

# Organbewegungen in der IMRT – Erste Erfahrungen mit VERO

Christoph Bert



FRIEDRICH-ALEXANDER  
UNIVERSITÄT  
ERLANGEN-NÜRNBERG

MEDIZINISCHE FAKULTÄT

**Universitätsklinikum  
Erlangen**



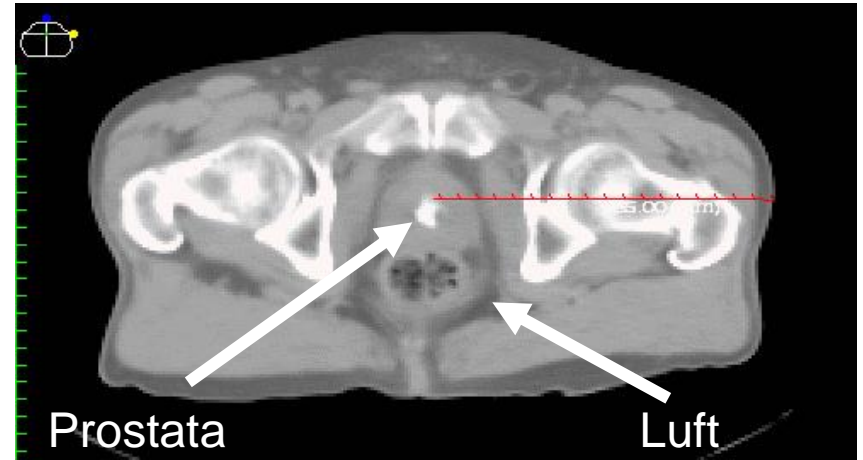
# Bewegungstypen



Füllung der  
Verdauungsorgane

Zeitskala: Minuten

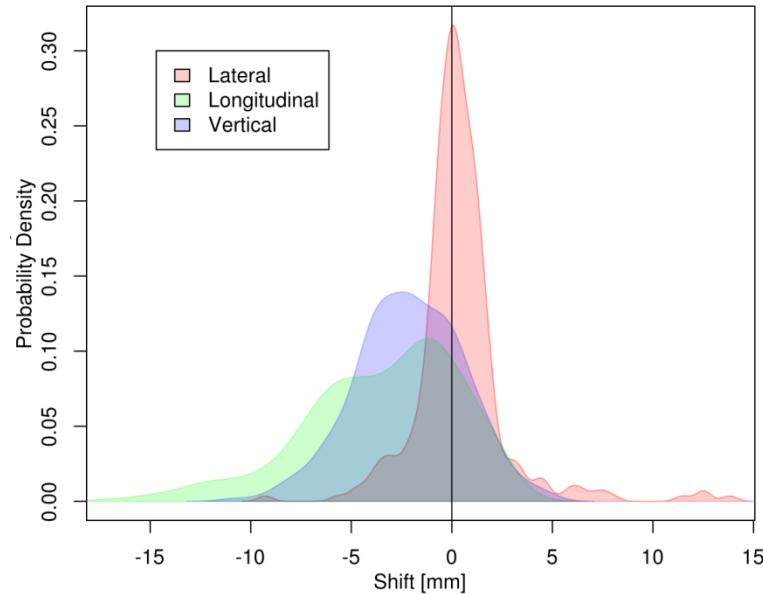
Patientenpositionierung  
Zeitskala: Minuten - Tage



