



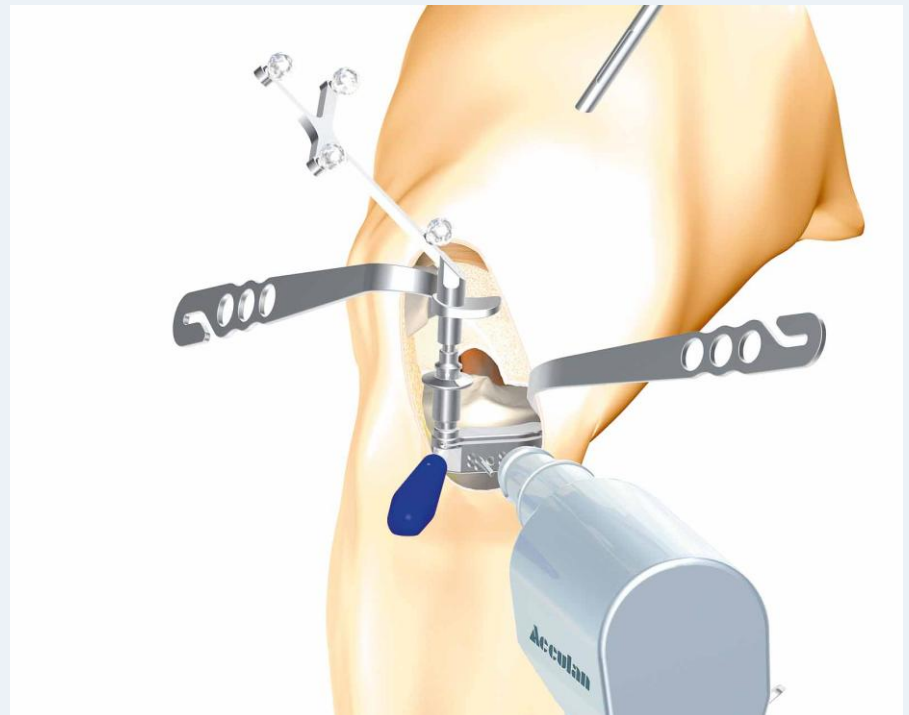
Technologie für Computer-unterstützte Orthopädische Chirurgie (CAOS)

Dr.-Ing. Dirk Friedrich
Forschung & Entwicklung
Aesculap AG, Tuttlingen



Gliederung

- Bildfreie Navigation in der Gelenkchirurgie
- Technologie
- Ausblick





Kníe-Endoprothetik



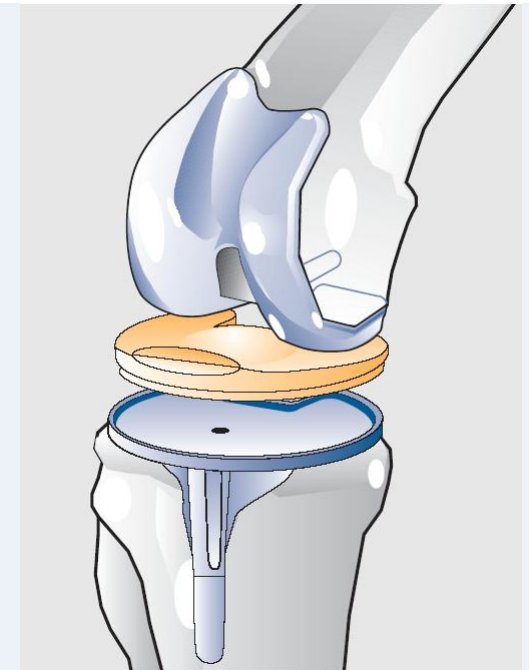


Biomechanik der Knie-Endoprothetik – Beinachse



The probability of loosening rises up to 24%, when varus or valgus deformities are **larger than 3°**

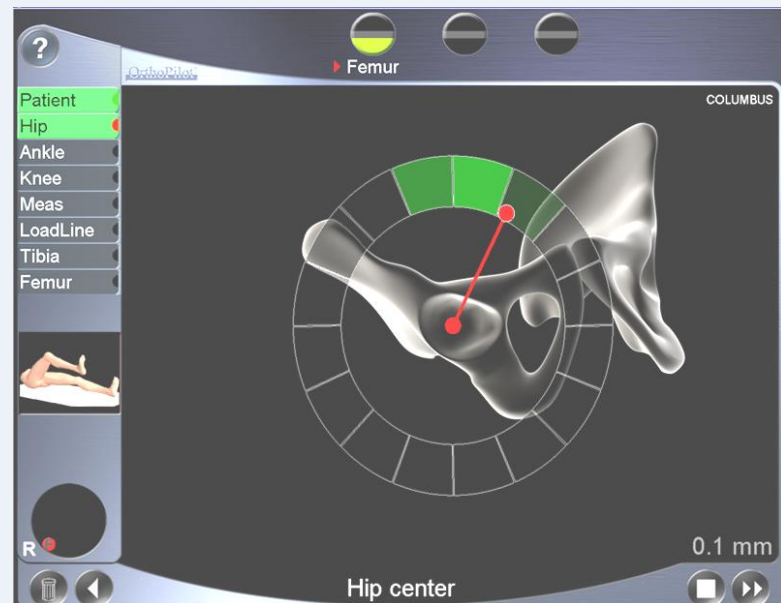
Jeffery et al. JBJS 73B, 1991





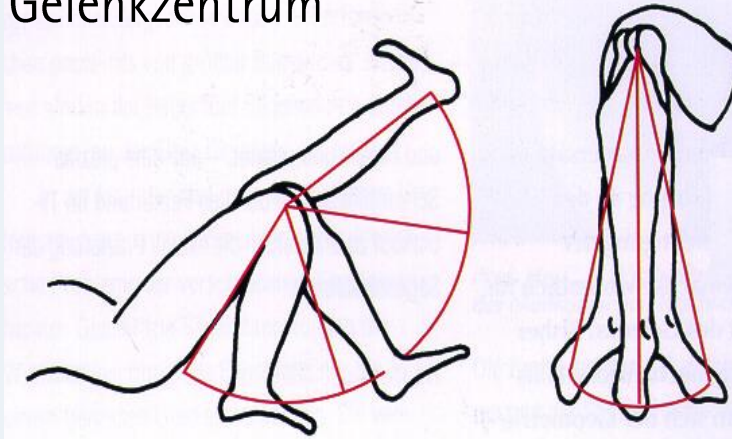
Navigation ohne Bildgebung

Intra-operative Ermittlung von Anatomie und Biomechanik
des individuellen Patienten ohne CT- oder Röntgenbilder
⇒ Kinematik, Anfahren von "Landmarken"

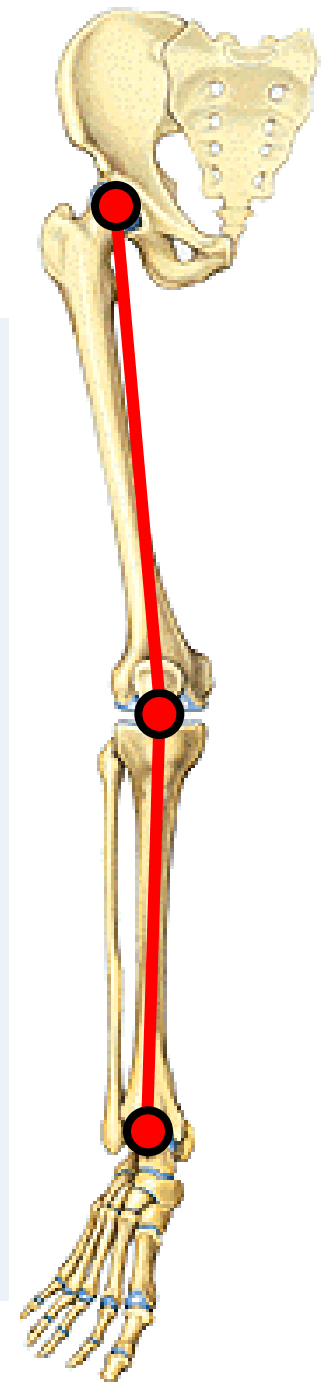


Virtuelles Objekt – Erfassung der Beinachse

1. Aufnahme der Gelenkkinematik
(Hüfte, Knie, Sprunggelenk) $\Rightarrow$ Kinematisches
Gelenkzentrum

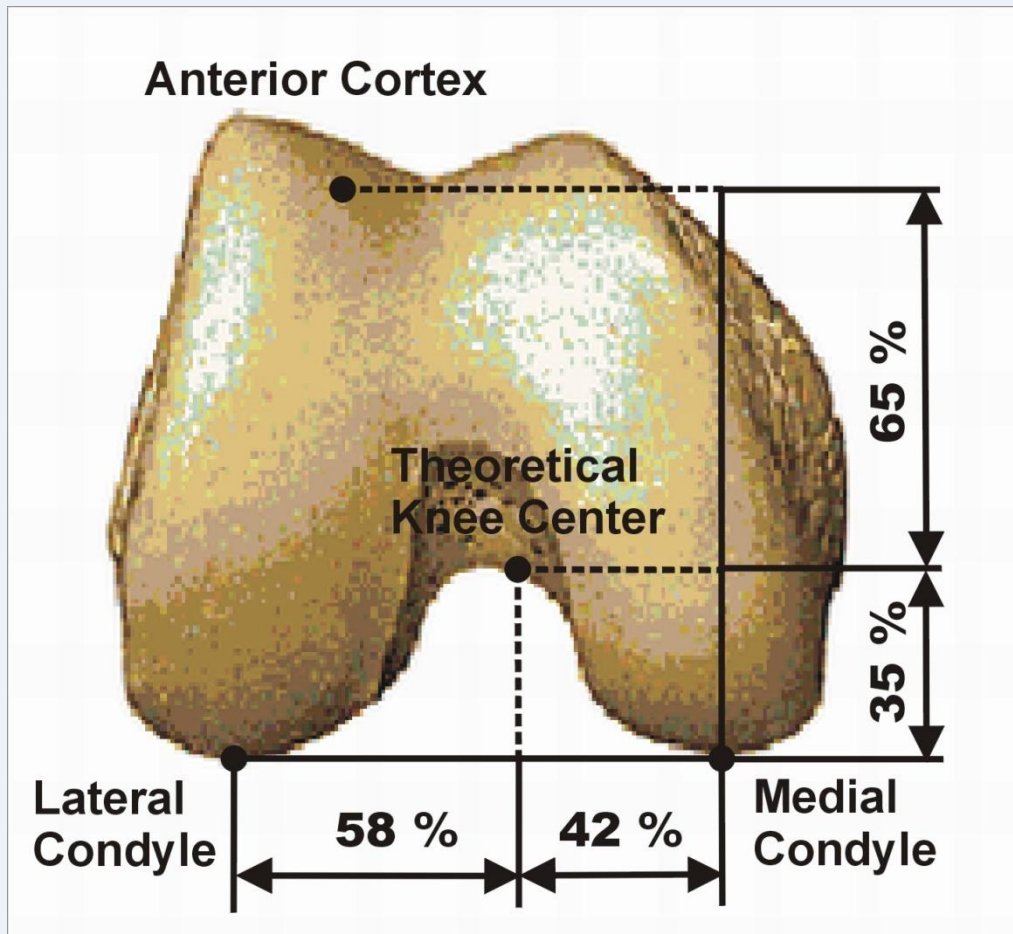


2. Palpation von anatomischen Landmarken
(Knie, Sprunggelenk) $\Rightarrow$ Theoretisches Zentrum
3. Berechnung der optimierten Gelenkzentren





