.1 Analog -> Digital und umgekehrt

- Messwerte von Sensoren
 - kontinuierliche Daten
 - in Zeit und Wert (1,3672549174826 ...)
 - Position, Neigung, Spannung, ...
- Beispiel Audio
 - zeitliche Diskretisierung (Abtasten, Sampling)
Einteilung der Zeitachse in einzelne Stücke
 - Wert-Diskretisierung (Quantisierung)
digitalen Näherungswert finden
Reelle Zahl vs. Real/Integer



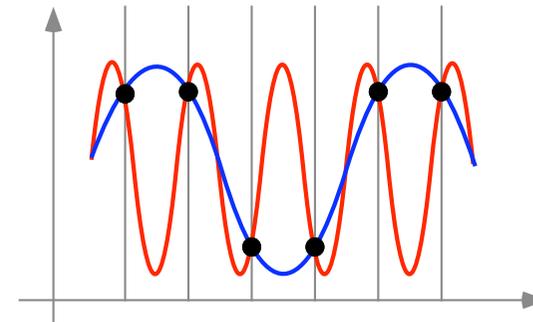
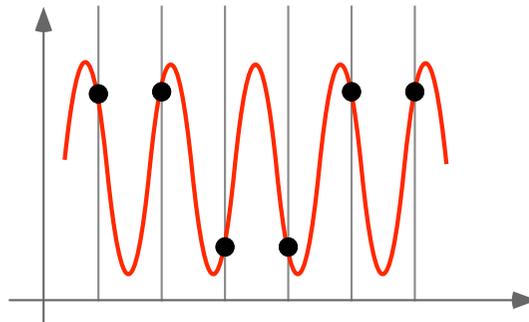
- Abtasttheorem

- wieviele Abtastwerte/Zeit?
- $> 2 * (\text{höchste Frequenz})$

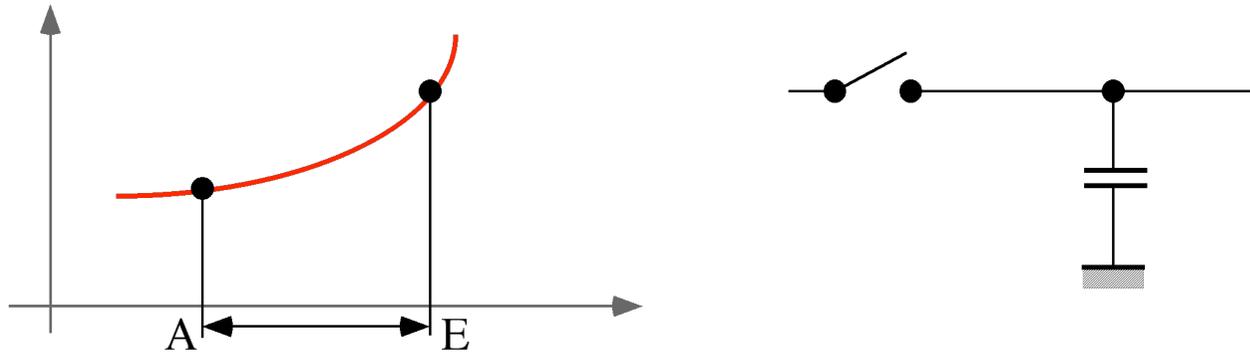


- Aliasing

- Beispiel Wagenrad im Film
- Tiefpassfilter

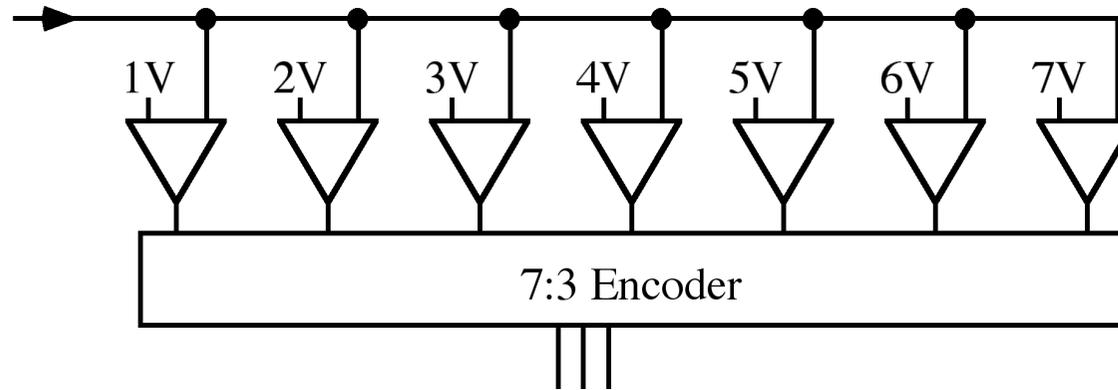


- Sample-and-Hold



- Quantisierung (ADC)

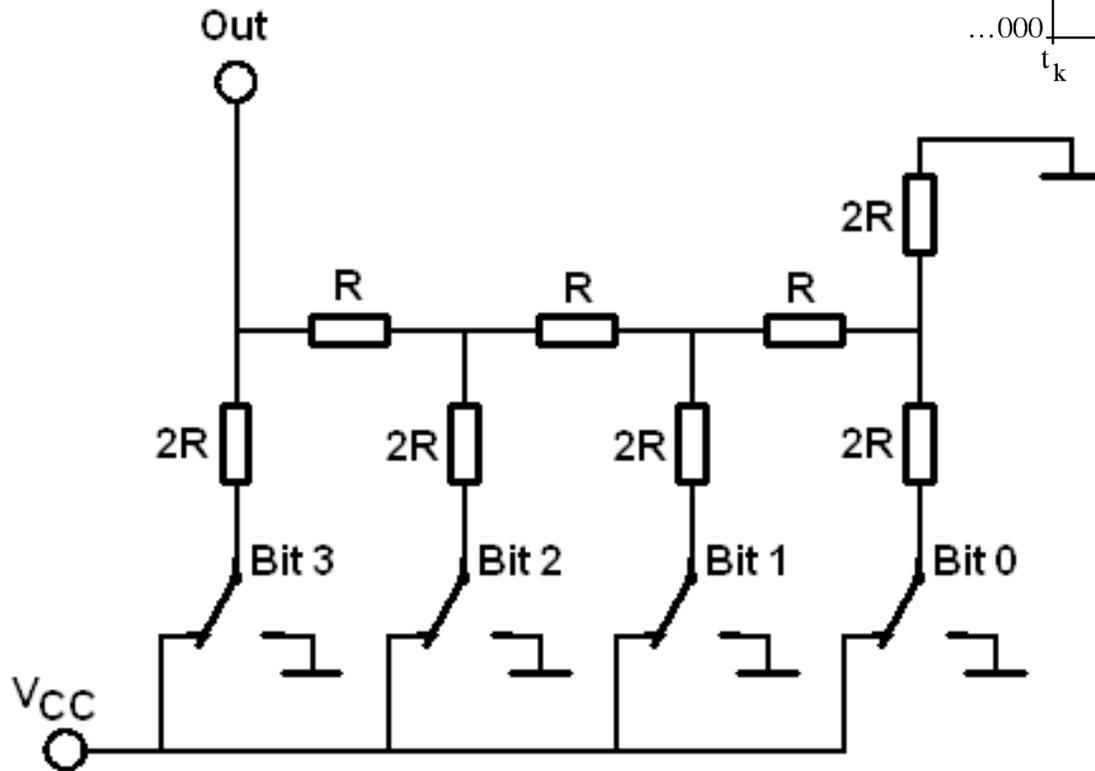
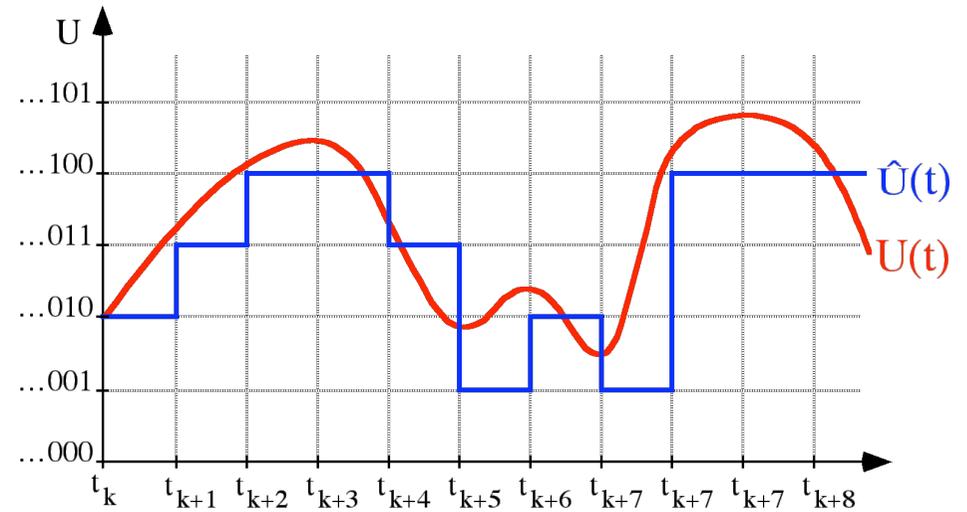
- Wandlung des analogen Wertes in diskreten (digitalen) Wert