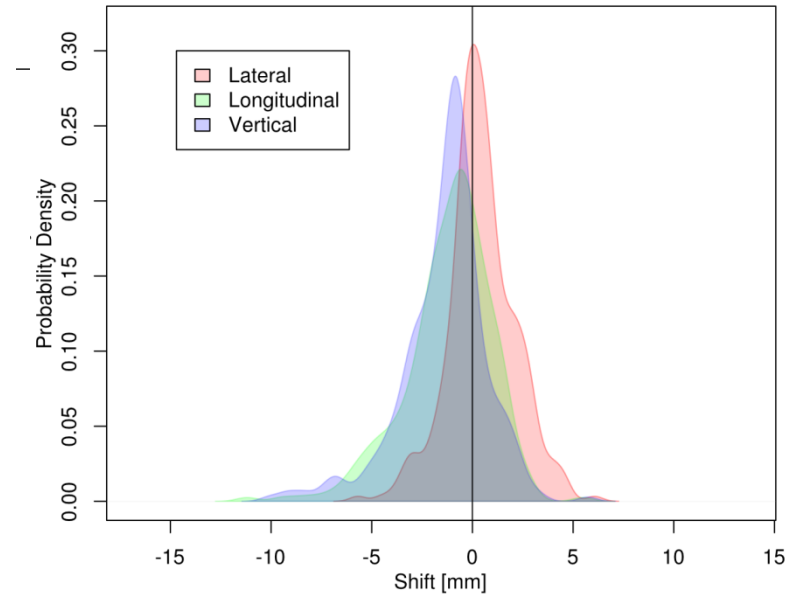
Universitätsklinikum  
Erlangen

# Inter- und intrafraktionäre Bewegungen

## Inter-fraktionär $\Sigma$



## Intra-fraktionär $\sigma$



$$\text{van Herks Saumrezept (CTV-PTV)} = 2.5\Sigma + 0.7\sigma$$

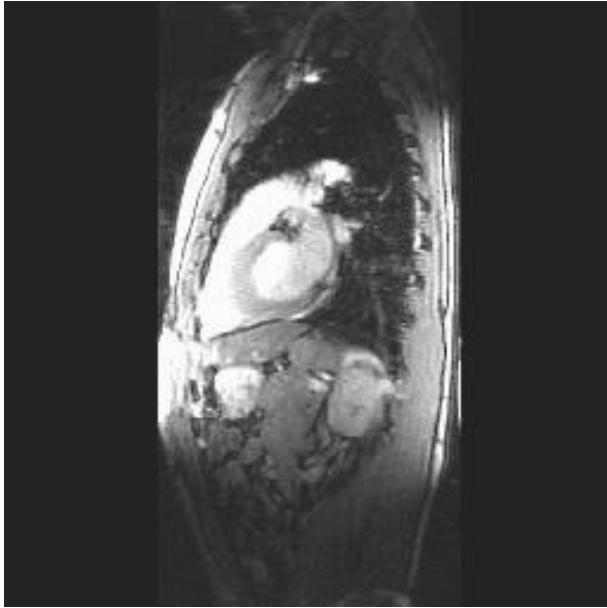


# Beispiel CBCT Prostata (inkl. Goldmarker)



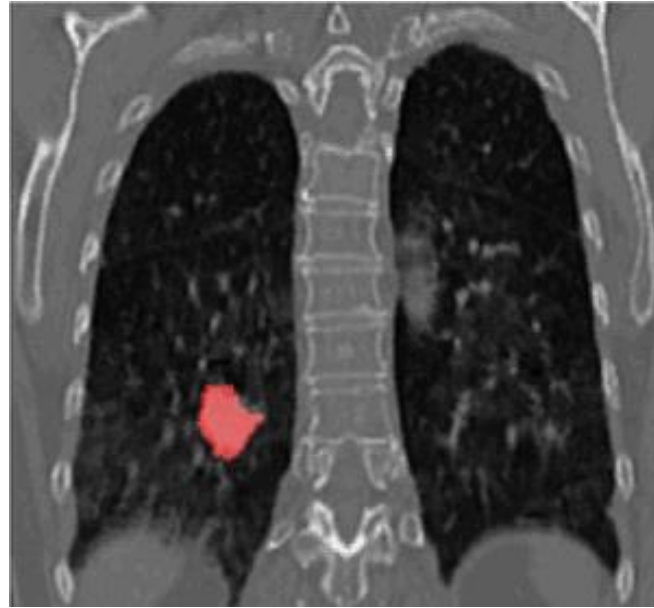
Universitätsklinikum  
Erlangen

