

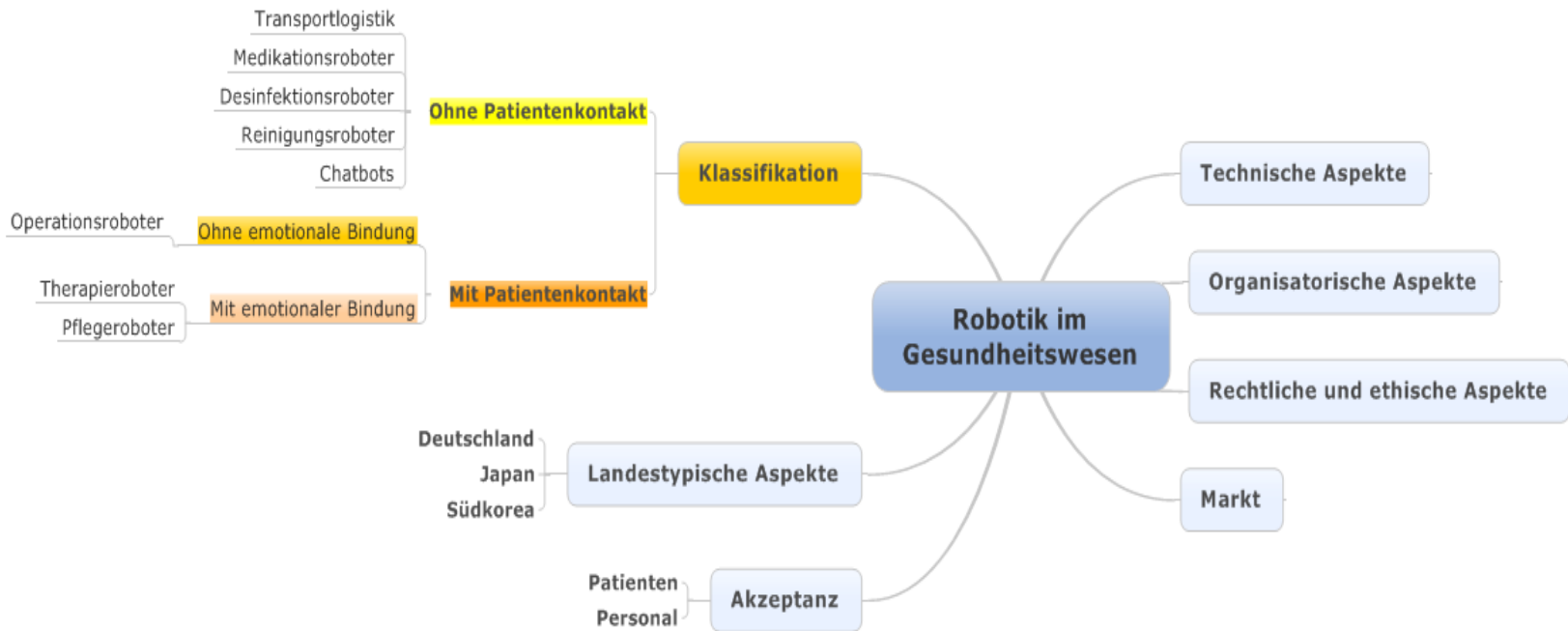
Robotik im Gesundheitswesen

was hat sich getan und wo geht die Reise
hin?

Health-IT Talk 20.1.2025

Michael Engelhorn
Adrian Schuster

Überblick



Transportlogistik bisher

Fahrerlose Systeme zum Transport von OP-Material, Wäsche, Essen, Laborproben, Medikamenten, Müll etc. - Spurgebunden

+ Beispiele

- ++ „Ejner“ (MiR)
- ++ Oppent
- ++ VECNA
- ++ MLR

+ Einsatz

- ++ Helios Klinikum Erfurt
- ++ Rüdersdorf



Transportlogistik neu

Autonome mobile Systeme zum Transport auch von „kleinen“ Objekten z.B. Laborproben bis ins Krankenzimmer. – KI unterstützt

+ Beispiele

- ++ Serviceroboter Jeeves
- ++ FACT GmbH und Fraunhofer IML

+ Einsatz

- ++ LMU Klinikum Großhadern
- ++ St. Franziskus-Hospital Münster



Medikationsroboter bisher

- + Kommissionierung in Apotheken
Medikamente mit Roboterarmen einlagern und ausgeben.
- + Beispiele
 - ++ Apostore 3 000
 - ++ „Consis C“
 - ++ EvoTec
- + Einsatz
 - ++ Niedergelassene Apotheken
 - ++ Apotheke der Charité



Medikationsroboter bisher

+ Patientenzentrierte Konfektionierung der Medikamente

Lagern und Abgeben von Tabletten, Kapseln, Ampullen, Fläschchen, Bechern und Spritzen in Einzeldosen (Unit Dose Konzept)

+ Beispiele

- ++ PillPick-Systeme von Swisslog

+ Einsatz

- ++ Projekt am Klinikum Herzberge in Berlin

- ++ Projekt am UKE

- ++ Unit Dose am UKSH, Campus Kiel



Medikationsroboter neu

+ Medikamente Lieferroboter

Autonome Assistenzroboter zur kollaborativen Arbeit mit dem Personal, Roboter mit KI-fähiger Arzneierkennungssoftware

+ Beispiele

- ++ Relay von Swisslog
- ++ New Era AI Robotic Inc.

+ Einsatz

- ++ ?



Desinfektionsroboter bisher

Autonome und flexible Desinfektion

+ Beispiele

- ++ Blue Ocean Robotics UVD
- ++ Fraunhofer IPA
- ++ HERO21 ICA GmbH (Ruhr Universität Bochum)
- ++ ZenZoe

+ Einsatz

- ++ In einigen Kliniken im Test.



Desinfektionsroboter neu

Autonome und flexible Desinfektion mit UV-C

+ Beispiele

- ++ Blue Ocean Robotics UVD
- ++ Fraunhofer IPA
- ++ HERO21 ICA GmbH (Ruhr Universität Bochum)
- ++ ZenZoe

+ Einsatz

- ++ In einigen Kliniken im Einsatz
- ++ In der Pharmaindustrie im Einsatz



Reinigungsroboter bisher

Autonome Roboter zur z.B. Boden-Nassreinigung

+ Beispiele

- ++ Nilfisk SC50
- ++ ADLATUS CR700
- ++ TASKI swingobot 2000
- ++ Scrubmaster B45i (Hako)

+ Einsatz

- ++ Helios Klinikum Erfurt



Reinigungsroboter neu

Zusatzfunktionen wie z.B. Kommunikation mit dem Personal.
Autonome Wischdesinfektion von z.B. Handläufen und Türklinken

+ Beispiele

- ++ Franziska „Franzi“
- ++ Marvin
- ++ DeKonBot Fraunhofer IPA

+ Einsatz

- ++ Klinik Neuperlach
- ++ Heinrich-Sommer-Klinik



Therapieroboter bisher

Unterstützung der Therapie, eigene Durchführung von Übungen, Unterhaltung

+ Beispiele

- ++ Kunststrolche Paro – Geräusche und Bewegungen
 - ++ Kaspar - Marionettenähnlich, Begleiter von autistischen jungen Menschen
 - ++ Nao - humanoider Roboter (Aldebaran Robotics)
 - ++ Exoskelett
- ## ++ Einsatz
- ++ Paro: mehr als 40 Pflegeeinrichtungen



Therapieroboter neu

Es wird vermehrt der Einsatz intelligenter weicher Materialien mit Sensoren und Aktoren erforscht (z. B. das EU-Forschungsprojekt „XoSoft“). Dies soll neue Einsatzfelder robotischer Exoskelette erschließen.

