

# *KI in der Orthopädie*

Prof. Dr. med. Rüdiger von Eisenhart-Rothe, Direktor der Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie  
TUM Universitätsklinikum

Dr. rer. nat. Florian Hinterwimmer, Arbeitsgruppenleiter *AI in Orthopaedics (AIO)*  
Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie / Institut für KI und Informatik in der Medizin  
TUM Universitätsklinikum

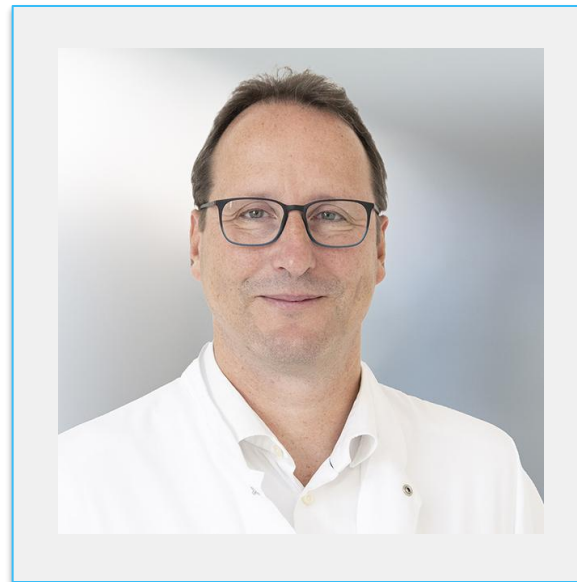
09.12.2025



# Unser Portfolio

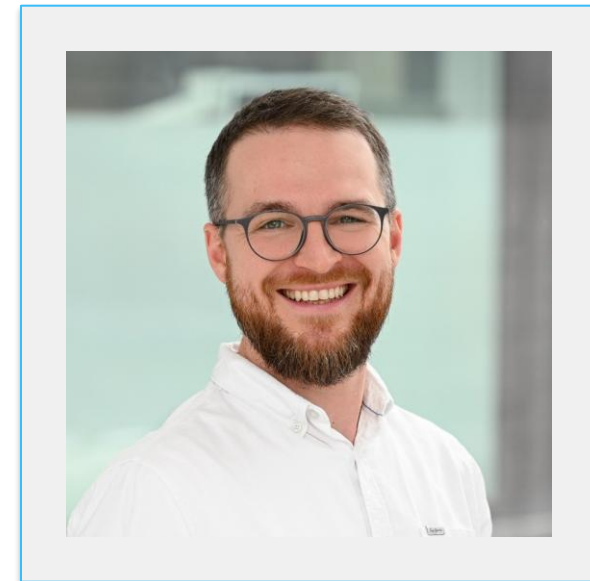
## Prof. Dr. Rüdiger von Eisenhart-Rothe