# Bewegungstypen – intra-fraktionär



**Herzschlag**

Zeitskala: Sekunden



**Atmung**

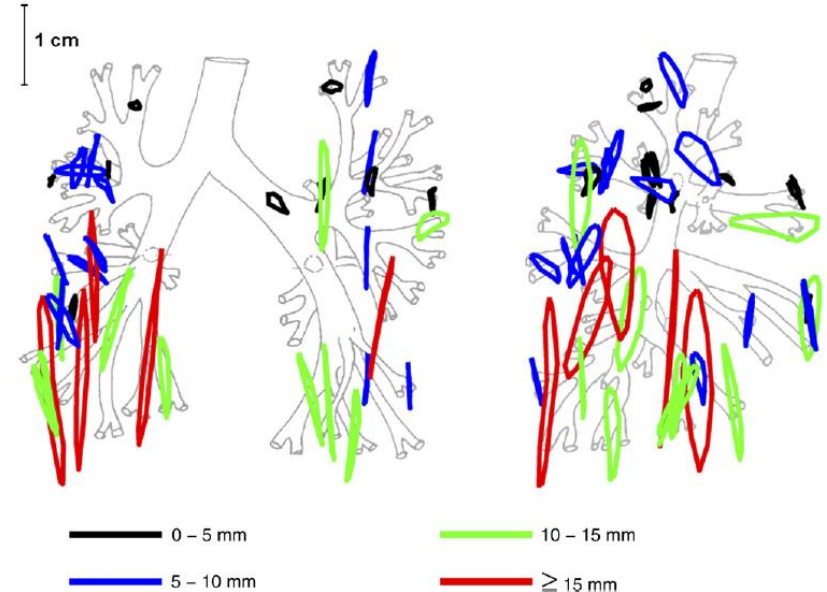
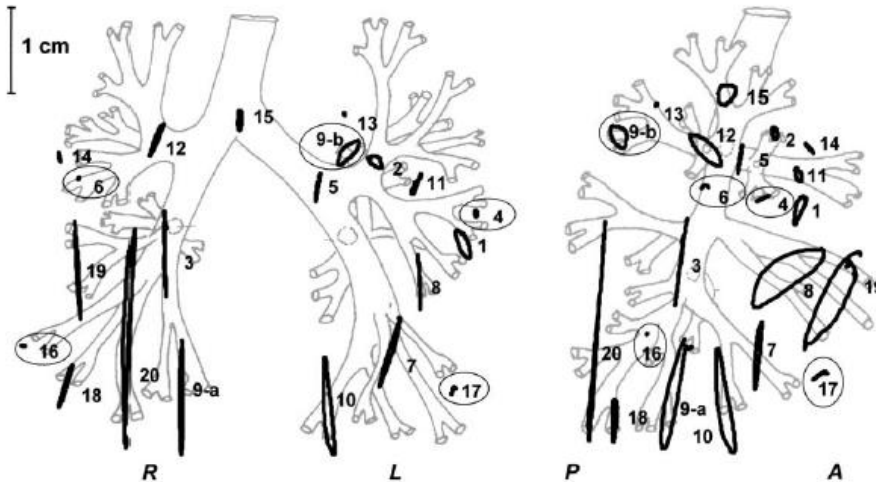
Zeitskala: Sekunden **Universitätsklinikum  
Erlangen**



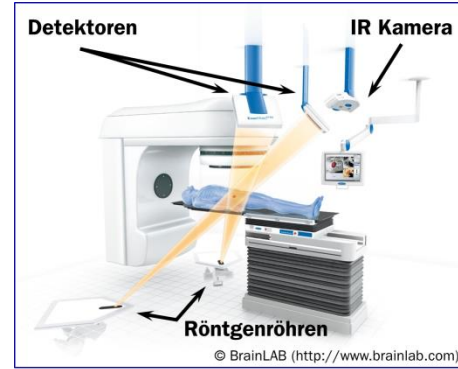
# Auswertung von Lungentumorpatienten

## Fluoroskopisch mittels Goldmarkern (2002)

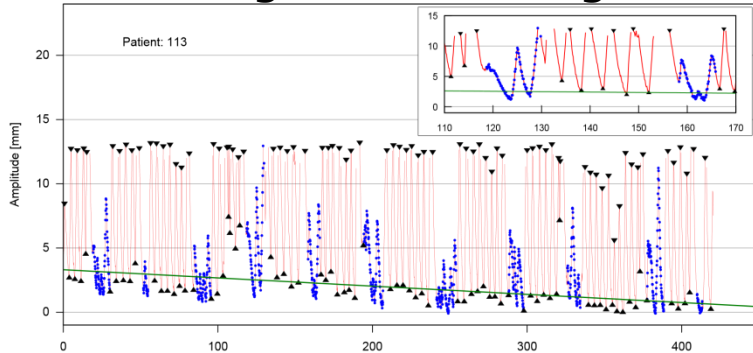
## 4DCT basiert (2008)