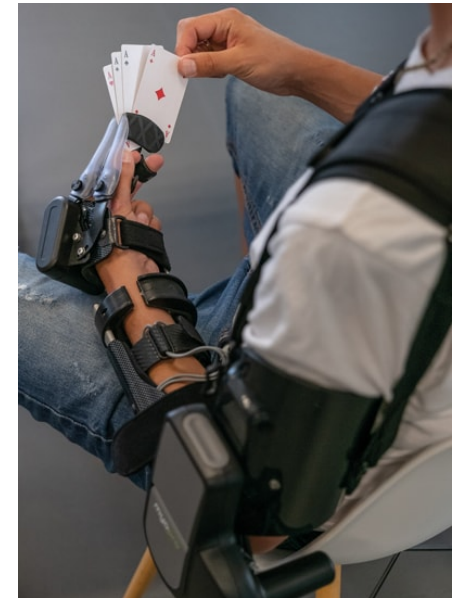
Beispiele

++ Robert

++ Exoskelett MyoPro von Myomo (Orthese)

+ Einsatz

++ BDH Klinik Greifswald (Robert)



Pflegeroboter bisher

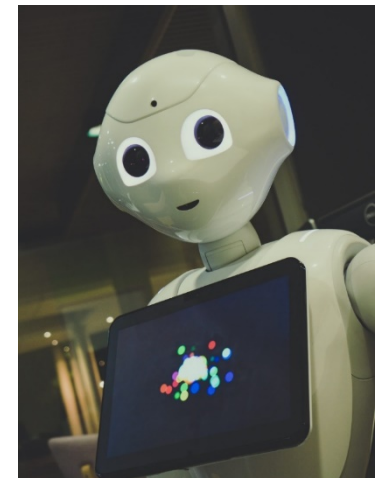
Unterstützung oder Ersatz von Pflegekräften bei z.B. der Medikamentenversorgung, mobile Hilfe, Unterhaltung

+ Beispiele

- ++ „Robina“ Autonomie und Pflegeunterstützung
- ++ Care-O-bot 4: Roboterassistenten zur aktiven Unterstützung
- ++ Cody - Wenden und waschen von bettlägerigen Patienten
- ++ Pepper - humanoider Roboter (Aldebaran Robotics und SoftBank Mobile)
- ++ Telepräsenzsysteme – Anleitung und Information

+ Einsatz

- ++ Pepper
 - +++ wird am UK Halle getestet
 - +++ Tagespflege in Erlenbach
 - +++ Alexius/Josef-Krankenhaus Neuss



Pflegeroboter neu

Einsatz neuer Sensorik und Sprachkommunikation

+ Beispiele

++ Telepräsenz:

- +++ EU-Projekt Plattform GIRAFF: Telepräsenz für das Gesundheitswesen
- +++ Medisana Robot RO 100: navigiert eigenständig durch den Raum und kann Personen folgen
- +++ Projekt „TePUS“: Einsatz dieses Telepräsenzroboters im Hinblick auf seine Möglichkeiten in der Teletherapie und dem Telenursing bei Schlaganfallpatienten.

++ Interaktionsroboter

- +++ Roboter Nao
- +++ Zora ZBOS
- +++ SeRoDi: Neben der Erkennung und Interaktion mit Personen ist er in der Lage, Pflegebedürftigen verschiedene Snacks oder Getränke zu liefern

Pflegeroboter neu

Einsatz neuer Sensorik, Sprachkommunikation und KI

+ Beispiele

++ Soziale (Emotionale) Roboter:

- +++ Telenoid: Androider Telepräsenzroboter, mit dem zur Sprache zusätzlich die Mimik einer Person auf das Gesicht des Roboters übertragen werden kann
- +++ Das Klinikum in Frankfurt (Oder) setzt den mit einer künstlichen Intelligenz (KI) ausgestatteten Roboter "Navel" ein.

++ Intelligente Pflegehilfsmittel

- +++ Robear: Unterstützung des Lifters
- +++ Elevon: multifunktionalen Personenlifter
- +++ RoboticBed: robotisches Bett, das sich in einen Rollstuhl verwandeln kann
- +++ ExoPfleger: Exoskelett für Pflegekräfte
- +++ AdaMeKoR: multifunktionalen Mehrkomponenten-Robotersystem zum Einsatz am Pflegebett

Chatbots

Autonome Auskunftssysteme, Terminvergabe, Virtuelle Assistenten steuern das Patientenzimmer, als Brücke zum Pflegepersonal und als automatische Dokumentationshilfen für Ärzte und Pflege

+ Beispiele

- ++ MeDi TED (NTT)

- ++ ERIC Projekte: Robotervisite auf Berliner Intensivstationen

+ Einsatz

- ++ In Testphasen

- ++ Charité

OP Roboter bisher

Hilfe bei Operationen. Entweder durch den Arzt vor Ort gesteuert oder autonom

+ Beispiele

- ++ daVinci (Intuitive Surgery) Schnitt, Sezierung, Naht
- ++ Avatera-OP-Robotersystem wie daVinci
- ++ Neuromat (Renishaw) Elektrodenpositionierung für die Neurochirurgie
- ++ MAZOR (Medtronic) Chirurgieroboter für die Orthopädie
- ++ ROSA (Medtech) Instrumentenhalter für die Neurochirurgie
- ++ FLEX (Medrobotics) MedroboticsSezierung, Naht
- ++ MITO - Roboterarm für Chirurgische Assistenz

OP Roboter bisher

+ Einsatz

- ++ daVinci: Charité, Vivantes, UK Dresden, UK Jena, LMU, ...
- ++ MAZOR Brüderkrankenhaus St. Josef Paderborn
- ++ ROSA Uniklinik Frankfurt, Klinikum Osnabrück
- ++ Avatera-OP-Robotersystem am UKL zum Einsatz



OP Roboter neu

+ Beispiele

- ++ „Dexter“: Unterstützt bei laparoskopischen Eingriffen
- ++ Symani Surgical System: Mikrochirurgie konzipierter Operationsroboter, der mit einem robotischen Mikroskop vernetzt wird.

+ Einsatz

- ++ Dexter: Kliniken in der Schweiz, Frankreich und Deutschland



Künstliche Intelligenz

- + "Intelligenz ist das, was der **Intelligenztest** misst." – Edward Boring 1923¹
- + „Die Experten haben keine Mühe gescheut [...]. Sie unterscheiden penibel [...] zwischen **biologischer und psychometrischer, motorischer und rationaler, analytischer und kreativer, sprachlicher und visueller, räumlicher und logisch-mathematischer, kinästhetischer und musikalischer, pragmatischer und mechanischer, interpersonaler und intrapersonaler, kristalliner und flüssiger, funktionaler und manipulativer Intelligenz** – und das sind keineswegs alle Sorten [...]“ - Hans Magnus Enzensberger 2007²
- + Definition und Greifbarmachung von menschlicher und künstlicher Intelligenz erfordert schon einiges an Intelligenz.

1 Edwin G. Boring: "Intelligence as the Tests Test It."; New Republic 36 (1923): 35-37

2 Hans Magnus Enzensberger: „Im Irrgarten der Intelligenz. Ein Idiotenführer“, Kapitel II; Suhrkamp Verlag 2007

KI – Entwicklung grob I

- + Wellen der (technologischen) KI-Weiterentwicklung
 - „Dartmouth Summer Research Project on **Artificial Intelligence**“ 13.7.1956
 - 1. regelbasierte Systeme – ab 1950er

- 2. „KI-Winter“ – 1970er

```

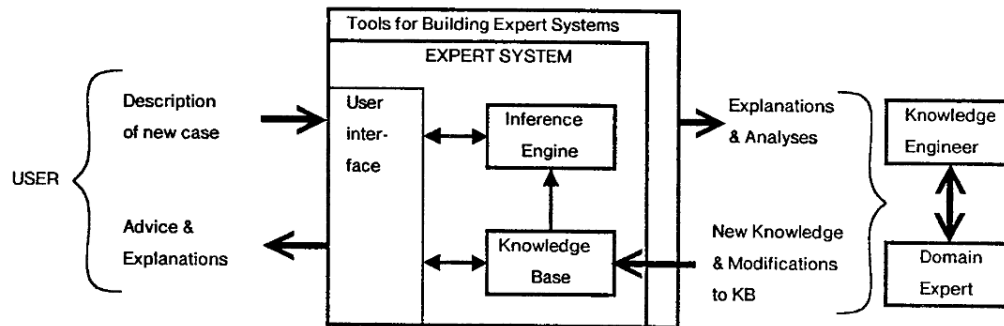
=====
EEEEEEEE L      IIIIII ZZZZZZZ      AAA
E         L      I        Z        A  A
E         L      I        Z        A  A
EEEEEE   L      I        Z        A  A
E         L      I        Z        AAAAAA
E         L      I        Z        A  A
EEEEEEEE LLLLLLL IIIIII ZZZZZZ      A  A
=====

ELIZA > (PLEASE TYPE IN ALL CAPS) WHAT'S YOUR NAME DEAR ?
AMIT
ELIZA > HI, I'M ELIZA. WHAT DO YOU WANT TO TALK ABOUT ?
AMIT > CAN I TALK ABOUT MY PROBLEM ?
ELIZA > SURE... !
AMIT > DUE TO ON GOING EXAMS IN COLLEGE, I HAVE A LOT OF STRESS.
ELIZA > PLEASE RELAX A LITTLE. SLEEP WELL.
AMIT > THANKS FOR YOUR ADVICE.
ELIZA > NO MENTION.
AMIT > BYE
ELIZA > BYE AND KEEP IN TOUCH...
=====
    
```