Direktor der Klinik für  
Orthopädie und Sportorthopädie



## Dr. rer. nat. Florian Hinterwimmer

Arbeitsgruppenleiter  
*AI in Orthopaedics (AIO)*



# Medizinische Exzellenz

Zentrum mit höchster Fallzahl



Ca. 4.000 Operationen pro Jahr

Fallzahlen: Platz 1 in Bayern, Platz 3 in Deutschland

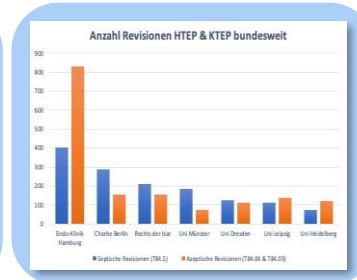
Sarkom-Zentrum: Top 5 in Deutschland

## Primary arthroplasty



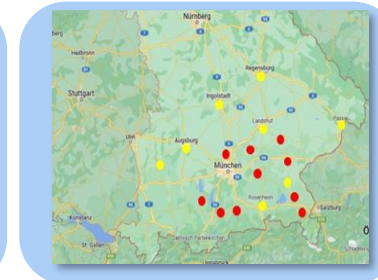
N = 950

## Revision arthroplasty



N = 450

## PP Infection



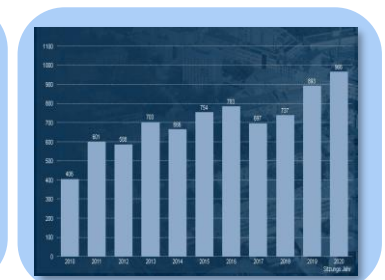
N = 300

## Sports Orthopedics



N = 2000

## Muskuloskelettal tumors



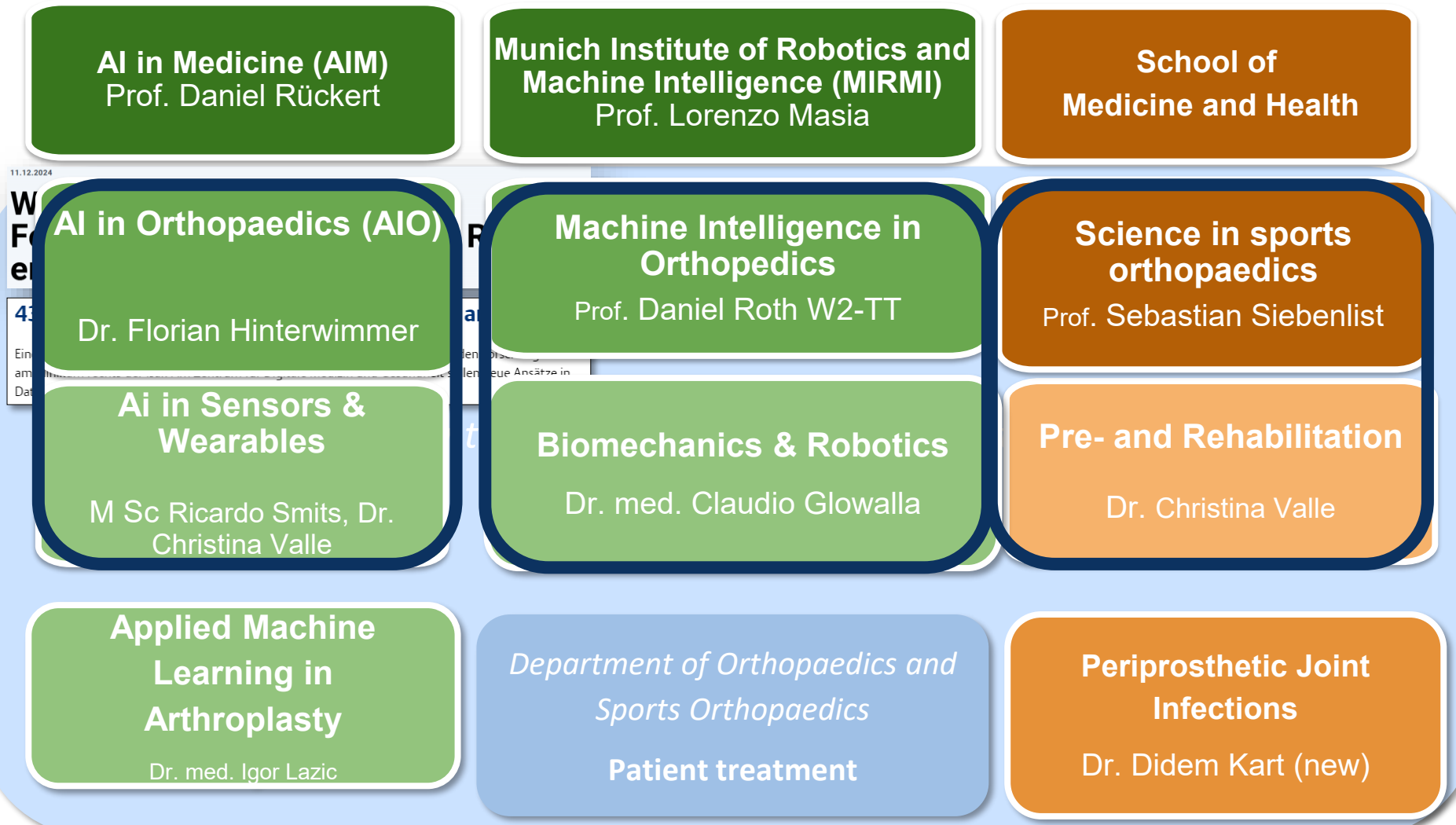
N = 350

# Wo Disziplinen verschmelzen

Medizin trifft auf Ingenieurskunst, Computer Science & Sportwissenschaft

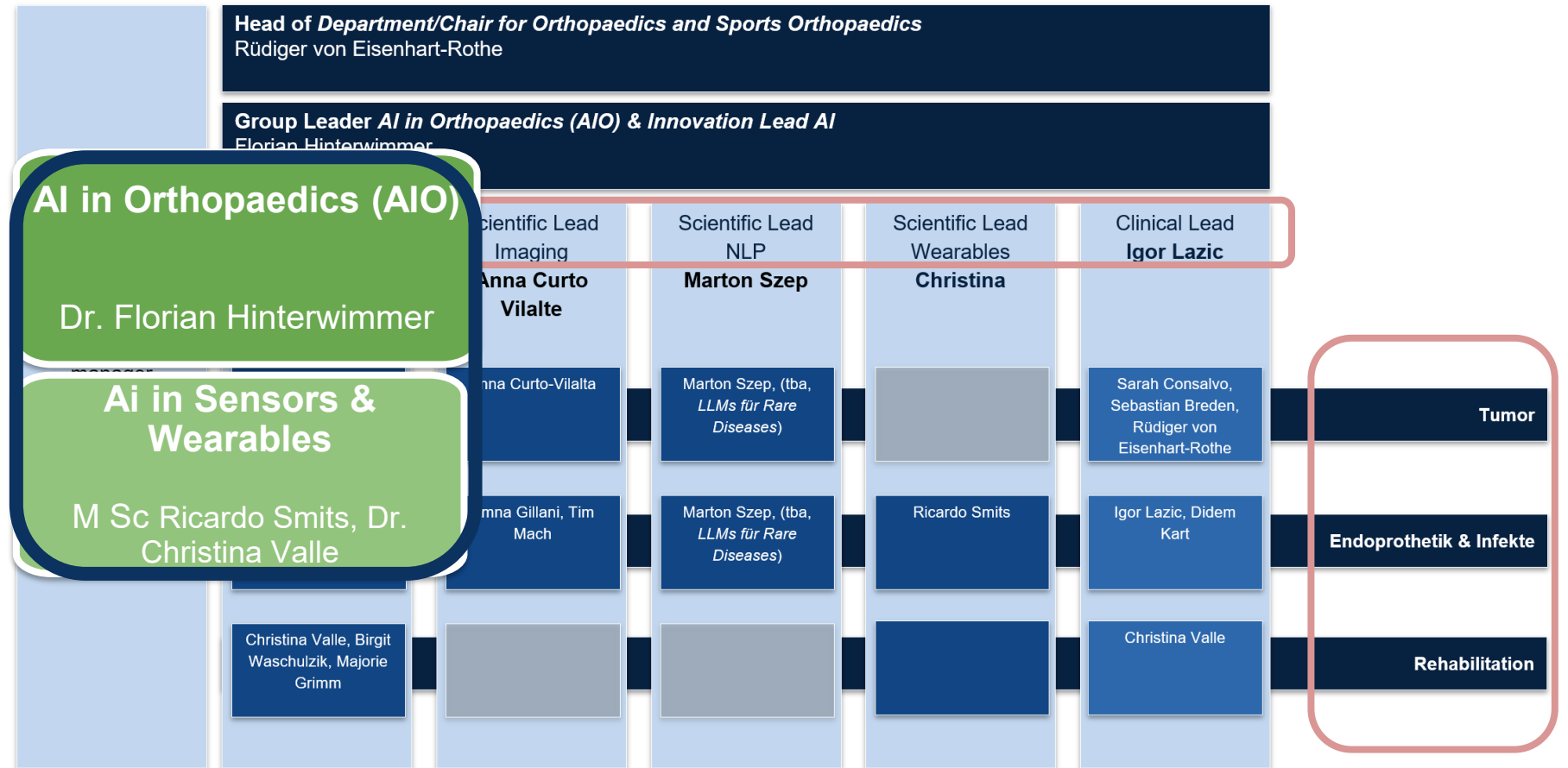
## Einzigartiges Umfeld

Das TUM Ökosystem



# AI in Orthopaedics

## Computer Science und Orthopädie



# Herausforderung & Lösung bei der Digitalisierung in der Medizin

## 1. Problem

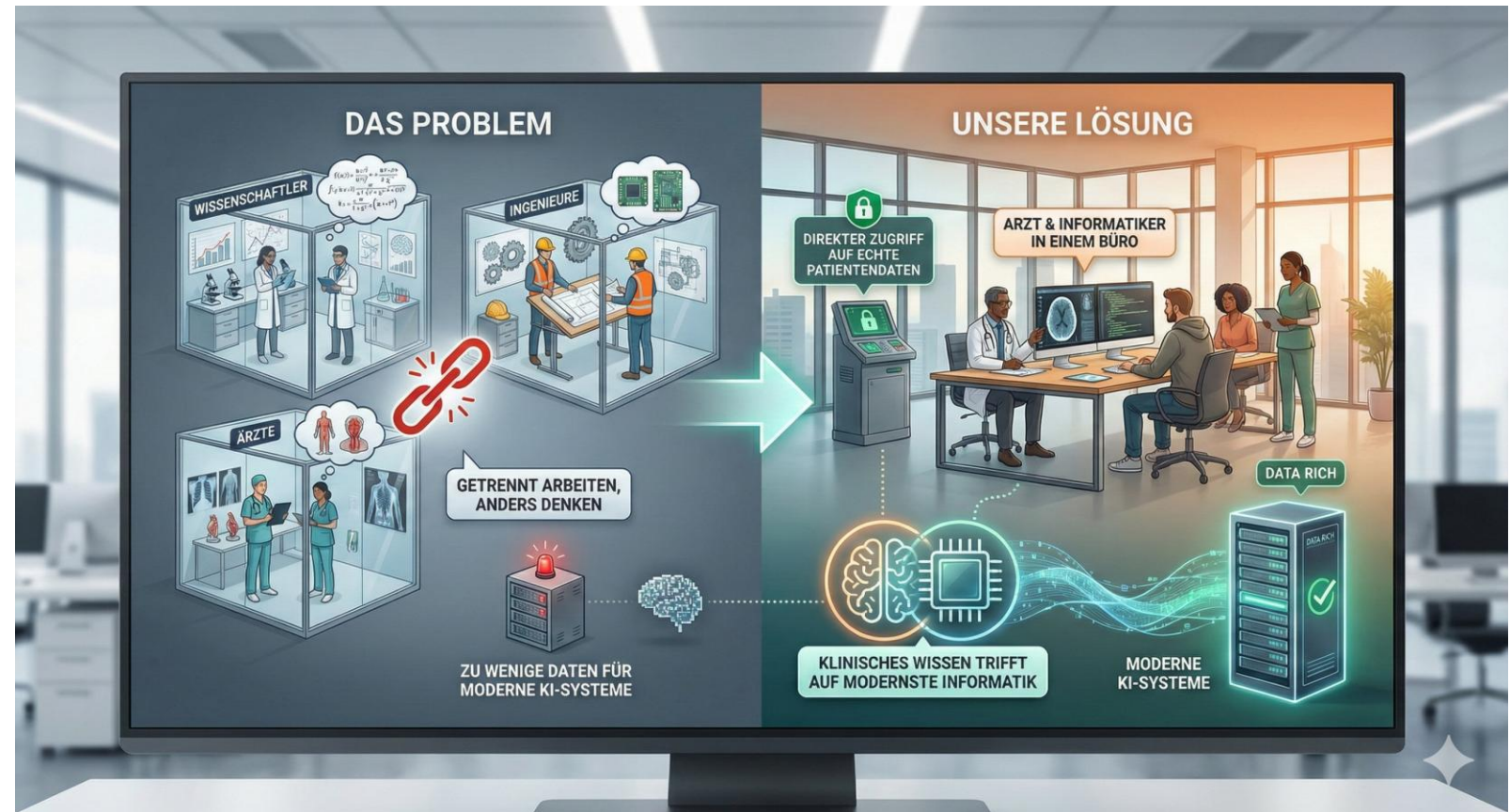
Wissenschaftler, Ingenieure und Ärzte arbeiten oft getrennt und denken anders.

