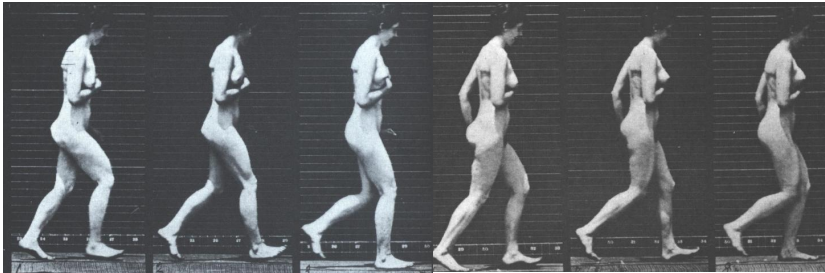


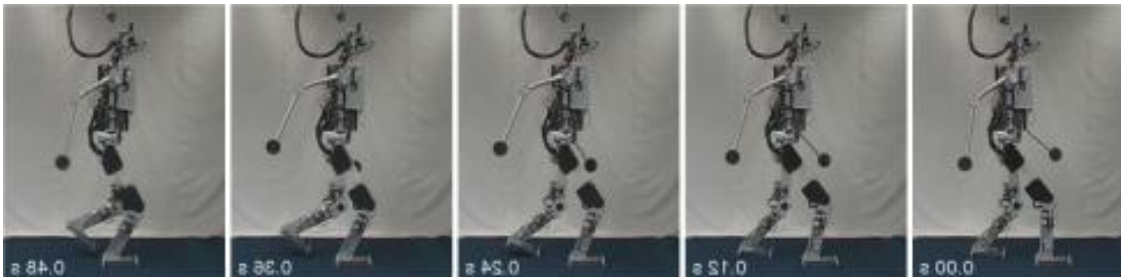
Laufmaschinen

Sinn oder Unsinn, Chance oder Flop?

