

# Entscheidungen und Verantwortung im OP der Zukunft

ITAS – Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

**Michael Decker, KIT**

**Medizin - Roboter - Mensch**

**Handeln und Verantwortung: Wie Roboter die Chirurgie  
und das Arzt-Patienten-Verhältnis neu bestimmen**

**Tagung der Evangelischen Akademie Tutzing  
in Kooperation mit dem Krankenhaus Weilheim-Schongau**

**28.10.2021, Tutzing**



# Gliederung

1. Die Perspektive der Technikfolgenabschätzung
2. Autonome Systeme
3. Autonomie – menschlich und technisch
4. Maschinelles Lernen
5. Einbettung in Handlungszusammenhang
6. Handlungszusammenhang OP
7. Diskussion

# ITAS - Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse



- **Forschung:**
  - Nachhaltigkeit und Umwelt
  - Energie – Ressourcen, Technologien und Systeme
  - Innovationsprozesse und Technikfolgen
  - Wissensgesellschaft und Wissenspolitik
  
- Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)
- Politikberatung in Technikfragen des Europäischen Parlaments (STOA)
- Politikberatung für Ministerien
  - „Forschung für Politikberatung“
  
- Innovationsbegleitende Technikentwicklung

## (Technische) Innovation

- Innovation ist „kreative Zerstörung“ (Joseph Schumpeter 1942)
- Führt zu „Gewinnern und Verlierern“
- Folgen sind aus verschiedenen Perspektiven beschreibbar:
  - positive/negative Folgen
  - nicht-/intendierte Folgen
  - un-/erwünschte Folgen
  - Haupt- /Neben-Folgen
  - Chancen/Risiken
- Methodische Herausforderungen: Zukunftsbezug und problemorientiert (-> inter-/transdisziplinär)

# “Autonome” Technologie:

## Die wollen doch bloß helfen!

Roboter rollen in Wohnzimmer und Altenheime und bieten ihre Dienste an. Ist das schlimm? Ganz ehrlich: Die meisten sind noch rechte Trottel. Heikel wird's nur, wenn sie lieb tun. Denn das nehmen wir diesen Maschinen auch noch ab. Man bräuchte sozusagen eine Ethik für Roboter