KI – Entwicklung grob II

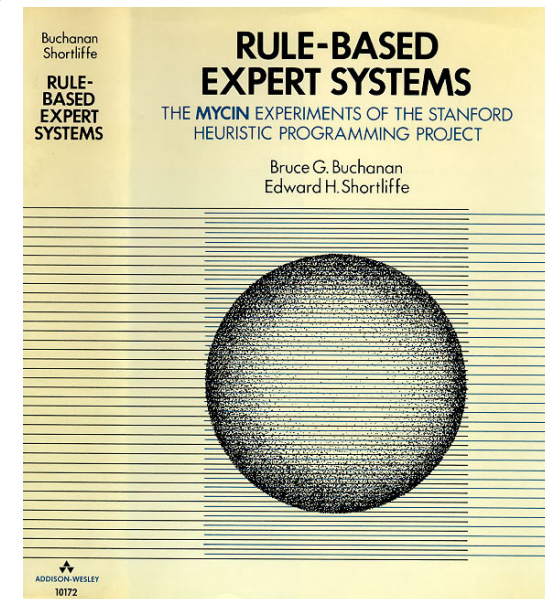
+ Wellen der (technologischen) KI-Weiterentwicklung

- 3. Expertensysteme – ab 1970er
 - „MYCIN“³ - Expertensystem zur Diagnose und Therapie von Infektionskrankheiten mit Antibiotika



- 4. „KI-Winter II“ – 1980er

3 B.G.Buchanan, E.H.Shortliffe: „Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project“, Kapitel 1.1; Addison Wesley 1984



KI – Entwicklung grob III

+ Wellen der (technologischen) KI-Weiterentwicklung

- 5. ab 2000er: Spracherkennung, Bilderkennung, Machine Learning, Generative KI



IBM Deep Blue gewinnt gegen Schachweltmeister Gary Kasparov, Mai 1997

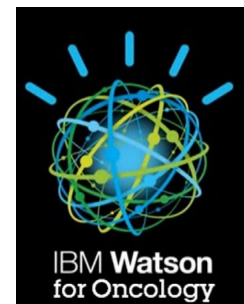


IBM Watson gewinnt in „Jeopardy“ gegen Top-Spieler, Feb. 2011

KI – Watson for Oncology

+ IBM Watson for Oncology

- Marketingstart nach Erfolg bei „Jeopardy“
- ab 2012: Entwicklungspartnerschaften mit Memorial Sloan Kettering Cancer Center (New York), MD Anderson Cancer Center (Houston), UK Marburg, ...
- bis zu 7.000 Mitarbeiter, >5 Mrd\$ Zukäufe
- ab 2017 zunehmende Kritik: „*multiple examples of unsafe and incorrect treatment recommendations*“⁴
- ab 2018: Abwicklung der Entwicklungspartnerschaften
- 2022: Verkauf für 1 Mrd\$ → „Merative“



⁴ www.statnews.com/2018/07/25/ibm-watson-recommended-unsafe-incorrect-treatments

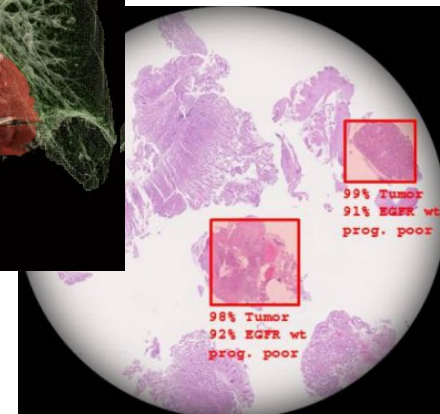
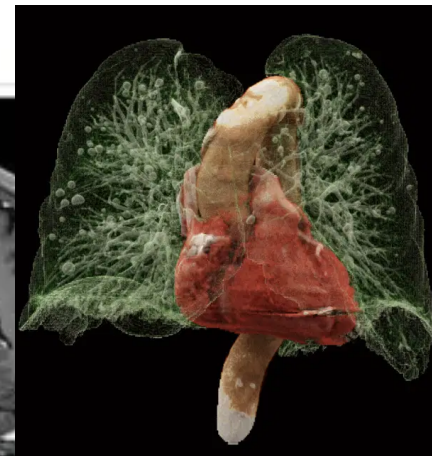
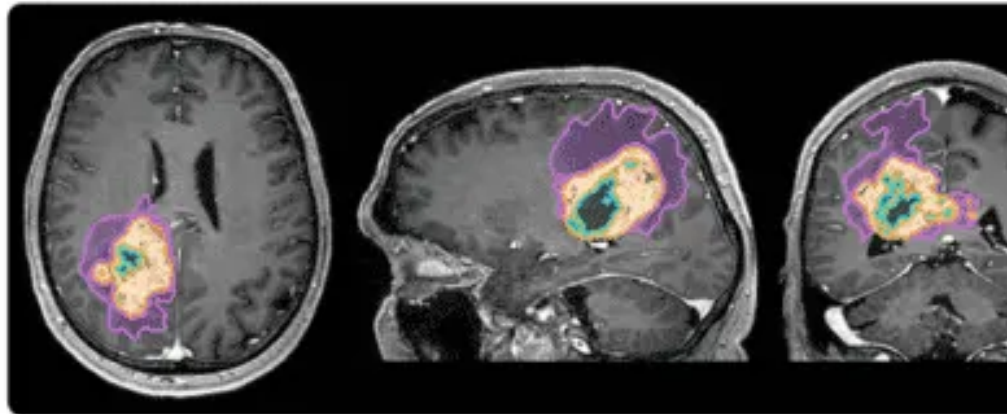
KI – Plattformen

+ Plattformen zur Bildverarbeitung mit KI-Unterstützung

- von allen Bildgebungsherstellern oder herstellerunabhängig
- z.B. Segmentierung, Workflow-Optimierung, Befundung



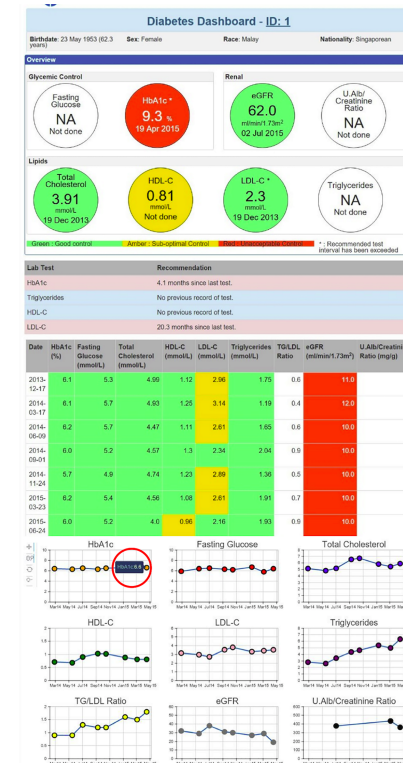
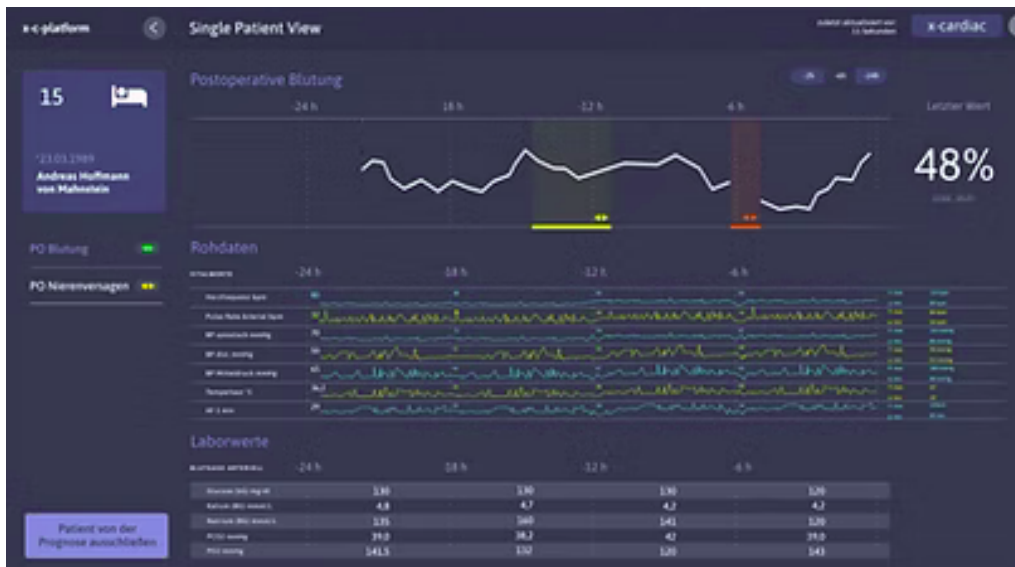
Exemplarische Darstellung der Schichten mit dem größten Tumor



