

# REPAIR

Charité - Centrum für  
Muskuloskeletale Chirurgie

Sebastian Hölzl, Niklas Tuttle, Alaa Bejaoui, Heiko Tzschätzsch, Julian Zierke, Mark Heyland, Felix Balzer, Georg Duda, Marc Toussaint, Timo Auer, Serafeim Tsitsilonis, David Back

| 27. Oktober 2023 | DKOU Berlin

# Einleitung

- Hohe Inzidenz von Frakturen von ca. 11/1000/Jahr

Court-Brown CM et al. Epidemiology of adult fractures: A review. Injury, 2006.

- Versorgung bedarf hoher operativer Fähigkeiten
- Anspruchsvolle Reposition
- Trotz korrekter Versorgung frühe Arthrose

Giannoudis PV et al. Articular step-off and risk of post-traumatic osteoarthritis. Evidence today. Injury, 2010.

- Tibiakopffrakturen ca. 1% aller Frakturen

Rudran B et al. Tibial plateau fracture: anatomy, diagnosis and management. British Journal of Hospital medicine, 2020.

- Schwere Reposition, Revision
- Planungstools wie 3D-CT-Rekonstruktionen, präoperativer 3D-Druck

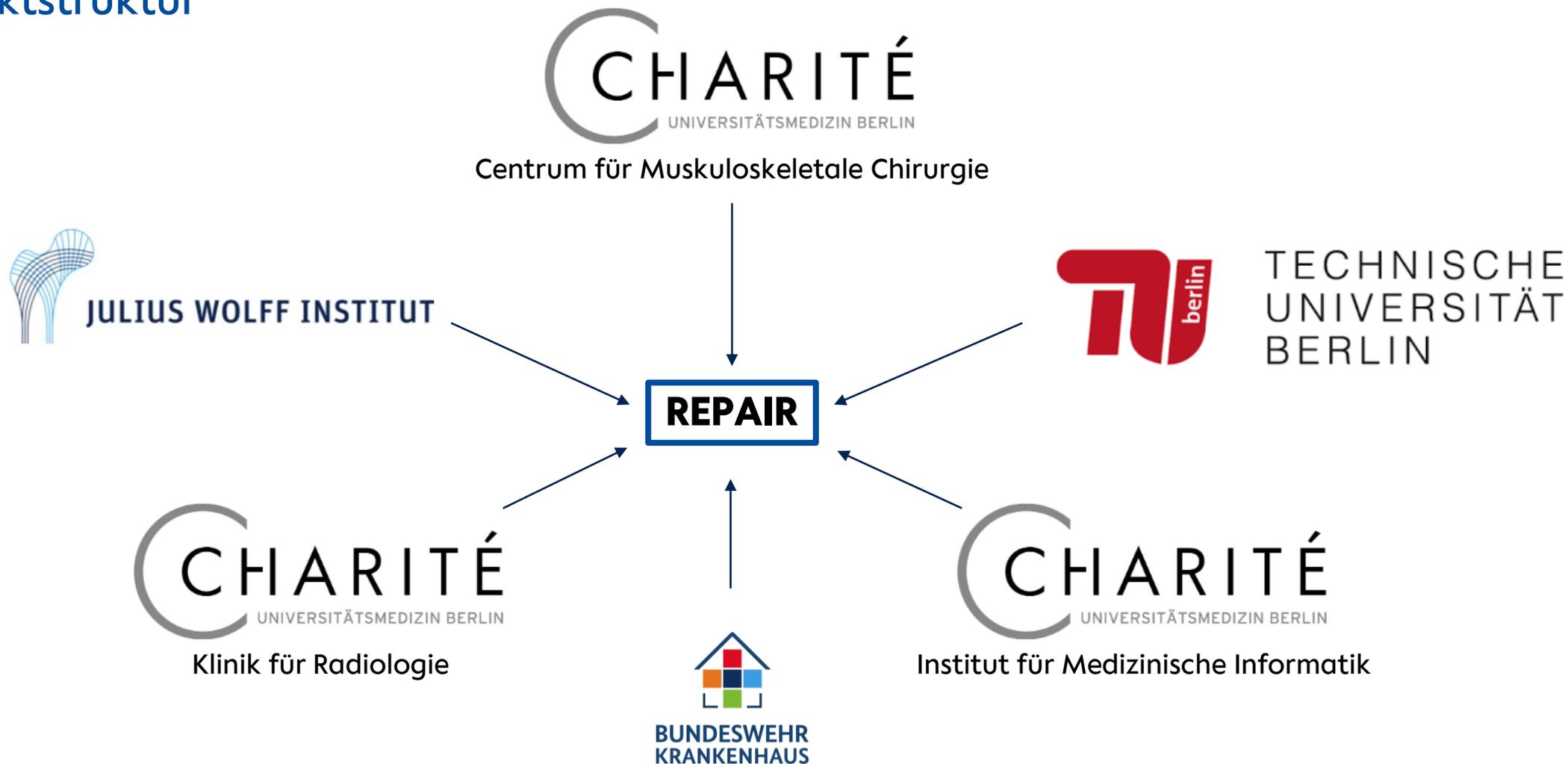
# REPAIR

- **Recommendation for Evidence-based Preoperative AI-controlled virtual Reduction and osteosynthesis of complex fractures**
- Empfehlung zur präoperativen Repositions- und Osteosynthese-Planung komplexer Frakturen durch Einsatz künstlicher Intelligenz
- Gefördert durch den Innovationsausschuss des Gemeinsamen Bundesausschusses
- Versorgungsforschung (vs. neue Versorgungsformen)
- Beantragungsdatum: 30.08.2022
- Bewilligungsdatum: 03.02.2023
- Startdatum: 01.04.2023