REPORTAGE / DIAKONIE UND SOZIALES

JANUAR 2012

Kognitive Robotik

Soziale Robotik

Lernende Robotik

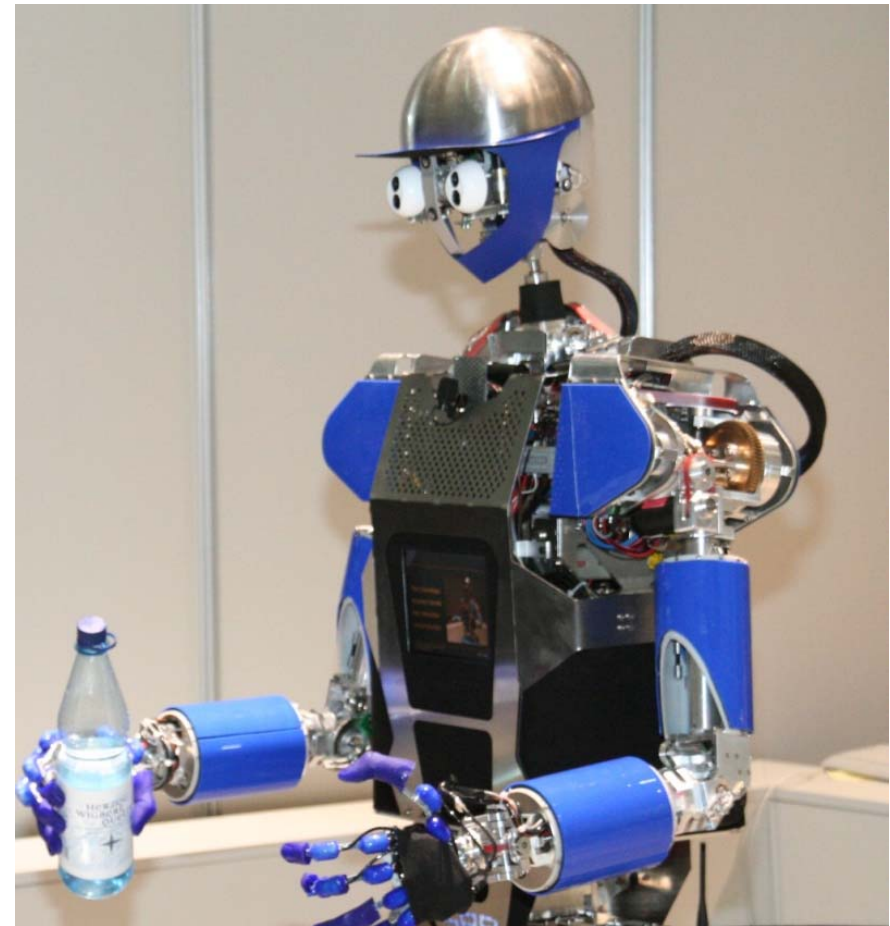
Adaptive Robotik



# Technische Ersetzbarkeit

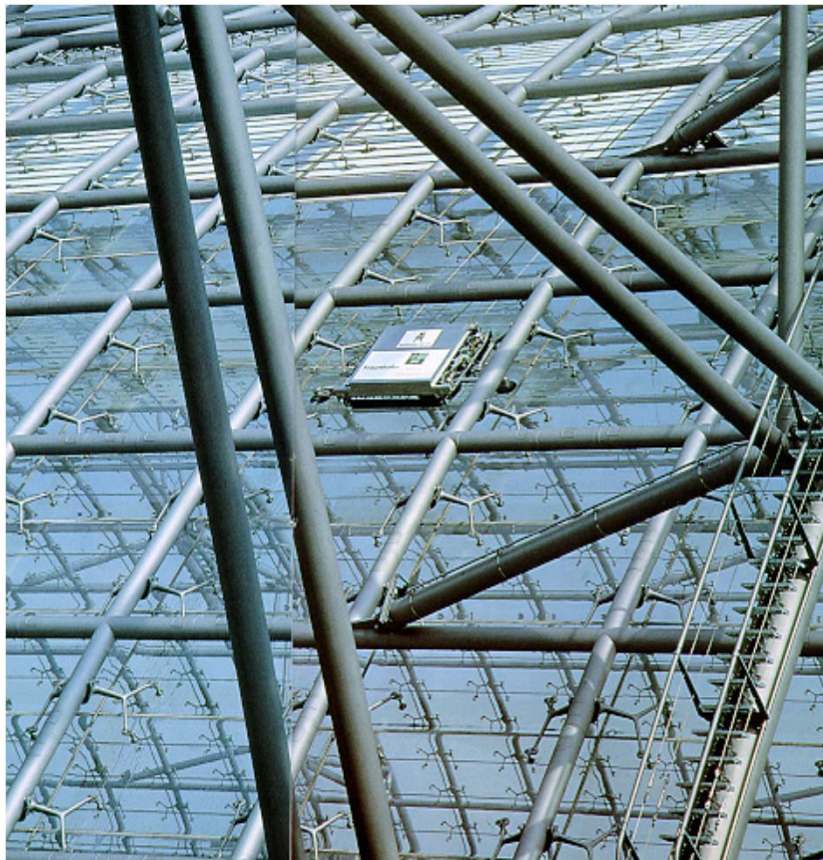
ARMAR III ("Küchenhilfe")  
KIT

Staubsaugroboter



# Ökonomische Ersetzbarkeit

Fensterputzroboter  
Fhl Fabrikbetrieb und Automatisierung  
Messehalle Leipzig  
(10000 m<sup>2</sup> Glasfläche)



MLR-System GmbH: CASERO®



# Automatisierung und Arbeit



„Aus der Analyse der sozialen Auswirkungen müssen vielmehr Konsequenzen für bestehende und vor allem zukünftige technische Entwicklungen gezogen werden, um zu einem ausgewogenen Verhältnis zwischen der Lebens- und Arbeitssituation des Menschen einerseits und einem effizienten Einsatz automatisierter Mittel andererseits zu gelangen.“

Henning, K., & Marks, S. (1986). Inhalte menschlicher Arbeit in automatisierten Anlagen. In *Arbeitsorganisation und Neue Technologien* (pp. 215-244). Springer Berlin Heidelberg.

(Fischer; M./Lehrl, W.: *Industrieroboter – Entwicklung und Anwendung im Kontext von Politik, Arbeit, Technik und Bildung*. Bremen 1991.)

„Our model predicts that most workers in transportation and logistics occupations, together with the bulk of office and administrative support workers, and labour in production occupations, are at risk.[...]. More surprisingly, we find that a substantial share of employment in service occupations, where most US job growth has occurred over the past decades, are highly susceptible to computerisation.“

Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?. *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254-280

(Bonin, H., Gregory, T., & Zierahn, U. (2015).

Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland (No. 57). ZEW Kurzexpertise.)