### Bridging the divide between data scientists and clinicians

Grace Bastian<sup>a</sup>, George Hamilton Baker<sup>a,\*</sup>, Alfonso Limon<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Medical University of South Carolina, Charleston, SC, USA

<sup>b</sup> 1902 Wright Pl #200, Carlsbad, CA, 92008, USA



# Unser Datenschatz

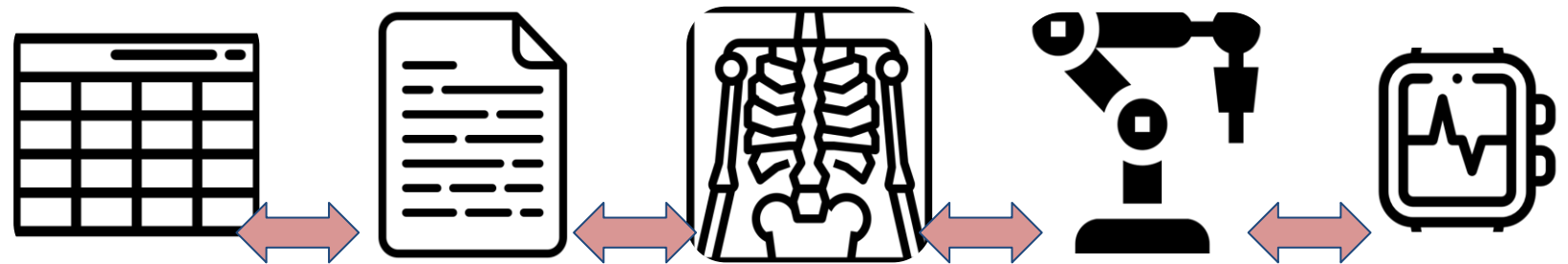
## 2. Problem

Zu wenige Daten für moderne KI-Systeme

### Multimodale, longitudinale, reale Daten

>4 Jahre, diese Daten zu beschaffen

→ Strukturieren, Validieren, Analysieren



#### Tabular/clinical data

- 369.000 orthopaedic cases
- 1.106.000 individual diagnoses

#### Textual data/reports

- 200.000 clinical reports
- 110.000 radiology reports

#### Imaging data

- 500.000 xrays (tumor and osteoarthritis)
- 300.000 3D MRTs (tumor)

#### Robot-data (knee)

- angles
- imaging
- included patients : 450
- complete data sets: 330

#### Sensor data

- Smart soles + IMU + Smart phone from ~100 TKA patients
- IMU + Smart Phone + questionnaires from ~100 sports students

Connecting and comparing all data sets

# Die Vision

Alles hängt zusammen

## Unser Fokus: Die Reise des Patienten

Wir verbinden alle Datenpunkte entlang des gesamten Behandlungswegs.  
Von der Prävention bis zur Nachsorge.





### Jane

Beruf: Direktorin eines Gymnasiums  
Hobbys: Reisen, Wandern, Ernährung  
Lebensstil: Gesund, ausgeglichen,  
stressig.

# Eine (fiktive) Patientin.

(Spoiler: Es wird gut ausgehen ;) )

# Die medizinische Reise

**12 Jahre**

50 Jahre

68 Jahre

Methodik



?



12 Jahre

## Ein unklarer Befund

Start der Reise

---

### SITUATION

Schule & Sport

Leichtathletik-Talent, Schmerzen beim Sport im Knie  
Hausärztin sagt: „Bestimmt nur Wachstumsschmerzen!“

➔ lieber nochmal zum Orthopäden



„ Ich möchte ein Röntgenbild!“



12 Jahre

# Ein unklarer Befund

## Start der Reise

- jährliche Inzidenz aller primär malignen Knochentumoren: => 2 Fälle/ 100 000 Einwohner
- Unspezifische Beschwerden DD: Verletzung, Wachstumsschmerz etc.

## SITUATION

Schule & Sport

Sieht das auffällig aus?

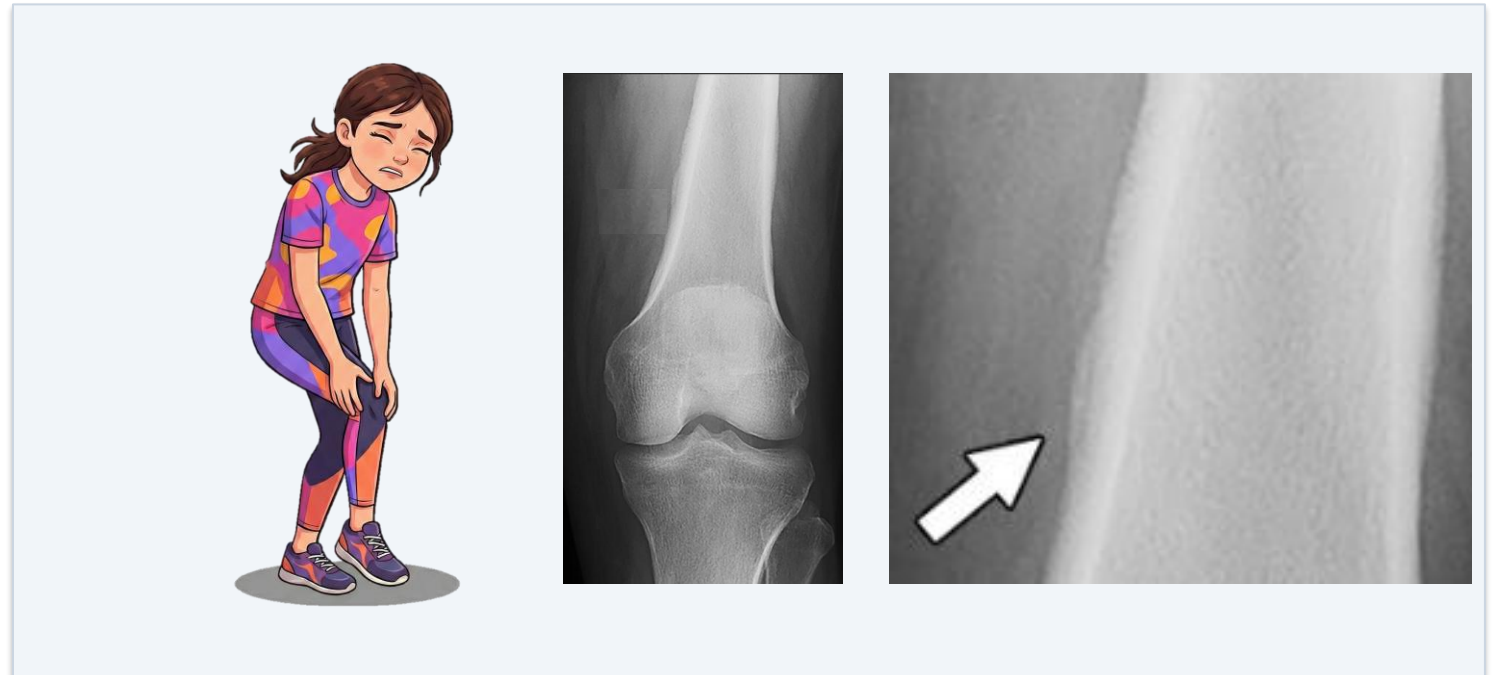
Ein niedergelassener Orthopäde sieht alle 10 Jahre einmal einen bösartigen Knochentumor.