**Gemeinsamer**  
Bundesausschuss  
Innovationsausschuss

# Projektstruktur



# KI-Algorithmen

Segmentierungsalgorithmus

Repositionsalgorithmus

Osteosynthesealgorithmus

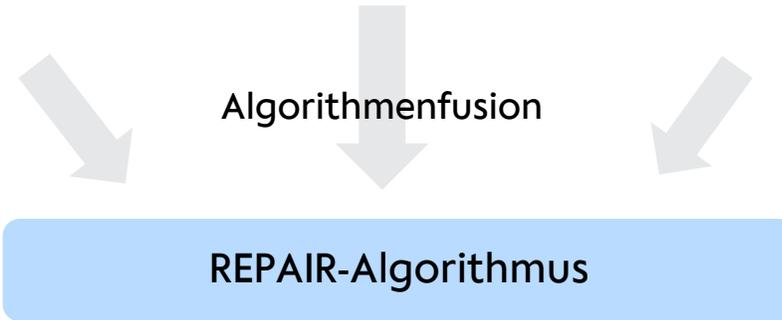
- Basierend auf Machine Learning
- Semi-automatisches Anlernen

# KI-Algorithmen

Segmentierungsalgorithmus

Repositionsalgorithmus

Osteosynthesealgorithmus



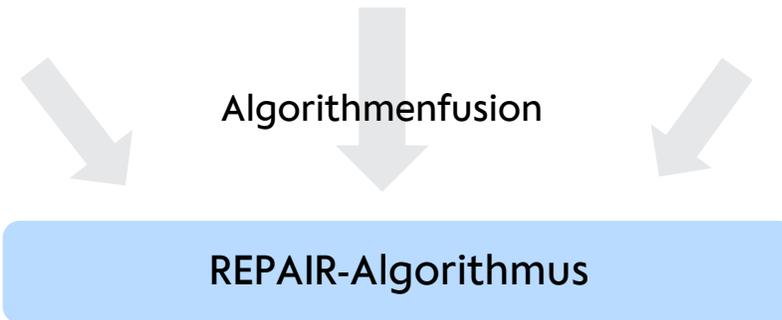
- Basierend auf Machine Learning
- Semi-automatisches Anlernen

# KI-Algorithmen

Segmentierungsalgorithmus

Repositionsalgorithmus

Osteosynthesealgorithmus



- Basierend auf Machine Learning
- Semi-automatisches Anlernen

Erste Phase: Entwicklung der Algorithmen

Zweite Phase: Anwendung des End-to-End Algorithmus in der realen präoperativen Planung