- „mdbrain“ von mediaire
- „AI-Rad Companion Chest CT“ von Siemens Healthineers
- Dr. Sebastian Försch (AG Digitale Pathologie & Künstliche Intelligenz der Pathologie der UK Mainz)

KI – Clinical Decision Support

- + KI-Anwendungen zur Unterstützung im klinischen Alltag
 - Datenzusammenführung, Analyse und Prädiktion

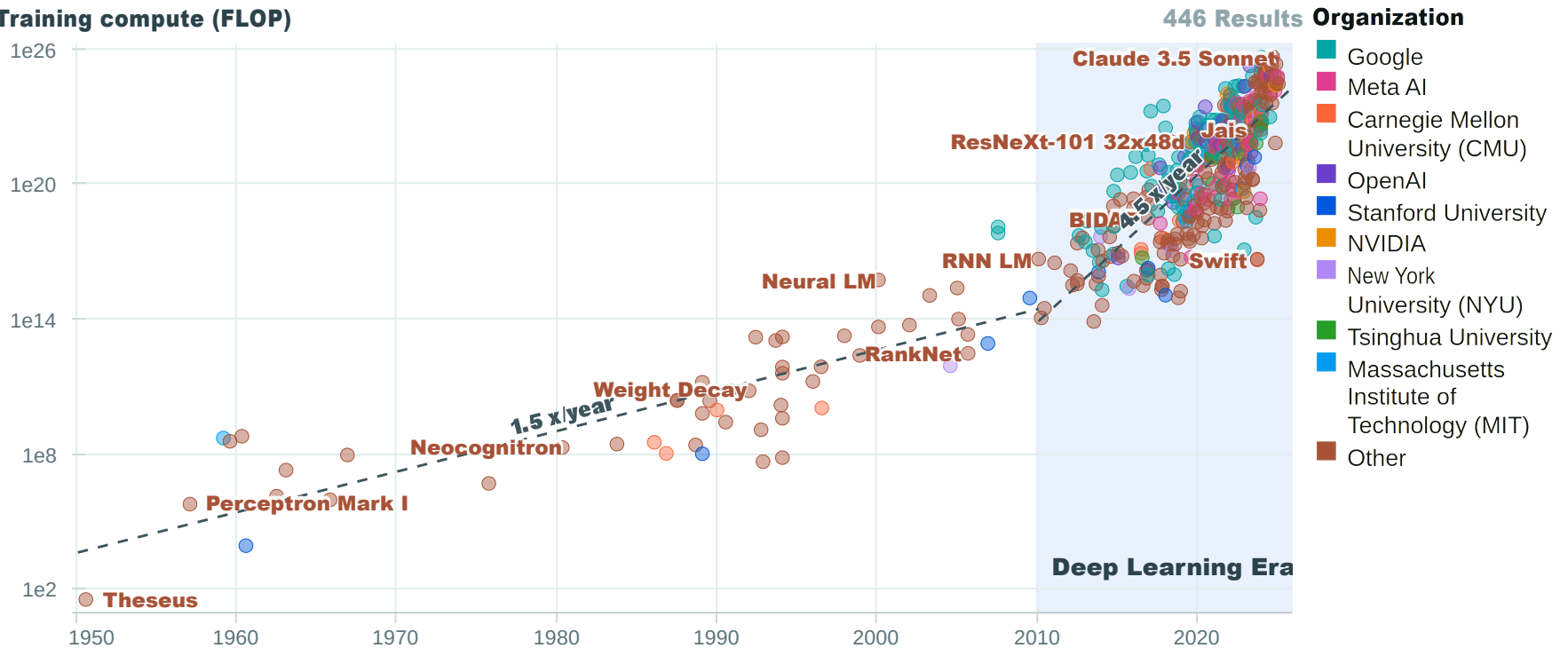


- Prof. Alexander Meyer (DHZB) – Vortrag Health-IT Talk Dezember 2019
- L.L. Wei Sim et al.: „Development of a clinical decision support system for diabetes care: A pilot study“; PLOS Feb 2017; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173021>

KI – Entwicklung der KI-Modelle

+ Wachstum des Rechenaufwands („Grok-2“ = $5,3 \times 10^{25}$ FLOPS)

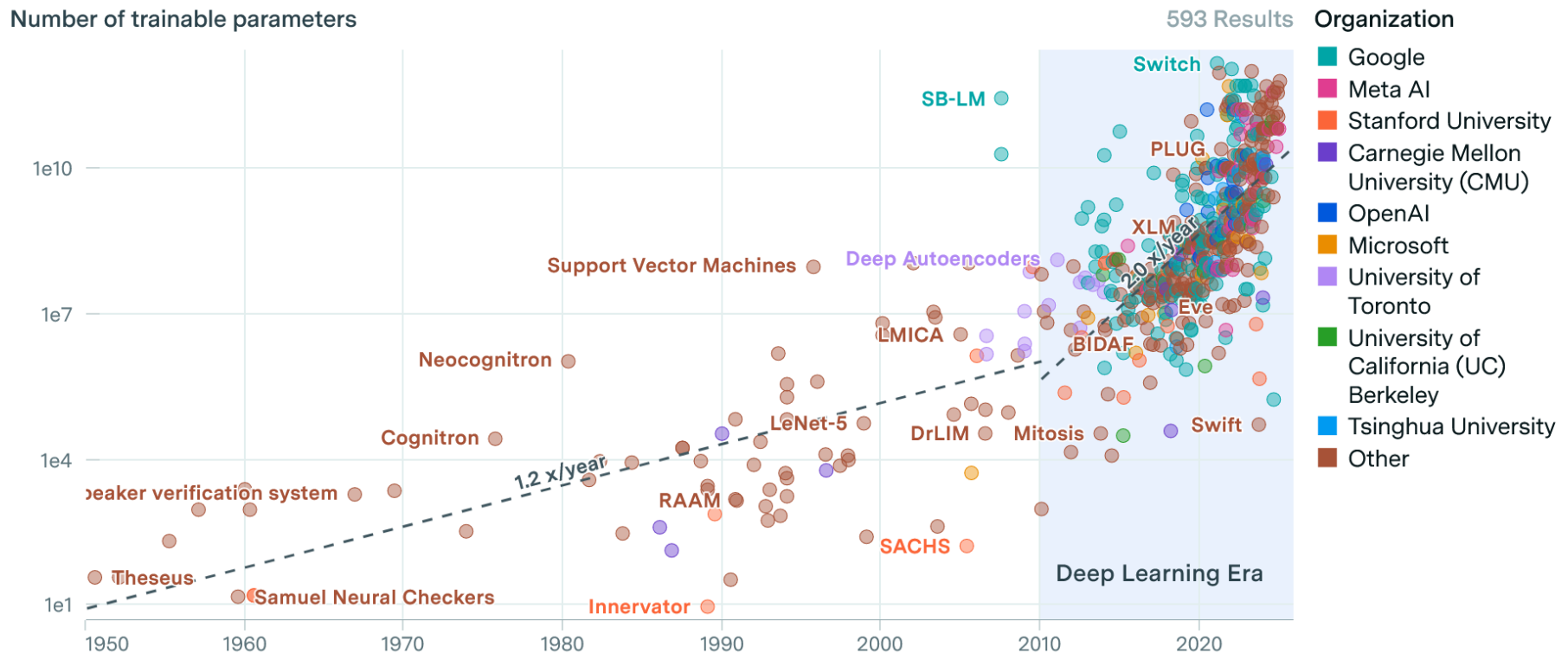
Training compute (FLOP)



- Epoch.AI: „Data on Notable AI Models“

KI – Entwicklung der KI-Modelle

+ Wachstum der Modellparameter („Switch“ = $1,6 \times 10^{12}$ Parameter)