Theoretisches Kniezentrum





Navigation ohne Bildgebung: Knie-Endoprothetik (Video)





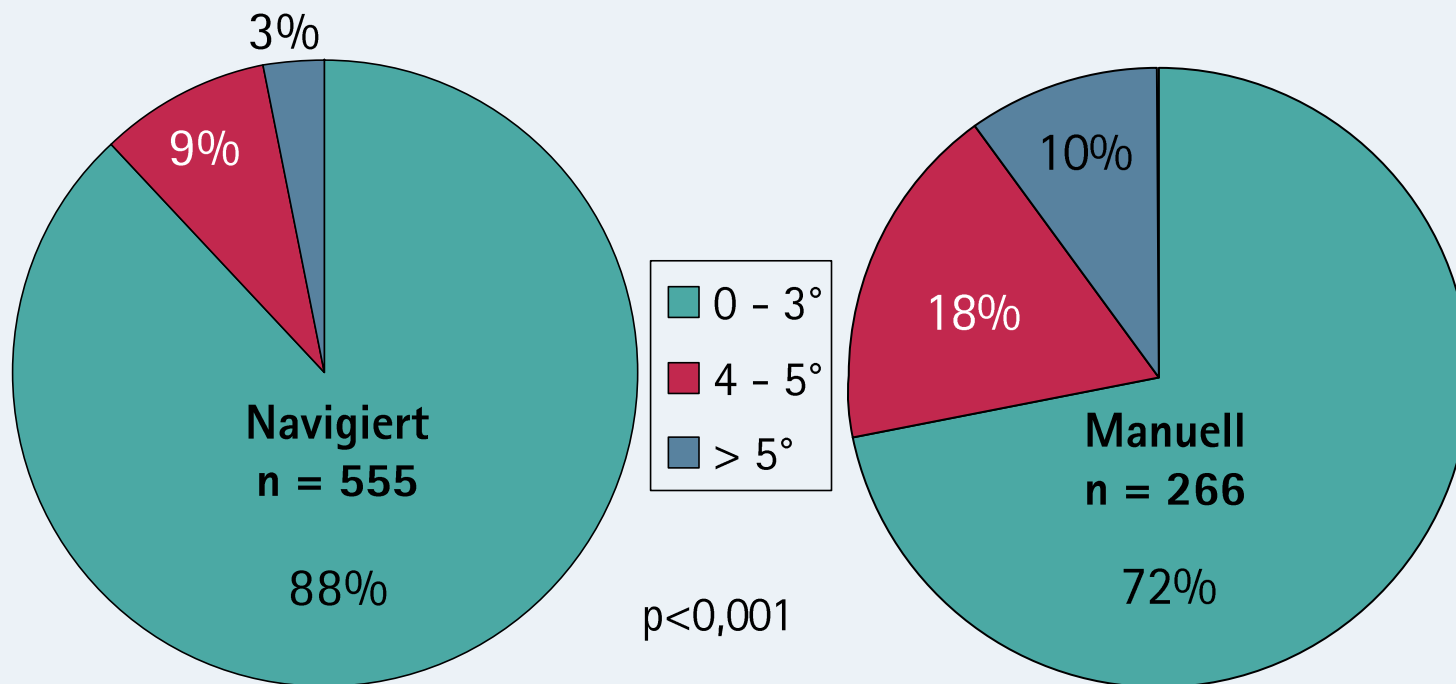
Historie und Entwicklungsschritte

1994	Erste Experimente mit kinematischer Navigation an der Universität Grenoble (Frankreich)
1996–1999	Entwicklung und Multi-Center Studie innerhalb des EU-Projektes IGOS (Image G uided O rthopaedic S urgery)
1997	Erster Patient (21.01.1997)
1999	Markteinführung mit Modul für Totalknie-Endoprothetik
2001	FDA Zulassung erstes CT-freies System
2006	Zulassung in Japan erstes CT-freies System
2011	Markteinführung Modul Navigierter Ultraschall
Heute	Über 180 000 OrthoPilot®-Operationen



Ergebnisse einer prospektiven Multicenter-Studie

Mechanische Beinachse a.p. nach Knie-TEP Implantation



Stellenwert der Navigation – Relevanz und Marktdurchdringung

“Approximately 581,000 knee replacements are performed each year in the United States.”

[American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2009]

Umfrage in Deutschland:

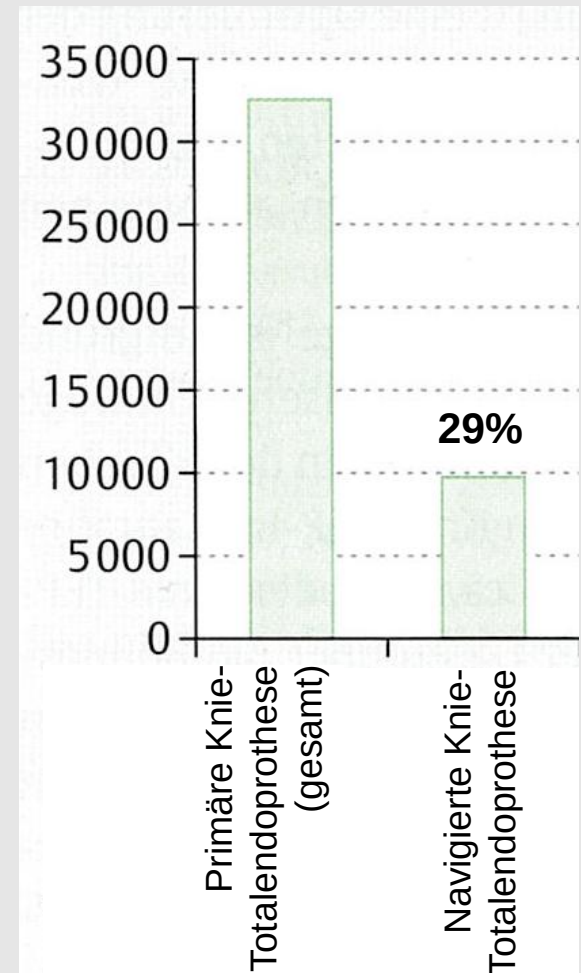
194 Klinikabteilungen

32 789 primäre Knie-Totalendoprothesen

⇒ 29% navigiert

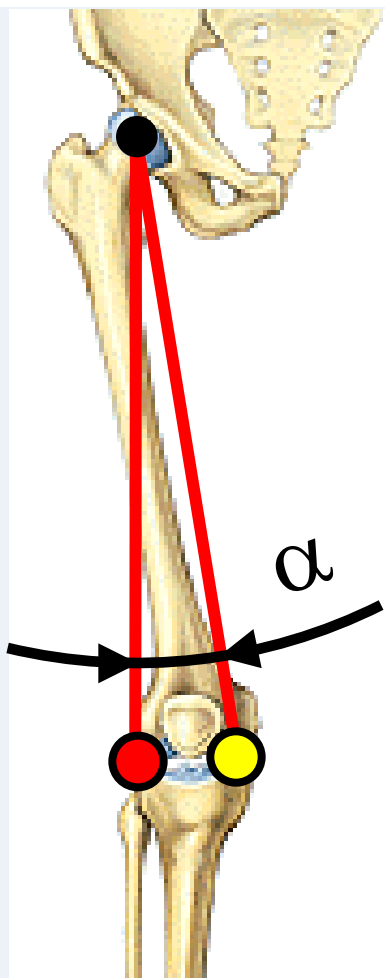
[Rath et al., Z Orthop Unfall 2011]