# KI-Algorithmen

## Segmentierungsalgorithmus

Vollautomatische  
Segmentierung  
sämtlicher  
Frakturelemente

Vollautomatische  
Klassifikation

Ausgabe passender  
Leitlinienempfehlung

Kombiniertes Verfahren

- Threshold-basiert
- k-mean Clustering
- Markov Random Fields
  
- AO
- Schatzker
- Moore
- 10-Segment Plateaubeteiligung



# KI-Algorithmen

## Segmentierungsalgorithmus

Vollautomatische  
Segmentierung  
sämtlicher  
Frakturelemente

Vollautomatische  
Klassifikation

Ausgabe passender  
Leitlinienempfehlung

Kombiniertes Verfahren

- Threshold-basiert
- k-mean Clustering
- Markov Random Fields
  
- AO
- Schatzker
- Moore
- 10-Segment Plateaubeteiligung



# KI-Algorithmen

## Segmentierungsalgorithmus

Vollautomatische  
Segmentierung  
sämtlicher  
Frakturelemente

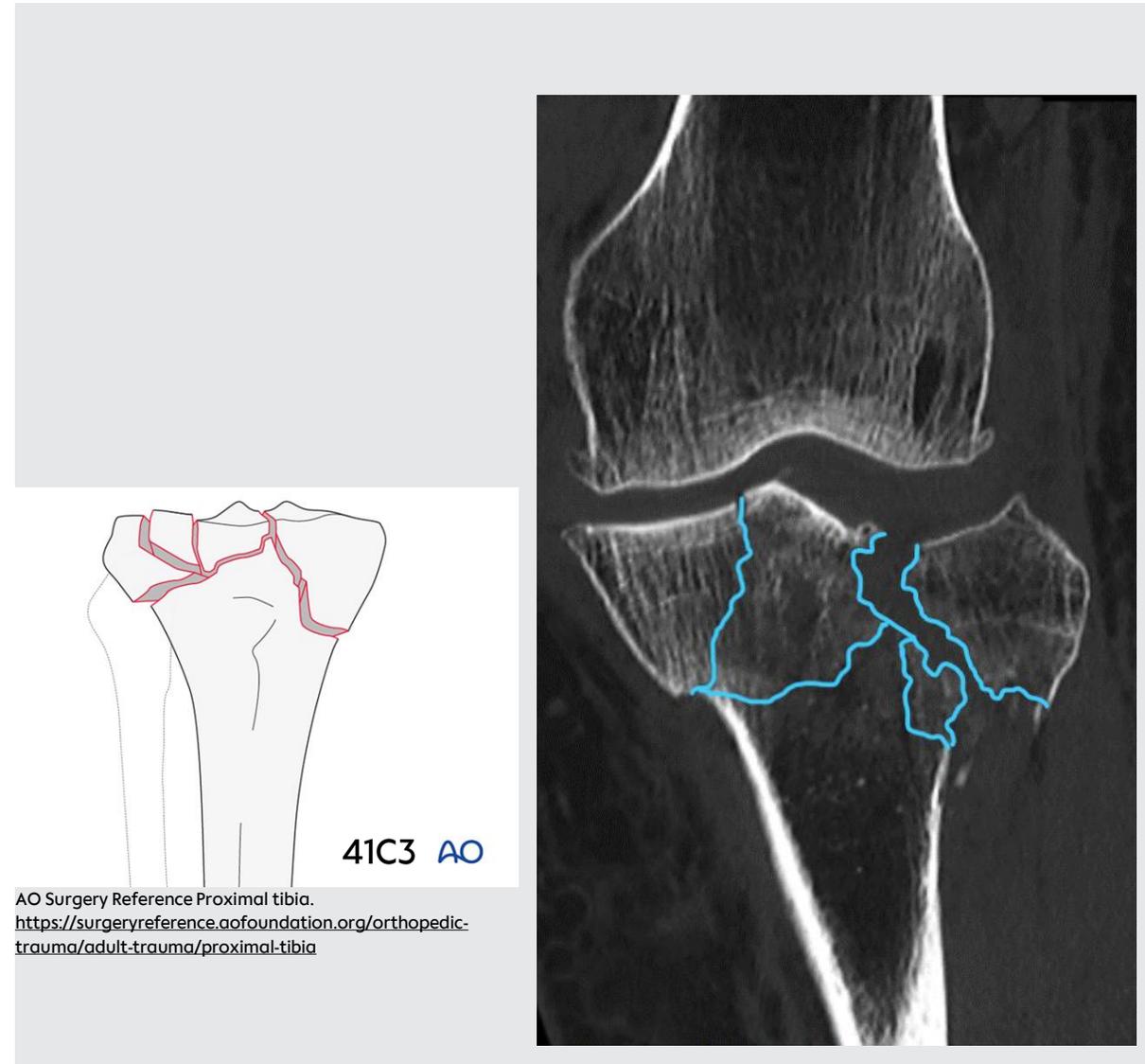
Kombiniertes Verfahren

- Threshold-basiert
- k-mean Clustering
- Markov Random Fields

Vollautomatische  
Klassifikation

- AO
- Schatzker
- Moore
- 10-Segment Plateaubeteiligung

Ausgabe passender  
Leitlinienempfehlung



# KI-Algorithmen

## Segmentierungsalgorithmus

Vollautomatische  
Segmentierung  
sämtlicher  
Frakturelemente

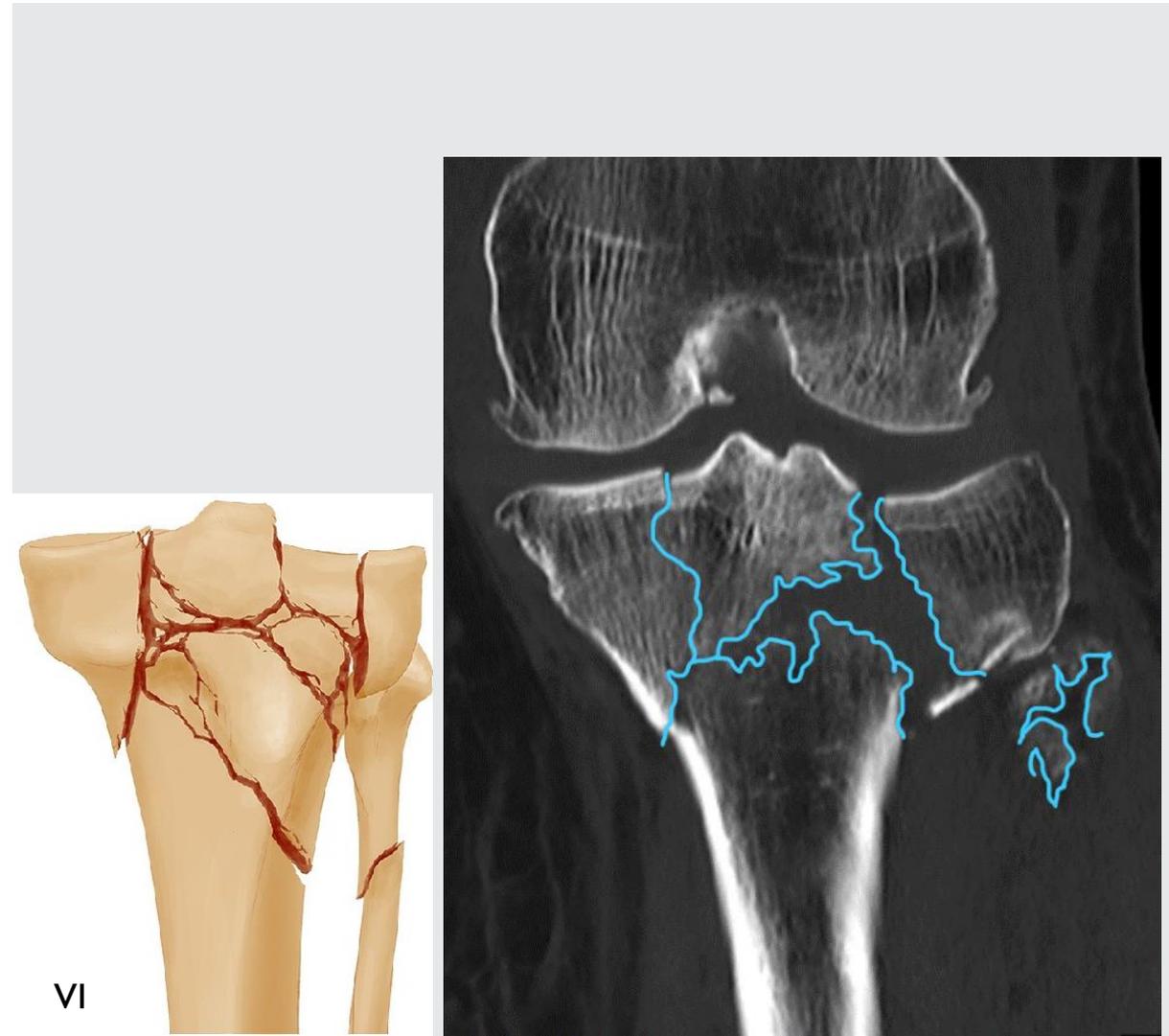
Kombiniertes Verfahren

- Threshold-basiert
- k-mean Clustering
- Markov Random Fields

Vollautomatische  
Klassifikation

- AO
- Schatzker
- Moore
- 10-Segment Plateaubeteiligung

Ausgabe passender  
Leitlinienempfehlung



Kfuri M, Schatzker J. Revisiting the Schatzker classification of tibial plateau fractures. Injury, 2018.