[Clin Sports Med](#), 2013 Jul;32(3):559-76. doi: 10.1016/j.csm.2013.03.008. Epub 2013 May 8.

**Dilemmas in distinguishing between tumor and the posttraumatic lesion with surgical or pathologic correlation.**

[Walker E](#), [Brian P](#), [Longo V](#), [Fox EJ](#), [Frauenhoffer EE](#), [Murphey M](#).

Department of Radiology, Penn State Milton S. Hershey Medical Center, 500 University Drive, Hershey, PA 17033, USA. [ewalker@hmc.psu.edu](mailto:ewalker@hmc.psu.edu)



12 Jahre

# Ein unklarer Befund

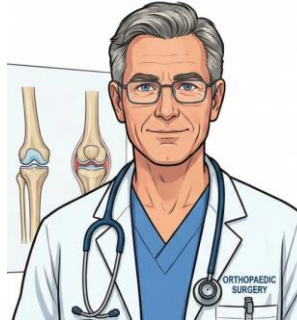
Start der Reise

**Mein Wunsch an Florian:**  
Ein Tool, das flächendeckend nicht-spezialisierten Ärzten bei der Diagnose (Röntgenbild) hilft

**SITUATION**

Schule & Sport

Sieht das auffällig aus?



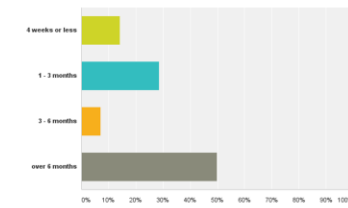
„Das müssen wir abklären!“

Frühzeitige Diagnose ist entscheidend für die Prognose



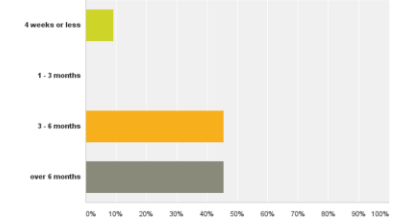
„Time to diagnosis“

Osteosarkom



Mittelwert: 2,9 Monate

Ewing Sarkom



Mittelwert: 3,2 Monate

Weltweit 1. Umfrage zu Knochensarkomen über ein soziales Netzwerk



# Studie: Früherkennung

*KI zur Diagnose von Sarkomen bei Kindern (KIDS)*

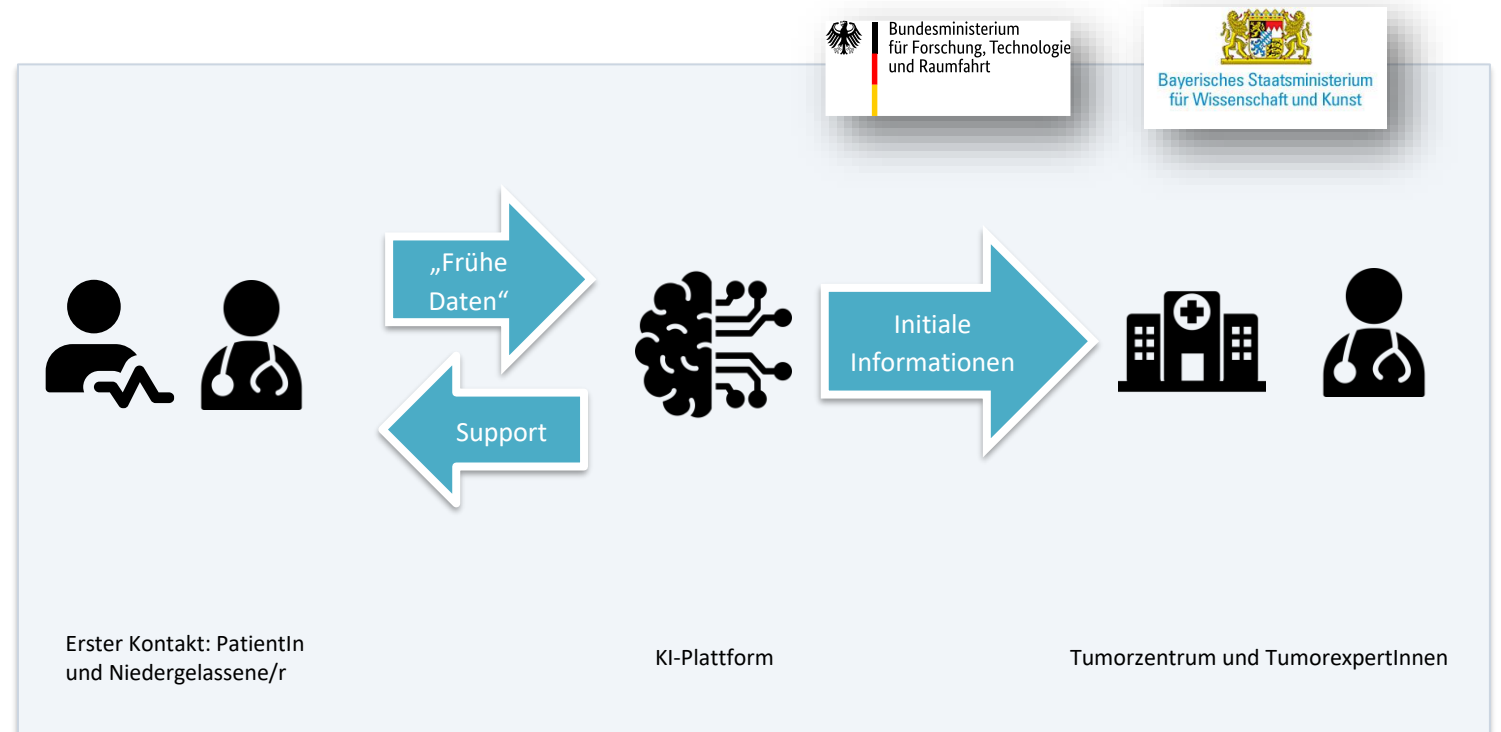
## ANSATZ

Erkennen auffälliger Röntgenbilder

KI-Algorithmus zur Früherkennung von Knochentumoren bei Kindern

Reduziert 'Time-to-Referral' & 'Time-to-Diagnosis'