# Automatisierung und Arbeit



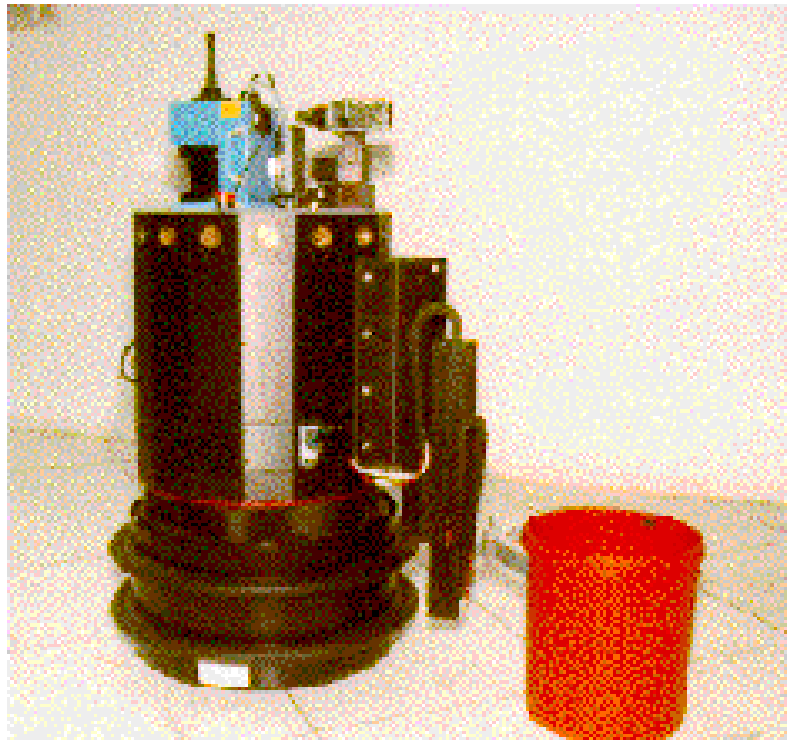
Selbst wenn Automatisierung unmittelbar zu Arbeitsplatzverlusten führt, entstehen durch den Wandel zugleich neue Arbeitsplätze, beispielsweise bei der Herstellung der neuen Technologien oder aber durch höhere Produktivität und höhere Gewinne der Unternehmen, die automatisieren. Die Gesamtbeschäftigung ist daher nicht zwangsläufig gefährdet.

Dennoch setzt technologischer Wandel Arbeitskräfte der Herausforderung aus, sich dem Wandel zu stellen. Beschäftigte müssen in die Lage versetzt werden, den Wandel am Arbeitsmarkt zu bewältigen. Sie benötigen Qualifizierung, um komplexere, schwer automatisierbare Aufgaben neu zu übernehmen, aber auch um die Technologien als Arbeitsmittel zu verwenden (S.ii).

(Bonin, H., Gregory, T., & Zierahn, U. (2015).  
Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland (No. 57). ZEW Kurzexpertise.)

# Rechtliche Ersetzbarkeit

Service Robot „David“  
Equipped with learning algorithm  
FAW-ULM



Fraunhofer-IPA (Care-O-bot®)  
(Bild: Wimi-Care, Compagna)



# Ethische Ersetzbarkeit

## Ethical Perspective

### Care-o-bot

PARO

Takanori Shibata

“Mental Commit Robot  
for psychological enrichment”



Ri-Man  
Riken Laboratories



# Handlungsempfehlung 1

Expansionsroboter sollen gefördert werden

Meyco  
Winterthur

Da Vinci  
Klinikum Westphalen



## Handlungsempfehlung 2

*„In den Kontexten der Robotik ist an der Zwecksetzungskompetenz von Personen grundsätzlich festzuhalten. Das damit verbundene Instrumentalisierungsverbot ist bei der Einrichtung der jeweiligen Entscheidungshierarchien zu berücksichtigen.*

Bei der technischen Umsetzung der Entscheidungskompetenz kommt der Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle bzw. Programmsteuerung große Bedeutung zu. Damit Menschen die Verantwortung für das Funktionieren von Robotern übernehmen können, müssen diese im Sinne von Durchschaubarkeit, Vorhersehbarkeit und Beeinflussung kontrollierbar sein.

*Es wird empfohlen, dass in allen Fällen, in denen Roboter eigene Entscheidungsspielräume erhalten, die betroffenen Personen darüber aufgeklärt werden und ihre ausdrückliche oder stillschweigende Zustimmung geben müssen. Insbesondere bei medizinischer Behandlung und Pflege soll die Verweigerung dieser Zustimmung eine Vetofunktion haben.“*

# “Autonome” Technologie:

## Die wollen doch bloß helfen!

Roboter rollen in Wohnzimmer und Altenheime und bieten ihre Dienste an. Ist das schlimm? Ganz ehrlich: Die meisten sind noch rechte Trottel. Heikel wird's nur, wenn sie lieb tun. Denn das nehmen wir diesen Maschinen auch noch ab. Man bräuchte sozusagen eine Ethik für Roboter

REPORTAGE / DIAKONIE UND SOZIALES

JANUAR 2012

Kognitive Robotik

Soziale Robotik

Lernende Robotik

Adaptive Robotik



# “Autonomie” im interdisziplinären Kontext

## 1. Autonomie erster Stufe bzw. *technische Autonomie*.

Die Autonomie erster Stufe liegt in Fällen komplexer Automation mit technisch induzierten Freiheitsgraden vor. Die Eigenschaft der Autonomie bezieht sich dabei auf die Eigenschaft einer Maschine, in bestimmten Bewegungsräumen Steuerungen und Aktionen auszuführen.