# KI-Algorithmen

## Segmentierungsalgorithmus

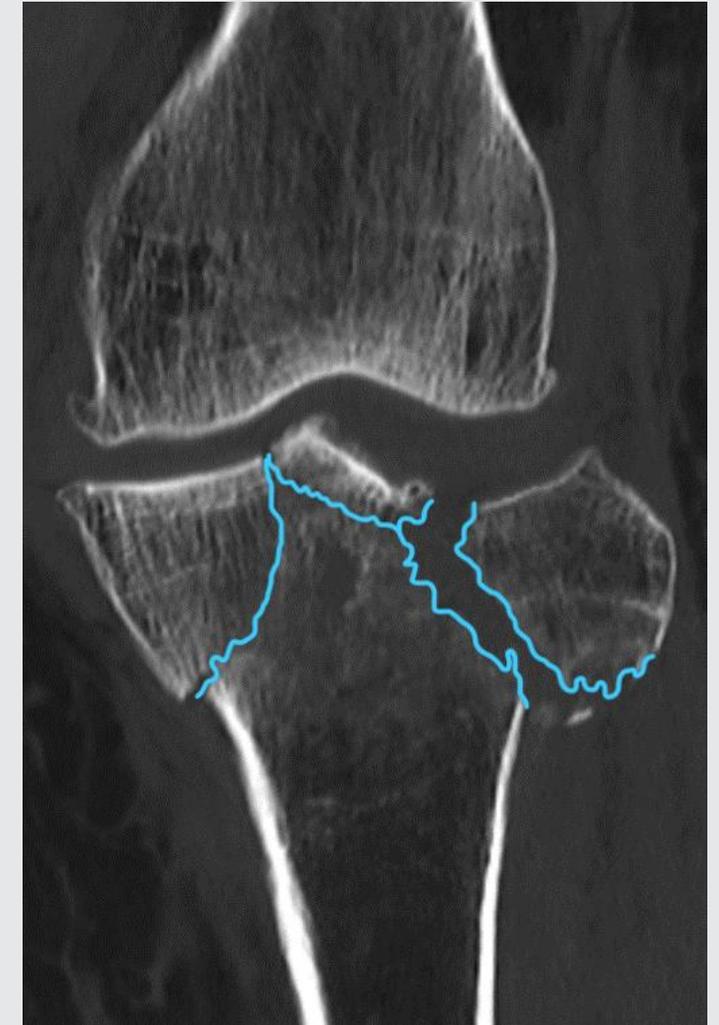
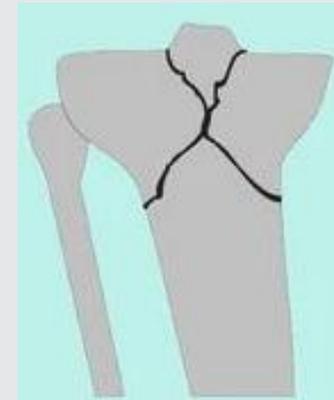
Vollautomatische  
Segmentierung  
sämtlicher  
Frakturelemente

Vollautomatische  
Klassifikation

Ausgabe passender  
Leitlinienempfehlung

Kombiniertes Verfahren

- Threshold-basiert
- k-mean Clustering
- Markov Random Fields
  
- AO
- Schatzker
- Moore
- 10-Segment Plateaubeteiligung



Petersen et al. Tibiakopffraktur. Der Unfallchirurg, 2006.