Performanz >90%, aber monozentrisch

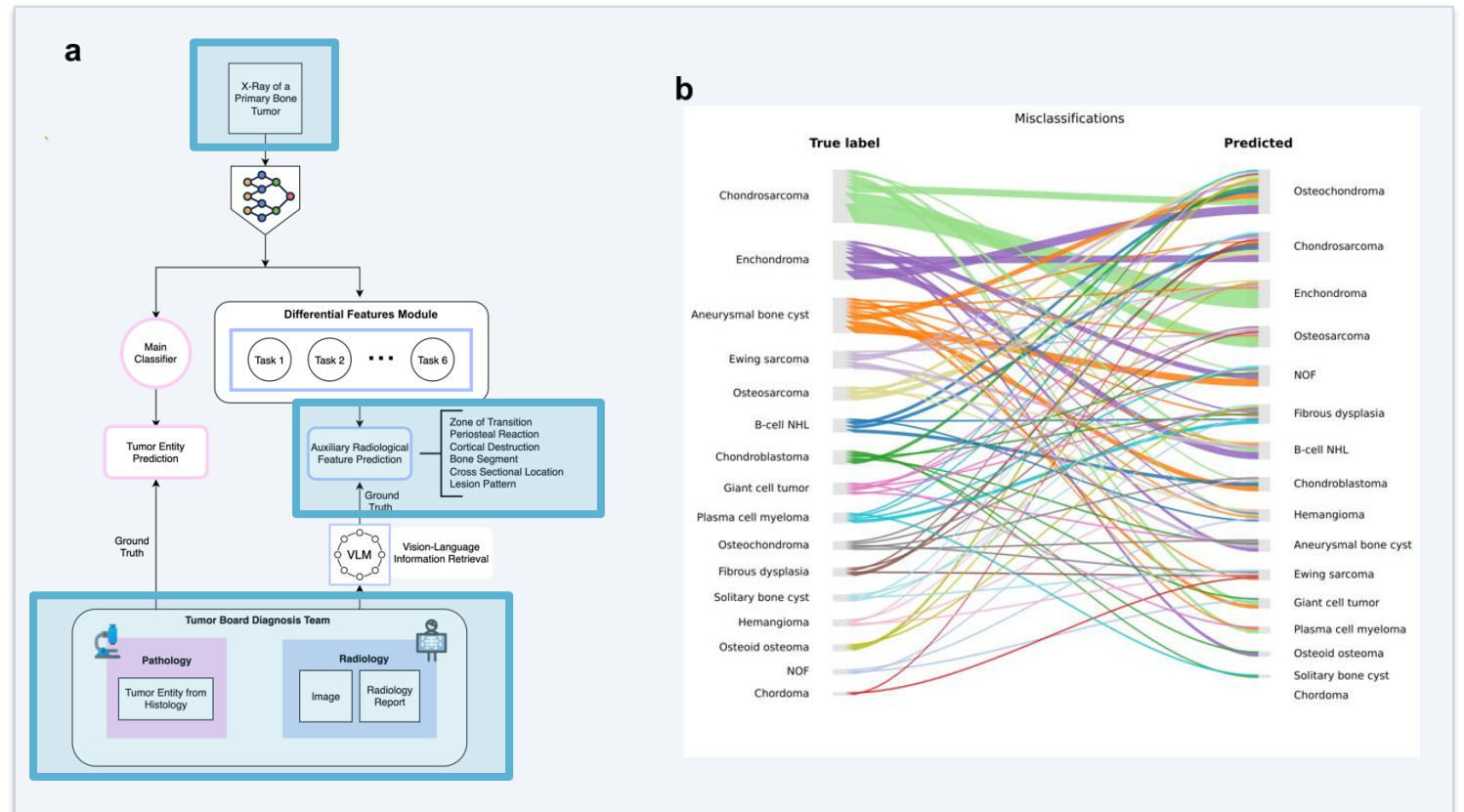


# Studie: Multimodal

Bild + Text

Kombiniert Bild & Befundtext  
Erhöht Sicherheit bei Sarkomen  
Baut den Prozess der Radiologen nach

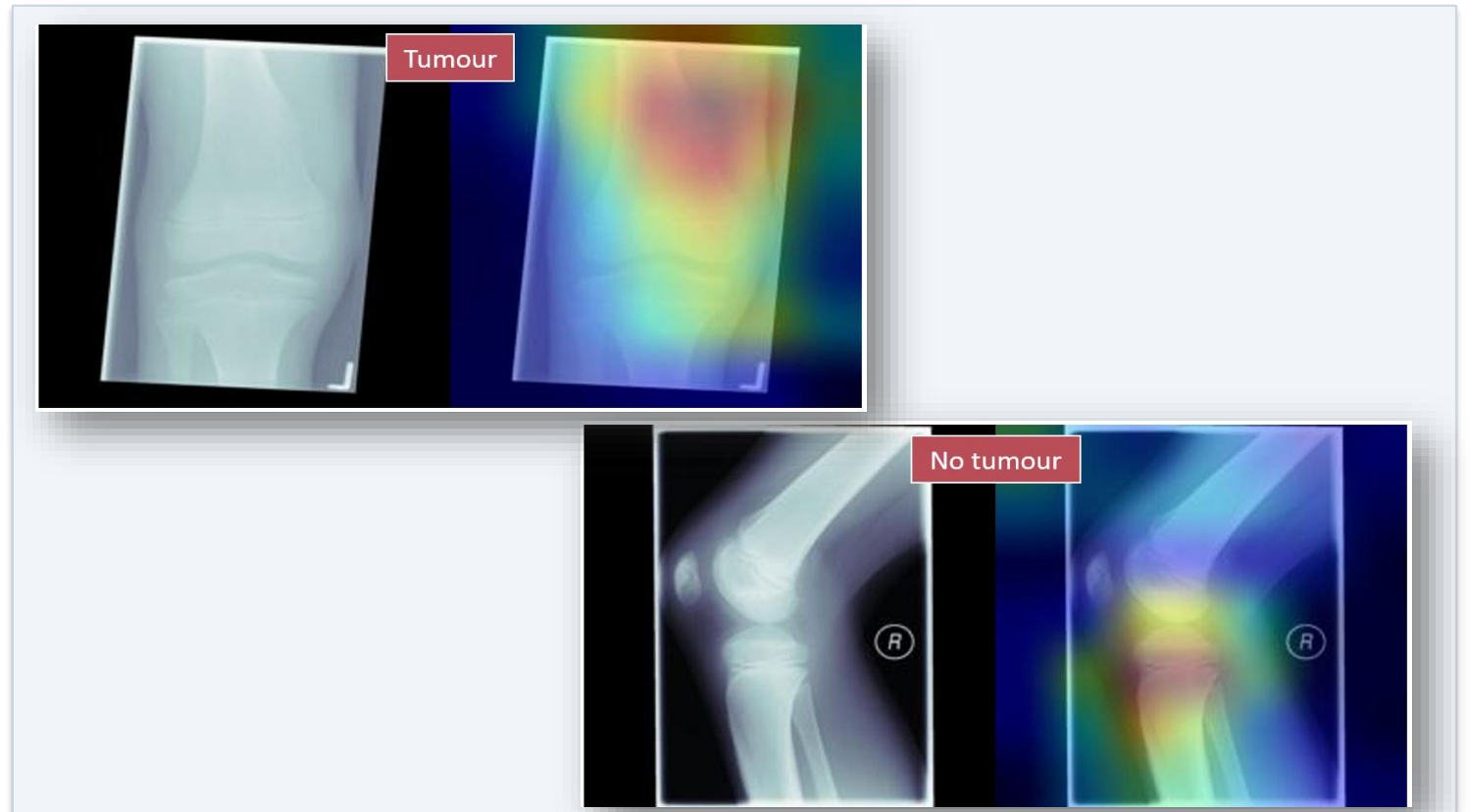
**ANSATZ**  
Vision-Language Models



# Studie: Explainability

## Explainability & Plausability

*Wo schaut der Algorithmus hin? Ist das klinisch nachvollziehbar?*



# Studiengruppe Knochensarkome

Bayernweites Netzwerk

## ANSATZ

Multimodale KI & Shared Decision Making

## BZKF-Förderlinie



# Die medizinische Reise

12 Jahre

**50 Jahre**

68 Jahre

Methodik



Osteosarkom  
Megaprothese

?