- Quantisierungsfehler

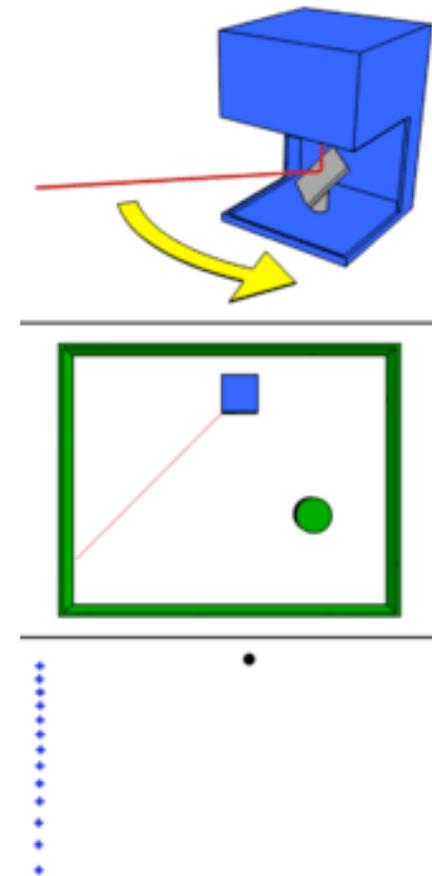
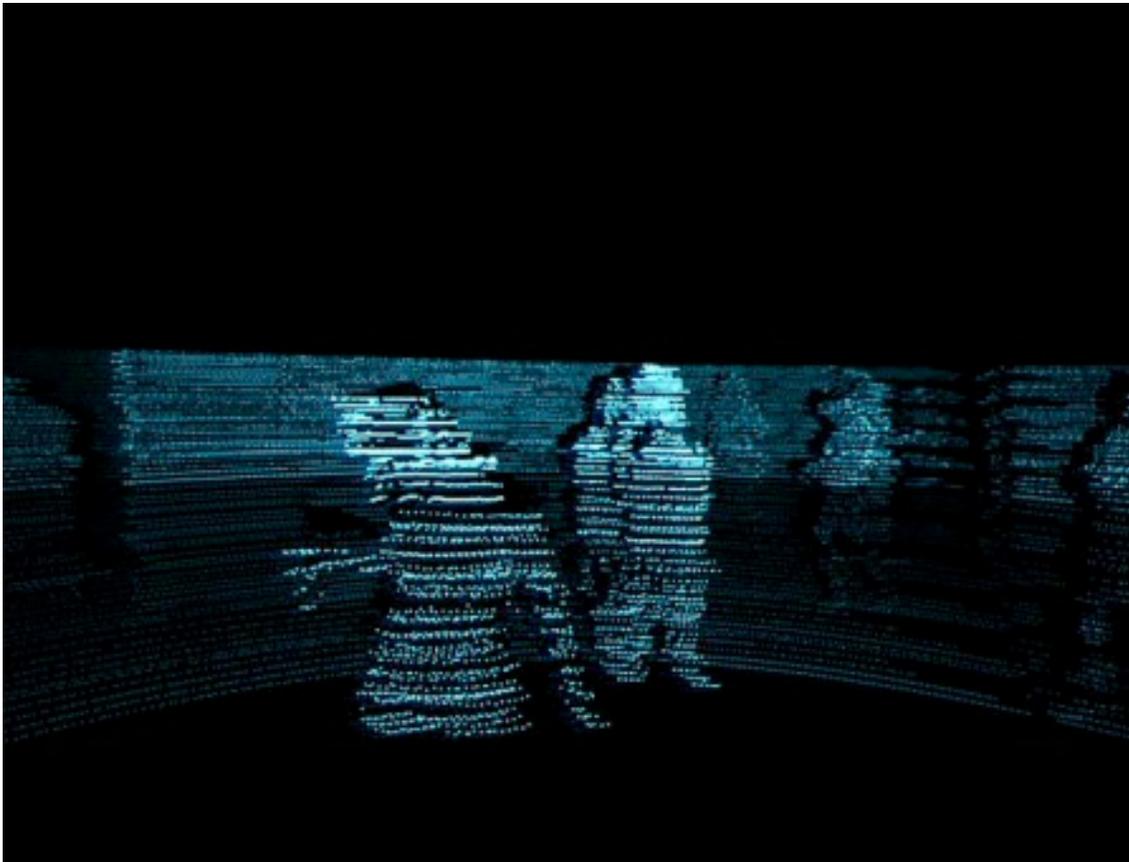
- 6 dB pro Bit => 96 dB bei 16 bit (CD-A)

- Diskretisierung und Quantisierung ergeben Treppenfunktion
- Digital -> Analog
 - Prinzip Spannungsteiler umgekehrt
 - R2R [Zeichnung Wikipedia]



2.2 Sensoren

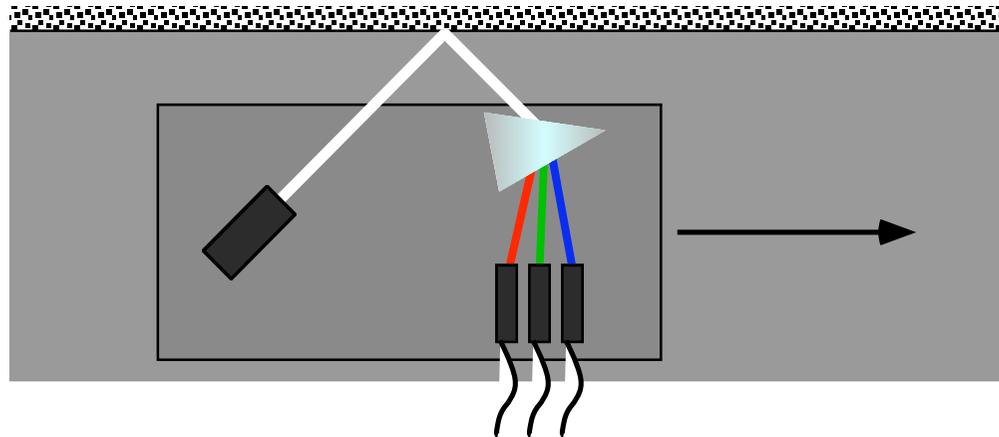
- Sonarsensor: Schall-Laufzeit messen
- Lidar: Laser Detection and Ranging
 - Laser - beweglicher Spiegel - Detektor
 - Laufzeitmessung
 - Hintergrund vom Objekt unterscheiden



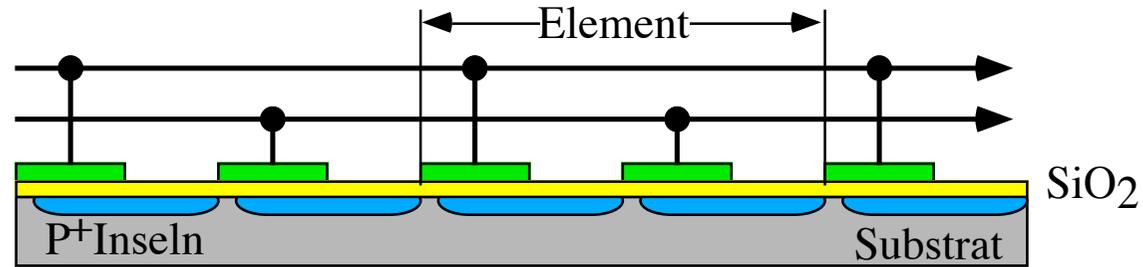
[Graphics.com]