Friedrich Pfeiffer, Garching

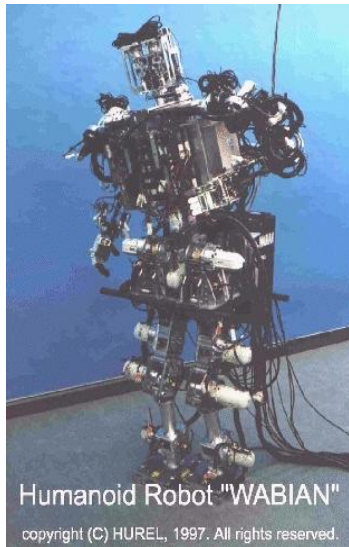


MUYBRIDGE 1887



JOHNNIE 1995-2008

**„Bewegung
ist
Intelligenz“**



Wabian



Honda P1



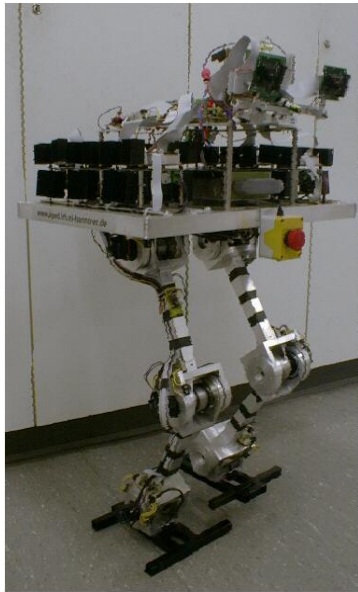
Honda P2



Honda P3



Honda Asimo



Barth-UH



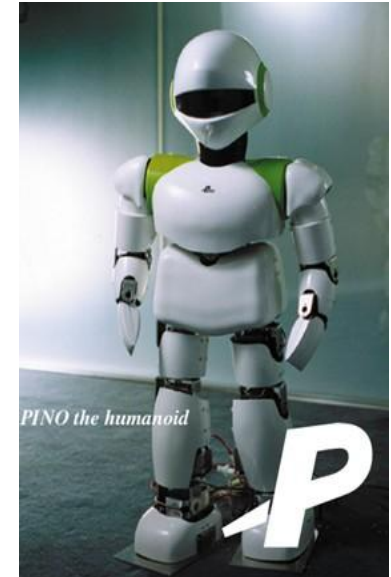
BIP2000



H7



Sony SDR3x

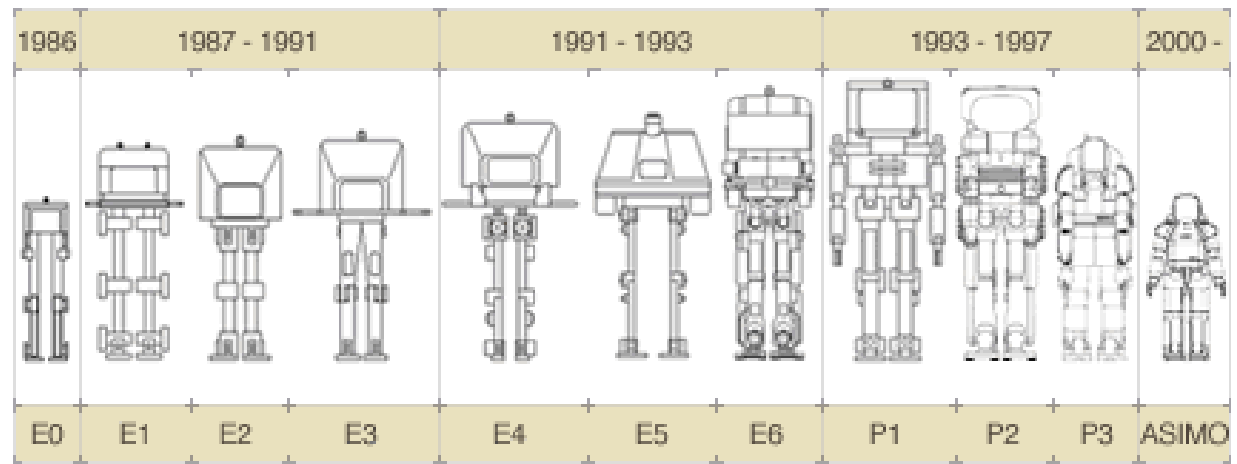


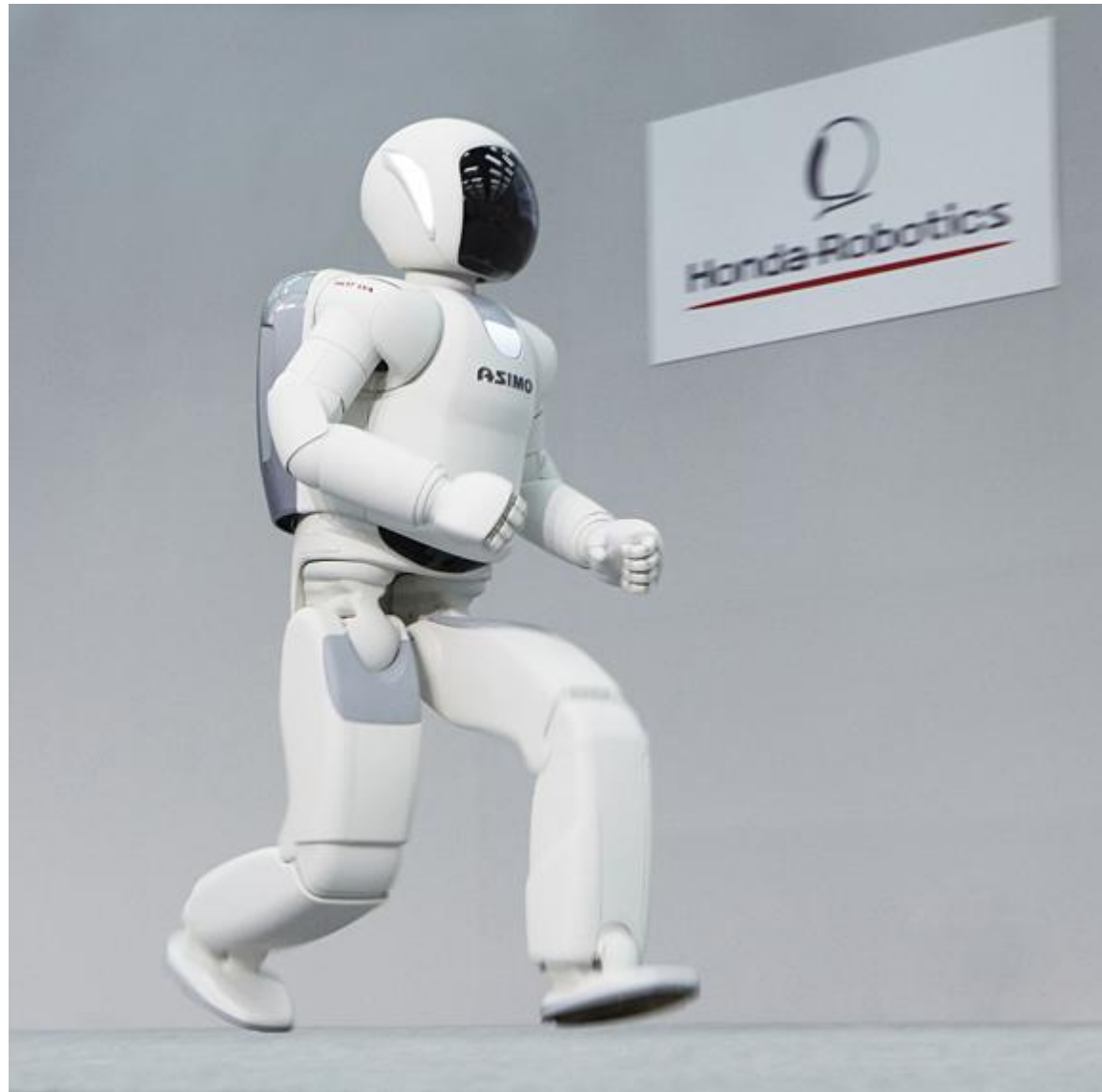
Pino

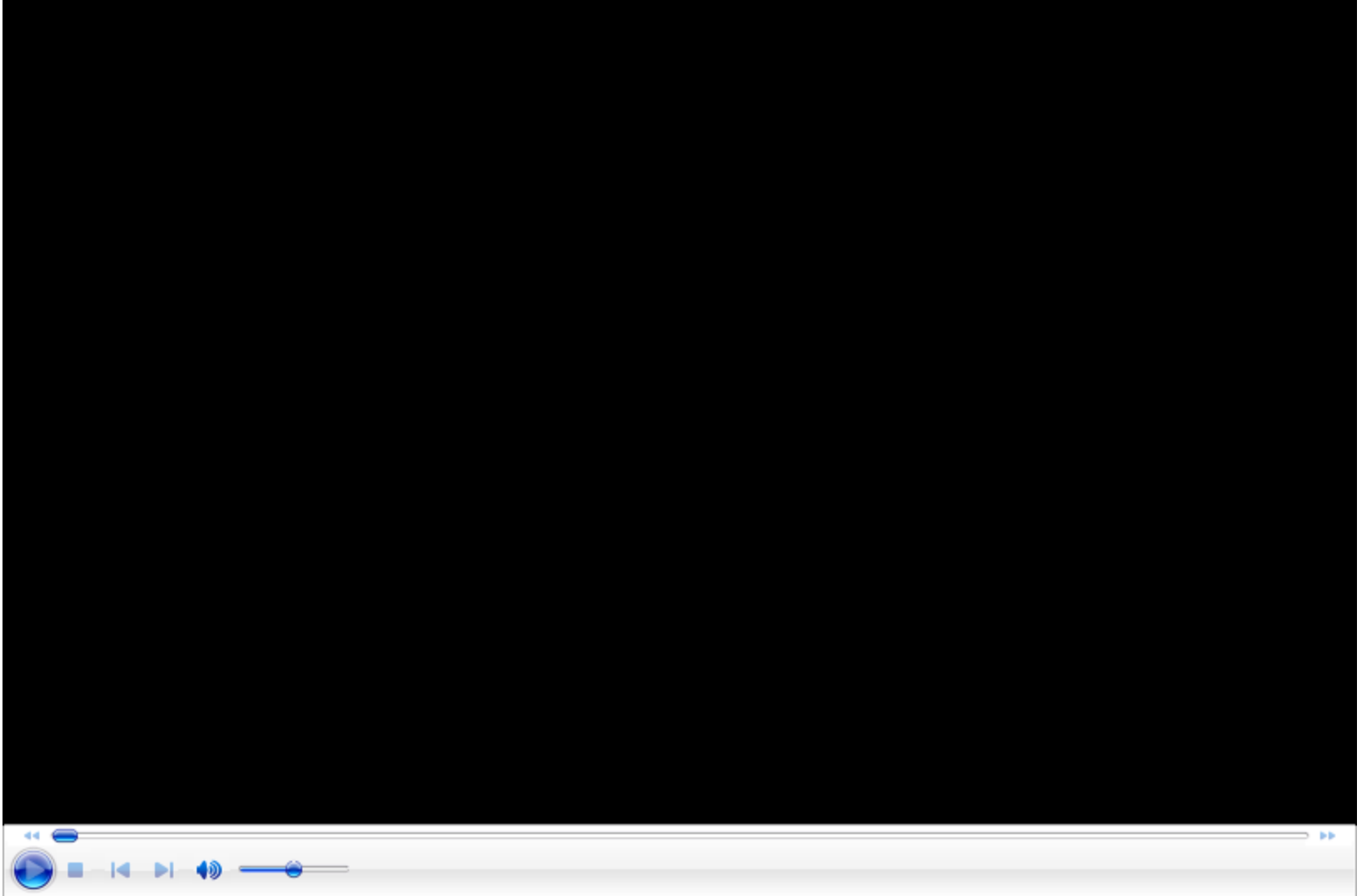
ASIMO
The Honda Humanoid Robot ASIMO



History
Robot Development Process







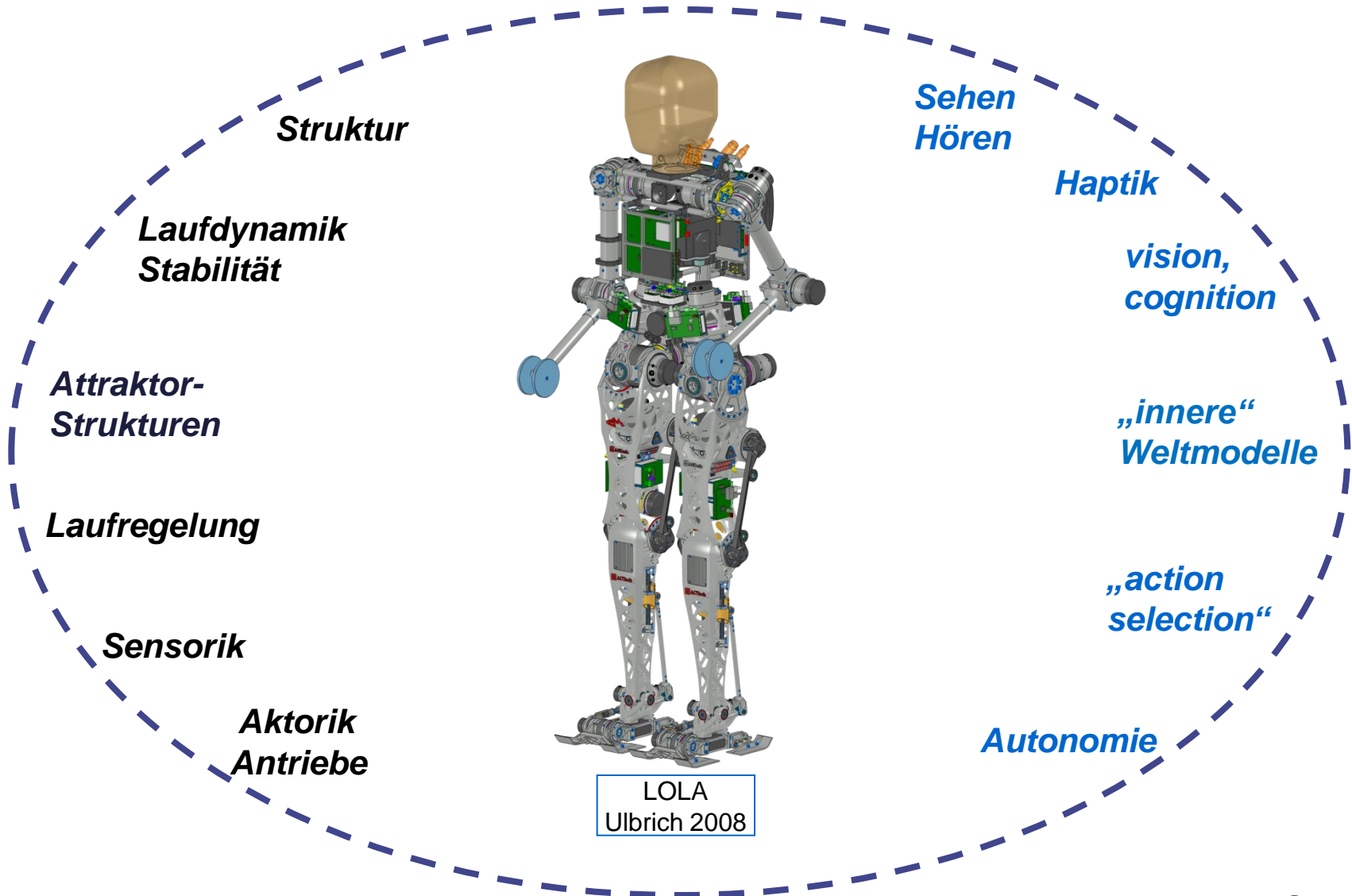
Humanoid Robot Lola

Fast Walking Experiment

max. steplength: 0.65 m

const. steptime: 0.7 s

max. speed: 3.34 km/h

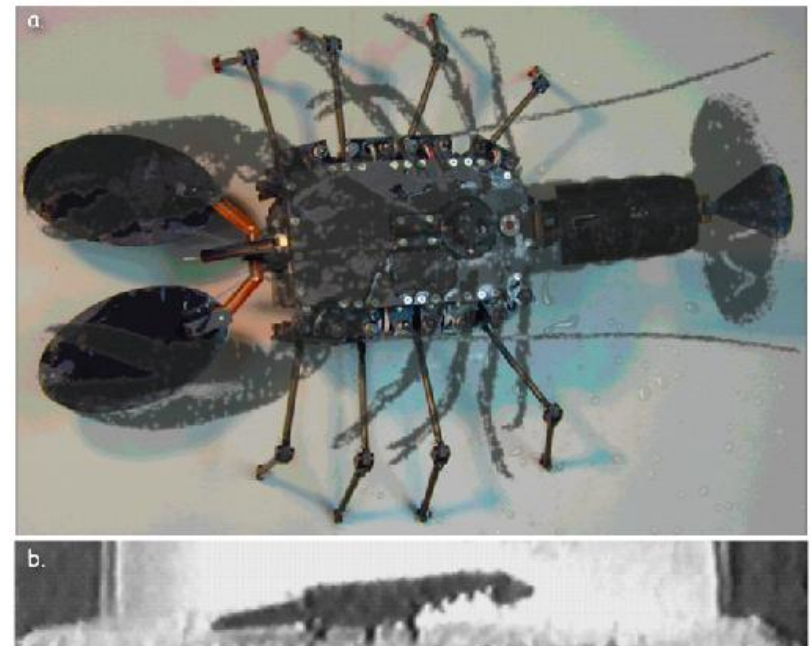


- Laufplanung und Laufmuster in Abhängigkeit von Umgebung und Geschwindigkeit
- Automatische Anpassung von Sensor-, Aktor- und Regelungsstrukturen
- Überwältigende Sensorausstattung
- Entscheidungsfähigkeit → „action selection“
- Perfekte Kognition (Sehen, Hören, Riechen, Fühlen, inneres Weltmodell, effizientere „Rechner“)
- Perfekte Autonomie

aber nicht 1:1

Entwicklung und Bau von Laufmaschinen mit biologie-orientierter Basis

- **Unterschiedliche Schulen:**
 - rein mechanisches Laufen durch „intelligente Mechanik“
 - humanoide Roboter mit gesteuertem und geregelterm Laufen
- **Integration aktiv/passiv, biologische Erkenntnisse weitestgehend umsetzen (nichtlineare Dynamik mit Fixpunkten)**
- **Massenverteilung und Antriebe**
- **Wirkung von Elastizitäten (Energieanteile der Muskeln, Rückgewinnungsproblem)**
- **abhängige und unabhängige Freiheitsgrade, mögliche Parametrierung von Freiheitsgraden**
- **Sensorik, Processing vor Ort**
- **Regelung aller Freiheitsgrade**
- **Regelung, neuronale Strukturen direkt umsetzbar (Beispiel Joseph Ayres, Boston, Sechsbeiner Pfeiffer, München)**