≈ 260 OrthoPiloten in Deutschland heute

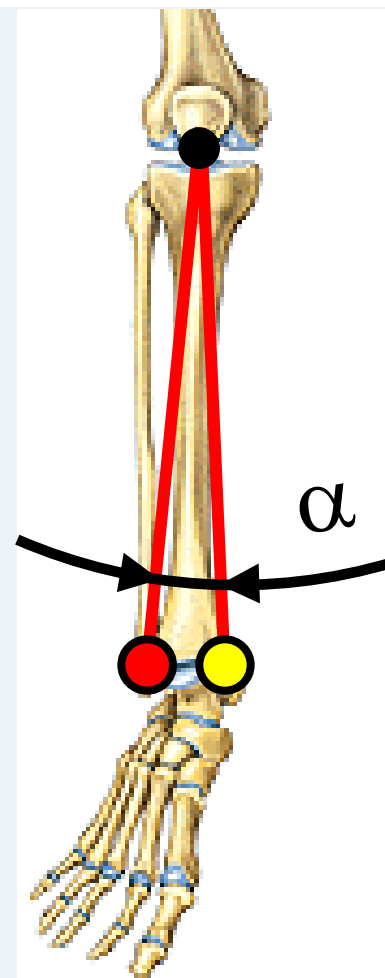




Genauigkeit Gelenkzentrum $\Rightarrow$ Mechanische Achse

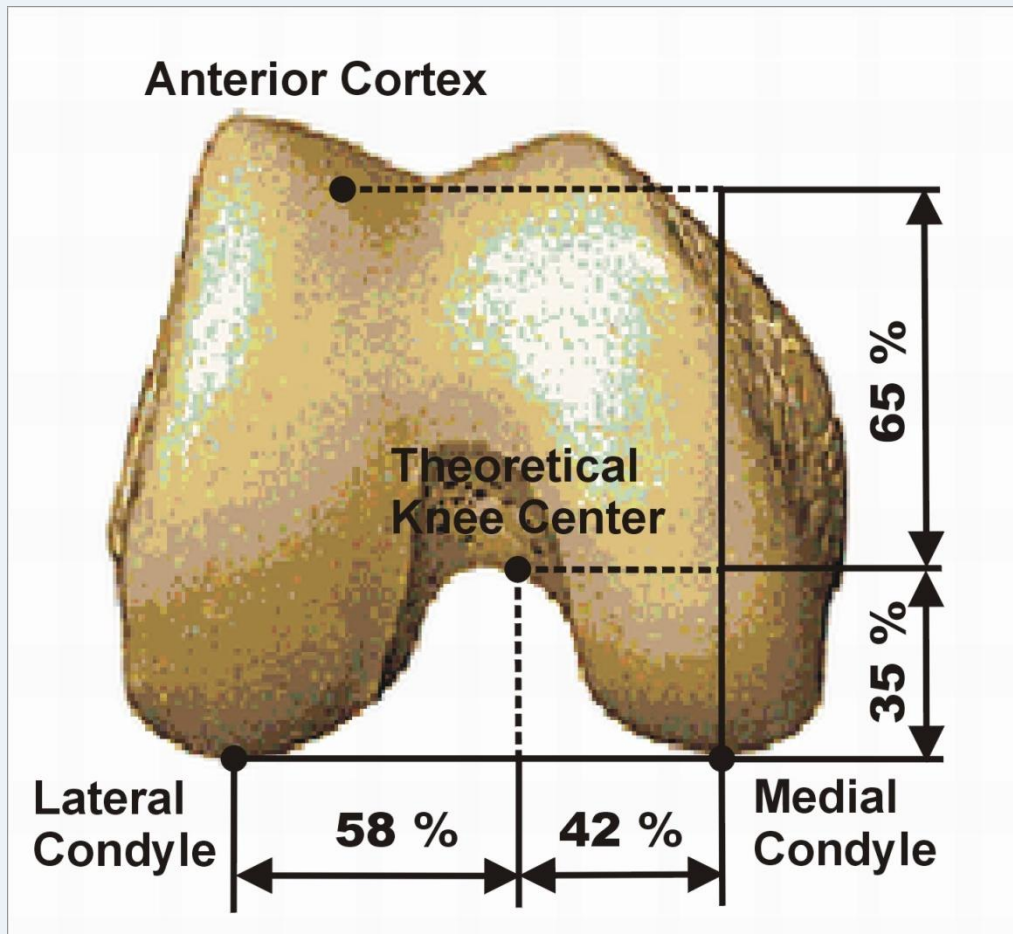


1 cm
entspricht
 $\approx 1,1^\circ - 1,6^\circ$



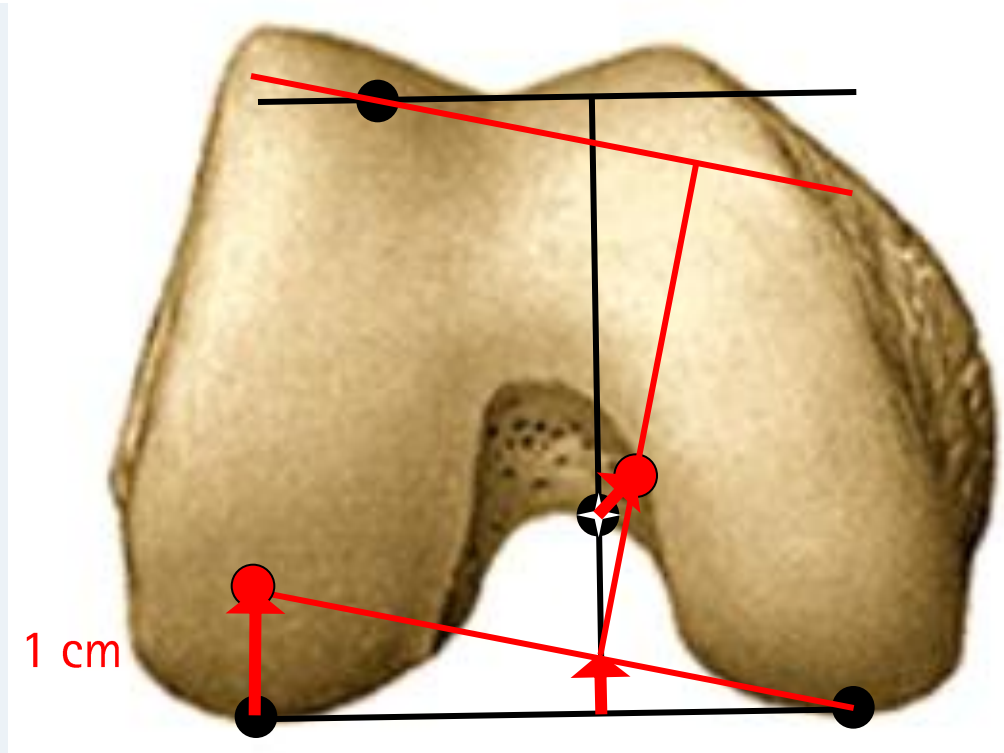


Theoretisches Kniezentrum





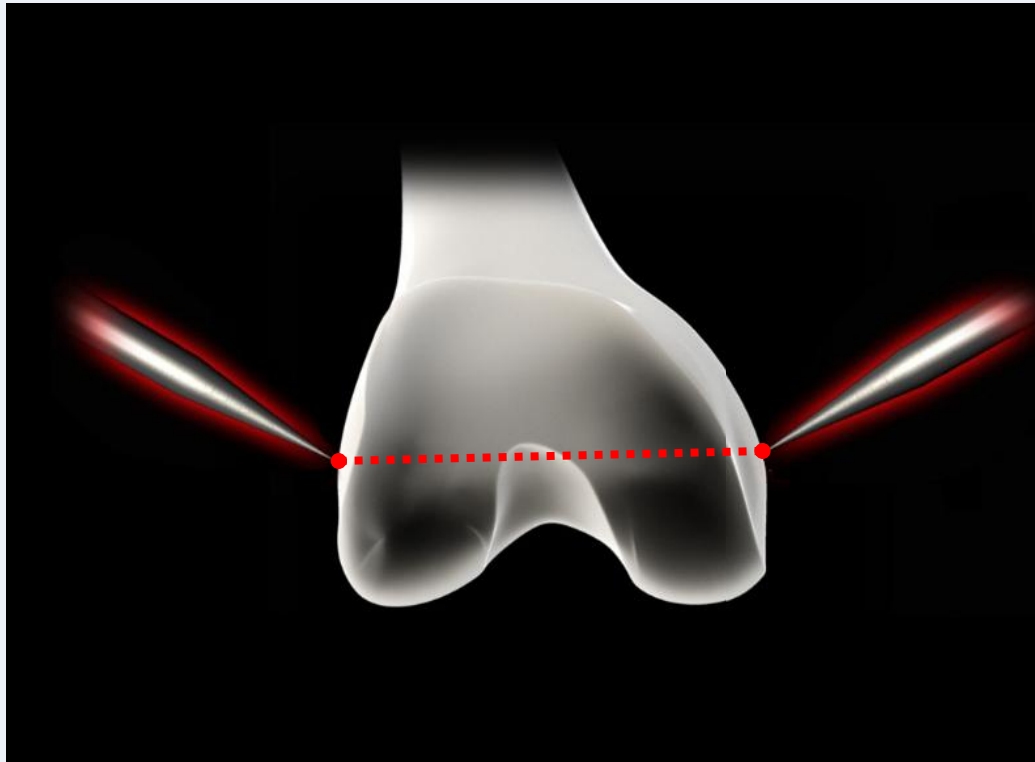
"Garbage in – Garbage out" Nicht unbedingt!