# KI-Algorithmen

## Segmentierungsalgorithmus

Vollautomatische  
Segmentierung  
sämtlicher  
Frakturelemente

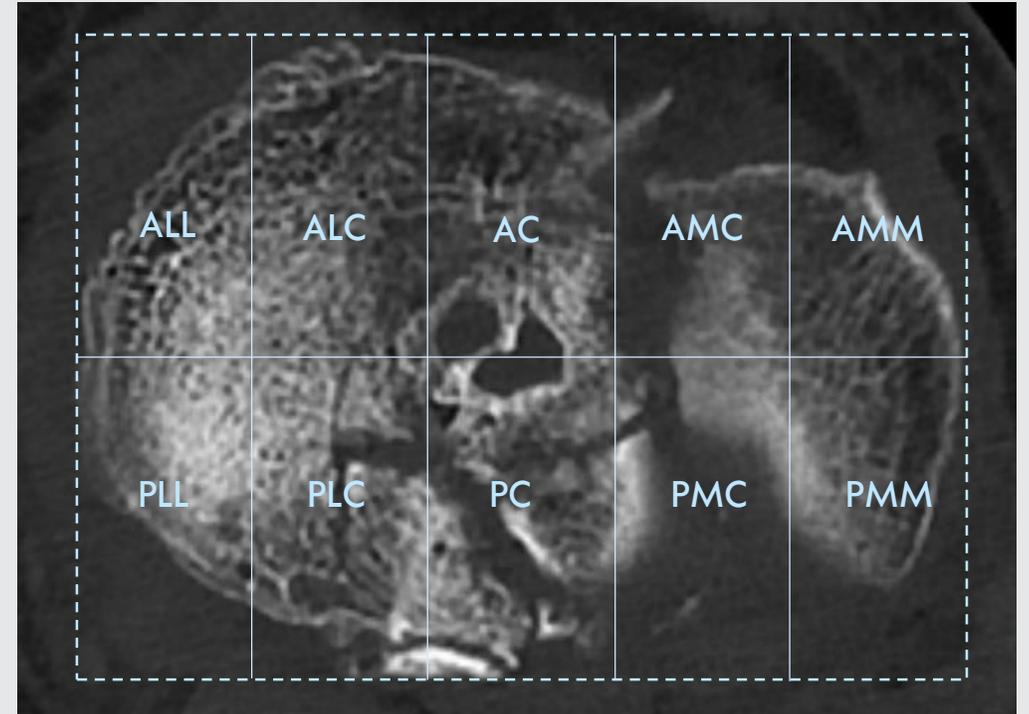
Kombiniertes Verfahren

- Threshold-basiert
- k-mean Clustering
- Markov Random Fields

Vollautomatische  
Klassifikation

- AO
- Schatzker
- Moore
- 10-Segment Plateaubeteiligung

Ausgabe passender  
Leitlinienempfehlung



# KI-Algorithmen

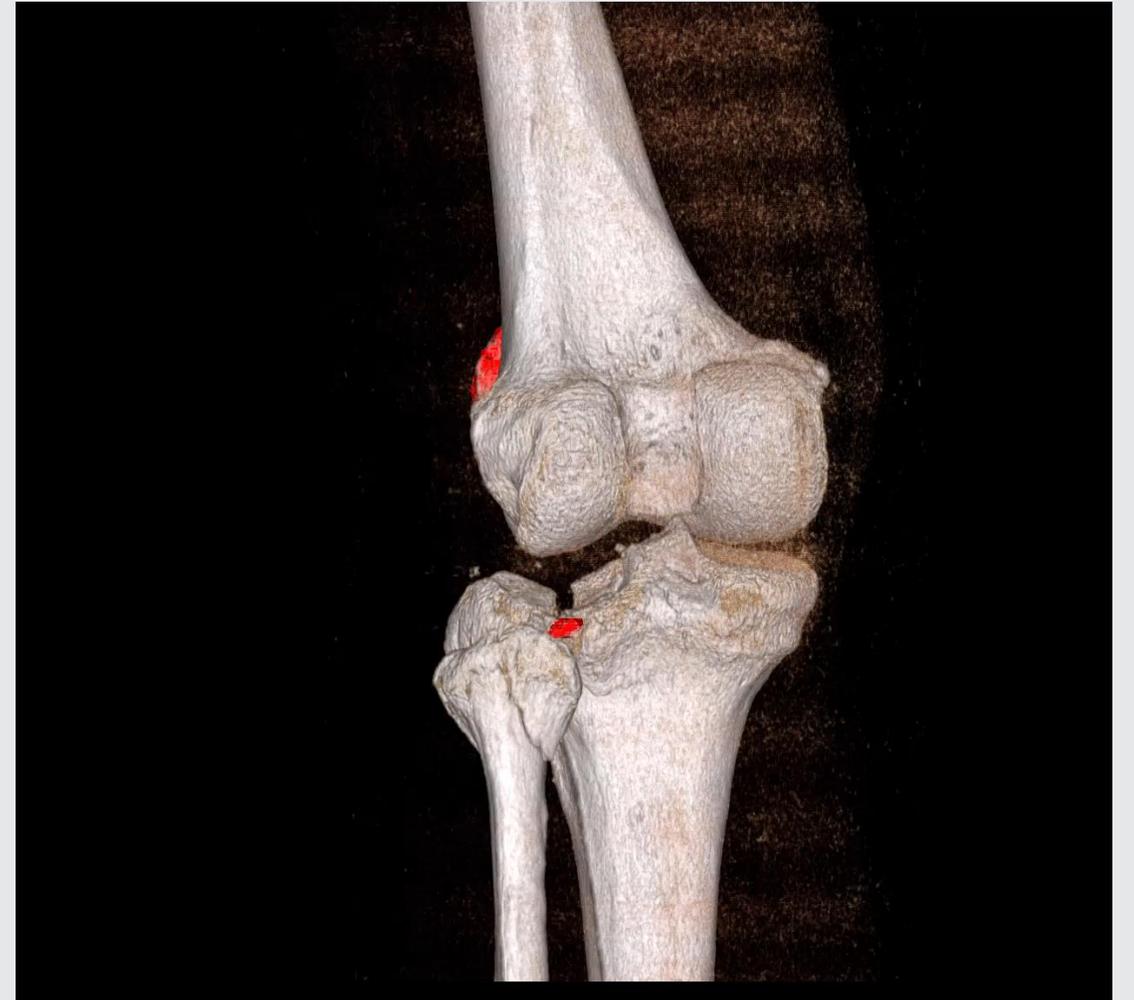
KI-Anlernen auf Basis  
von  $n = 200$   
frakturierten Tibiae