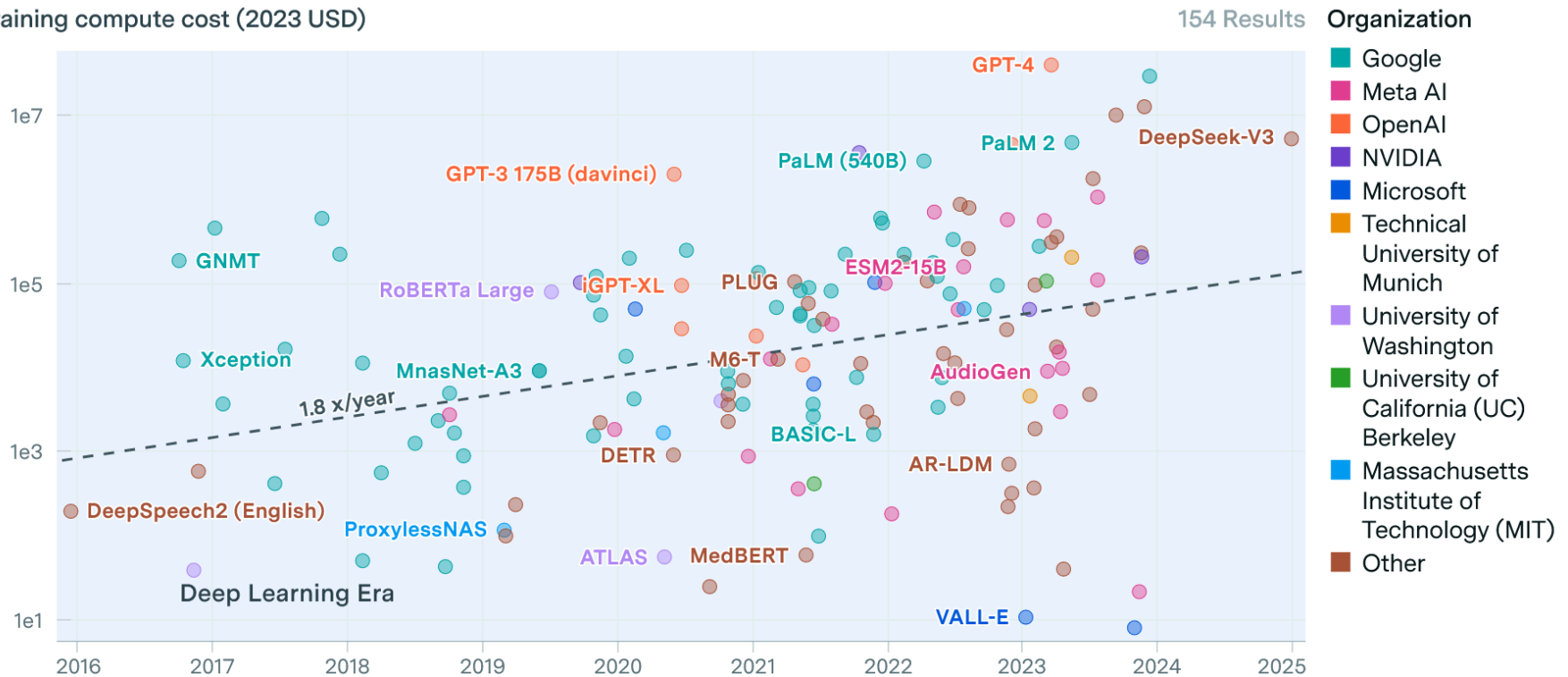


- Epoch.AI: „Data on Notable AI Models“

KI – Entwicklung der KI-Modelle

+ Wachstum der Trainingskosten („GPT-4“ = 41 Mio\$)

Training compute cost (2023 USD)



- Epoch.AI: „Data on Notable AI Models“

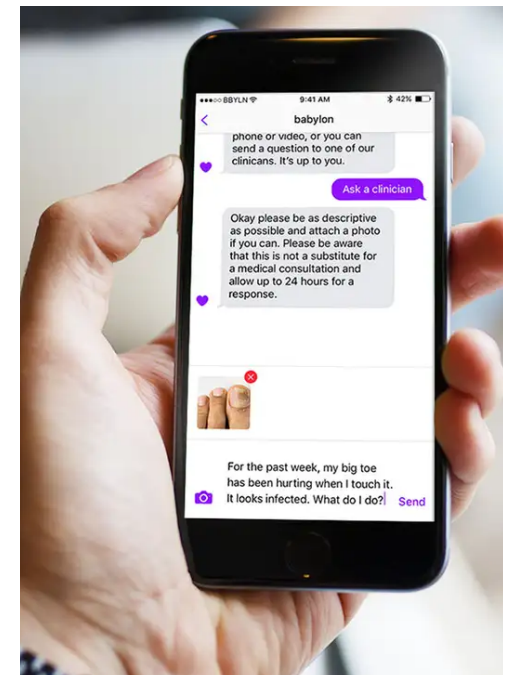
KI – Entwicklungsbedarfe

+ Nutzungsszenarien im Realbetrieb



+ nachhaltiges Geschäftsmodell - Beispiel Babylon Health

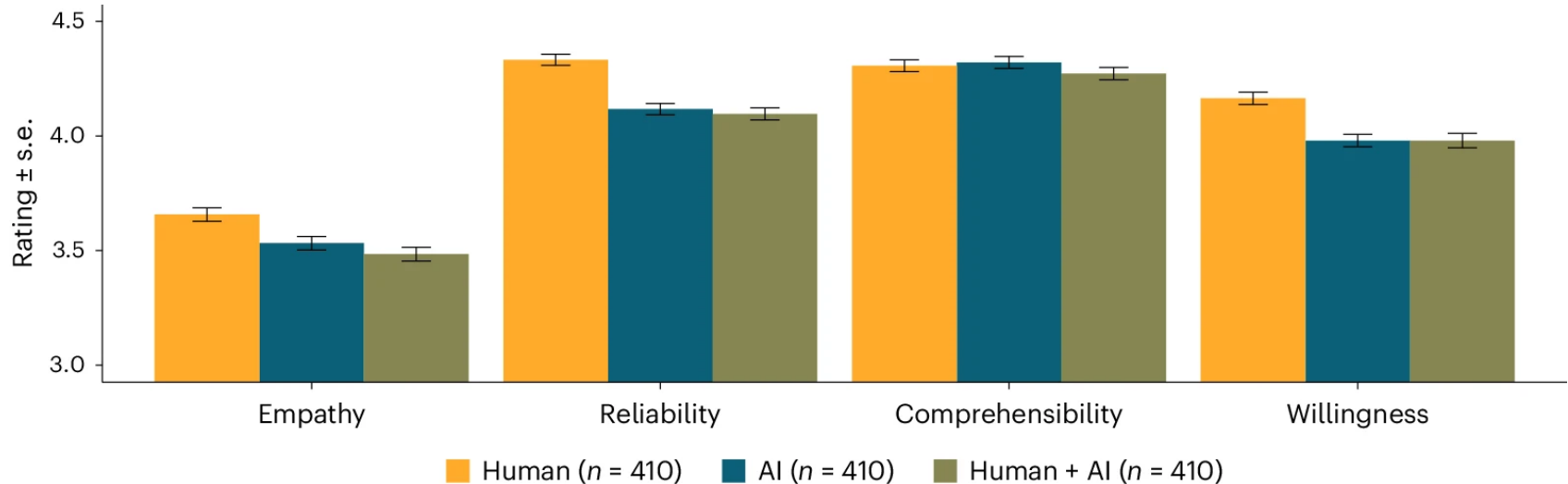
- 2013 gegründet, „Blitzscaling“ in UK
- Vermittlung von Arztterminen „*GP at Hand*“, Symptomchecker
- Börsengang 2021 in New York = 4,2 Mrd\$
- „Austricksen“ der Triage-KI, Verluste mit ambulanten Patienten
- Insolvenz in 2023



KI – Entwicklungsbedarfe

+ Nutzerakzeptanz

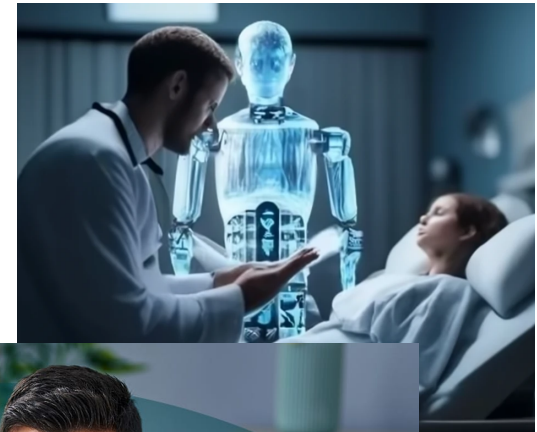
- KI-Leistung inhaltlich oft nah an menschlichen Pendanten
- verbreitete Vorbehalte bzgl. Verlässlichkeit und emotional