50 Jahre

## Das andere Knie

Arthrose = eine der häufigsten Ursachen für Fehltage und ökonomische Kosten

---

### SITUATION

Berufstätig, Stehberuf

Schmerzen links (gesundes Bein)

Fehlbelastung



„ Sie haben aufgrund der Überbelastung schon einen ordentlichen Verschleiß!“



53 Jahre

# Die OP rückt näher

Entscheidung

**BEDÜRFNIS**

Information & Sicherheit

Fortgeschrittene Arthrose K&L 3

Konservativ ausgeschöpft

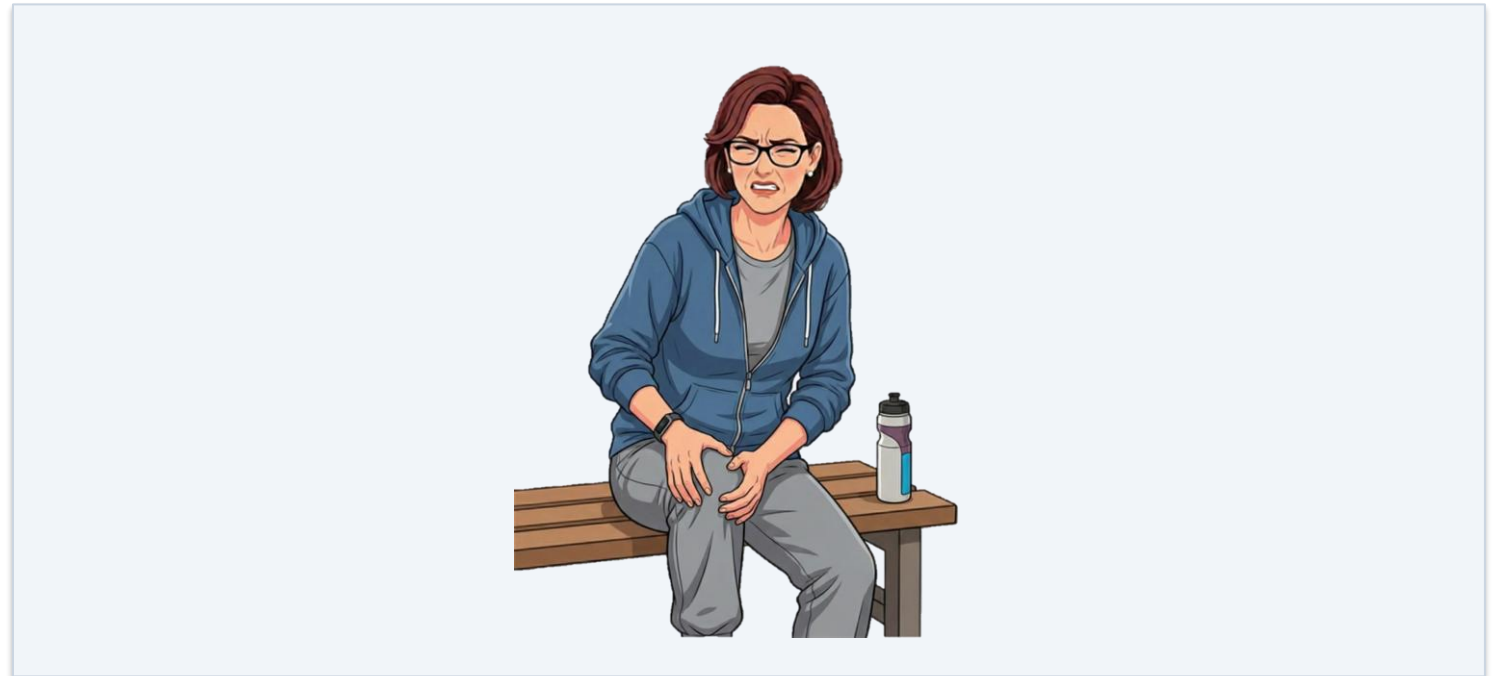
Prothese nötig -> Orientierung?

Arthrose ist die weltweit häufigste Gelenkerkrankung

**Deutschland:**

35 Mio. Personen mit radiologisch nachweisbaren Arthrosen

200.000 Knieprothesen und 230.000 Hüftprothesen / Jahr



53 Jahre

# Die OP rückt näher

## „NEUE ÄRA PRÄVENTION“

VORSTELLUNG DES „MASTERPLANS PRÄVENTION“ DES BAYERISCHEN GESUNDHEITSMINISTERIUMS

mit

Judith Gerlach, MdL

Staatsministerin für Gesundheit, Pflege und Prävention

MONTAG, 1. DEZEMBER 2025, 19:00 UHR



Mein Wunsch an Florian:  
Wie können wir Patienten vom  
beginn der Arthrose bis zur  
Prothese begleiten um

1. Frühzeitig zu erkennen
2. Verlauf optimieren

### BEDÜRFNIS

Information & Sicherheit



Public Health Forum  
Volume 20, Issue 1, March 2012, Pages 2.e1-2.e4



## Prävention – eine Notwendigkeit in einer Gesellschaft des langen Lebens

Ursula Lehr

[Show more](#)

... too many patients requiring care of their diseases

We need autonomous systems and artificial intelligence to manage them  
Better option would be to **reduce their number!**



# Studie: NewKnee App

Patient Empowerment

Home-Tests (Beweglichkeit)  
 Visualisierung eigener Daten  
 (KI-Prognose für OP-Erfolg)



The collage consists of several elements:

- Left Brochure:**
  - So funktioniert's:**
    - QR-Code scannen, Testflight-App laden & QR-Code erneut scannen
    - Installieren Sie die NewKnee-App
    - Melden Sie sich in der Ambulanz der Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie an
    - Holden Sie sich Ihren Frieschaltcode nach der Aufklärung bei Ihrem Arzt oder an der Anmeldung
  - So finden Sie unsere Ambulanz:**

Unsere Ambulanz finden Sie im Erdgeschoss, nahe des Haupteingangs. Orientieren Sie sich an der **blauen Route**. **Buchstabe B** ist nach dem Haupteingang links.
  - Contact information for TUM Klinikum München and AIO.
- Middle Brochure:**
  - Begleiten Sie Ihren Fortschritt vor und nach Ihrer Knie-Operation**
  - Image of two people riding bicycles.
  - QR code for app download.
- Right Brochure:**
  - Mit unserer Smartphone-App Ihren Fortschritt sehen, testen, verstehen und die Forschung unterstützen.**
  - Image of a smartphone displaying the app interface.
  - Ihre Bewegung im Blick:**
    - Objektive Fortschrittmessung: Vergleich Ihrer Mobilität und Kniefunktion bei Kniegelenkarthrose, vor und nach Ihrer Operation.
    - Anschauliche Darstellung: Verfolgen Sie Ihren Fortschritt mit verständlichen Grafiken.
  - Um was geht es in unserer Studie?**
    - Bei Kniearthrose oder nach einer Knieprothese ist es oft schwer einzuschätzen, wie sich die Beweglichkeit wirklich entwickelt. Arztbesuche oder Röntgenbilder zeigen nur einen kleinen Teil – viele wichtige Informationen zum Alltag fehlen.
    - Daher möchten wir mit einer App Bewegungsdaten nutzen, die Ihr Smartphone bereits speichert. So können wir gemeinsam mit Ihnen Fortschritte und mögliche Einschränkungen besser verstehen.
    - App-Nutzung:** Sie entscheiden selbst, welche Daten Sie freigeben.
    - Tests & Fragebögen:** Kleine Bewegungs- und Funktions-tests sowie kurze Rückmeldungen zu Lebensqualität und Zufriedenheit.
    - Ihr Nutzen:** Die App zeigt Ihnen Ihren persönlichen Verlauf verständlich und anschaulich.
    - Ziel der Studie ist es, einen Vorhersage-Score zu entwickeln, der schon vor einer Operation Ihre Erfolgsaussichten und Zufriedenheit besser einschätzen kann.
  - Wer kann mitmachen?**
    - Patient\*innen mit Kniearthrose oder vor / nach einer Kniegelenkendoprothese mit eigenem iPhone (und ggf. Apple-Watch)
    - Bei Fragen wenden Sie sich jederzeit an unsere Ambulanz oder!
- Smartphone App Interface (Right):**
  - Time: 19:44
  - Meine Aktivität**
  - Daten der letzten Woche: [Alle Trends >](#)
  - 1.15** (NIEDRIG) **13%** (HOCH)
    - Geschwindigkeit
    - Gangasymmetrie
  - 28%** (HOCH) **0.70** (NORMAL)
    - Doppelstandphase
    - Schrittlänge
  - 6539** (NIEDRIG) **KOOS Gesamt**
    - Schritte
    - Noch kein Score verfügbar.
  - Buttons:
    - Fragebogen ausfüllen >
    - Bewegungstest starten >
    - Bericht als PDF erstellen >

**PRODUKT**  
 Digitale Begleitung

# Die medizinische Reise

12 Jahre

50 Jahre

68 Jahre

Methodik

Osteosarkom  
Megaprothese



Arthrose  
kontralateral



?