## 2. Autonomie zweiter Stufe bzw. *personale Autonomie*.

Die eigentliche Autonomie bezeichnet eine Fähigkeit von Personen, spontan Einstellungen einzunehmen und Handlungen auszuführen, die prinzipiell nicht vorhersagbar sind. Personale Autonomie vollzieht sich in der Form von Handlungen im Raum der Gründe. Diese müssen nicht moralisch oder im engeren Sinn vernünftig bestimmt sein. Ein typischer Fall personaler Autonomie sind Lebenspläne im Sinne von Wünschen und Interessen zweiter Stufe.

## 3. Autonomie dritter Stufe bzw. *ideale Autonomie* im Reich der Zwecke.

Handlungen im Raum der Gründe können Gegenstand moralischer Selbstbestimmung im Sinne des kategorischen Imperativs sein. Unter den Bedingungen der Autonomie dritter Stufe sind Handlungen von Personen ausschließlich moralisch bestimmt. Ihre Handlungen würden sich unter idealen Bedingungen zu einer integralen Einheit zusammenfügen. Modelle idealer Autonomie sind die Konzeptionen von Rousseaus Gesellschaftsvertrag und Kants Reich der Zwecke.

Christaller et al. 2001, S. 126. Robotik.

Perspektiven für menschliches Handeln in der zukünftigen Gesellschaft

# “Autonomie” menschlich – technisch?

Unterscheidung von „Verhalten“ und „Handeln“

- Handeln setzt das Setzen eines Zweckes voraus.
- Diesen Zweck möchte man mit der Handlung erreichen.
- Entsprechende Mittel werden eingesetzt, um das Handlungsziel zu erreichen.
- Die Handlung kann dann einer Person zugeschrieben werden.

Verhalten ist nicht in gleicher Weise zuschreibbar,

weil dem Verhalten kein Mittel-Zweck-Zusammenhang zugrunde liegt.



# “Autonomie” menschlich – technisch?

Mit der Zuschreibbarkeit von Handlungen ist auch die Verantwortung für diese Handlung und deren Folgen verknüpft.

In der Praxis setzt Handeln dann auch die Fähigkeit einer Person voraus, diese Handlung, mit Referenz auf die Handlungszwecke, rational zu rechtfertigen. (Janich 2001)

„Gründe sind Bewertungen und – in der Form von Handlungsgründen – Veränderungen von Sachverhalten. Sie erfüllen überdies Funktionen in Erklärungen und Rechtfertigungen.“ (Sturma 2003, S. 42).

**Diese Fähigkeit im Raum der Gründe argumentieren zu können wird dann zum entscheidenden Kriterium für personale Autonomie**

## “Autonomie” menschlich – technisch?

Starke Autonomie:

- autonomes „Wesen“ vermag selbständig Gesetze zu formulieren
- Hält sich an diese „aus freien Stücken“
- Das setzt voraus, dass das Wesen eigene Interessen hat und
- Selbstständige Zwecke setzen kann

Für **technische Systeme** ist starke Autonomie nicht anstrebenswert

- Ein Artefakt würde entsprechend eigene Interessen verfolgen und
- letztendlich Dienste auch verweigern –
- der Mittel zum Zweck-Zusammenhang wäre dann nicht mehr gegeben.

# “Autonomie” menschlich – technisch?

## Schwache Autonomie:

- Vorhandene Regeln werden „aus freien Stücken“ befolgt
- Dass Regeln beachtet werden ist Bedingung für Funktionalität

## In der schwachen Autonomie

- Findet keine Auswahl oder Zustimmung im moralischen Sinne statt
- Aber eine „Anerkennung“ der Rahmung der eigenen Aktion
- Das System rechnet

gemäß bestimmter Präferenzen

entsprechend der zur Verfügung stehenden Daten

die bestmögliche und ökonomischste Reaktion

und leitet diese ein.