- Digitalkamera

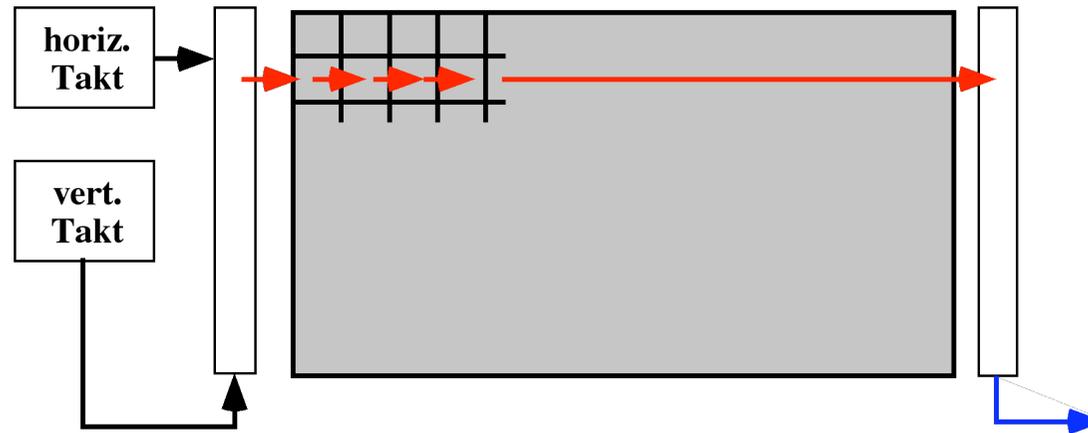
- Horizontale und vertikale Diskretisierung (Zerlegen in Pixel)
- Diskretisierungsschritt entspricht Auflösung: 72 bis 6000 dpi
- Bild wird angeleuchtet und Licht auf Detektor reflektiert
- Quantisierung: 8 oder 12 Bit für Graustufen
8, 16 oder 24 Bit für Farbe
eventuell mit Farbpalette



- CCD-Zeile



- Digitale Kameras benutzen CCD-Matrix



- CCD DSLR 22*15 mm, 15 MPixel
- Unterschiede zwischen Zellen
- nur 50 - 80% der Chipfläche ist mit aktiven Elementen bedeckt

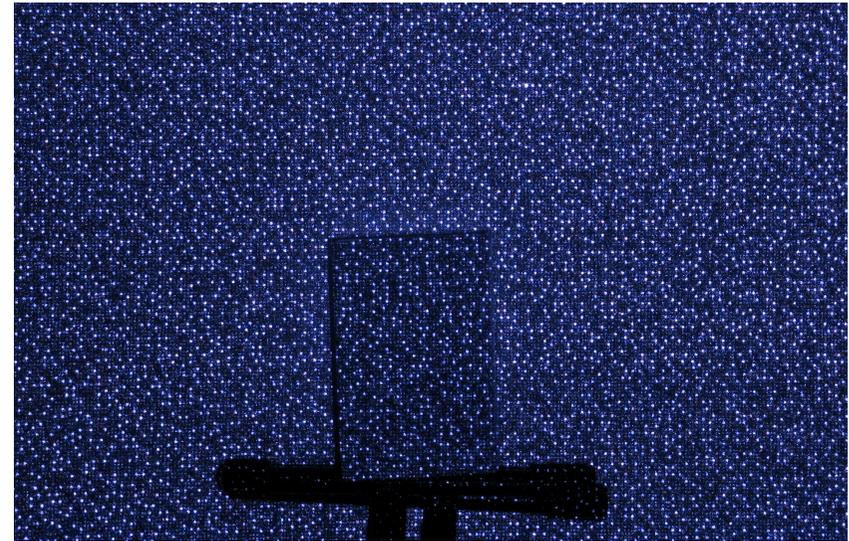
- Kinect [Microsoft, 2010]

- Teil der Xbox
- Videokamera
- Infrarot Tiefensensor



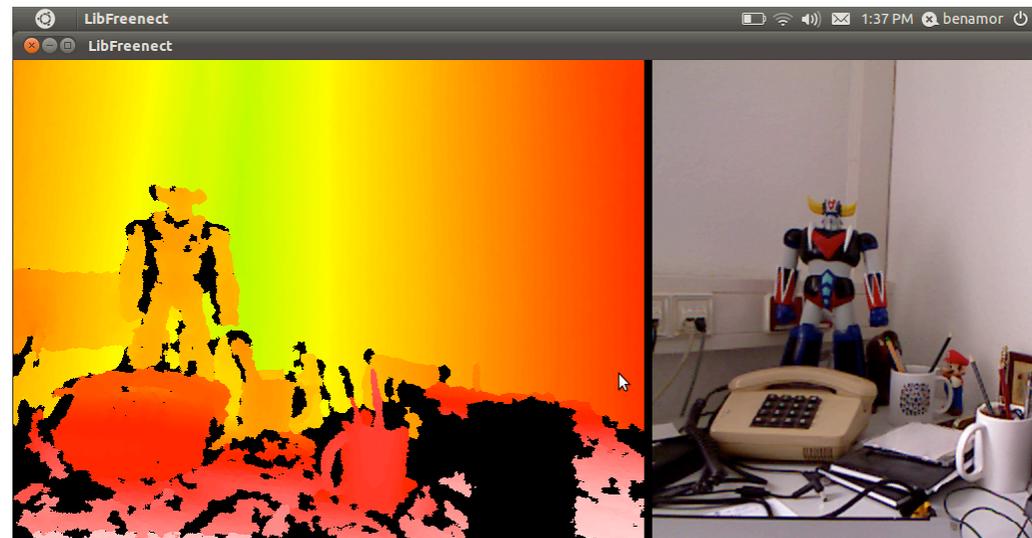
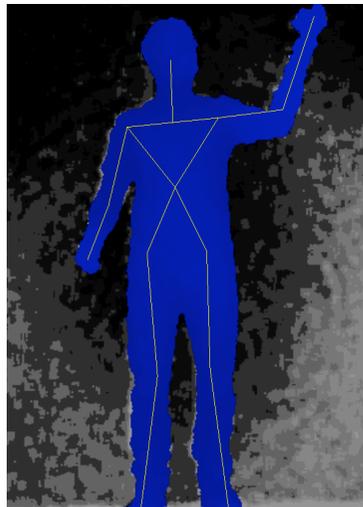
- Light Coding [PrimeSense]

- zwei Muster projizieren
- unterschiedliche Divergenz
- Reflektion auswerten

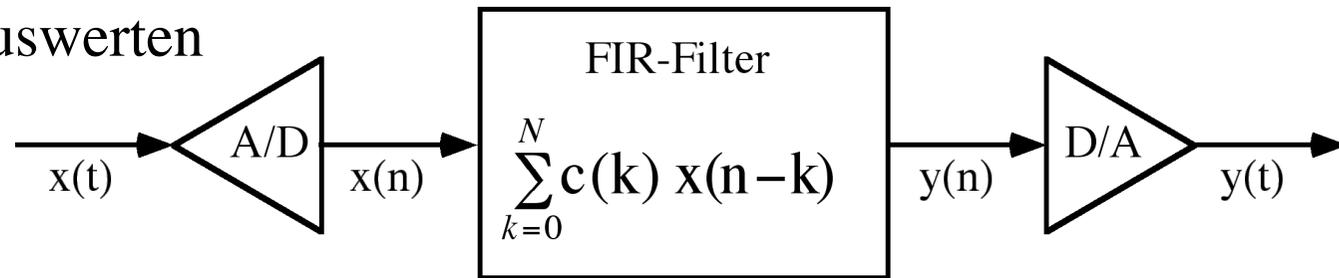


- Software trackt Bewegung

- Skelett im Bild finden
- Tiefe sorgt für 3D-Bewegung

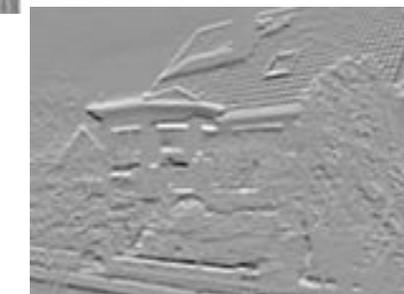
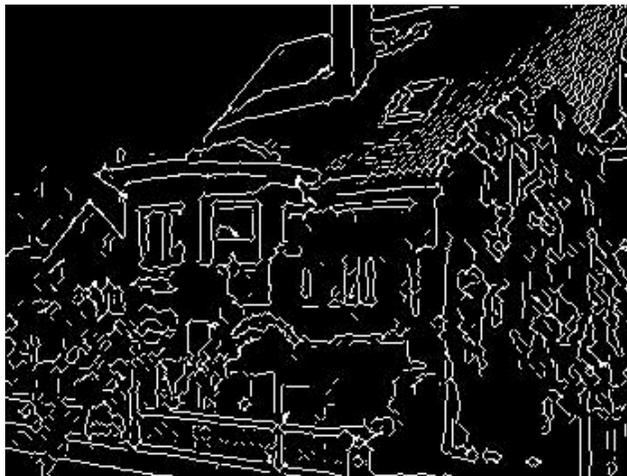


- Fundamentale Algorithmen
- Digitale Messwerte auswerten
 - Schwellwerte
 - Filtern
 - Muster erkennen
- Objekte finden
 - Bildverarbeitung
 - Kantendetektion
 - Kanten gruppieren
 - Beispiel: Klotz im Bild
- Objekte erkennen
 - Art (Ziele finden)
 - "Klotz ist ein Schrank", "Objekt ist Ball", ...
 - Mustervergleich
 - Größe und Distanz im Bild erkennen