Basierend auf  
 $n = 1000$   
anatomischen Tibiae

## Repositionsalgorithmus

Zusammensetzen  
sämtlicher  
Frakturelemente

Anatomische  
Rekonstruktion der  
Tibia



# KI-Algorithmen

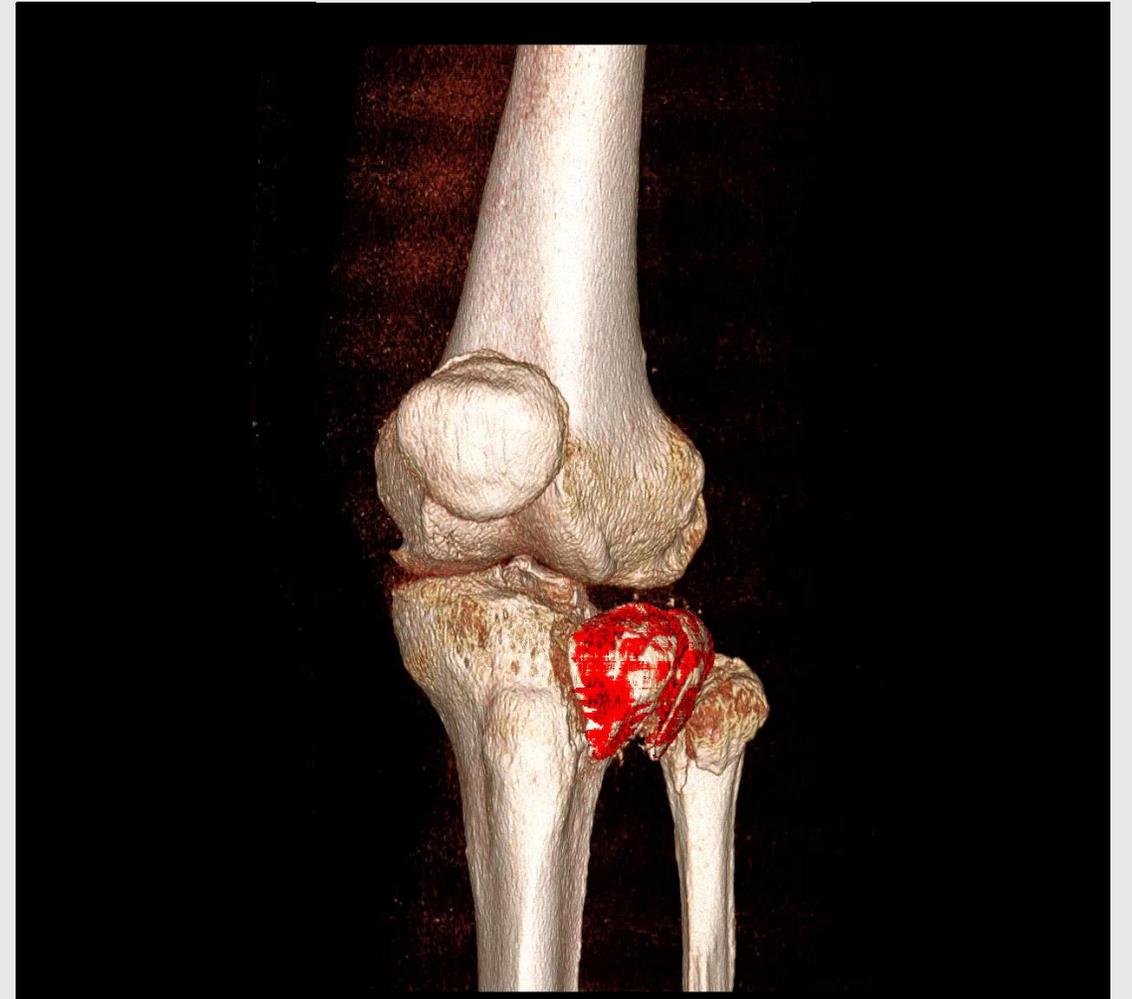
KI-Anlernen auf Basis  
von  $n = 200$   
frakturierten Tibiae