# Maschinelles Lernen: Fallbeispiel Go

## Software-Sieg im Brettspiel: Es geht um weit mehr als Go

Von *Christian Stöcker*



Go-Übertragung Lee Sedol vs. AlphaGo im südkoreanischen TV

**Der Sieg der Google-Software AlphaGo gegen den wohl weltbesten Go-Profi macht einen Wendepunkt sichtbar: Künftig lernen Menschen von Maschinen. Das könnte uns sogar retten.**

12.3.2016

# Maschinelles Lernen

AlphaGo (official Google Blog\_AlphaGo):

- Lernverfahren: Eine Kombination aus modernem Suchbaum-Verfahren und einem „deep neural network“
- Netzwerk mit 12 Ebenen, mit Millionen von „Neuronen“-Verbindungen
- Ein neuronales Netzwerk „policy network“ ermittelt den Spielzug
- Ein anderes neuronales Netzwerk „value-Network“ schätzt den Gewinner
- Training des Netzwerks mit 30 Mio. Zügen menschlicher Spieler
- Darauf aufbauend tausende Spiele „gegen sich selbst“ (Reinforcement Learning)

# Maschinelles Lernen

## Professionals of KI:

Demis Hassabis, Mitbegründer von DeepMind,

Schrieb via Twitter, „**der zweite Sieg sei für ihn selbst schwer zu fassen.**

**AlphaGo hat in diesem Spiel einige wunderschöne kreative Züge gespielt.“**

Andere KI-Experten werteten den Sieg als Meilenstein des maschinellen Lernens

<http://pdf.zeit.de/sport/2016-03/>

[go-kuenstliche-intelligenz-sieg-alphago-google-lee-sedol.pdf](http://pdf.zeit.de/sport/2016-03/go-kuenstliche-intelligenz-sieg-alphago-google-lee-sedol.pdf) (9.9.2016)

## Professionals of Go:

„Dabei ist offenbar eine neue Spielweise entstanden, die die Go-Elite der Welt diese Woche nachhaltig verstört hat. **AlphaGo machte Züge, die menschliche Profis**

**zunächst für Fehler hielten.** Tatsächlich hatte die Maschine aber einen Weg gefunden, das Spiel siegreich zu spielen, auf den Menschen in tausenden Jahren

Go-Geschichte nicht gekommen sind“ (Christian Stöcker auf SPIEGEL-Online

<http://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/>

[alphago-sieg-wendepunkt-der-menschheitsgeschichte-a-1082001.html](http://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/alphago-sieg-wendepunkt-der-menschheitsgeschichte-a-1082001.html) (9.9.2016)

# Maschinelles Lernen - verallgemeinert

## **KI-Expertinnen und Experten:**

Zeigten sich überrascht vom Lernerfolg

## **Expertinnen und Experten der Anwendungsdomäne:**

Zeigten sich überrascht, weil die Aktion des technischen Systems nicht in ihr “Intervall der erwarteten Handlungen” fiel und somit *ex ante* als Fehler beurteilt wurde.

## **Fragen der Technikfolgenabschätzung:**

In welchen Anwendungsbereichen akzeptieren wir diese Art von “Überraschung”?

Wie kann man in einem qualitätskontrollierten Verfahren sicherstellen, dass relevante Aktionen des technische Systems immer noch funktionieren, auch wenn das System im Betrieb lernt?

# Einbettung in den Handlungszusammenhang

## **Technisches autonomes Handeln**

Innerhalb des gegebenen Handlungsrahmens zu beurteilen.  
„Gründe“ sind explizit

## **Technisches künstlich-intelligentes autonomes Handeln**

Innerhalb des gegebenen Handlungsrahmens zu beurteilen.  
„Gründe“ sind internalistisch opak,  
Begründung für Systeme „externalistisch“ durch Reliabilität gerechtfertigt.

Es stellt sich die Frage nach der  
„**Güte der Gründe**“  
und der  
„**Angemessenheit der Gründe**“

Kaminski A (2019) Gründe geben.  
Maschinelles Lernen als Problem der Moralfähigkeit von Entscheidungen.