Entwicklung und Bau von Laufmaschinen mit biologie-orientierter Basis

ZUKUNFT:

Laufautonomie wird durch Integration von leistungsfähigen Sichtsystemen in Verbindung mit intelligenten kognitiven Systemen realisiert; *action selection* und *action control* näher als bisher an biologische Erkenntnisse

- Aufbau und Organisation „innerer Weltmodelle“, statische und dynamische Alternativen
- „statisches inneres Weltmodell“:
Aufbau und Organisation zu einem geeigneten Zeitpunkt, dann belassen bis zum Ende des Szenariums
- „dynamisches inneres Weltmodell“:
Grobmodell am Anfang mit stetiger Verfeinerung bis zum Ende des Szenariums

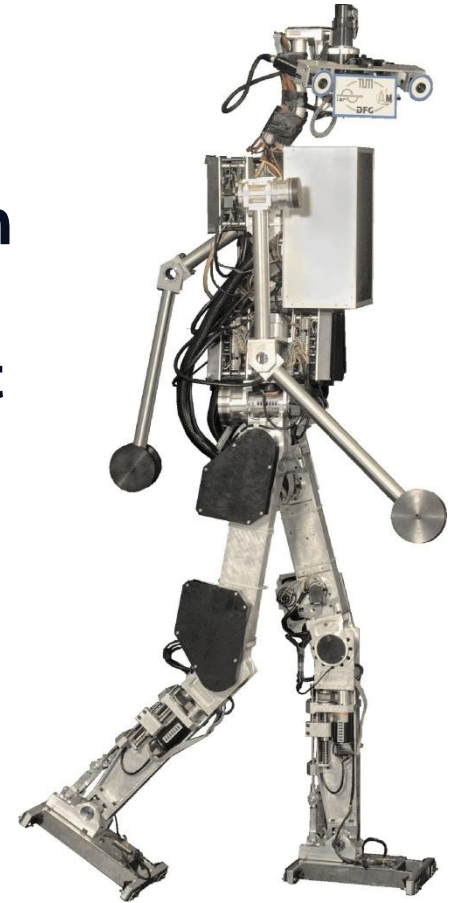


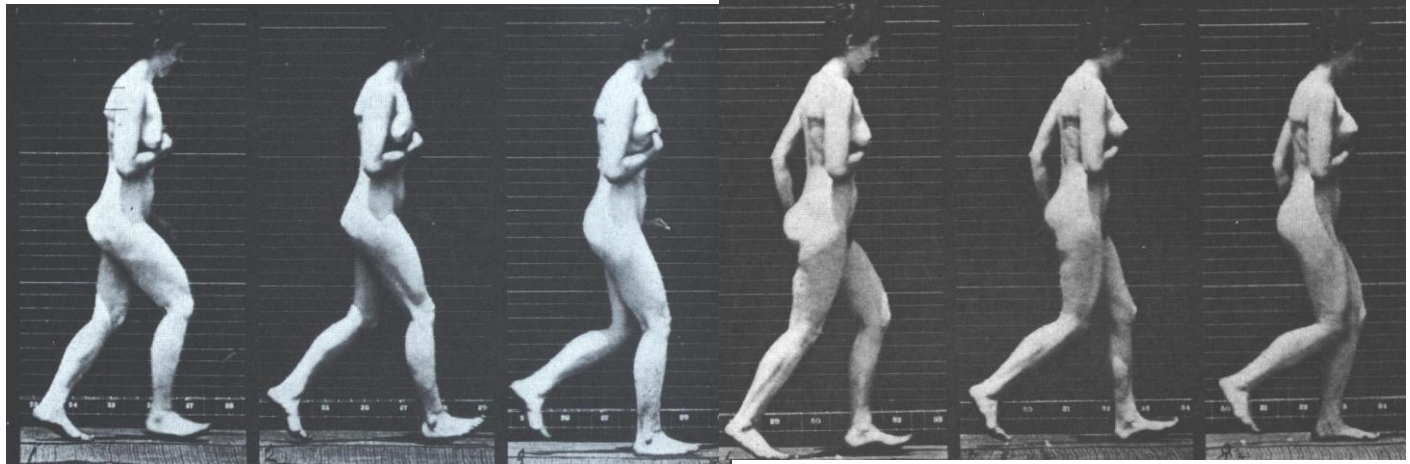
Zentrale Probleme aller technischen Laufmaschinen

- Die einzigen verfügbaren Antriebe mit genügend großen Kräften und Momenten sind Gleichstrommotoren auf Neodym-Bor-Basis oder bürstenlose permanent-magnetisch-erregte Synchronmotoren, beide in Kombination mit Harmonic Drive Getrieben *mit sehr großer Reibung*. Reduktion durch geeignete Konstruktion und durch regelungstechnische Reibungskompensation.
- Biologische Massenverteilungen nicht realisierbar. Frage der Notwendigkeit.
- Großes, nichtlineares dynamisches System verhindert derzeit eine Trajektorienplanung auf der Basis aller Freiheitsgrade (3D-Planung), daher nur mit ebenen Modellen der Füße. Standardtrajektorien. Problem der Rechenleistung.
- Mit der Biologie vergleichbare Kognitionssysteme existieren (noch) nicht. Ein Durchbruch in diesem Bereich würde Autonomie ermöglichen, und das nicht nur bei den Laufmaschinen.