⇒ Achsabweichung $\approx 0,5^\circ$
zusätzlich kinematische Optimierung



Abweichung Epicondylen $\Rightarrow$ Transepicondyläre Achse



1 cm
entspricht
 $\approx 5^\circ - 8^\circ$



Therapiekaskade Knie

Kreuzband-Rekonstruktion

Knorpelregeneration

Achskorrektur

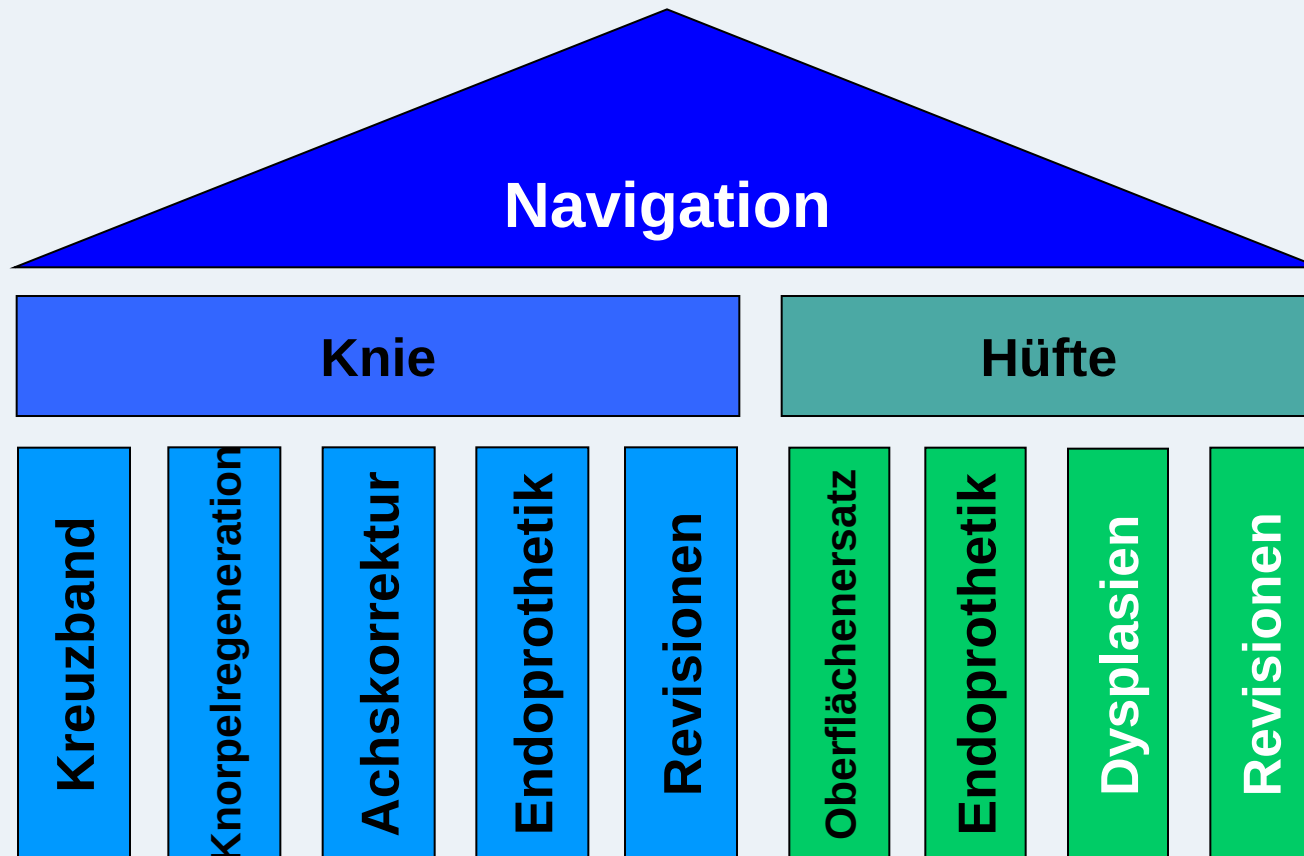
Teil-Endoprothetik

Total-Endoprothetik

Revisions-Endoprothetik



Anwendungen Gelenkchirurgie



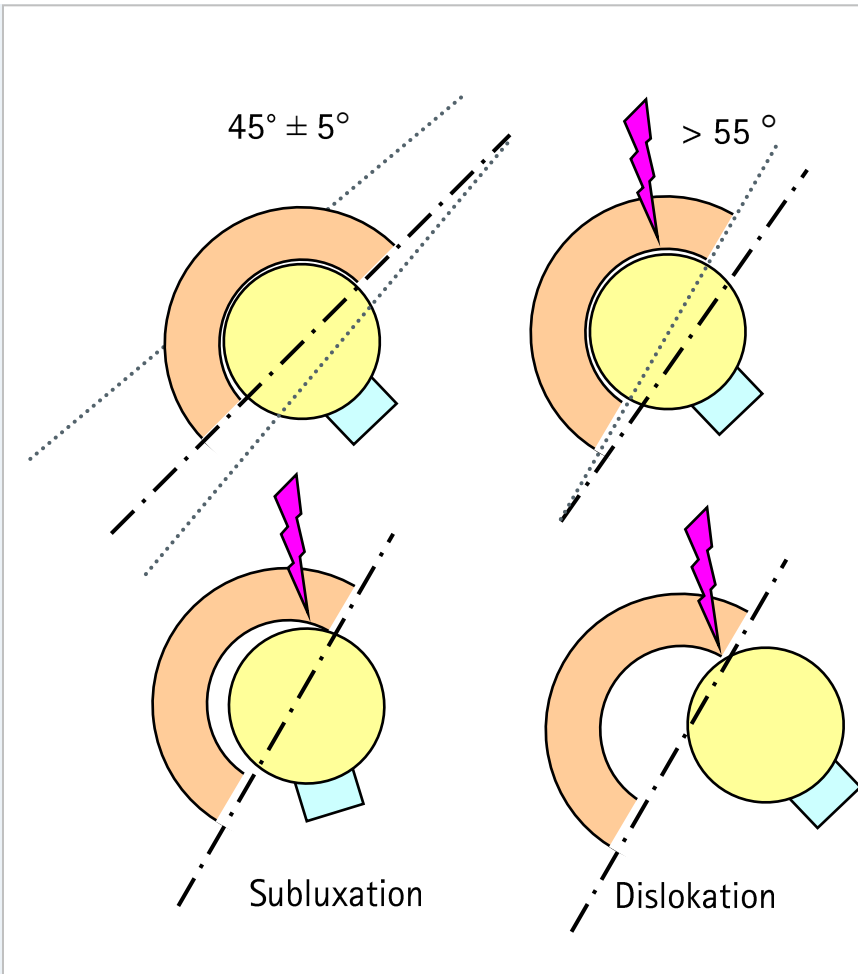


Hüft-Endoprothetik



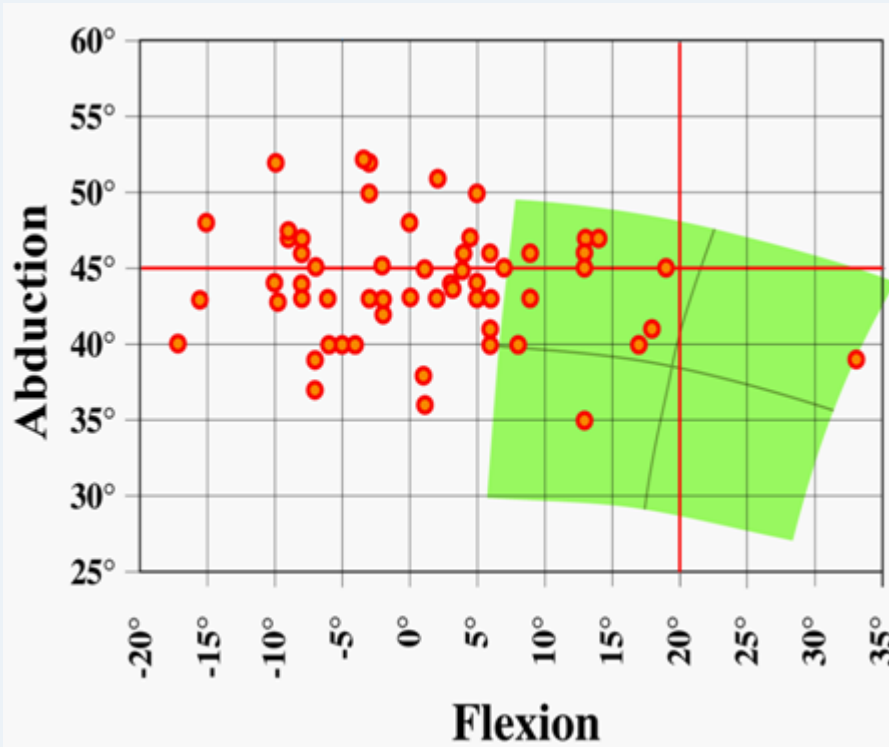


Inklination der Hüftpfanne und Risiken





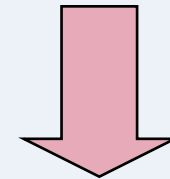
Die „Safe Zone“ bei der Pfannenpositionierung



DiGioia et al AAOS 2000

Inklination $45^\circ \pm 10^\circ$
Anteversion $15^\circ \pm 10^\circ$

Lewinnek JBS 60A, 1978



Δ Safe Zone
Hüfte: $\pm 10^\circ$



Beckenreferenz bei Navigation ohne Bildführung





Ziele der Computer-Unterstützung

- Verbesserte Genauigkeit und Reproduzierbarkeit
- Verbesserte Funktionalität
- Verringerte Invasivität
- Höhere Patientenzufriedenheit
- Weniger post-operative Komplikationen
- Niedrigere Revisionsraten
- Qualitätsdokumentation
- Daten-Workflow





Klinischer Nutzen der Navigation in der Gelenkchirurgie

Knie-Endoprothetik

- Präzision der mechanischen Beinachse (Jenny et al., J Arthroplasty, 20(7), Oct 2005)
- Rekonstruktion der Gelenklinie (Clemens et al., Proceedings CAOS-International, Helsinki, Jun 2005, 63-64)
- Weichteil-Balancing (Clemens et al., Orthopedics, Vol 28, No 10, Oct 2005, Suppl.)

⇒ Verbesserte Funktionalität, weniger Revisionen(?)

Hüft-Endoprothetik

- Inklination und Anteversion der Pfanne (Mainard, Orthopedics, Vol 31, No 10, Oct 2008, Suppl.)
- Vergrößerter Range of motion
- Kontrolle von Beinlänge und Offset (Confalonieri et al., Orthopedics, Vol 31, No 10, Oct 2008, Suppl.)
- Weniger invasive Chirurgie (Duwelius, Dorr, Instr Course Lect, 57, 2008)

Umstellungsosteotomien

- Präzise Korrektur der mechanischen Beinachse (Song et al., Sports Med Arthrosc Rev, Vol 16, No 2, Jun 2008)

Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes

- Präzisere Platzierung der Tunnel (Kodali et al., Sports Med Arthrosc Rev, Vol 16, No 2, Jun 2008)
- Prä- und post-operative Stabilitätstests (Ishibashi et al., Sports Med Arthrosc Rev, Vol 16, No 2, Jun 2008)



Nachteile

- Zusätzliche OP-Zeit (10–15 min)
(Walde et al., Orthopedics, Vol 28, No 10, Oct 2005, Suppl.; Jenny et al., J Arthroplasty, 20(7), Oct 2005)
Ausnahme: Knie-Revision $\Rightarrow$ Zeitersparnis durch zusätzliche Informationen
- Knochen-Referenzierung
- Lernkurve (Baines et al., Proceedings CAOS-International, Hong Kong, Jun 2008, 19-21)
- Finanzielle Investition (Novak et al., JBJS Am, 89(11) Nov 2007)