# Einbettung in den Handlungszusammenhang

## Technisch autonomes Entscheiden eingebettet in menschliches Handeln

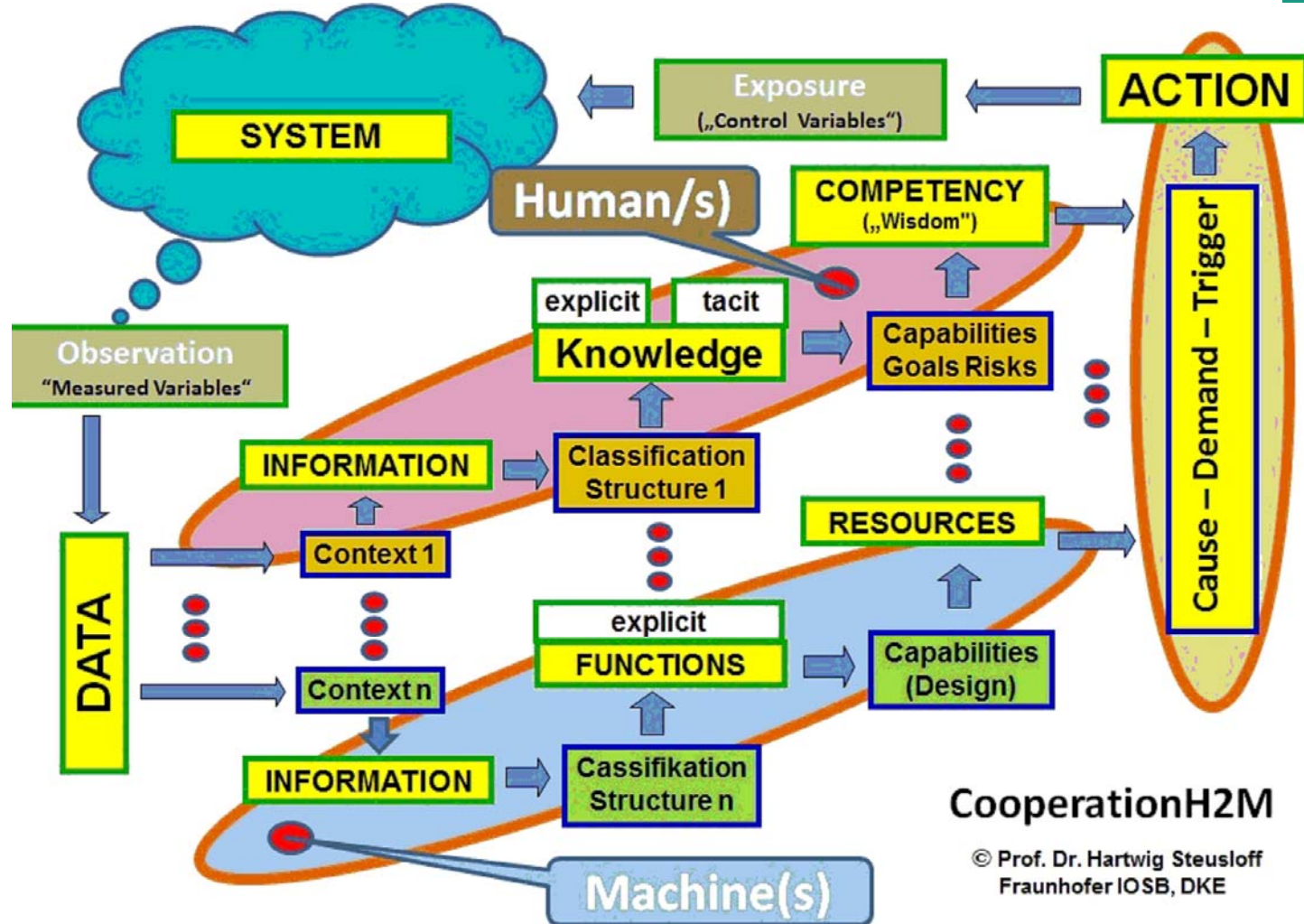
Nur im Handlungskontext beurteilbar

Technisch  
Ökonomisch  
Rechtlich  
Ethisch  
Sozial

Häufig mit „nur unterstützend“ in den Handlungskontext eingebracht

-> Verantwortung bleibt beim menschlichen Akteur

# Fallbeispiel: Energy Lab 2.0

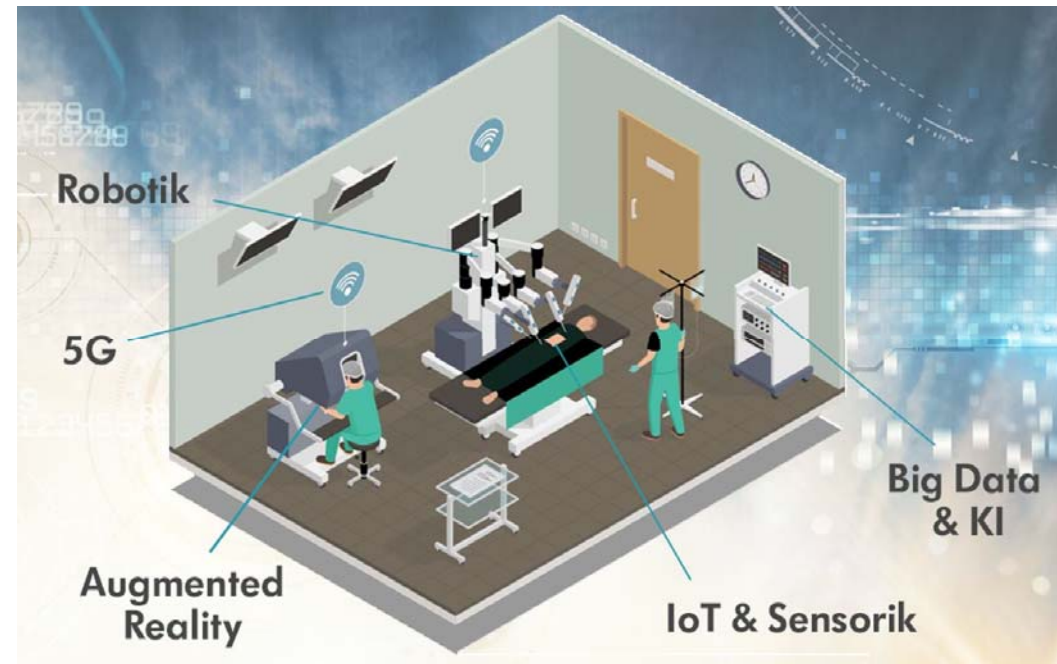


**Fig. 1** From data to action—Closed Loop (Real Time) System Modeling concept  
 Steusloff/Decker 2016: Human Action in the Loop: Ethical Considerations and Standardization  
 In: Effective Standardization Management in Corporate Settings (Kai Jakobs, Hrsg.) S. 352

# Operationssaal der Zukunft

Technologischen Trends:

- Robotik
- Telemedizin
- Internet of Medical Things (IoMT)
- Augmented Reality
- Big Data & Künstliche Intelligenz



Dr. André T. Nemat

*Beam me up, Scotty. Digitale Transformation der Chirurgie*

Institute for Digital Transformation in Healthcare

Spin-off der Universität Witten/Herdecke, 2021

# Operationssaal der Zukunft

## ■ **Supermikrochirurgie:**

TU Eindhoven entwickelt Assistenzroboter