- M.Reis et. al.: „Influence of believed AI involvement on the perception of digital medical advice“; Nat Med 30, 3098–3100 (2024).
<https://doi.org/10.1038/s41591-024-03180-7>

KI – aktuelle Entwicklungen

- + Bildgenerierung
- + Videogenerierung, Deep Fakes, CEO-Fraud 2.0
- + KI als Buzzword: CoPilot+
- + NLP in Klinik



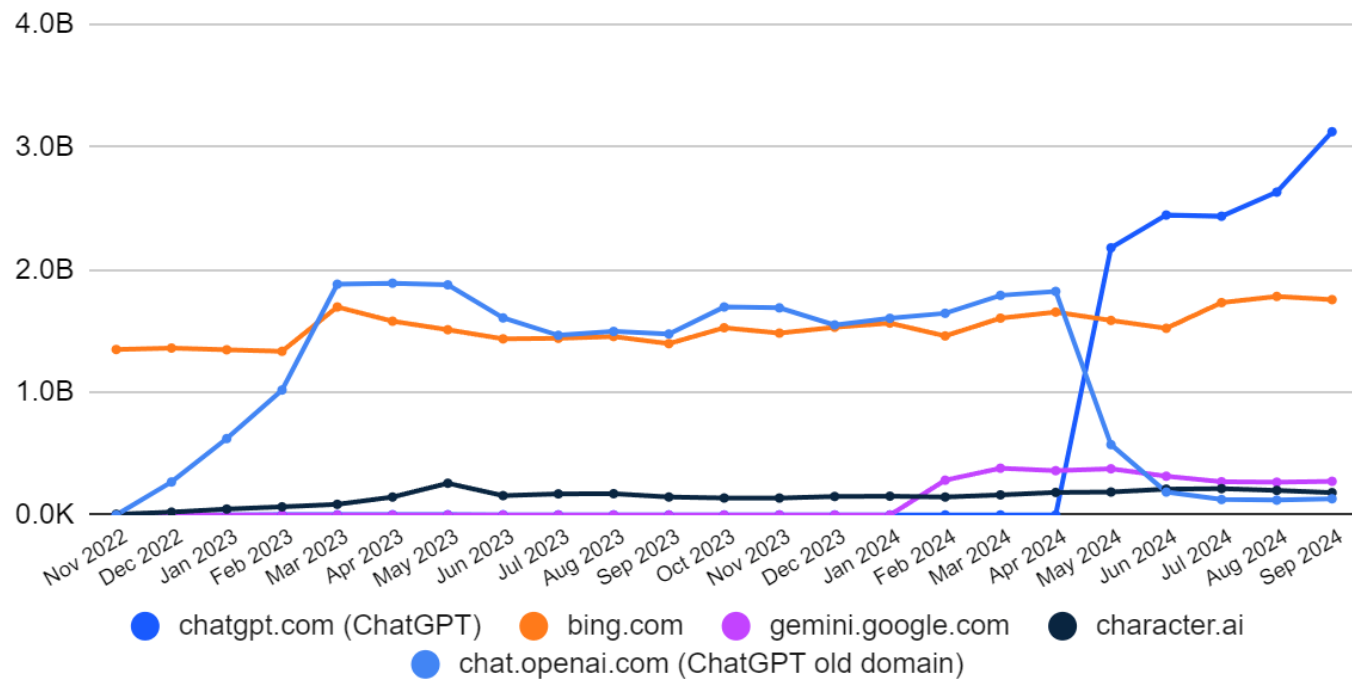
- sosafe-awareness.com
- crayon.com V4

- Health-IT Talk Dez 2024 - „Artificial Intelligence Language Assistant“ (arinlas-ai.de)

KI – aktuelle Entwicklungen

+ OpenAI dominiert den Markt der Large Language Models.

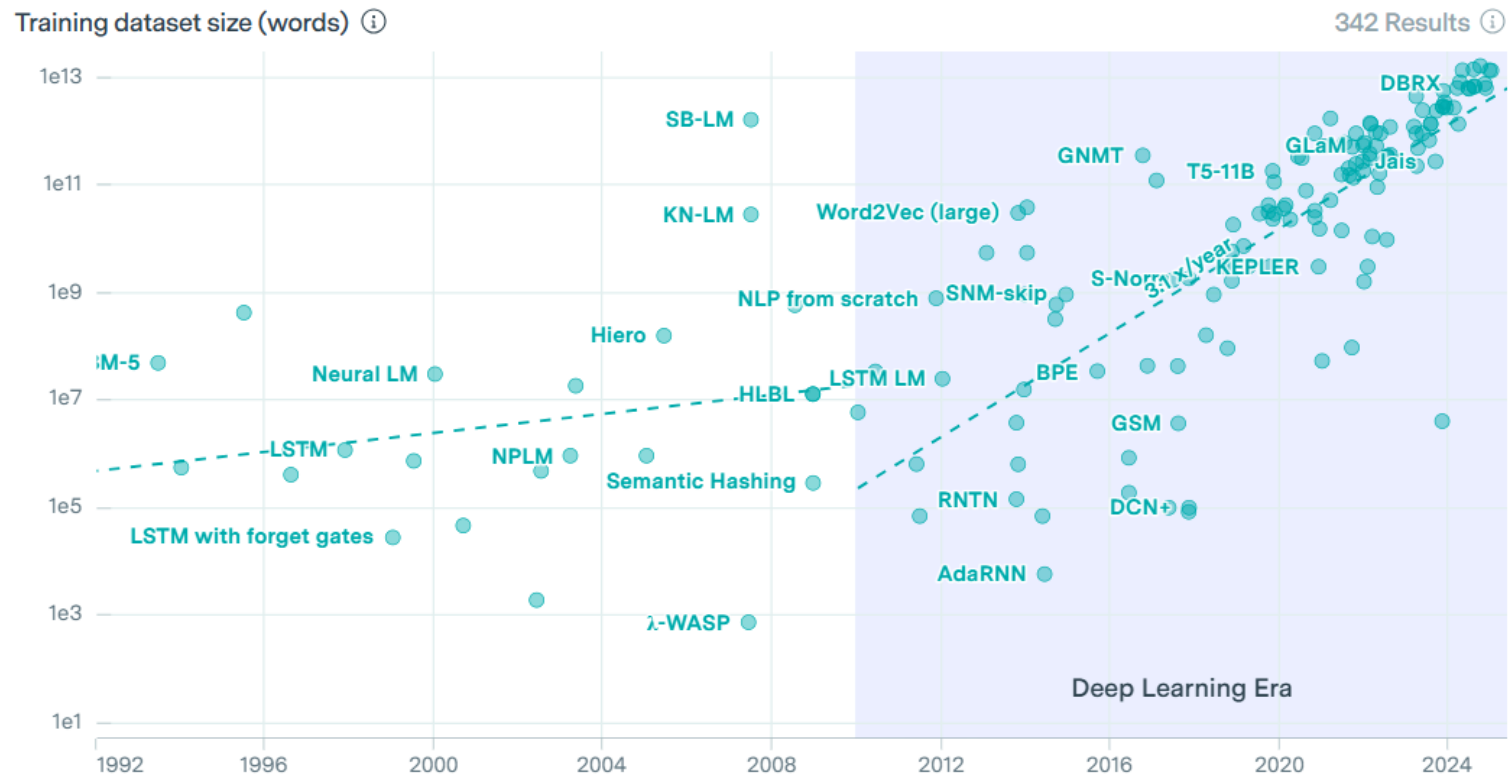
Desktop & Mobile Web Visits Sep 2024, Worldwide