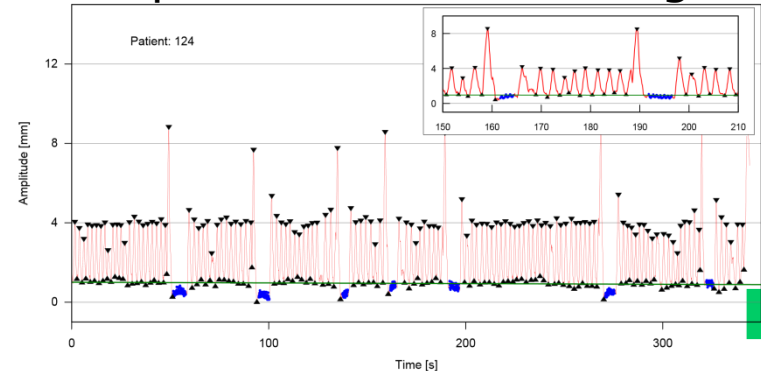
# Inter-fraktionelle Änderung der Bewegung



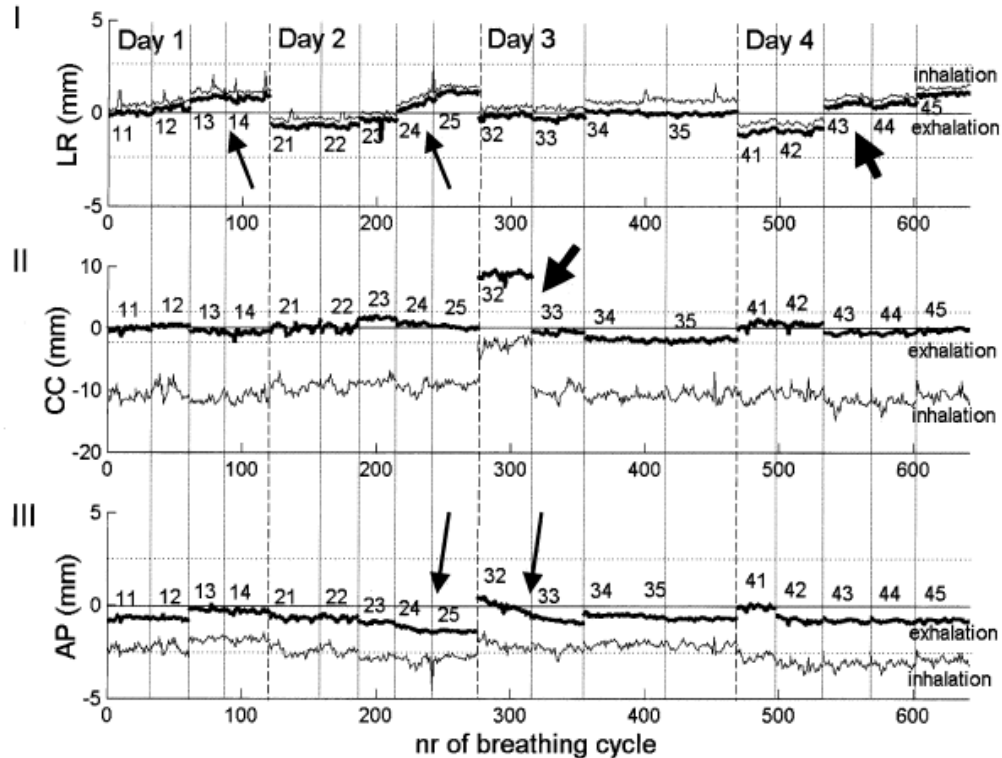
## Irreguläre Atmung



## Reproduzierbare Atmung