Pilotstudie in Gefäßchirurgie an Gefäßen, die kleiner als 0,5 Millimeter im Durchmesser sind. (Tremor)

Außerdem können tiefergelegene Körperstellen erreicht werden.

## ■ **Laserchirurgie:**

Roboter mit speziellen Laservorrichtungen werden u.a. dafür genutzt, Knochen einzuschneiden oder zu durchtrennen. Mit der Anwendung von Lasern ist es möglich, spezifische Schnittführungen genau zu kalibrieren.

# Operationssaal der Zukunft

## ■ **Tele-Chirurgie (5G):**

Überwachung und Begleitung oder die Durchführung von Operationen über eine große räumliche Distanz.

5G ermöglicht dabei z. B. die Arme von Operationsrobotern verzögerungsfrei zu steuern, selbst wenn zwischen Patient:innen und Ärzt:innen mehrere hundert Kilometer Distanz liegen.

Ein Operationsteam mit chirurgischer Expertise ist vor Ort.

(Remote Surgeon Project, Barcelona)

- ## ■ Der **V-LAP** überwacht den Druck im linken Vorhof des Herzens und hilft Ärzt:innen, Patient:innen auf der Grundlage von physiologischen Echtzeitdaten und leistungsstarken KI-Algorithmen eine bessere Behandlung anzubieten.