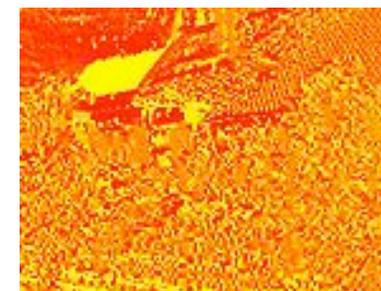


- Kantendetektion: Canny Algorithmus

- Graustufenbild berechnen
- Glätten mit Filter
- Pixelfolge als Funktion
- y-Werte sind die Graustufen
- Zeilen und Spalten
- Gradient für jedes Pixel finden
- Kantenrichtungen: 0° , 45° , 90° , 135°
- Stärke von Gradienten berechnen
- Kantenpunkte verbinden



Bilder Tobias Hermann



- Weitere Sensoren
- Wellendekoder zählen Motorumdrehungen
- MEMS: Micro ElectroMechanical Systems
 - Beschichten, Ätzen, Beschichten, ...
 - Lager, Wellen, Federn, ...
- Beschleunigungssensor
 - an Federn aufgehängte Kondensatoren
- Trägheitssensoren
 - Prinzip Kreselkompass (Gyro)
 - Vibration bleibt trotz Rotieren der Halterung

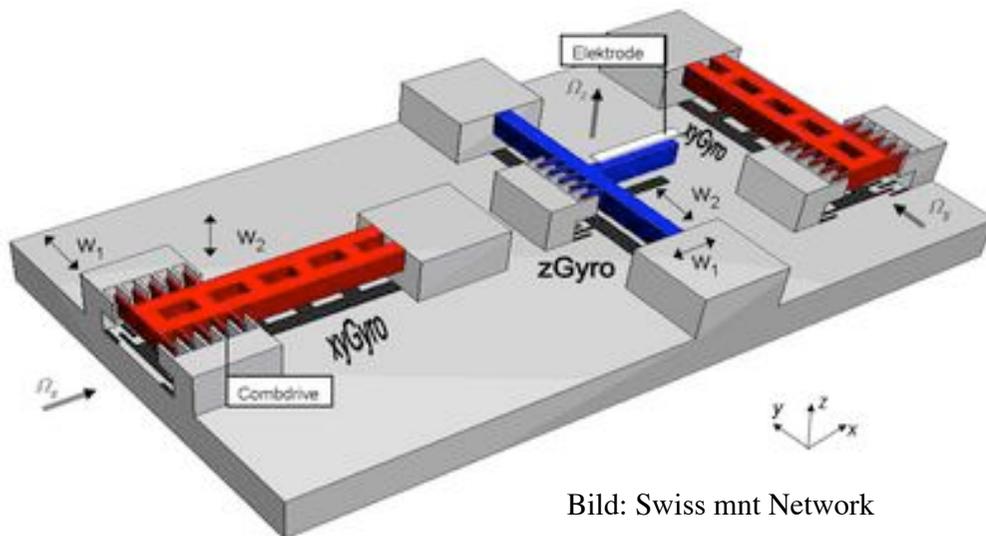
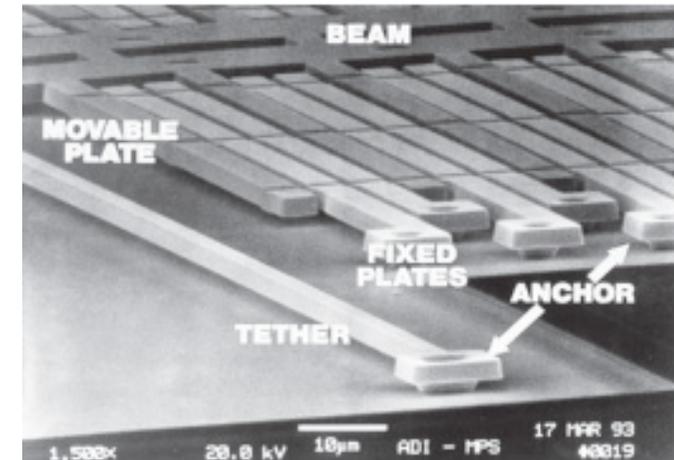
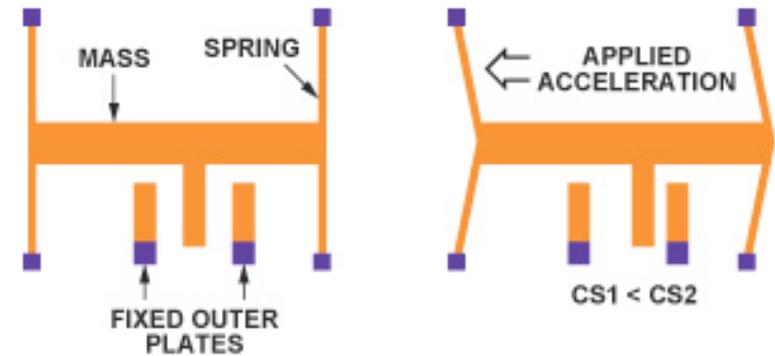
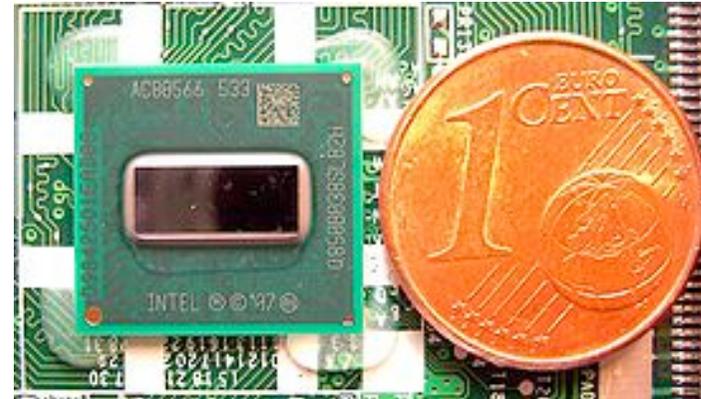


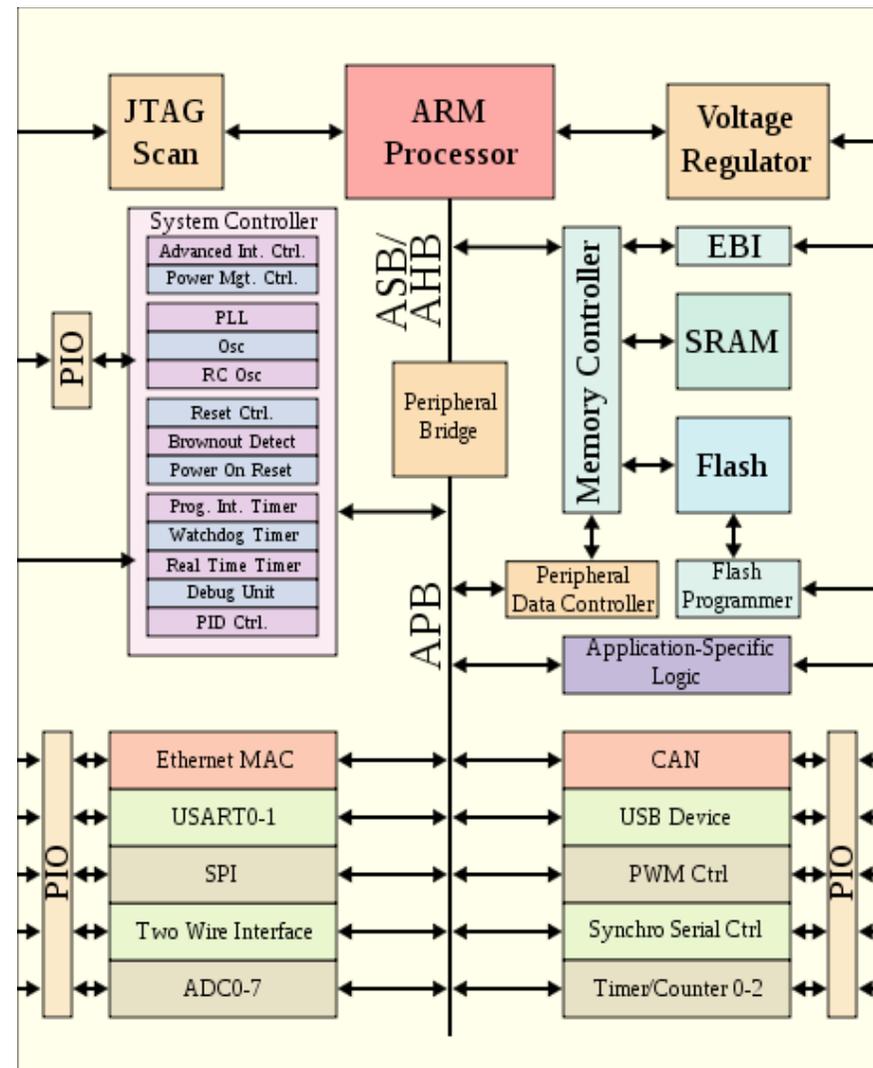
Bild: Swiss mnt Network

2.3 Embedded Computer

- Randbedingungen durch Autonomie
 - Batterie als Stromversorgung
 - Kühlung
 - A/D und D/A
 - Signalverarbeitung für Sensoren
 - oft kein Display
 - Erschütterungen und Stöße
 - Gewicht und Größe
- Desktop/Laptop CPU wenig geeignet
 - Stromverbrauch
 - Sockel mit vielen Kontakten
 - externes RAM
- Typische Prozessoren
 - Atmel Atmega (-> Arduino)
 - ARM (Acorn RISC Machine, Mobiltelefone, iPhone, ...)
 - Intel Atom, AMD Geode