Basierend auf  
 $n = 1000$   
anatomischen Tibiae

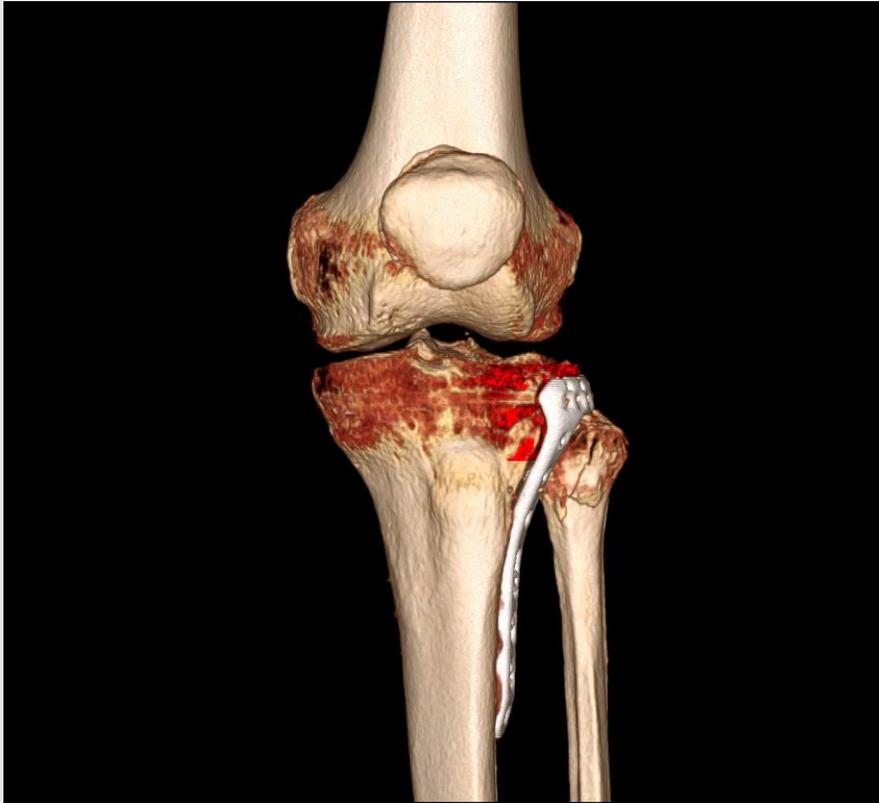
## Repositionsalgorithmus

Zusammensetzen  
sämtlicher  
Frakturlemente

Anatomische  
Rekonstruktion der  
Tibia



# KI-Algorithmen



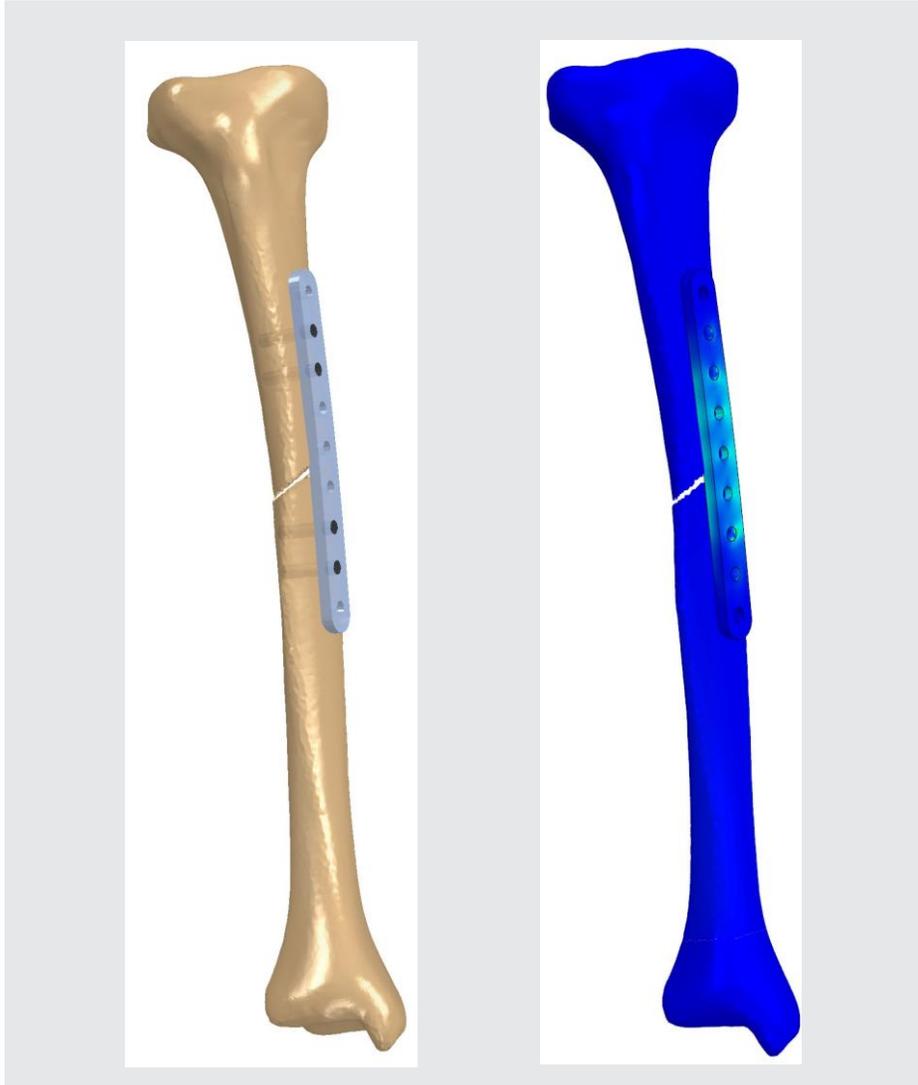
## Osteosynthesealgorithmus

Platzierungsempfehlung der osteosynthetischen Versorgung

Virtuelle biomechanische Belastungsanalyse der Osteosynthese

Finite-Elemente-Belastungsanalyse

# KI-Algorithmen



## Osteosynthesealgorithmus

Platzierungsempfehlung der osteosynthetischen Versorgung

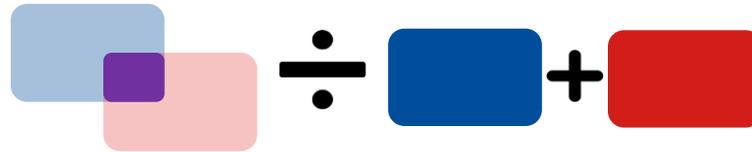
Virtuelle biomechanische Belastungsanalyse der Osteosynthese

Finite-Elemente-Belastungsanalyse

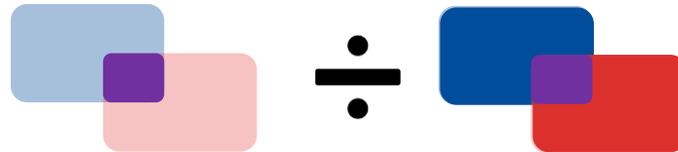
# Qualitätssicherung der Algorithmen

- Bewertung der Segmentierung anhand von

- Dice Similarity Coefficient



- Intersection over Union



- Bewertung der Reposition und Osteosynthese mithilfe von ärztlichen Ratern anhand von standardisierten Fragebögen

Pseudonymnummer: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Gütekheckliste zur Bewertung von KI-basierten Repositions- und Osteosynthese-Empfehlungen komplexer Frakturen (Entwurf; noch nicht validiert)**

Sehr geehrte Frau Kollegin, sehr geehrter Herr Kollege,

Im Rahmen der experimentellen Machbarkeitsstudie des Projekts REPAIR bitten wir Sie hier um die Bewertung von KI-basierten präoperativen Repositions- und Osteosynthese-Empfehlungen intraoperativer komplexer Frakturen anhand der vorgegebenen Kriterien und Bewertungsskala. Ziel ist die Bewertung der Repositions- und Osteosynthese-Empfehlung der proximalen Tibiafraktur. Ihre Mitarbeit ist freiwillig. Ihre Angaben werden pseudonymisiert!