# Operationssaal der Zukunft

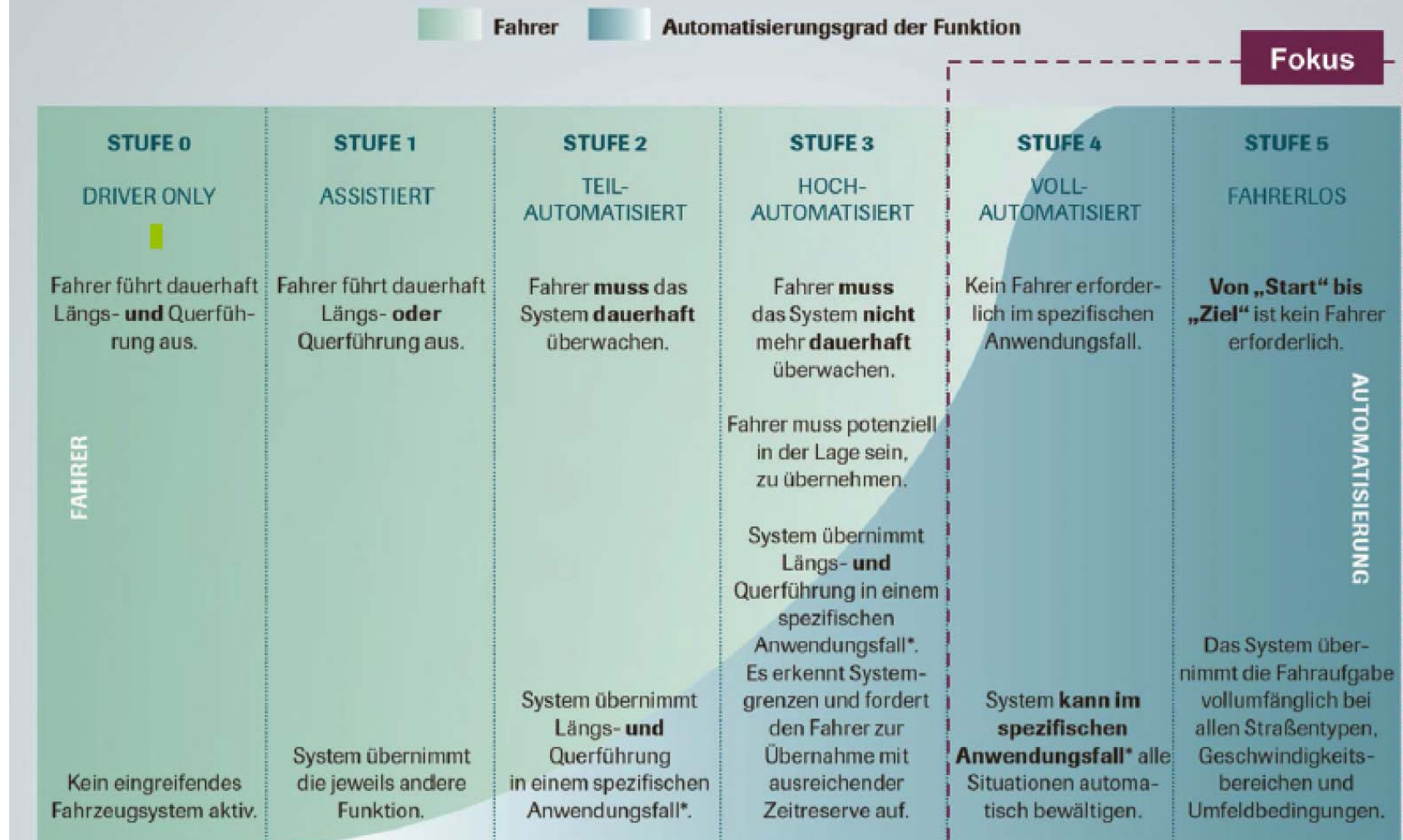
- **Project Surgent** (augmented reality, Universität Zürich)  
Während des Eingriffs trug der Chirurg eine AR-Brille (HoloLens 2) und konnte so die 3D-Anatomie des Patienten direkt vor sich sehen.  
Diese wurde zuvor durch CT-Bildgebungen generiert und dann auf den Patienten projiziert.  
Jeder Schritt der Operation wurde dabei durch die AR-Navigationssoftware angezeigt.  
So konnte beispielsweise das exakte Setzen einer Schraube am richtigen Ort und im korrekten Winkel angezeigt und verifiziert werden.
- **Navigationsysteme** Die Präzisionschirurgie wird zurzeit mithilfe von KI gestützten Navigationssystemen vorangetrieben.  
Das OP-Team wird während der Operation durch das Navigationssystem unterstützt.  
So werden zu bestimmten Zeitpunkten der Operation Vorschläge für das weitere Vorgehen gemacht.

# Operationssaal der Zukunft

- **Durch das Einbringen von Technologie verändern sich Handlungszusammenhänge: „sozio-technische Systeme“**
- **Durch teleoperative Möglichkeiten kommen auch von Menschen geäußerte neue Vorschläge ins Spiel. Verbesserungspotential. Verantwortlichkeiten klären.**
- **Durch datengestützte Verfahren und KI kommt eine neue Komponente von inhaltlichen Vorschlägen ins Spiel – Verantwortlichkeiten klären.**
  
- **IT-Sicherheit**
- **Umgang mit Datenerhebung an sich**
- **Veränderung der medizinischen Ausbildung**
  
- **Stufen der Verantwortung?**

# Entscheidung und Verantwortung Autonomie Fahrer – Fahrzeug (Quelle: VDA)

## Automatisierungsgrade des automatisierten Fahrens





## Zusammenfassung/Diskussion

- Perspektive der TA
- Menschliche versus technische Autonomie
- Besondere Aspekte lernender autonomer Systeme
- Handlungszusammenhänge interdisziplinär analysieren
- Autonomiestufen einführen?

Vielen Dank!



Michael.Decker@KIT.EDU

*Adaptive Robotik und Verantwortung* In: Gleß/Seelmann: Intelligente Agenten und das Recht, 2016

*Ethische Fragen bei autonomen Systemen.* In: Liggieri K., Müller O. (eds) Mensch-Maschine-Interaktion. J.B. Metzler, Stuttgart, 2019