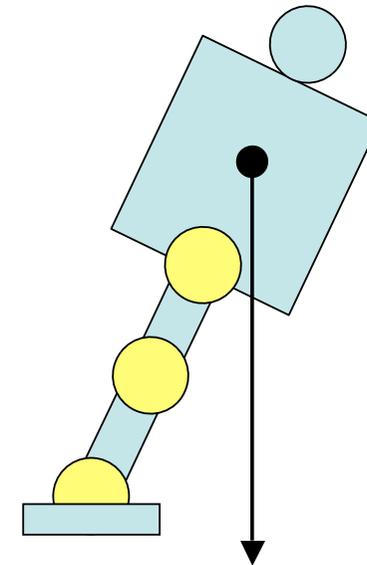
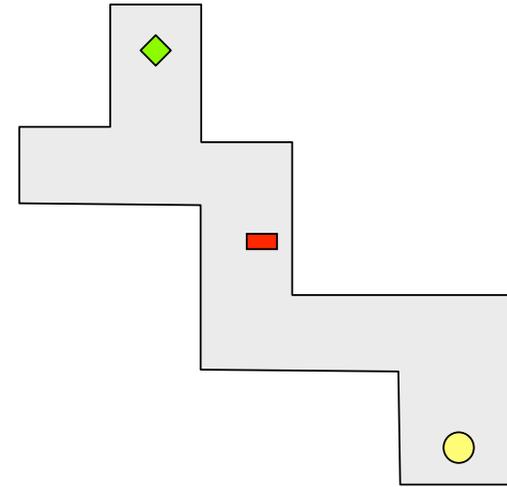
- Einplatinen-Computer
 - Prozessor und RAM
 - Flash
 - Testinterface
 - ADC/DAC, PWM
 - USB, EN, ...
- System on a Chip (SoC)
- Echtzeit-Betriebssystem?



3. Autonome Roboter

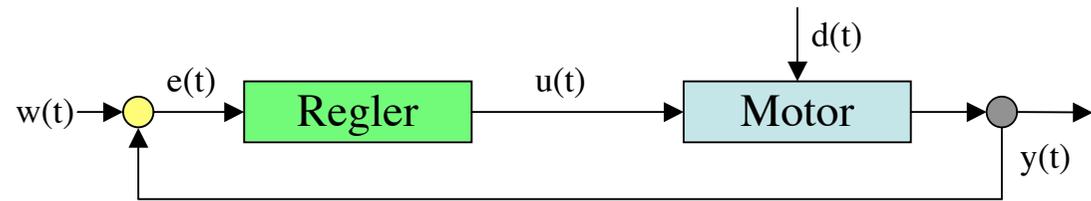
3.1 Bewegung

- Drei Probleme
 - Ziel erreichen
 - Hindernissen ausweichen
 - Bewegung sicher steuern
- Ziel erreichen
 - Navigation
 - Hindernisse und alternative Wege
 - Ziel erkennen
- Hindernisse erkennen
 - Abstandssensoren
 - Bildverarbeitung
- Stabiles Gehen
 - dynamisches Gleichgewicht
 - Schwerpunkt des Roboters hoch
 - Massenträgheit, Schwerkraft
 - Zero Moment Point berechnen
 - Platz für Fuß finden



- Regelkreis

- Vergleich Sollwert-Istwert
- neuen Stellwert berechnen
- Messung und Reaktion unterliegen Verzögerung
- Entwicklung der Bewegung 'vorhersagen'
- Unter- und Überreaktion, ungedämpfte Schwingung



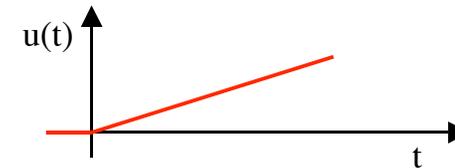
- Proportionalglied

- Verstärkung des Fehlersignals: $u(t) = K_p * e(t)$



- Integralglied

- zeitliche Integration: langsames Ansteigen
- genauer Regler



- Differentialglied

- reagiert auf Änderungsgeschwindigkeit des Fehlers
- Ableitung von $e(t)$



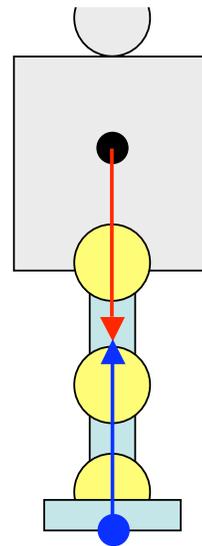
- PID-Regler

- Proportional-Integral-Differential-Controller
- Verstärkungsfaktor
- Vorhaltezeit, Nachstellzeit



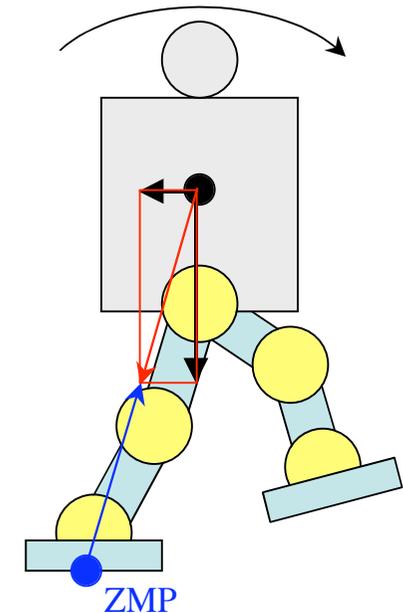
- Stabiles Stehen

- Boden schräg, rutschig
- kleine Stufen (z.B. Teppich)
- Gewicht drückt auf Boden
- Kipp-Moment ausgleichen
- Bewegung des Oberkörpers
- Ausfallschritt



- Abstraktion: Zero Moment Point

- Gravitation+Trägheit
- Trägheit durch Beschleunigung regelbar
- Resultatvektor entgegengesetzt zur Bodenreaktion



- Stabiles Gehen

- Boden-Reaktion berechnen
- erwünschten ZMP ermitteln, Fuss setzen

- Kurven gehen

- gerade - drehen - gerade
- besser: Fuss schräg und versetzt
- Gewicht nach innen verlagern

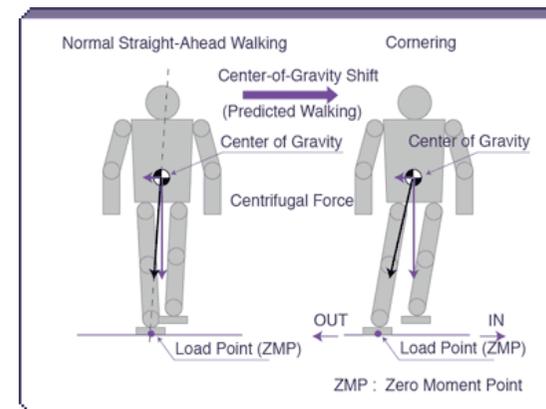
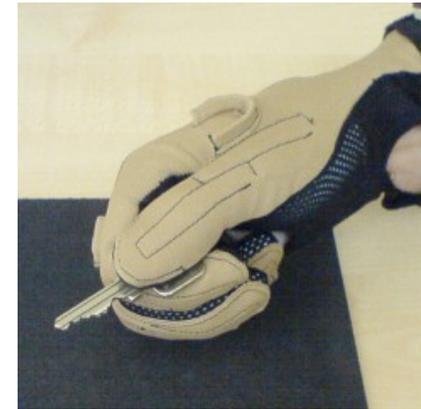


Bild Sony

3.2 Greifen

- Hand hat 45 Freiheitsgrade
 - komplette Haltung schwierig zu steuern
 - un-natürliche Haltungen
- Griffarten [Schlesinger]
 - sphärisch
 - zylindrisch
 - lateral
 - palmar
 - hook
 - tip
- Auswahl des Griffes
 - Gegenstand erkennen
 - Lage etc.