68 Jahre

# Die Krise

Komplikation

---

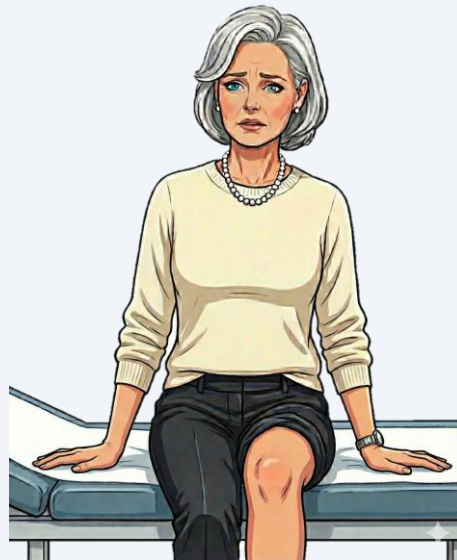
## SITUATION

Rentnerin, mobil eingeschränkt

- Knieschmerzen an der Tumorprothese.
- Zuletzt vor 2 Jahren wegen einer Lockerung gewechselt.

„Es war seit der letzten Operation nie wieder gut. Es ist immer geschwollen und schmerzhaft!“

**Diagnose??**



68 Jahre

# Die Krise

Komplikation

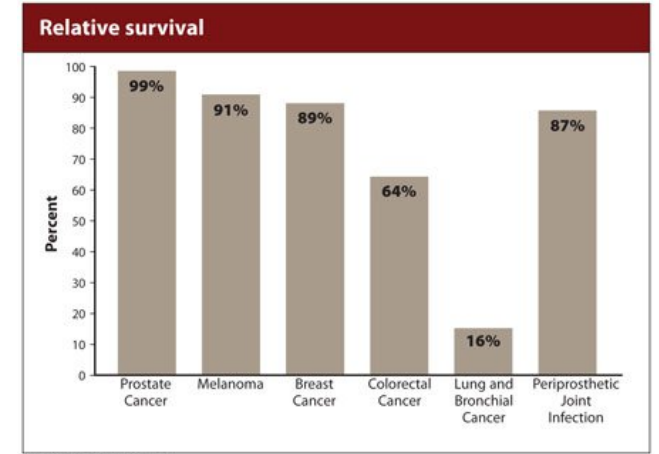
## SITUATION

Rentnerin, mobil eingeschränkt

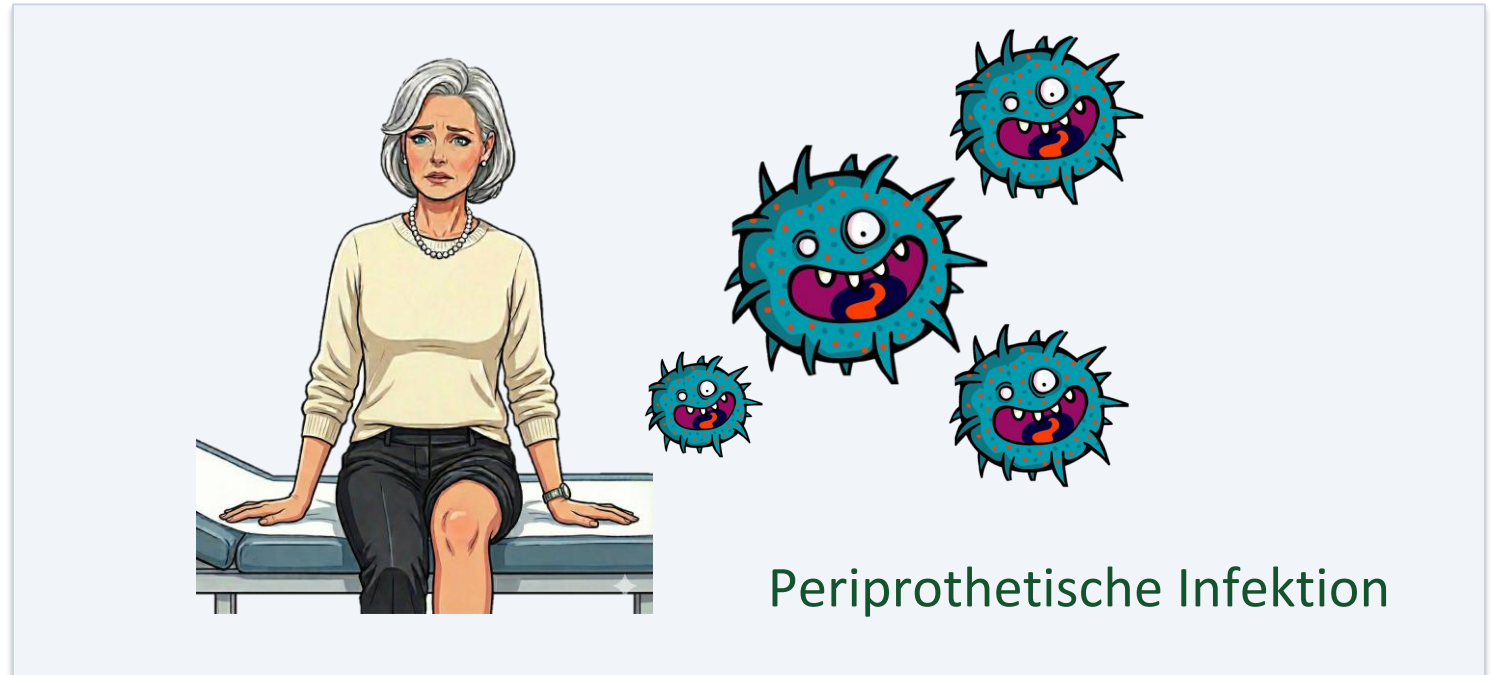
# Periprothetische Infektionen sind katastrophale Komplikationen !

**Infekte sind die häufigste Komplikation und Ursache für Frührevision in Deutschland**

**2. häufigste Ursache für Wechsel in Deutschland 2024**



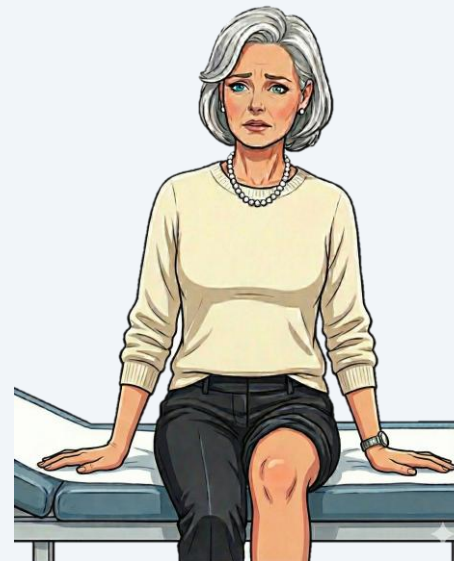
- Etwa so tödlich wie Brustkrebs
- Hohe körperliche und geistige Belastung