- similarweb.com: „ChatGPT Topped 3 Billion Visits in September“

KI – Entwicklung der Trainingsdaten

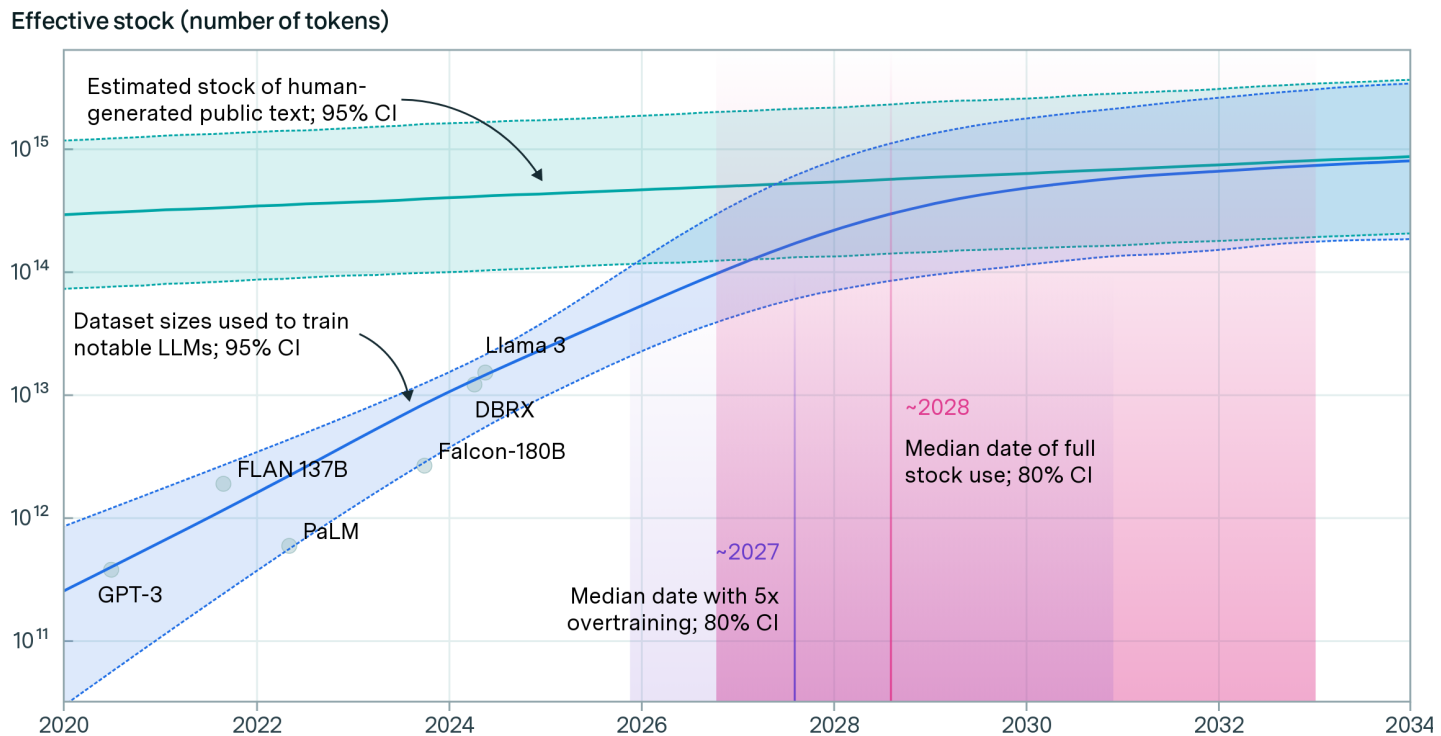
+ Wachstum der Trainingsdaten („Qwen2.5“ = $1,8 \times 10^{13}$ Wörter)



- Epoch.AI: „Data on Notable AI Models“

KI – Entwicklungslimits?

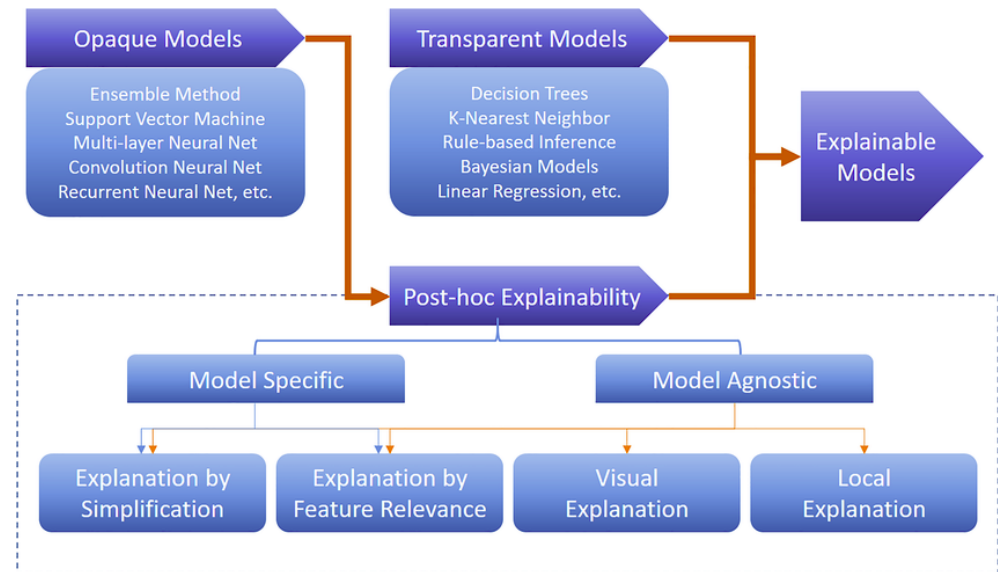
+ **Verfügbare Trainingsdaten sind (vermutlich) quantitativ limitiert.**



- P. Villalobos et al.: „Will we run out of data? Limits of LLM scaling based on human-generated data“; ArXiv [cs.LG] 2024
<https://arxiv.org/abs/2211.04325>.

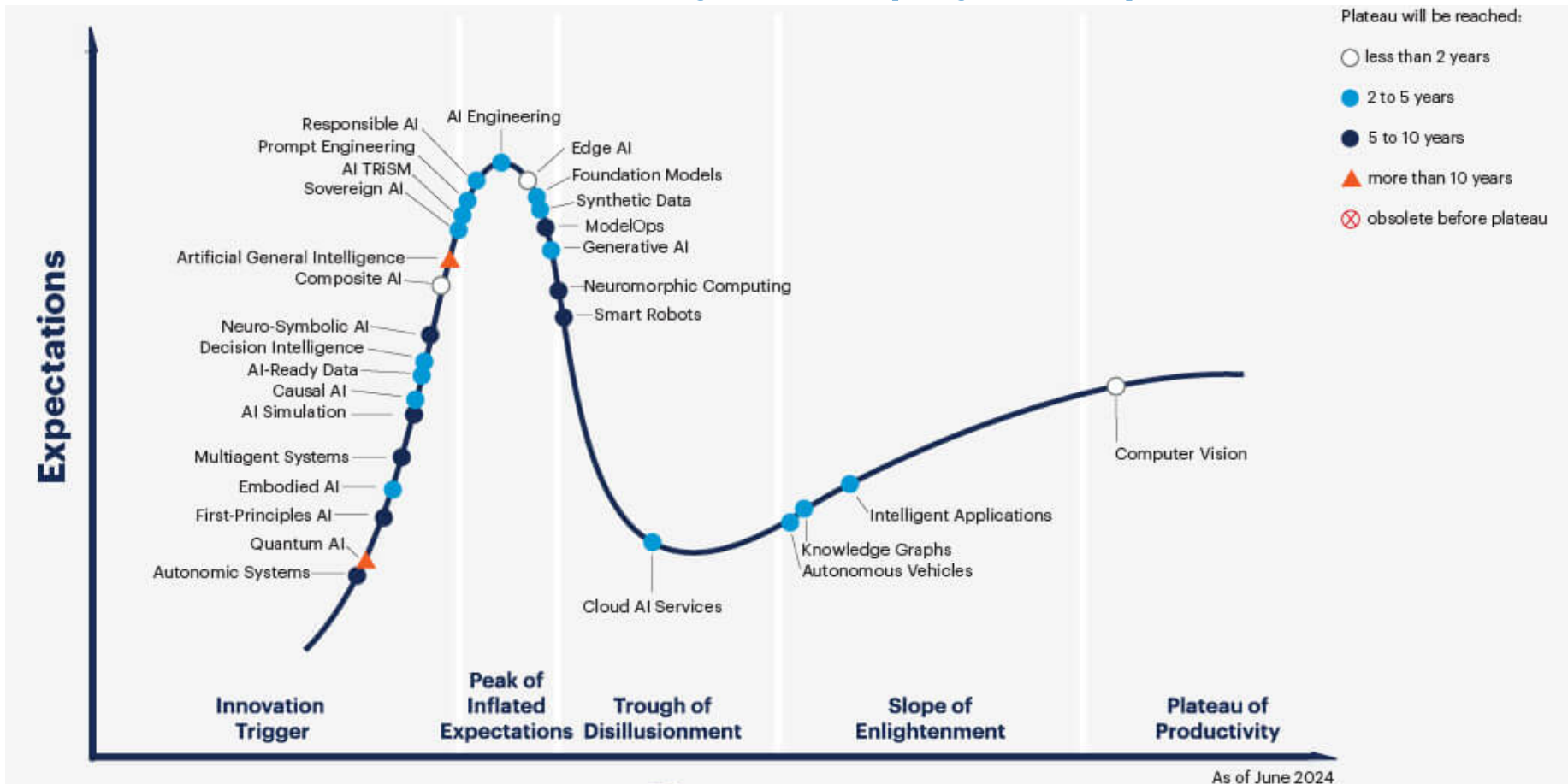
KI – nachfolgende Entwicklungen

- + ChatGPT 5: Entwicklung wohl langsamer und teurer als erwartet
- + branchenspezifische Spezialisierung der Modelle
- + Multimodale Systeme
- + Agentensysteme – Systems of Systems
- + KI-Governance und Nachhaltigkeit
- + Explainable AI
- + Omnipotente KI?