Gliederung

- Bildfreie Navigation in der Gelenkchirurgie
- Technologie
- Ausblick





Tracking-Technologien

Infrarot-Licht

- Northern Digital (NDI)
- Stryker FlashPoint®

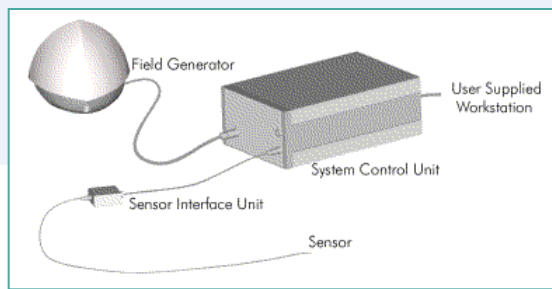
Sichtbares Licht

- ClaronTechnology

Elektromagnetisch

- Northern Digital (NDI)
- GE Visualisation Technology (VTI)
- Ascension
- Medtronic

Ultraschall





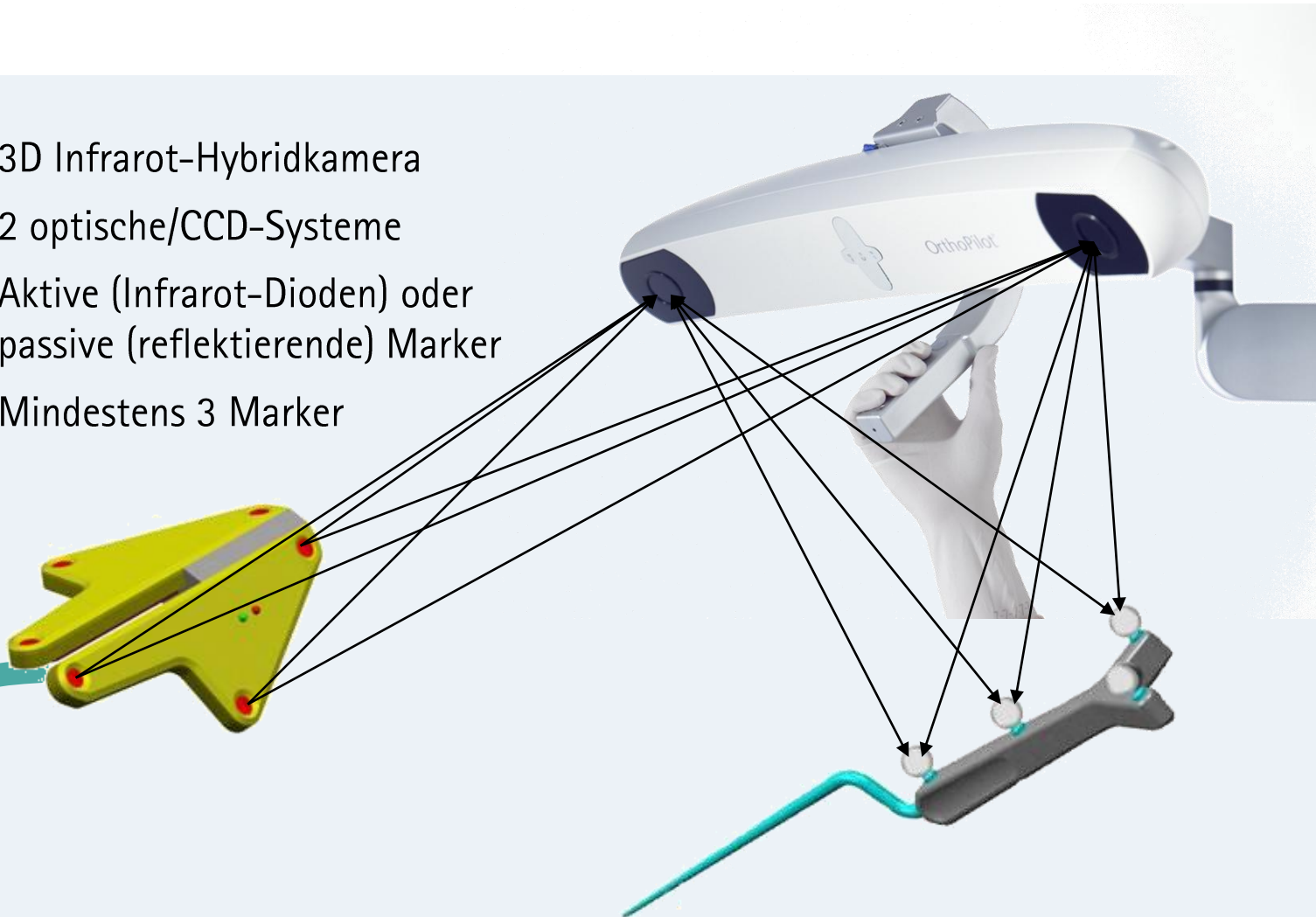
Tracking-Technologien

	Mechanisch	Elektro- magnetisch	Ultraschall	Opto-elektronisch
Genauigkeit	< 0.1 mm	1 - 10 mm	1 - 5 mm	< 0.35 mm
Meßrate	typisch 100Hz	45 Hz - 144 Hz	bis 200 Hz	60 Hz (Matrix) 4,6 kHz (Linear)
Instrumente	nur 1 Instrument, Knochenfixierung!	kabelgebunden	kabelgebunden	kabelgebunden & kabellos
Störanfälligkeit	gering	Geräte, Metalle	Temperatur, Umgebung	Sichtbarkeitslinie, Verschmutzung (passiv)
Arbeitsbereich	klein D: 0.5 m	klein D: 0.4-0.7 m	mittel D: 0.5-3 m	groß D: 0.5-5 m
Investment	mittel - hoch	mittel - hoch	gering	mittel - hoch



Infrarot-Trackingsystem

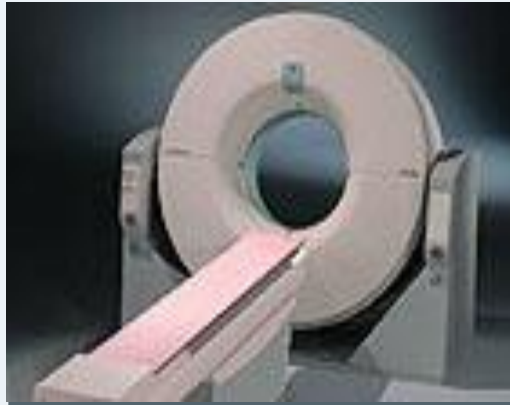
- 3D Infrarot-Hybridkamera
- 2 optische/CCD-Systeme
- Aktive (Infrarot-Dioden) oder passive (reflektierende) Marker
- Mindestens 3 Marker





Virtuelles Objekt

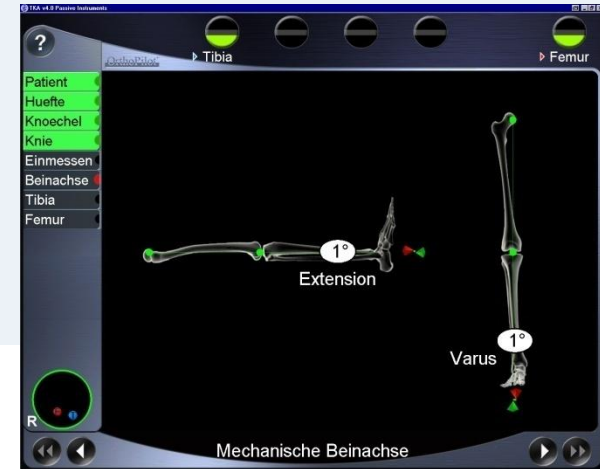
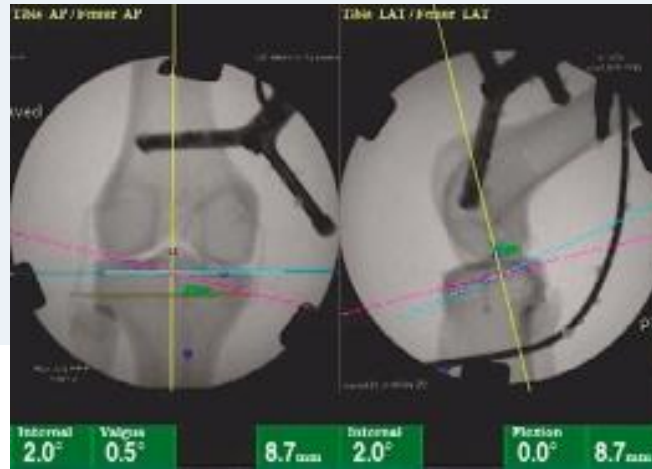
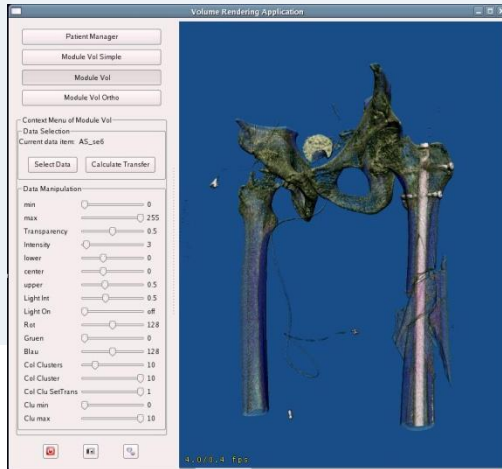
Prä-operative Bilddaten
(CT, MRT)



Intra-operative Bilddaten
z.B. (3D-)Fluoroskopie,
Endoskopie, Mikroskopie



Intra-operativ
ohne Bilddaten





Prä-operative Bilddaten $\Rightarrow$ Registrierung (Matching)

Prä-operative Bilddaten (virtuelles Objekt)

$\Leftrightarrow$ intra-operative Situation (therapeutisches Objekt)

Methoden (Fehlermöglichkeiten!):

Pin-Matching,

Pair-point-Matching,

Oberflächen-Matching oder

Matching mittels navigierter intra-operativer Bildgebung (C-Bogen, Ultraschall)





Prä-operative Bilddaten $\Rightarrow$ Registrierung (Matching)

Prä-operative Bilddaten (virtuelles Objekt)

$\Leftrightarrow$ intra-operative Situation (therapeutisches Objekt)

Methoden (Fehlermöglichkeiten!):