68 Jahre

# Die Krise

Komplikation



Periprothetische Infektion

## SITUATION

Rentnerin, mobil eingeschränkt

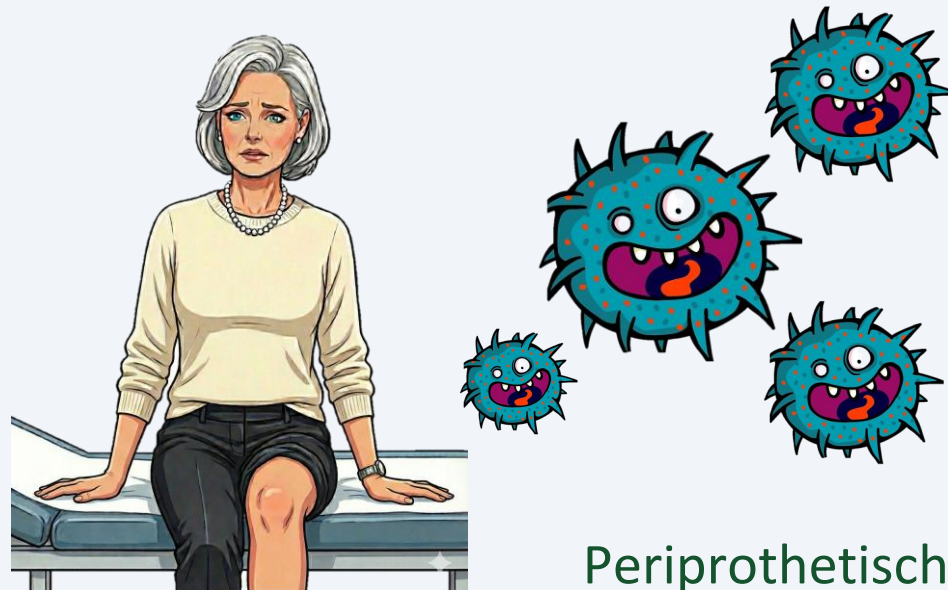
68 Jahre

# Die Krise

Komplikation

## Mein Wunsch an Florian:

1. Wie kann ich bereits vor der OP das Risiko eines Patienten bestimmen & ggf. das Profil optimieren?
2. Wie können wir herausfinden, wie der Patient am besten mit einem Infekt therapiert werden soll?



Periprothetische Infektion

## SITUATION

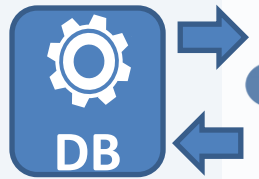
Rentnerin, mobil eingeschränkt

# Studie: Prognose

Infektausheilung

## KI Modell prädiziert Infektausheilung und erkennt Risikoparameter

### Sehr gute Performanz



Infect

57 Variables  
413 cases  
min. 12 Mo F

Preisträger

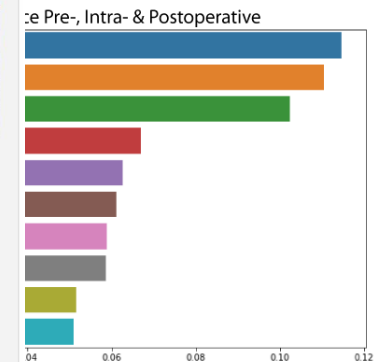
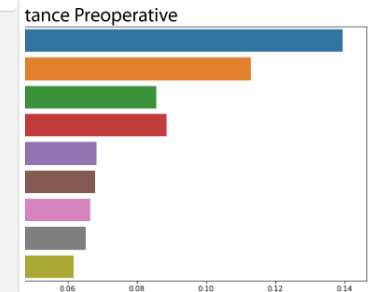
2025



Stellvertreter für Dr. Igor Lazic hat Dr. Malik Jessen (3.v.r.) den Best Paper Award der DGOU 2025 erhalten © Intercongress

PD Dr. Igor Lazic (München), C. Tietje, B. Schlossmacher, V. Lallinger, R. von Eisenhart-Rothe, F. Hinterwimmer

Machine-Learning-basiertes Modell zur Vorhersage der Infektausheilung bei periprotetischen Infektionen



WERT

Entscheidungshilfe

68 Jahre

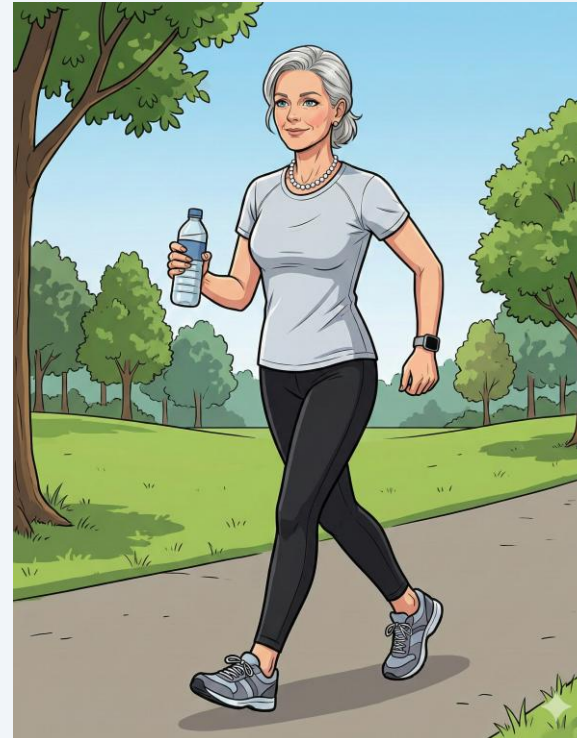
# Potenzial von KI

Bottleneck Daten:  
Medizin schöpft das Potenzial von  
aktuellen KI-Modellen nur  
ansatzweise aus!

---

Enorme Möglichkeiten durch KI (Decision Support Systems, Workflow Optimierung, etc.)

**Cave: Datenqualität & Datenquantität – dazu gehört auch unsere Gesellschaft richtig abzubilden.**



# Studie: KIRA

Künstliche Intelligenz zur  
Risikoprädiktion von Arthrose (neu)

Datenqualität ↑

## ZIEL

Erkennen und Reduzieren von Bias

Frauen: Andere Progressionspfade  
KI erkennt geschlechtsspez. Muster  
Gender Bias in der orthopädischen  
Versorgung



(Predictable) performance bias in unsupervised anomaly detection

Felix Meissen,<sup>a,\*</sup> Svenja Breuer,<sup>b,c</sup> Moritz Knolle,<sup>a,d</sup> Alena Buyx,<sup>b,e</sup> Ruth Müller,<sup>b,c</sup> Georgios Kaissis,<sup>a,f,h</sup> Benedikt Wiestler,<sup>g,i,j</sup> and Daniel Rückert<sup>a,h,j</sup>


Check for updates

clinical trials | nature > communications medicine > perspectives > article

The medical field has treated a fundamental shift in research

Perspective | [Open access](#) | Published: 23 October 2024

Eliminating gender bias in biomedical research requires fair inclusion of pregnant women and gender diverse people

Mridula Shankar , A. Metin Gülmezoglu, Joshua P. Vogel, Shivaprasad S. Goudar, Annie McDougall, Manjunath S. Somannavar, Sara Rushwan, Yeshita V. Pujar, Umesh Charantimath, Anne Ammerdorffer & Meghan A. Bohren

er: 1407 (2024) | [Cite this article](#)

metric | [Metrics](#)

innen trainiert wurde,

# Studie: Synthetische Daten

Datenquantität ↑

Zu wenig Daten bei seltenen Krankheiten

Lösung: KI generiert Röntgenbilder

Welches Bild ist Fake?



## METHODE

Generative AI



# Fazit

KI ersetzt nicht, KI ergänzt.

---

FAZIT

KI als Partner



# AI in architecture

Aus Sicht der KI (Gemini)



Vielen Dank!