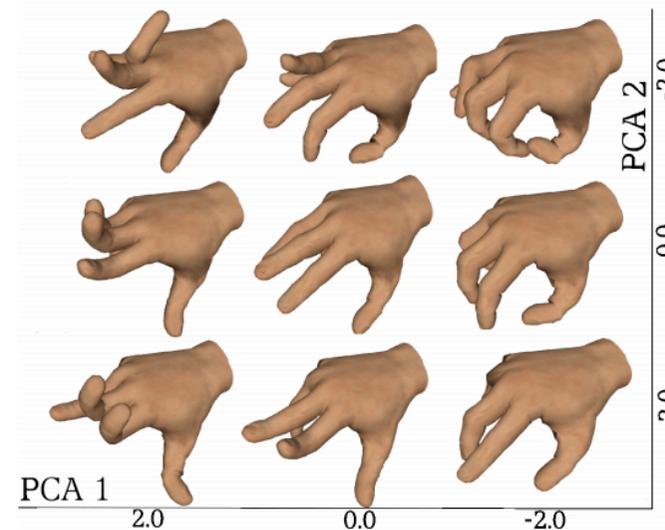


- Fingertracking mit Datenhandschuh
 - Infrarotlicht und Reflektoren
 - Kamera
 - 45 Dimensionen
 - jeweils 3 Werte
- Dimensionsreduktion

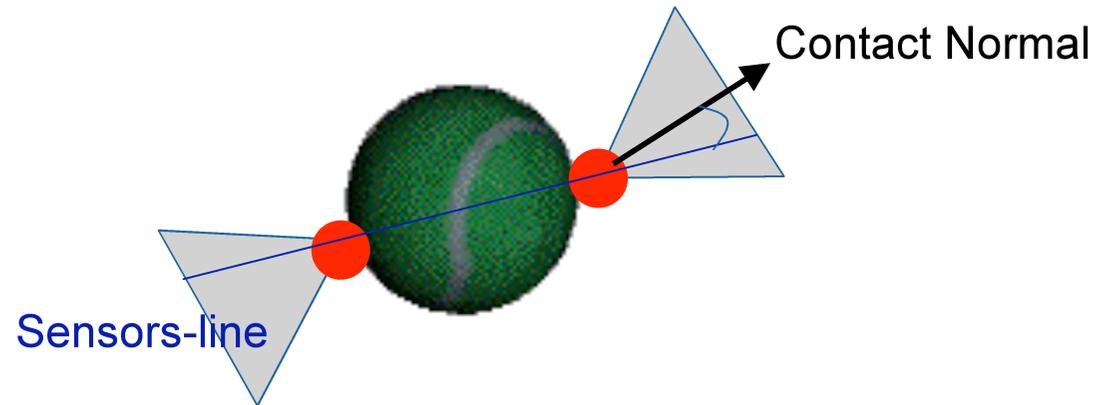
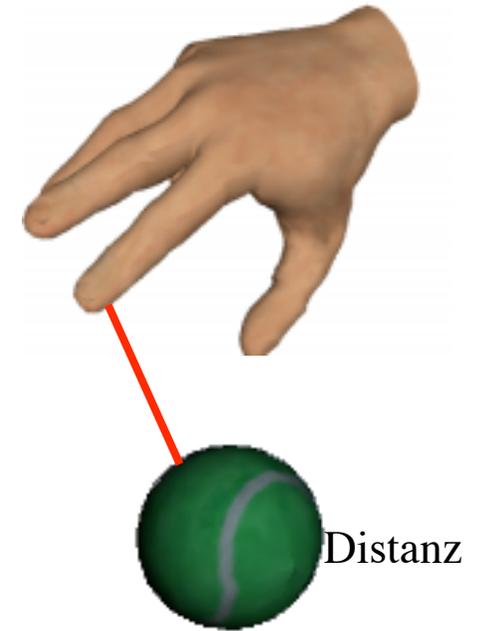
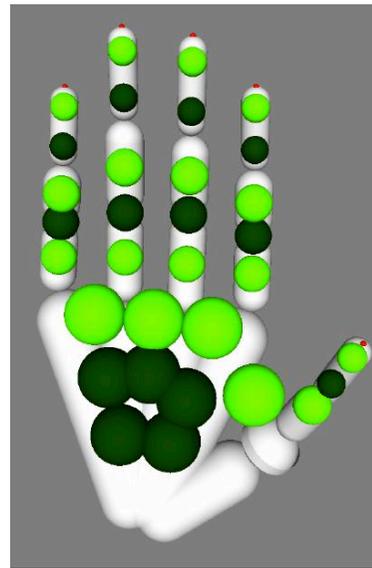
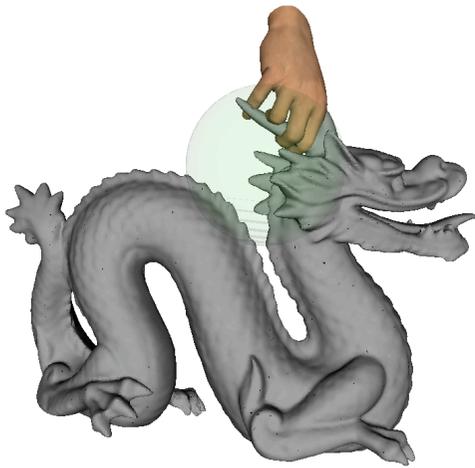


Die "stärksten" 2 Komponenten bestimmen mehr als 80% der Veränderungen in der Postur. [Santello et al 1998]

- Principal Component Analysis
 - welche Parameter sind dominant?
 - viele korrelierte Variablen
 - Werte transformieren (Drehung etc)
 - unkorrelierte Variablen finden
 - weniger als Original-Variablen
- Auswertung
 - PCA reduziert Daten
 - natürliche Griffe finden (PLDPM)

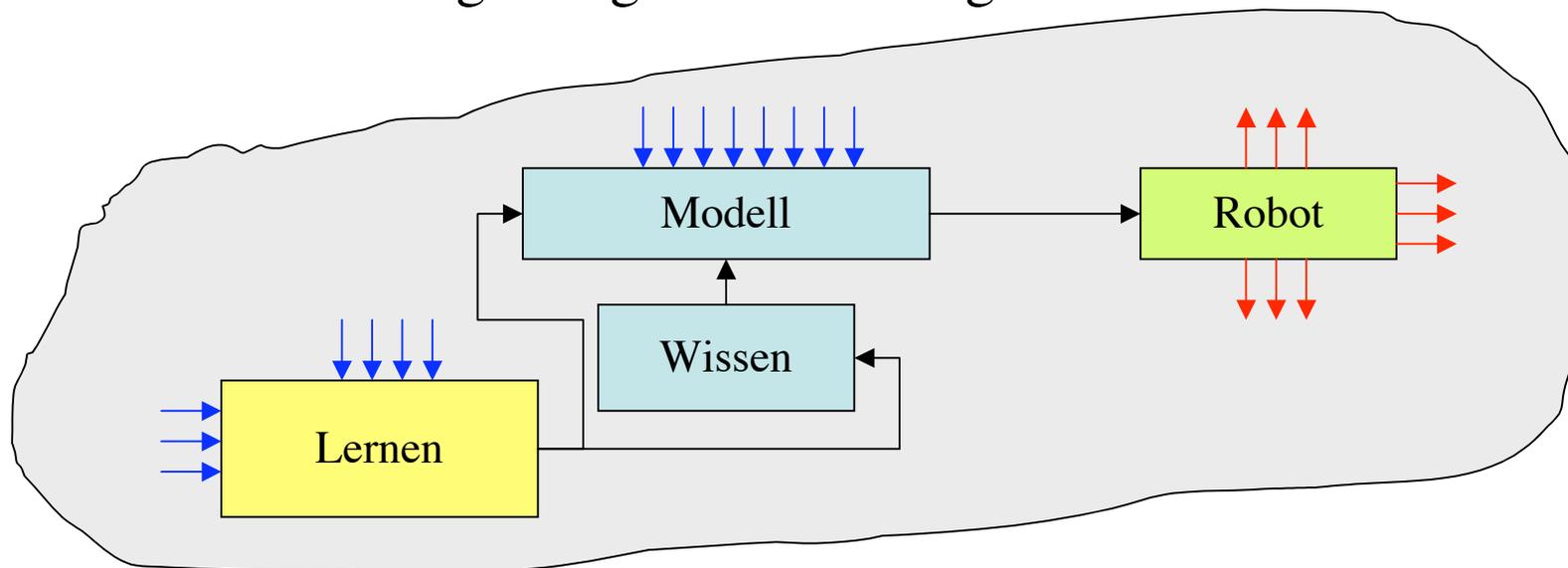


- Sensoren in der Hand
 - Berührung erkennen
 - Widerstand messen
 - regeln
- Area of Interest