- **Laufmaschinenstrukturen den menschlichen Maßen und der menschlichen Welt angepasst**
- **Strukturelles Vorbild Mensch, weil es Sinn macht und kein anderes da ist.**

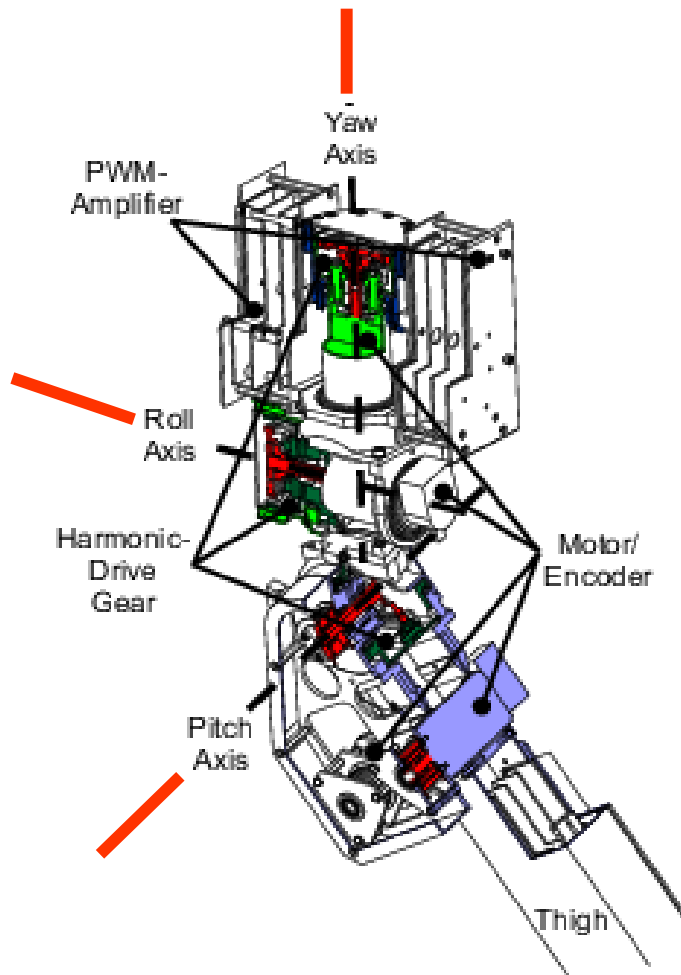




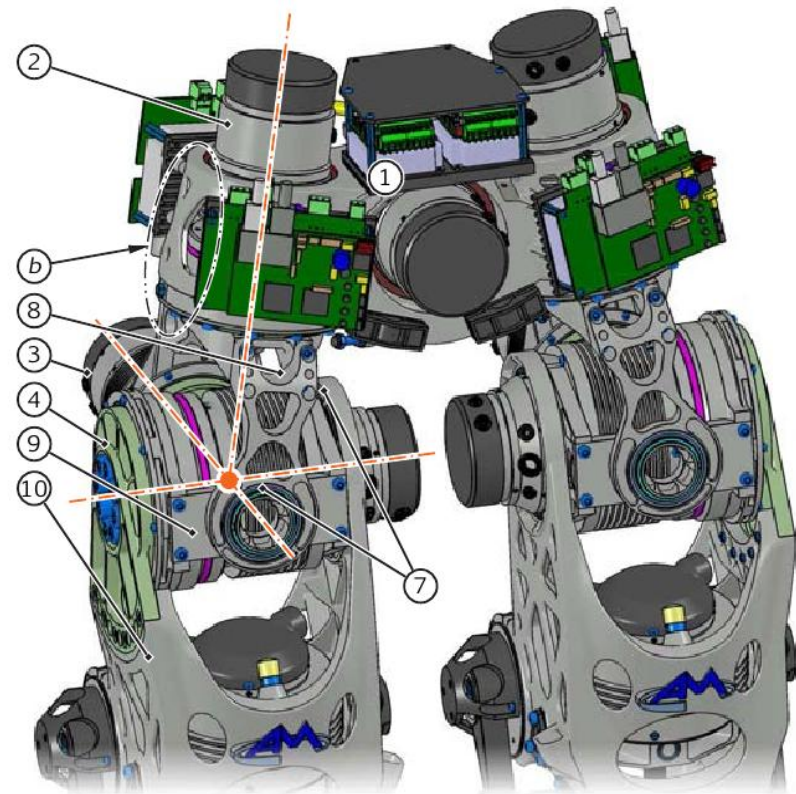
MUYBRIDGE 1887



JOHNNIE 2003

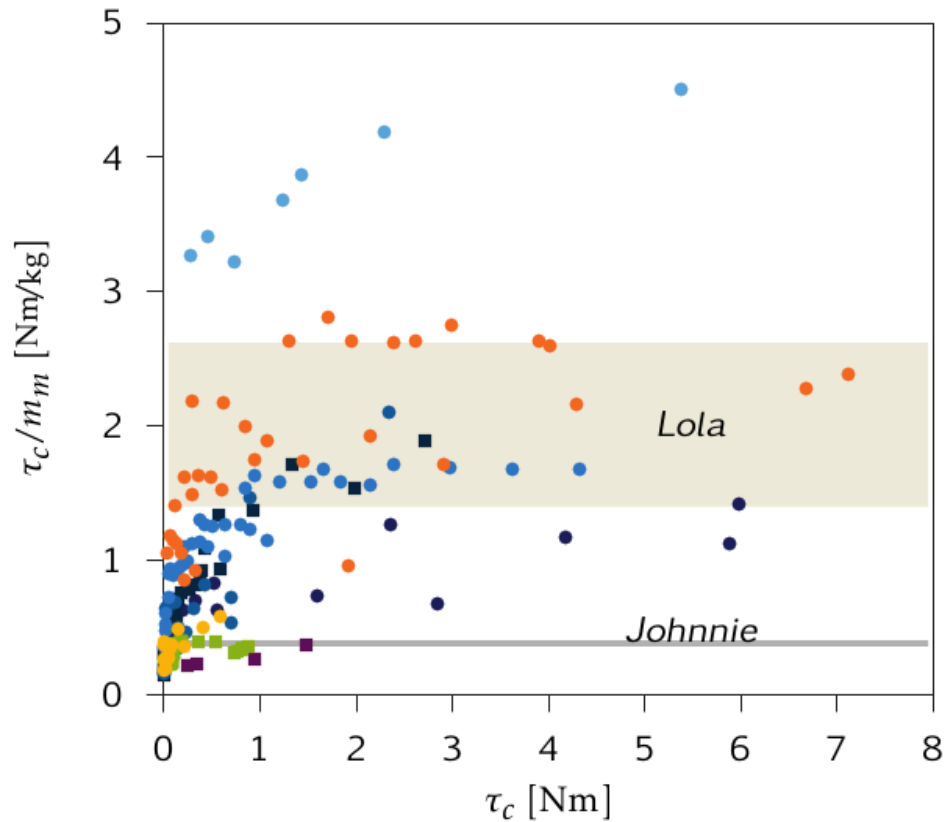


Hüftgelenk JOHNNIE
(Gienger, Pfeiffer 2000)



Hüftgelenk LOLA
(Lohmeier, Ulbrich 2005)