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Nr.	Kriterium	Bewertungsbild	Reposition <sup>2</sup>					
			Ungenügend	Optimal				
1.1	Achsen-Rekonstruktion in beiden Ebenen <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5
1.2	Rekonstruktion der Länge <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5
1.3	Rekonstruktion der Rotationsebene <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5
1.4	Rekonstruktion der Gelenkkongruenz <sup>2</sup>		0	1	2	3	4	5
1.5	Stufenfreiheit der Gelenkfläche <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5
1.6	Durchgängigkeit der Gelenkfläche <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5

Nr.	Kriterium	Bewertungsbild	Osteosynthese					
			Ungenügend	Optimal				
1.7	Anatomische Reposition der Fragmente (nicht Gelenkfläche) <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5
2.1	Positionierungshöhe von Implantaten am Gelenk <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5
2.2	Positionierungshöhe von Implantaten am Schaft <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5
2.3	Position der Implantate (Plattenosteosynthese im Achsverlauf liegend, Schraubenlage) <sup>3</sup> in 2 Ebenen		0	1	2	3	4	5
2.4	Wahl der Art und Anzahl der Implantate (Platten, Schrauben, Drähte...) <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5
2.5	Wahl der Größe der Implantate (Plattenlänge, Schraubenlänge, etc.) <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5
2.6	Ausreichende Stabilität (Stütz- und Retentionsfunktion) der Osteosynthese <sup>3</sup>		0	1	2	3	4	5

**Sonstiges:**

Nr.	Kriterium	Bewertungsbild	Ungenügend	Optimal				
3.1	Machbarkeit im Vergleich zu realen Prinzipien der Frakturversorgung		0	1	2	3	4	5

# KI-Algorithmen

## Segmentierungsalgorithmus

Vollautomatische Segmentierung sämtlicher Frakturlemente

Vollautomatische Klassifikation

Ausgabe passender Leitlinienempfehlung

## Repositionsalgorithmus

Zusammensetzen sämtlicher Frakturlemente

Anatomische Wiederherstellung der Tibia

## Osteosynthesealgorithmus

Platzierungsempfehlung der osteosynthetischen Versorgung

Virtuelle biomechanische Belastungsanalyse der Osteosynthese

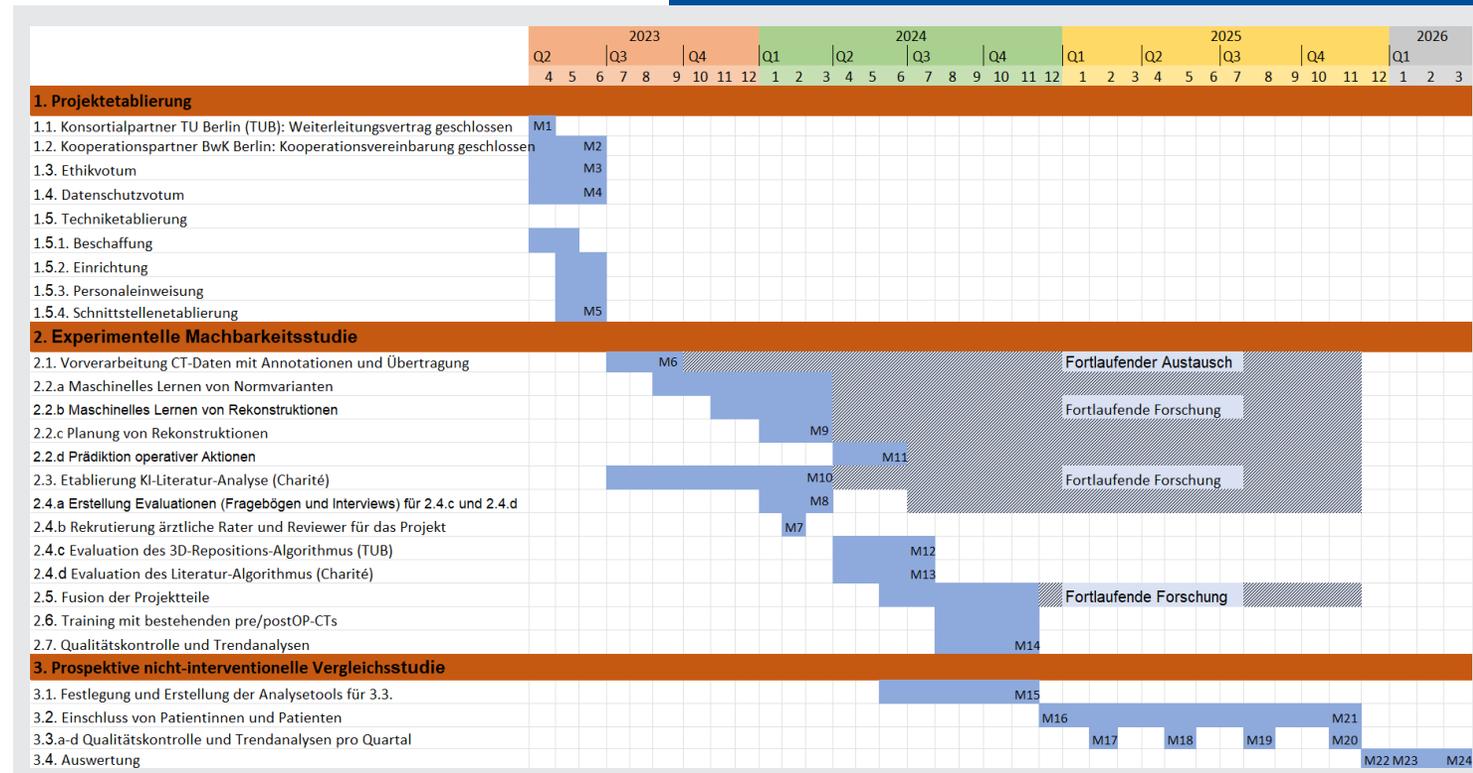
Algorithmenfusion

REPAIR-Algorithmus

- Basierend auf Machine Learning
- Semi-automatisches Anlernen

# Ausblick

- Zielsetzung Verbesserung der präoperativen Planung
- Kürzere Operationszeiten
- Verbessertes klinisches Outcome
- Kostenreduktion für Versicherungsträger
- Ubiquitär anwendbare Software mit unkomplizierter Verfügbarkeit



Herzlichen Dank!