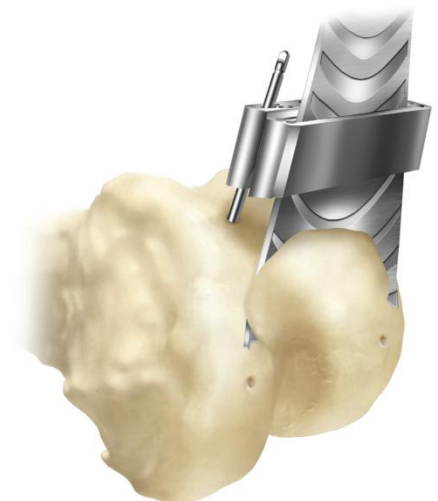
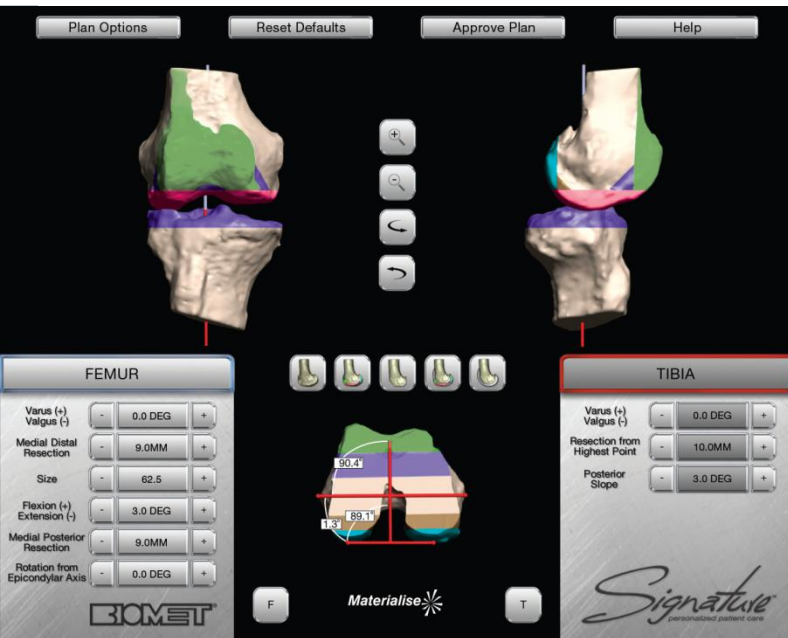
Mechanisches Oberflächen-Matching



www.medacta.com/europe/products/orthopaedics-joint-replacement/knee/myknee



Mechanisches Oberflächen-Matching





Gliederung

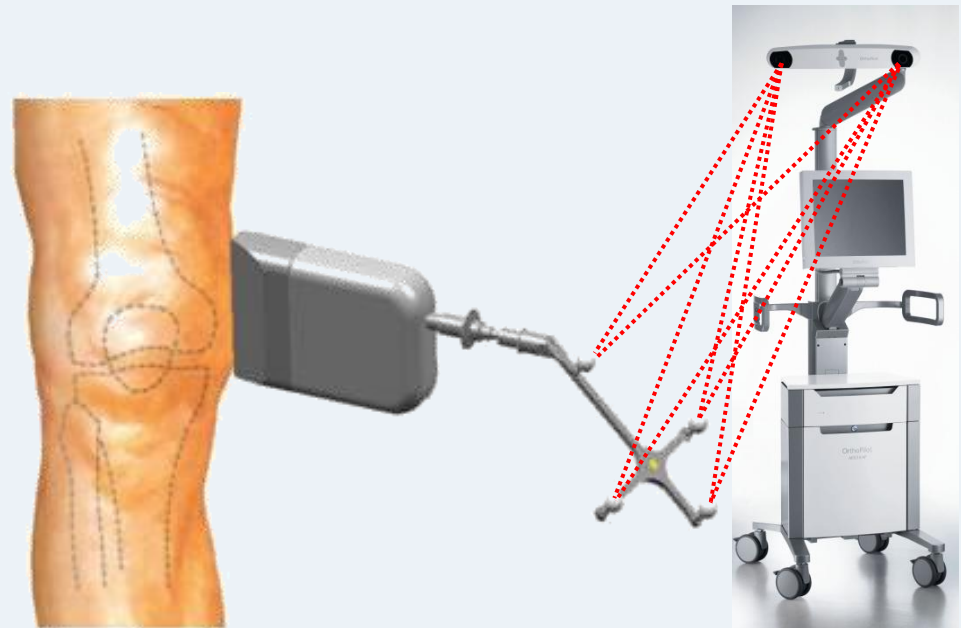
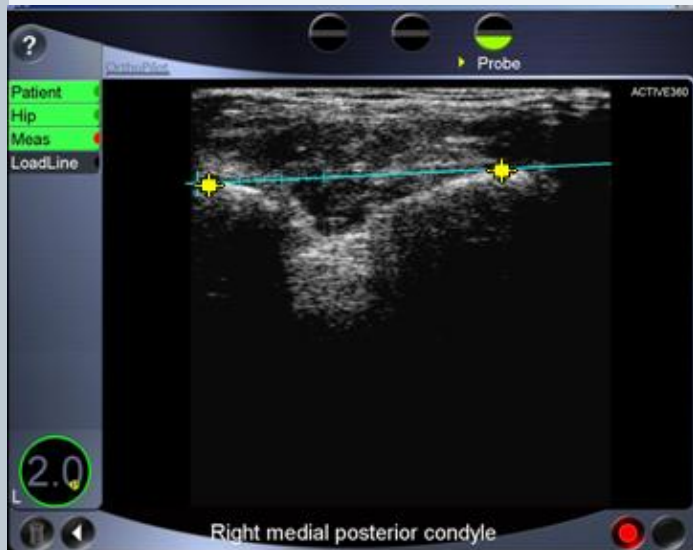
- Bildfreie Navigation in der Gelenkchirurgie
- Technologie
- Ausblick





Neue Technologie: Navigierter Ultraschall

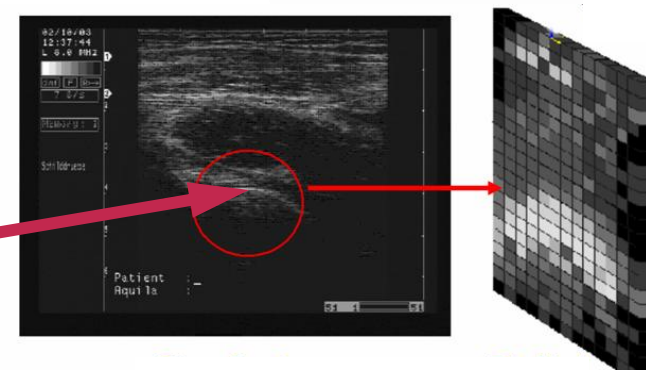
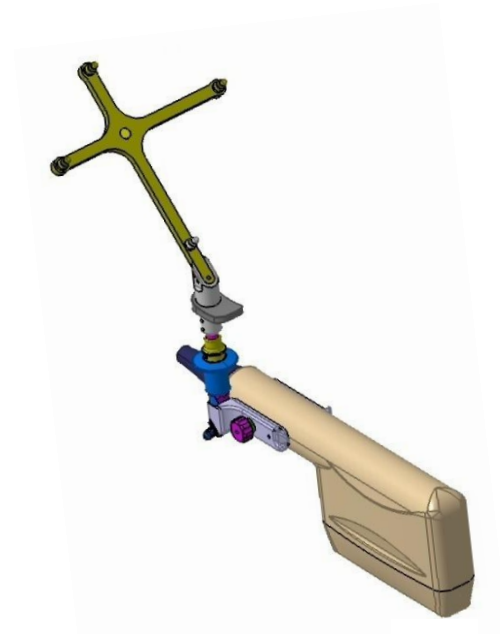
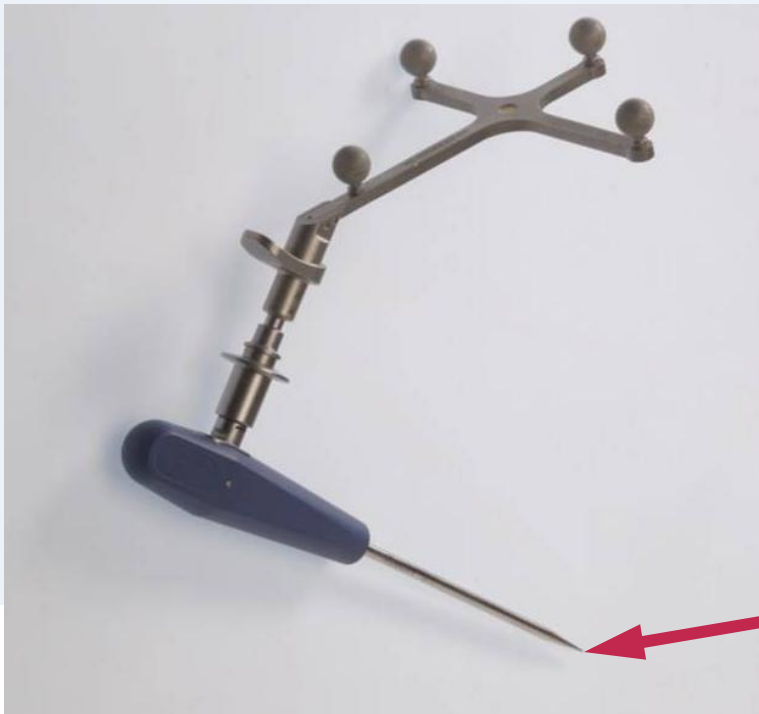
“Virtueller” Pointer ermöglicht intra-operative
nicht-invasive Bestimmung der Patienten-anatomie





Navigierter Ultraschall als „Virtueller Pointer“

- 😊 Keine Kalibrierung durch den Anwender notwendig, hohe Genauigkeit
- 😊 Kostengünstige Hardware, schneller Workflow
- 😊 Keine Strahlenbelastung für Patient und Operateur