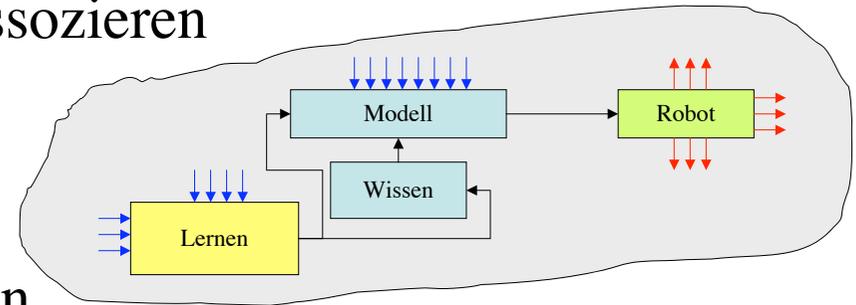


4. Lernen

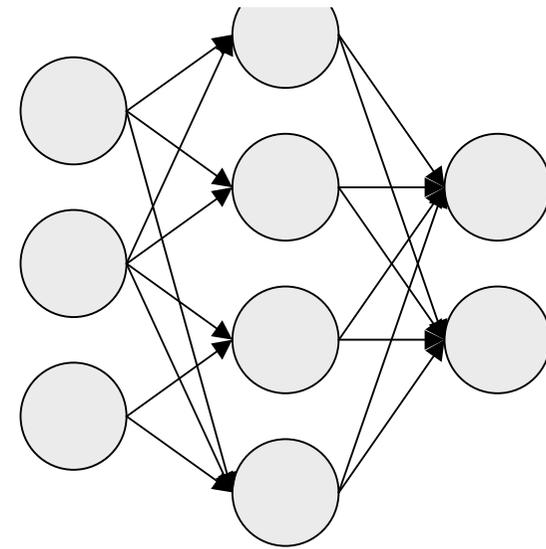
- Bewegungen bestehen aus vielen Motorbefehlen
 - Manuelles Zusammenfügen?
 - Soll und Ist in Beziehung setzen
 - Regelparameter bestimmen
 - explizit programmieren?
- Objekte identifizieren
 - Wissen: Muster und Eigenschaften
 - in Datenbank eingeben
 - matchen
 - Wissen aufzählen ist langwierig und schwierig



- Überwachtes Lernen
 - Eingaben bzw. Messwerte
 - Entscheidung wird bereitgestellt
 - Hypothesen: Messwerte mit Entscheidung assoziieren
 - z.B. neuronales Netz
- Nicht überwachtes Lernen
 - abstrakt, besonders zur Vorhersage
 - Ziel: gutes Modell aus Parametern entwickeln
 - z.B. Expectation-Maximization Algorithmus
 - Beginn mit zufälligem Modell
 - Expectation: Zuordnung der Eingabewerte zu Modellschritten
 - Maximization: Modell für gesammelte Eingabewerte optimieren
 - Clustering
- Verstärkendes Lernen
 - Belohnung für Aktions-Sequenz
 - verteilen auf Einzelaktionen
 - Einzelentscheidungen verbessern

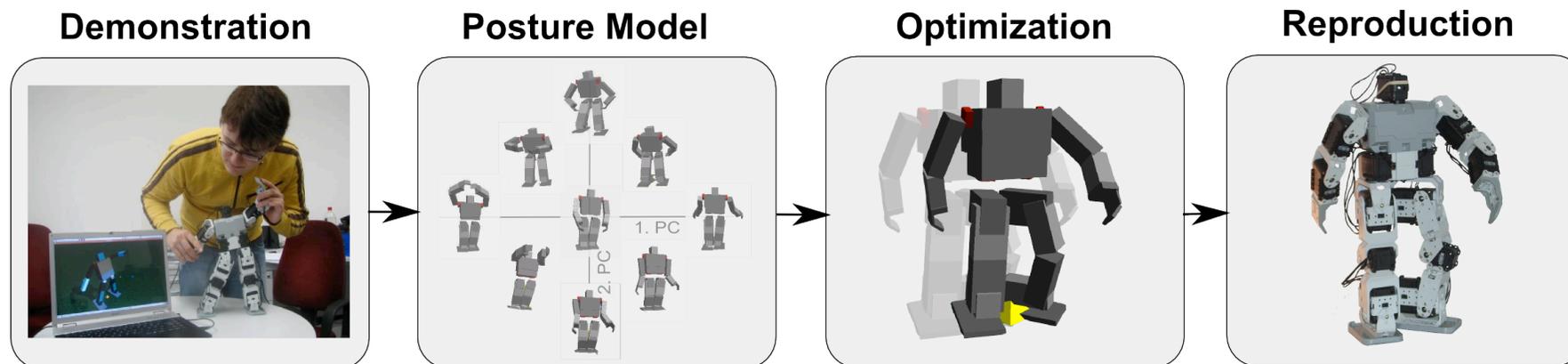


- Künstliche Neuronale Netze
 - als Graphen mit Knoten und Kanten modelliert
 - n+m Eingaben, 1 Ausgabe
 - evtl. Feedback ~ Speicher
- Neuronen (Knoten)
 - Eingaben x_1, \dots, x_n
 - Beispiel McCulloch-Pitts Neuron
 - $x_1 + \dots + x_n > \text{Schwellwert}$ dann $y := 1$ ('feuern')
 - hemmende Eingänge: $\exists z_k = 1$ dann nicht feuern
- Verbindungen
 - gewichtete Kanten
 - vergleiche Synapsen
- Lernen in KNN
 - Knoten einfügen, löschen und Schwellwerte anpassen
 - Kanten einfügen, löschen und Gewichte anpassen



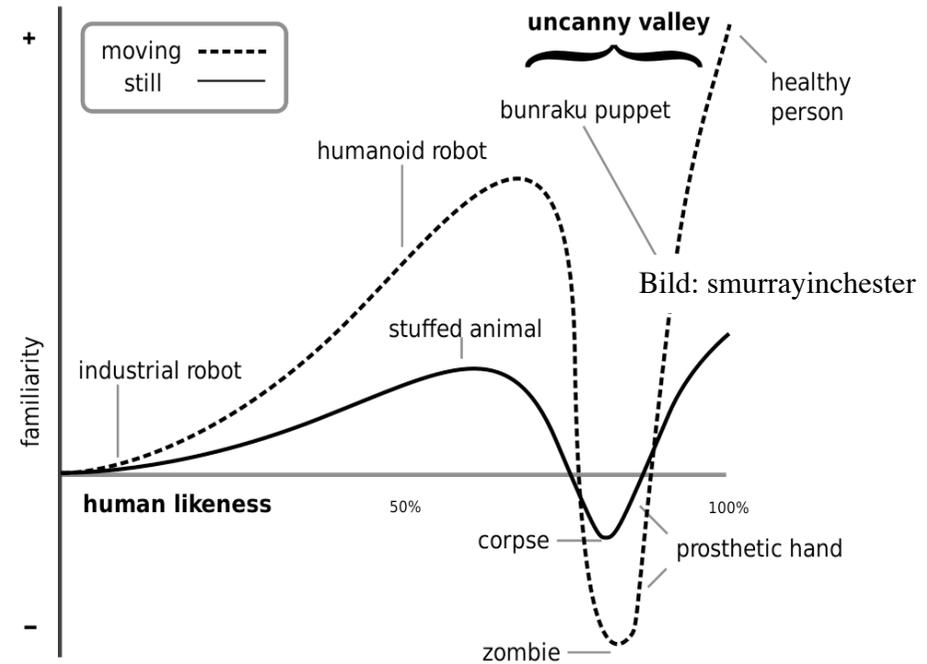
$$y_k = \varphi\left(\sum_{i=0}^m w_{ki} x_i\right)$$

- Problem Aufstehen
 - Strategie
 - Bewegungsfolgen entwickeln
 - Feinkontrolle
- Kinesthetic Bootstrapping
 - Vormachen am passiven Roboter
 - Aufzeichnen der Motorpositionen
 - PCA
 - Postur-Modell und PCA
 - Optimierung mit Gütefunktion
 - Evolutionärer Algorithmus
 - Übertragung auf Roboter oder Avatar

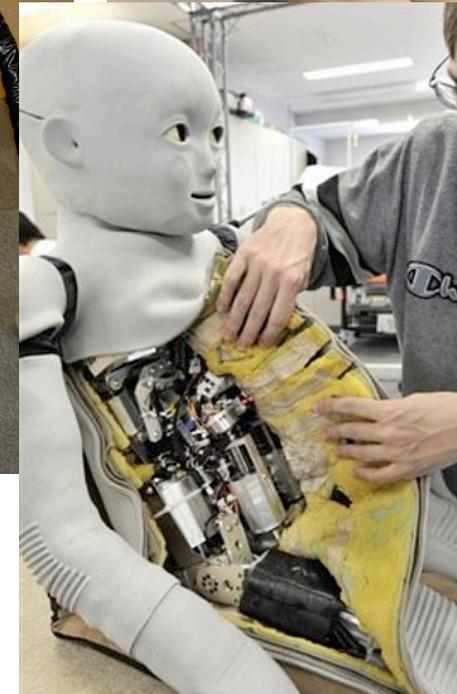


5. Roboter und Menschen

- Uncanny Valley
 - Gerät
 - Tier
 - Puppe
 - Monster
 - Mensch
 - siehe Terminator etc.
- Roboter links des UV
 - klein und putzig
 - klar als Roboter zu erkennen
 - ungelenke Bewegung
 - siehe R2D2 und C3PO
 - Bioloid vs. Robonova
- Roboter rechts des UV
 - z.B. Prof. Ishiguro, Osaka
 - Erforschung Interaktion Mensch-Roboter
 - Wie wird ein Roboter nicht uncanny?