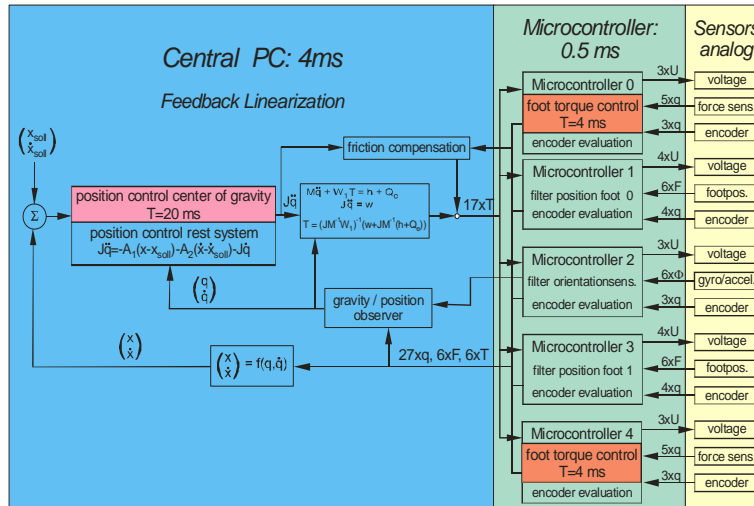
(a) Specific continuous torque



- Aerotech (BDCM, housed)
- Aerotech (PMSM, frameless)
- Axsys (BDCM, frameless)
- Axsys (PMSM, frameless)
- Maxon (BDCM, housed)
- Kollmorgen (PMSM, frameless)
- Parker Bayside (PMSM, frameless)
- RoboDrive (PMSM, frameless)
- Wittenstein (PMSM, housed)

(BDCM = brushed DC motors,
PMSM = permanent magnet
synchronous motors)

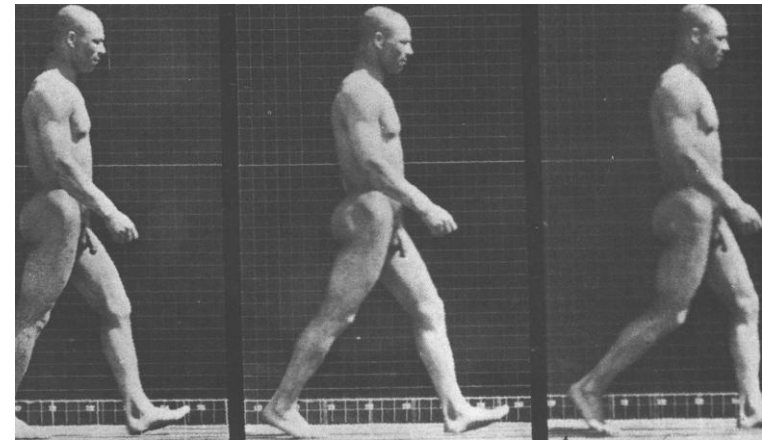
(nach Lohmeier 2010)

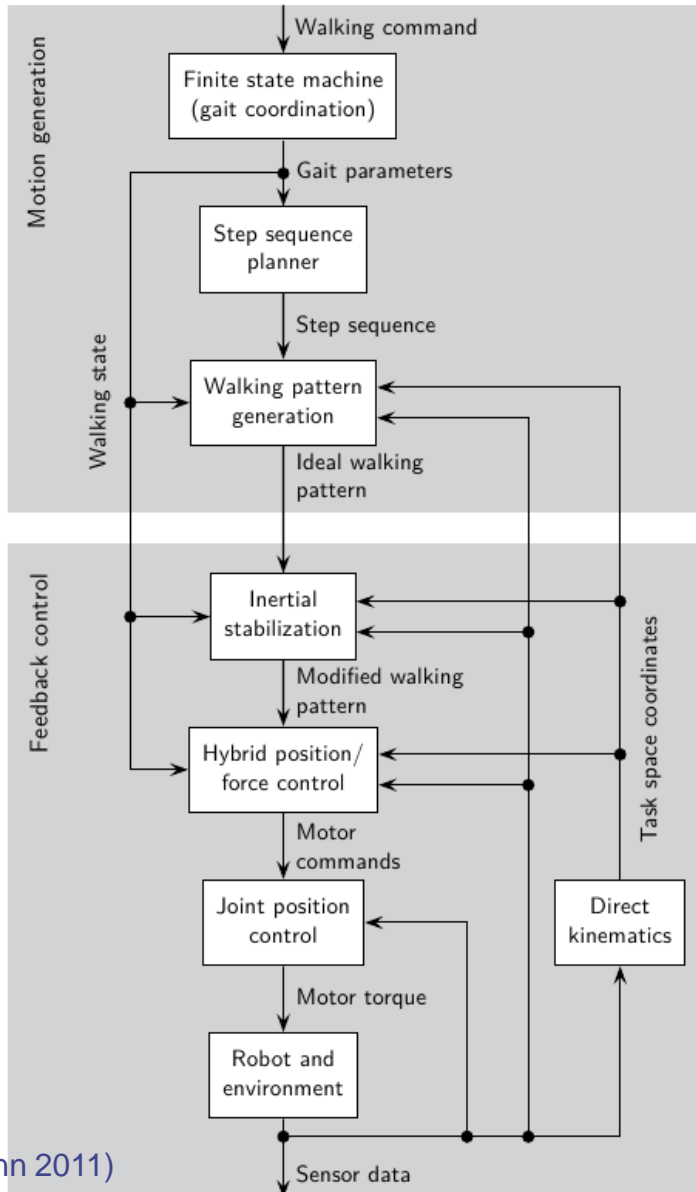


Probleme:

- Stabilisierung wegen Modellungenauigkeiten und Masseneffekte (modellprädiktive Regelung)
- Rechner um 4-5 Größenordnungen zu langsam (oder prinzipiell andere Ansätze)

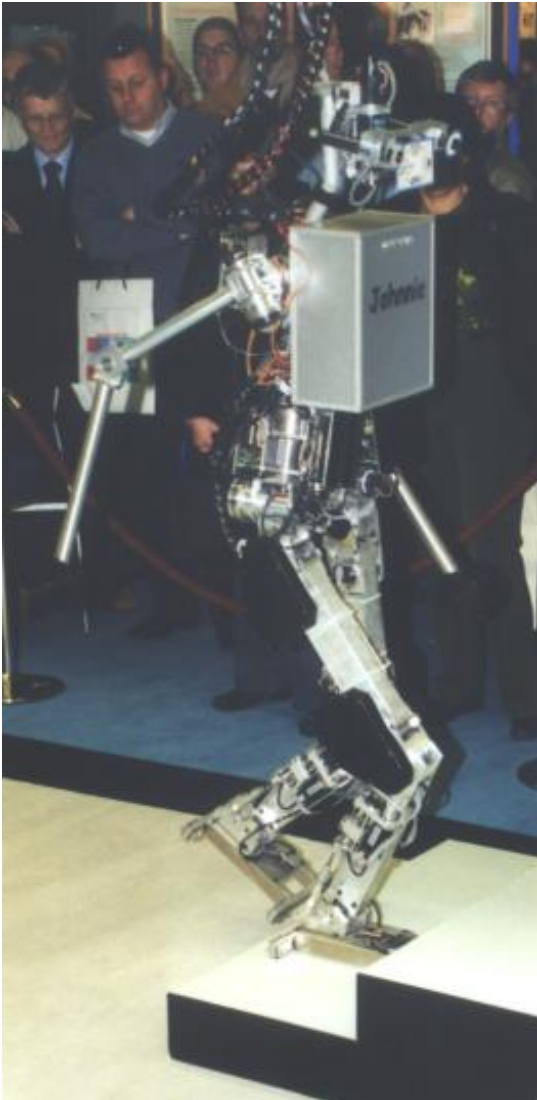
- Stabilität **vor** Energie
- Regelung aller Freiheitsgrade (Biologie: Parametrisierung, Standardlaufmuster)
- Stabilitätsprobleme bei unerwarteten Störungen