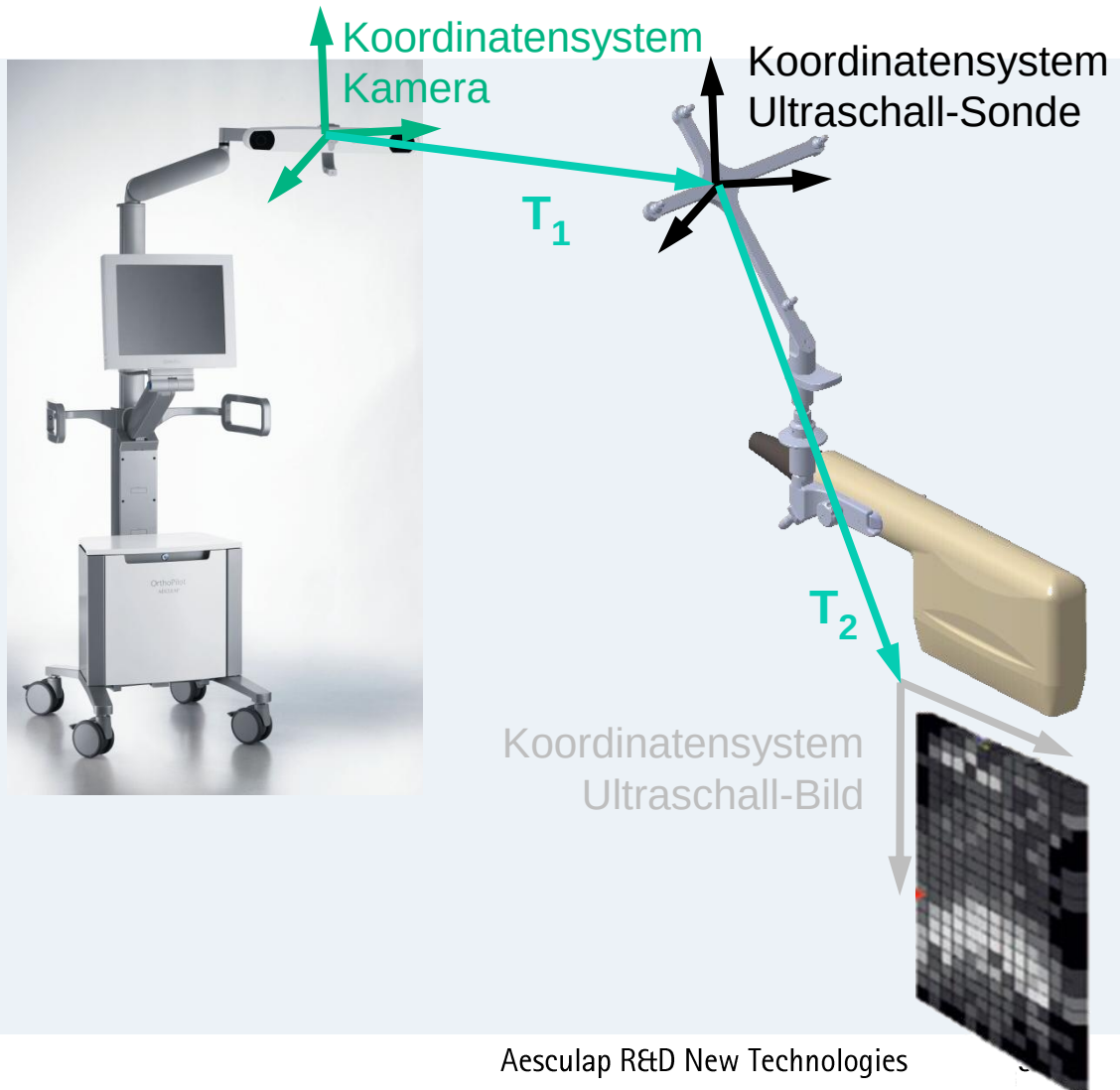
Kalibrierung der navigierten Ultraschallsonde

$$K_{\text{Kamera}} = K_{\text{Sonde}} \times T_1$$

$$K_{\text{Sonde}} = K_{\text{Bild}} \times T_2$$

T_1 ... Transformationsmatrix
Trackingsystem

T_2 ... Transformationsmatrix
Ultraschall-Sonde
⇒ Werksseitige Kalibrierung





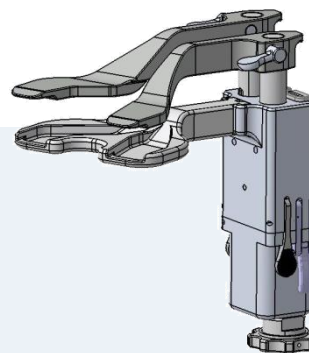
"Navigation meets Biomechanics"

Beginn: Navigation von geometrischen Relationen

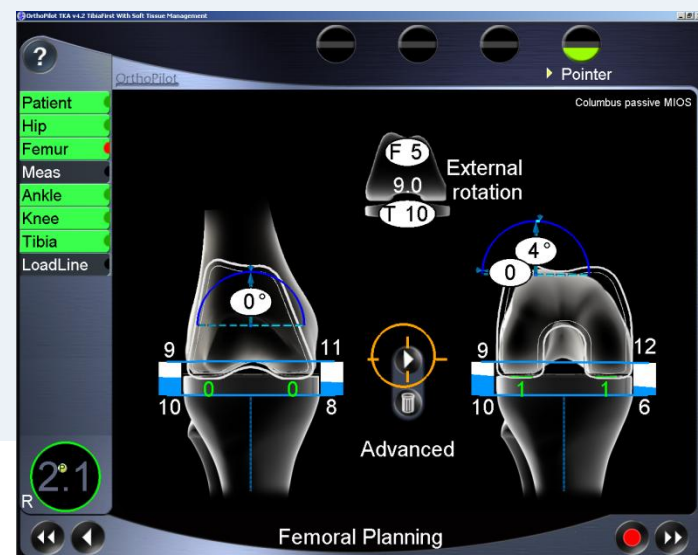
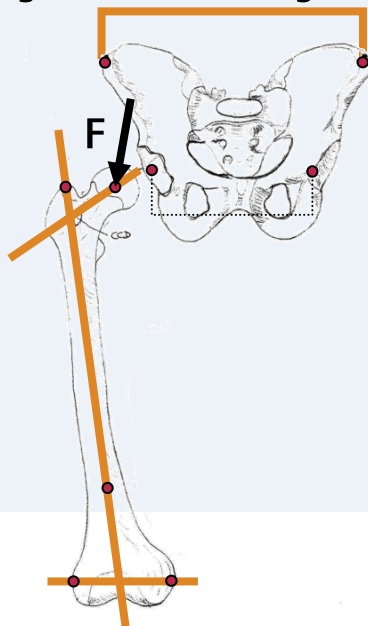
Entwicklung: Dynamische Messungen,

Integration von biomechanischen Simulationen

- ➔ Kraft-Momenten-Messungen
- ➔ Muskulo-skelettale Modelle
- ➔ Beurteilung und Optimierung von Belastungssituation und Gelenkfunktion

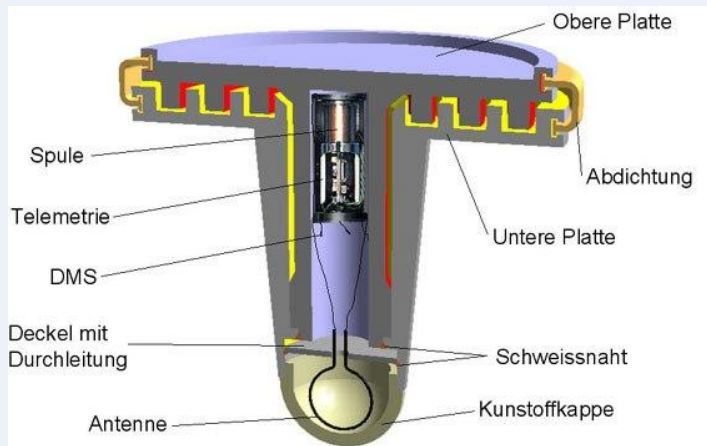
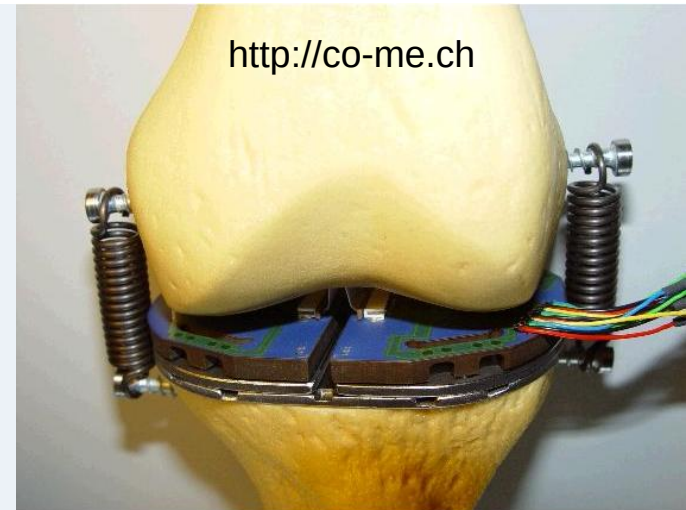
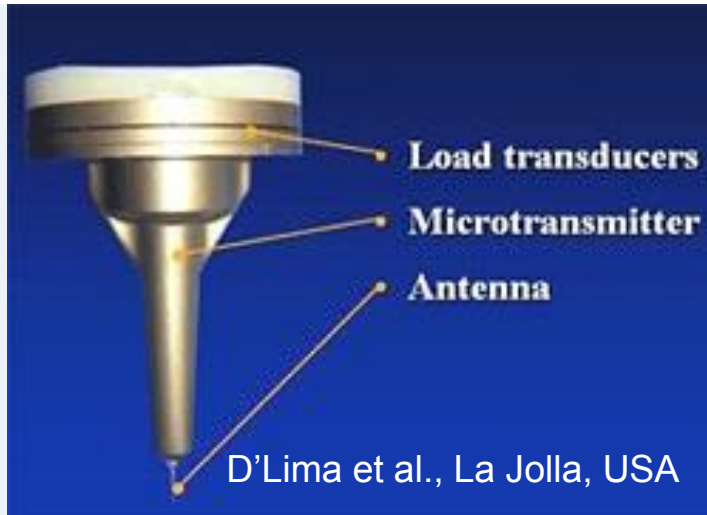


Kleemann et al., J Orthop Res., 2003.