- P. Angelov et al.: "Explainable artificial intelligence: an analytical review"; Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. 11. 10.1002/widm.1424

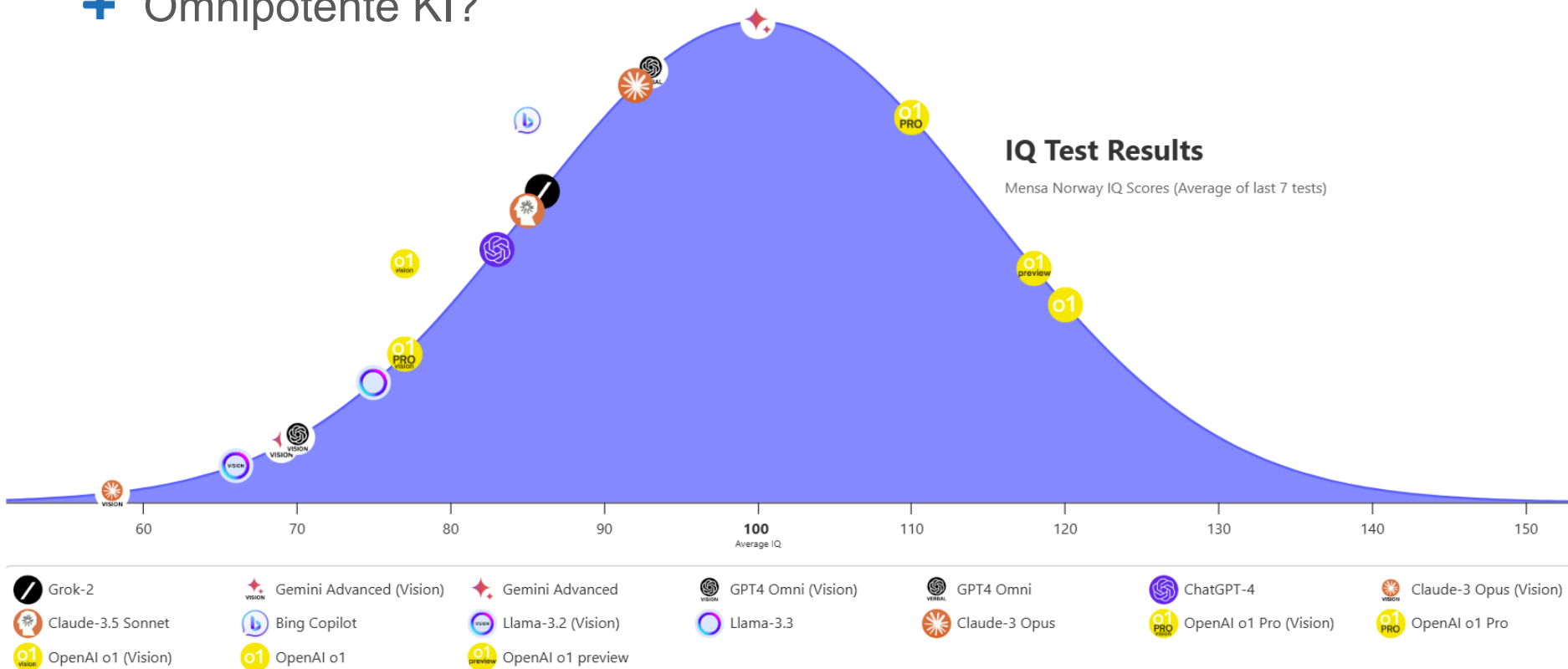
KI – Hype (cycle)



- „Explore Beyond GenAI on the 2024 Hype Cycle for Artificial Intelligence “: gartner.com/en/articles/hype-cycle-for-artificial-intelligence

KI – nachfolgende Entwicklungen

+ Omnipotente KI?



- trackingai.org: IQ-Test results of Mensa Norway, Jan 2025

KI – Entwicklungen in Gesundheitswirtschaft

- + Bildverarbeitung
- + branchenspezifische LLMs für z.B. Arztbriefschreibung
- + multimodale Systeme für z.B. umfassende Datenintegration
- + Agentensysteme für z.B. Arbeitsabläufe
- + Explainable AI

KI – essentiell für die Personalisierte Medizin

- + Integration und Kombination der KI-Fähigkeiten in Bildverarbeitung, Datenintegration, Genetik, Therapieoptimierung und Prozesseffizienz



- gpt5.blog: "Personalisierte Medizin & Künstliche Intelligenz"

Wo geht die Reise hin?

- + Die Entwicklungen der letzten 5 Jahre haben gezeigt, dass der Einsatz neuer Sensoren, KI und Sprachkommunikation das Einsatzgebiet der Roboter im Krankenhaus deutlich erweitert haben.
- + Es ist anzunehmen, dass durch die Fortschritte (insbesondere im industriellen Sektor) die Robotik weitere Felder erschließt.
- + Der Markt ist da. Die Herausforderungen im Gesundheitswesen begünstigen den flächendeckenden Einsatz.
- + Dennoch sind weitere Herausforderung wie Sicherheit, Ethik und Akzeptanz noch zu überwindende Hürden.

Wo geht die Reise hin?

- + Laut GFU-Umfrage sind Deutsche offen für Einsatz von Robotik und KI bei Pflege und Gesundheit.
- + Die Stiftung Münch zeigt mit einer Studie die Bedeutung von Robotik in der Gesundheitswirtschaft auf, dass Robotik im Gesundheitswesen eine vielversprechende Zukunft hat und ein wachsender Markt ist.
- + Deutschland ist der fünftgrößte Markt der Industrierobotik weltweit und innerhalb Europas der größte. Die größten Wachstumsfelder liegen im Bereich der Servicerobotik. Quelle Spectaris
- + „AI und Robotik werden in Medizin und Pflege zu Game Changern“ so Stefanie Kemp CTO bei der Sana.
- + Das EU-Projekt TEF-Health: 51 beteiligten Projektpartner aus neun europäischen Ländern erhalten eine Förderung der Europäischen Union von 60 Millionen Euro, zwei Millionen gehen davon an das BIH.

Blick über den „Tellerrand“

- + In den Asiatischen Ländern – vornehmlich Japan und Korea ist die gesellschaftliche Akzeptanz von Robotern im Gesundheitsbereich weitaus größer.
- + Robotik im Gesundheitswesen hat weltweit großes Potenzial: Ein wachsender Markt:
Die Marktgröße für medizinische Robotersysteme wird im Jahr 2024 auf 13,32 Milliarden US-Dollar geschätzt und soll bis 2029 28,14 Milliarden US-Dollar erreichen, was einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 16,13 % im Prognosezeitraum (2024–2029) entspricht. Quelle Mordor Intelligence

Fazit

- + Viele Robotersysteme sind noch ausbaufähig und oft noch nicht für einen flächendeckenden Einsatz geeignet.
- + Sie können zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen und Sicherung der Versorgungsqualität beitragen.
- + Robotik kann als (Teil-)Lösung für den Fachkräftemangel und den demografischen Wandel angesehen werden.
- + Noch sind die Investitionskosten hoch und der Nutzen nicht immer gegeben.
- + Die „Treiber“ Fachkräftemangel und Qualitätssicherung werden voraussichtlich einen beträchtlichen Anteil am zukünftigen Einsatz haben.
- + Die Frage bleibt: warum ist der Einsatz von Robotik im Gesundheitswesen bislang nur zögerlich gewesen.

Vielen Dank

Fragen?

Michael Engelhorn

engelhorn@expermed.de

Adrian Schuster

A.Schuster@aredix-consulting.de