Planung von Trajektorien und Laufmustern

On-line Regelung aller Freiheitsgrade



Stufe 1:

Sichtsystem – Lernsystem – Modell der äußeren Welt – Modell des Roboters – modellgestützte virtuelle Laufversuche – Entscheidung und Umsetzung

Stufe 2:

zusätzlich autonome Entscheidungsfähigkeit auf der Basis eines inneren Weltmodells und auf der Basis des gelernten Wissens

Stufe 3:

Selbstständiges „action selection“ für jede denkbare Laufsituation

„Entwurf und Realisierung einer zweibeinigen Laufmaschine“

-- Friedrich Pfeiffer, Garching

„Perzeptionsbasiertes humanoides Gehen“ -- Günther Schmidt, München

Laufmaschine JOHNNIE

- etwa 43 kg, 17 Gelenke, ~1000 Einzelteile, max. Moment ~220 Nm, max. $v \sim 0.7$ m/s, >80 Sensoreingänge, zentrale Rechnerarchitektur (PCI-System),
- zentrale Regelung aller Freiheitsgrade,
- Integration eines Sichtsystems für autonomes Laufen

Zusammenarbeit mit Schmidt (München), Cruse (Bielefeld), Büschges (Köln), Blickhan/Fischer, (Jena), König/Brandt (SFB 462)



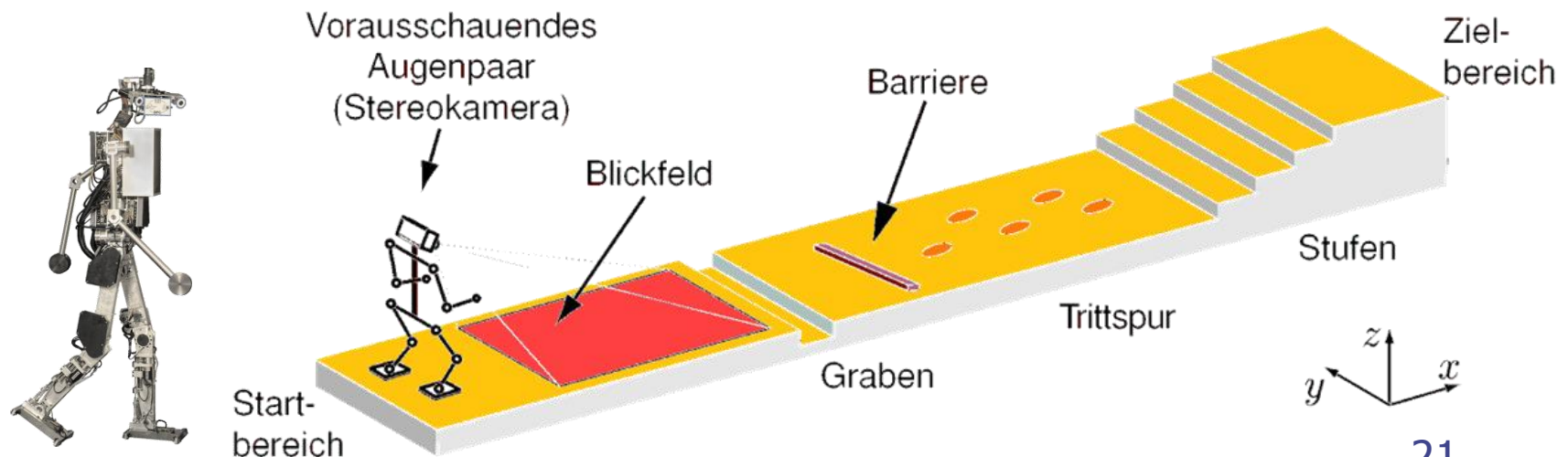
„Entwurf und Realisierung einer zweibeinigen Laufmaschine“

– Friedrich Pfeiffer, Garching

„Perzeptionsbasiertes humanoides Gehen“ – Günther Schmidt, München

Gehen und Sehen

- Visuelle Perzeption der Umwelt für sicheres und zielorientiertes Gehen,
- Hardware-in-the-Loop Experimente mit virtueller (VR) und computeraugmentierter Realität (CAR).
- Realisierung auf JOHNNIE.





Löffler
Gienger
2003

Allgemeiner Nutzen

- Träger für neue Technologien
- Impulse für neue Technologien wie neuartige Antriebe, neue Reglerstrukturen, Sensorik, Sichtsysteme, KI, Kognition,

Einige Anwendungen

- Hilfe im Haushalt, besonders für ältere Menschen
- Ansprechpartner für alleinstehende Menschen
- Angetriebenes Exoskelett für Paraplektiker
- Hilfe in verschiedenen Handwerksberufen
- Einsatz in kontaminierten Bereichen (Chemie, Feuer, Radioaktivität, Sprengstoffe)

Admiral Sir Charles Napier 1807 zur Umstellung der britischen Kriegsmarine auf Dampfbetrieb:

„Wenn wir in die Marine Seiner Majestät eintreten, sind wir bereit, uns von Entermessern zerhacken, von Flintenkugeln durchlöchern und von Granaten zerschmettern zu lassen. Wir sind aber nicht bereit, uns bei lebendigem Leib kochen zu lassen.“

Generalpostmeister Heinrich von Stephan 1874 zum Fliegen:

„Selbst wenn durch uns bis jetzt noch unbekannte Kraftmittel Geschwindigkeiten von 150 km/h erreicht werden sollten, so würde doch wohl aus physiologischen Gründen davon Abstand zu nehmen sein, da unsere Lungen nicht die der Vögel sind und wir bei einer so rapiden Art, die Luft zu durchschneiden, ersticken würden.“

Bill Gates 1981 zur Größe von Kernspeichern:

„640 Kilobytes sollten für jedermann genug sein.“

Thomas Newcomen 1712..... Erste Dampfmaschine (Bergwerk)

(J. S. Bach in Weimar)

Benz 1886 Erstes Automobil *(Brahms 4. Symphonie)*

Gebrüder Wright 1905..... Erster bemannter Motorflug

Neil Armstrong 1969..... Erster bemannter Mondflug und –landung

2040 bis 2050..... Erster bemannter Marsflug und –landung
(USA, China, Russland ? ?)