Integration von Kraft-Momenten-Sensoren





Mensch-Maschine-Schnittstelle (Ergonomie)

Eingabe: z.B. Sprachsteuerung

Ausgabe: z.B. Projektion (Image-Overlay, Head-mounted Display)

⇒ Akzeptanz??



www.medarpa.de

www.zgdv.de

Mensch-Maschine-Schnittstelle

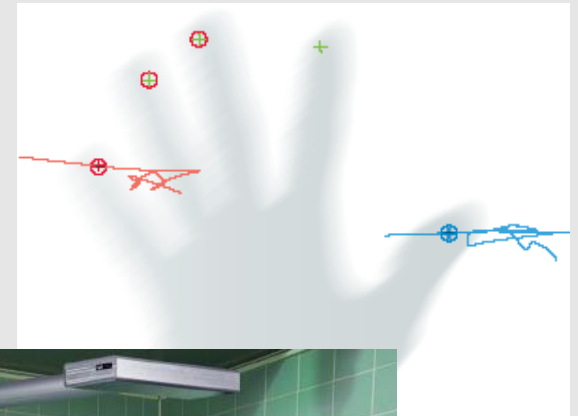
⇒ Technologie-Transfer (z. B. Apple iPhone: 17 Millionen Stück I-VI/2010)

- Augmented Reality



Mensch-Maschine-Schnittstelle

Augmented Reality





Haptische Aktoren (Semi-aktive Robotik)

- Chirurg führt Instrumente,
- Roboter erlaubt nur "Safe Zone"
- Anwendungen in der Knie-Endoprothetik





Robotik – (Über-?) Nächste Generation



www.mazorrobotics.com



Icaos,
Western Pennsylvania Hospital,
Pittsburgh, PA
www.ri.cmu.edu



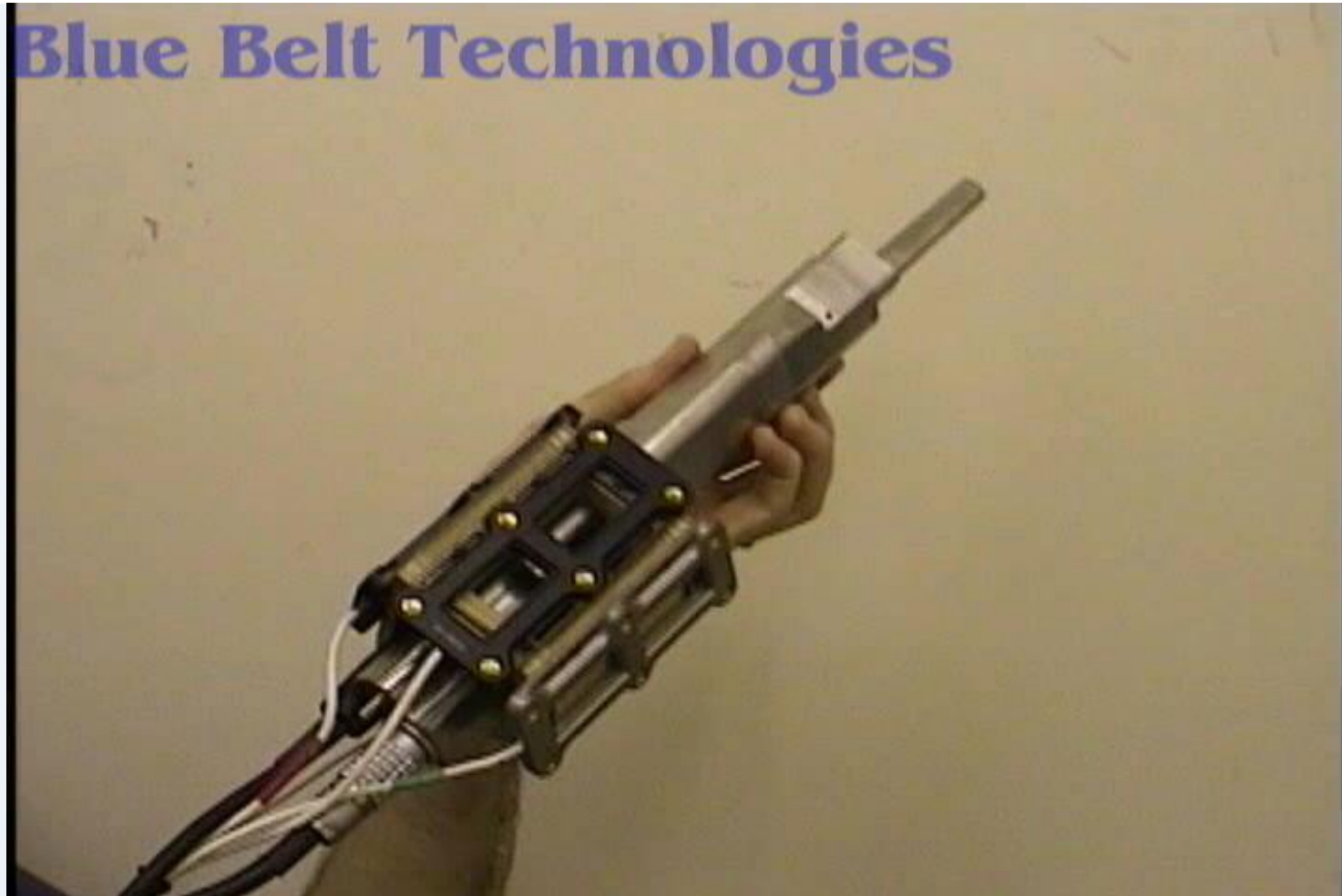
Freihandgeführte computer-unterstützte Mechatronik

Freihandgeführte Bearbeitung mit automatischer Regelung durch das Navigationssystem





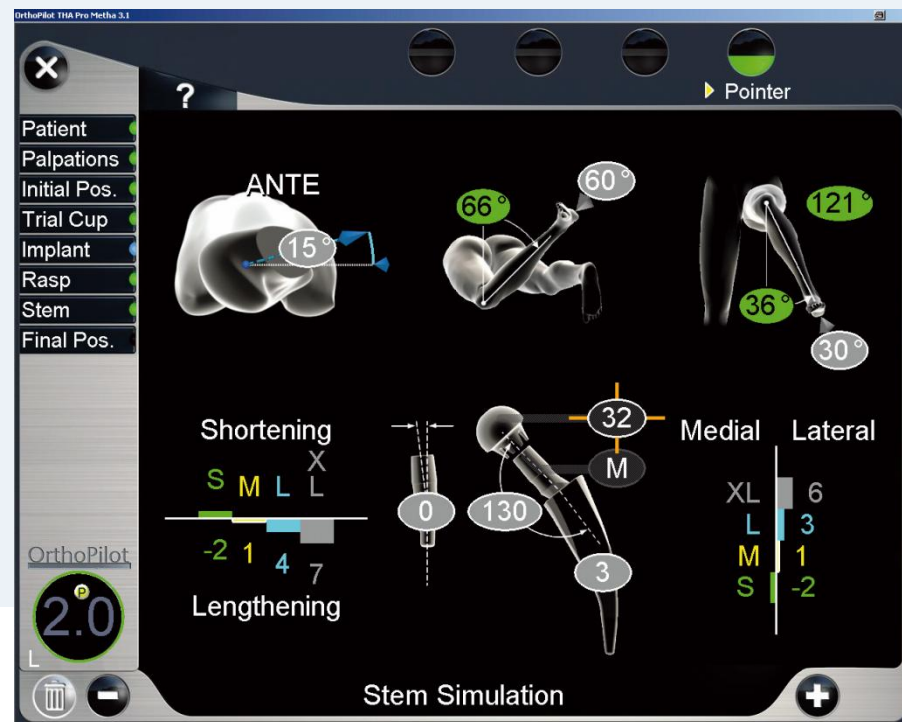
Freihandgeführte computer-unterstützte Mechatronik





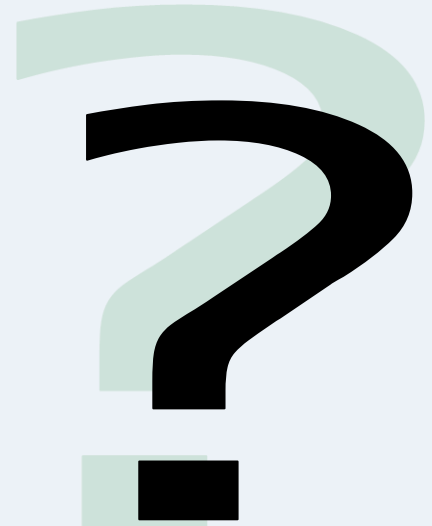
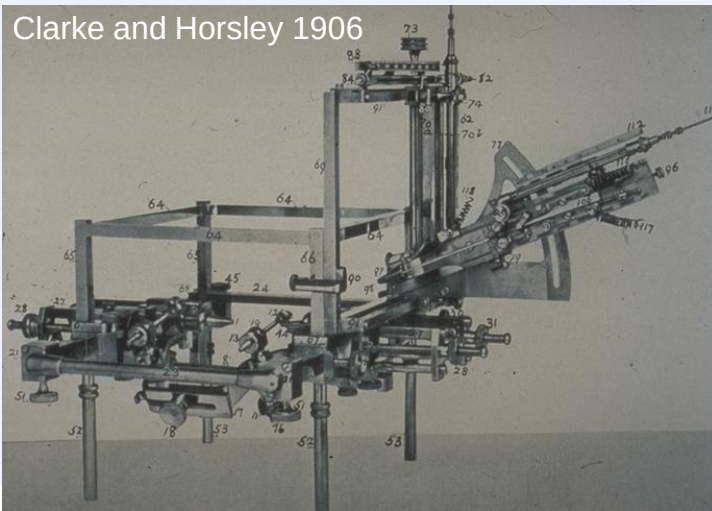
Wohin geht die Reise?

- Klinischer Nutzen $\Leftrightarrow$ Zeit, Kosten, Komplexität
- "Intelligenter Werkzeugkasten" je nach Indikation und Patient
- Klinische Forschung/Studien
(Präzision, Reproduzierbarkeit, Dokumentation)
 - ➔ Funktionsorientiertere, individuelle Therapien
 - ➔ Neue chirurgische Standards
 - ➔ Experten-, Trainingssysteme
 - ➔ Qualitätssicherung
 - ➔ Optimierte Implantate





Clarke and Horsley 1906





Vielen Dank!



Dirk.Friedrich@aesculap.de