- Repliee Q2
 - Augen 3 DoF, Mund 7
 - Augenbrauen, Augenlider, Wangen
 - Hals 3
 - Arme 9*2
 - Finger 2*2
 - Rumpf 4
- CB2
 - 130 cm, 33kg
 - 197 Haut-Sensoren
 - 51 Aktoren
 - analysiert Gesichter
 - hat gehen gelernt
 - lernt sprechen



6. Stand der Robotik

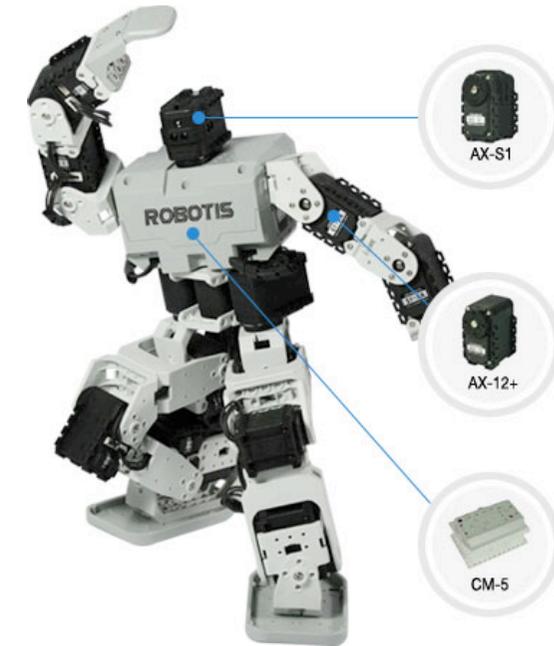
6.1 Honda Asimo

- Lange Entwicklung seit 1986
 - heute 'new' ASIMO
 - 54 kg, 130 cm
 - Gehen 2,7 km/h
 - Rennen 6 km/h
 - Lithium Ionen Akku 6kg
 - laufen bis eine Stunde
 - 34 DoF
- Fähigkeiten
 - 10 Gesichter erkennen
 - Reaktion auf Sprache und Geräusche
 - Hält für Hindernisse
 - Erkennt Boden und Treppen
 - erkennt und reagiert auf Bewegungen
 - Folgt Objekten und Personen
 - <http://www.youtube.com/watch?v=P9ByGQGiVMg>

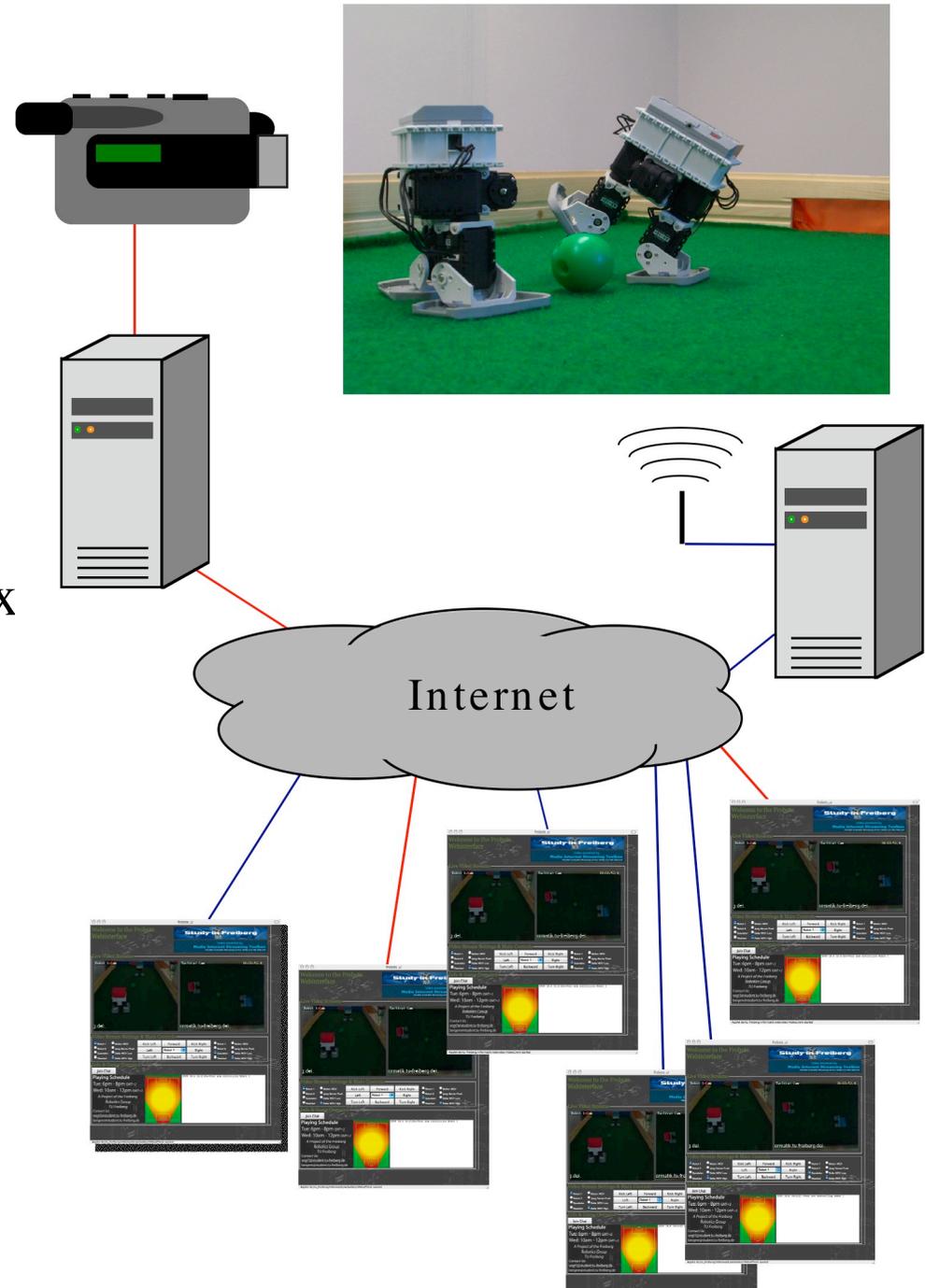


6.2 Roboter and der TU Bergakademie Freiberg

- Bioloid
 - Bausatz mit Servos und Verbindungselementen
 - Atmega Prozessor
 - Flash und RAM
 - einfache Sensoren
 - 1000 EUR
- Fußball?
 - Stehen, Laufen, ...
 - Fußball als Beispiel
 - Bewegungen
 - Taktik und zielgerichtetes Handeln
- Frobots L
 - stabiles Stehen, Gehen, Drehen
 - Ball kicken
 - vorgefertigte Bewegungen
 - Fernsteuerung Wii-Controller
 - Taktik vom Menschen



- Frobots Web
- Roboter
 - 2 oder 4 kleine Bioloids
- einfaches Spielfeld
 - Steuercomputer
 - Kommandos an Roboter
 - Zigbee-Funk
- Videocomputer
 - 3 Kameras
 - Multimedia Internet Streaming Toolbox
- Internetanschluss
 - Steuerkommandos in Paketen
- Browser
 - Webseite mit Video
 - Knöpfe für Bewegungen
 - Chat



- Robonova
- Aldebaran NAO (2)
 - 4,3 kg, 58 cm
 - 21 DoF
 - Intel Atom @ 1.6 Ghz
 - 1 GB RAM
 - Linux
 - W-LAN
 - 2 Webcams 640*480
 - Beschleunigungssensor
 - 4 Ultraschallsensoren
 - 4 Mikrophone
 - Berührungsschalter
 - Lautsprecher mit TTS
 - 12.000 EUR
- Forschung
 - Kontrolle mit Kinect
 - Kinesthetic Boostrapping
 - ...