1930 mechanischer Rechner (10^0 Op/s) *(Schostakowitsch „Die Nase“)*

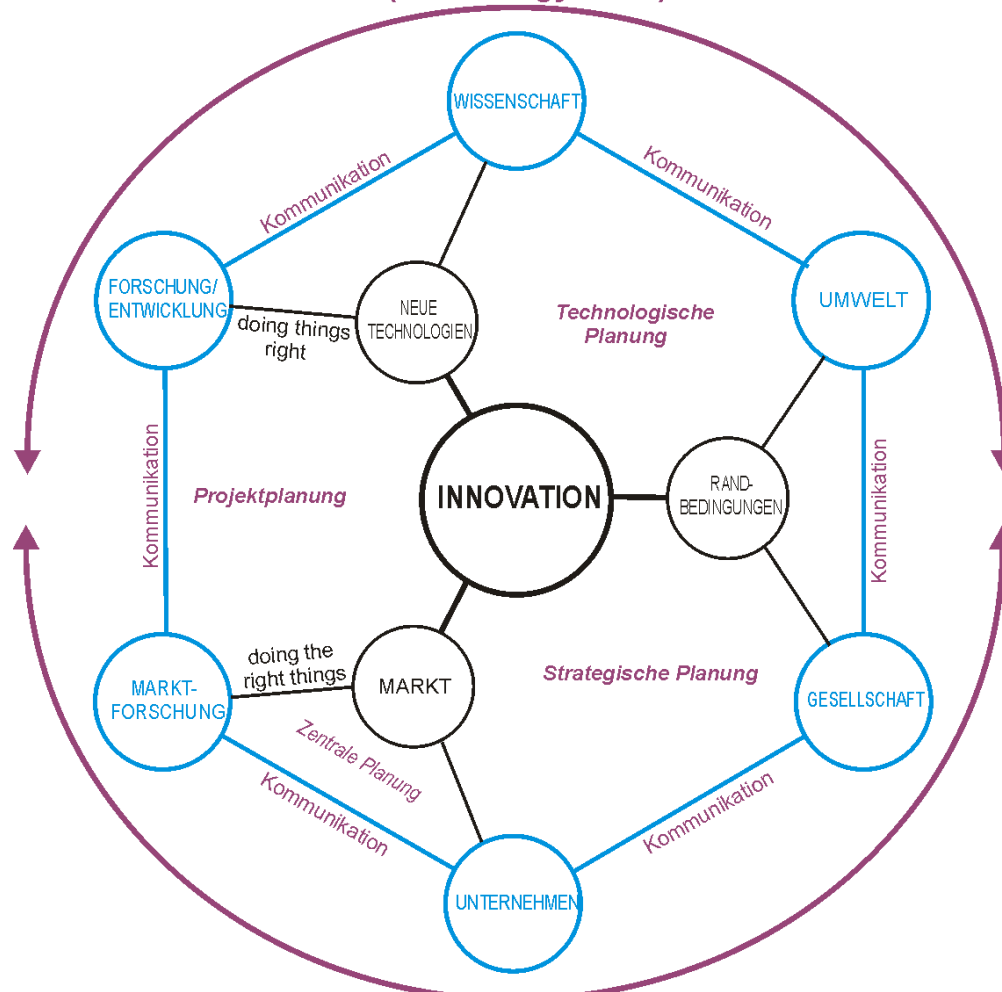
1945 Vakuumröhre (10^3 Op/s)

1970 integrierter Schaltkreis (10^8 Op/s)

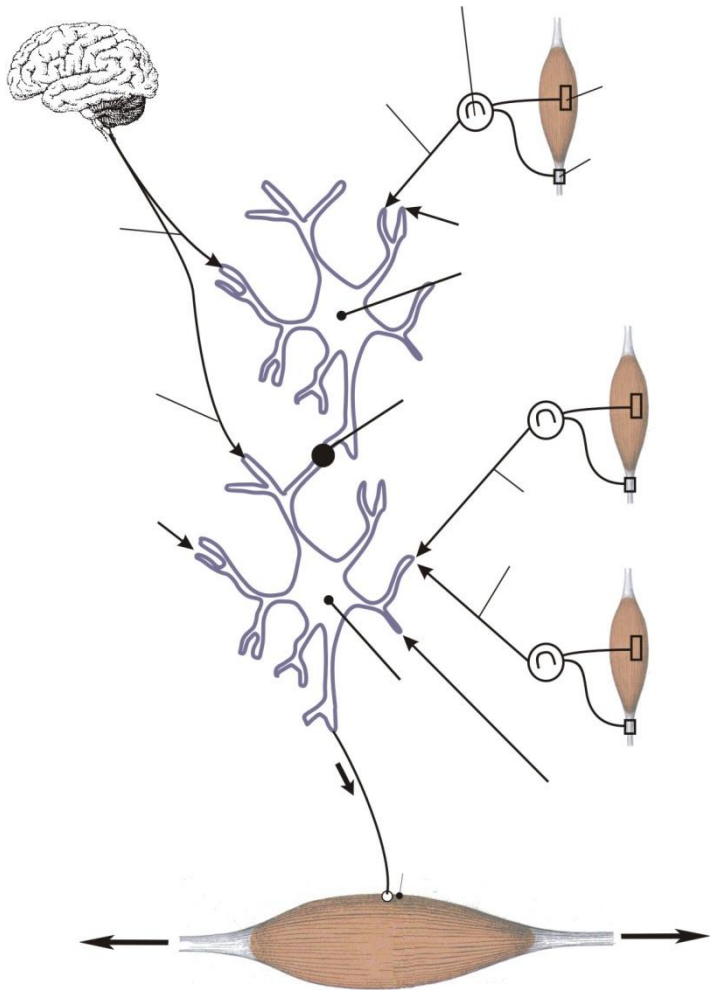
1995 integrierter Schaltkreis (10^{11} Op/s) *(Stockhausen „Mittwoch aus Licht“)*

2011 Intel Core Processor (10^{14} Op/s)

PRODUKTE MACHEN MARKT (Technology Push)



MARKT MACHT PRODUKTE (Market Pull)



- Die meisten der offenen technischen Probleme sind lösbar.
- Offene Fragen in den Bereichen Kognition, action selection und Autonomie, bisher jedoch vielversprechende Fortschritte.
- Eine wirkliche künstliche Intelligenz wird auch die Bewegungsprobleme lösen (motion is intelligence)
- Problematik Akzeptanz und Geld: (Japan > 1 Milliarde USD, Deutschland ~ 10-20 Mio. €)
- Meine Überzeugung: **SINN + CHANCE** (bei offenem Zeithorizont)