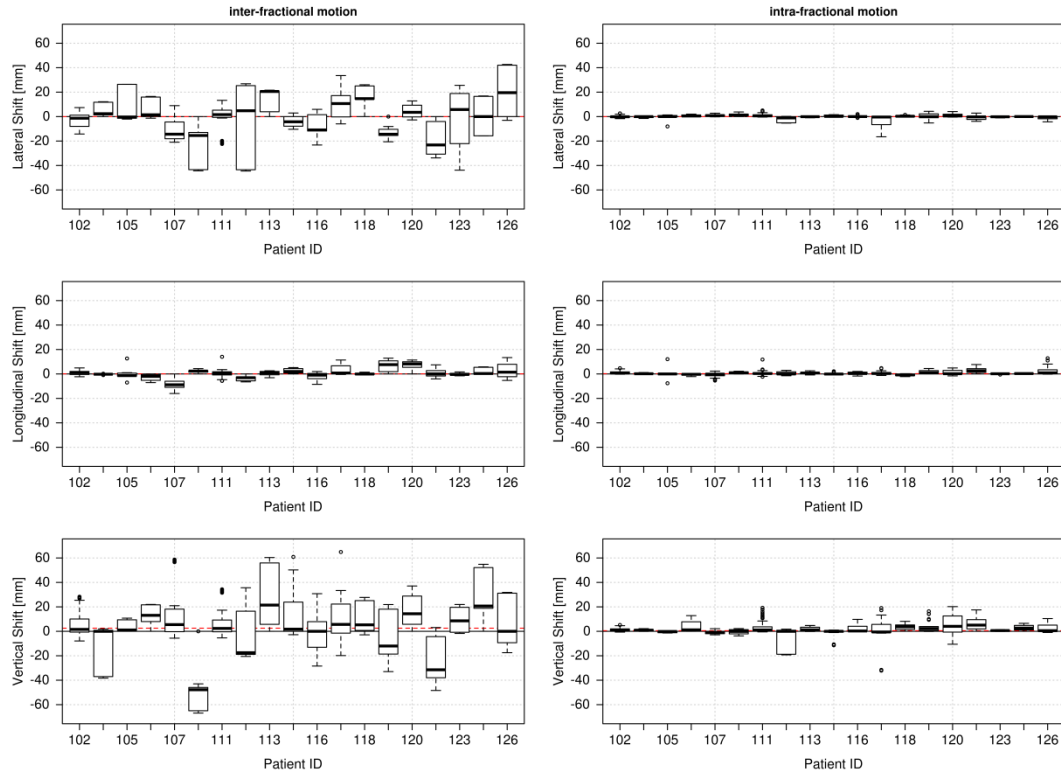


# Auswertung Patienten mit Goldmarkern (bbs)





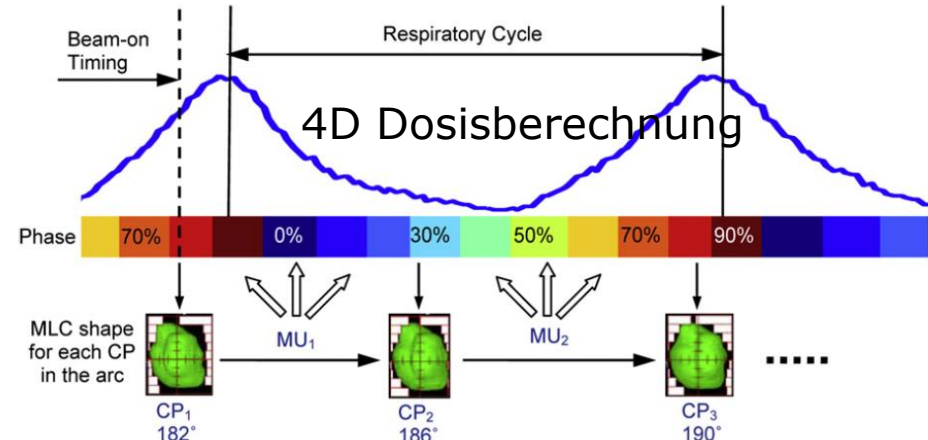
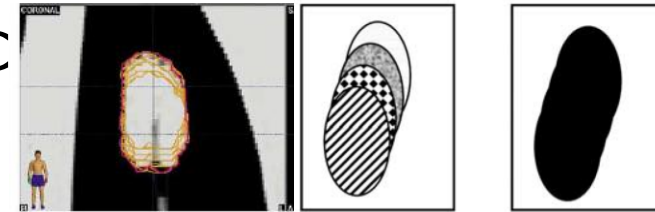
# Lungentumorbewegung



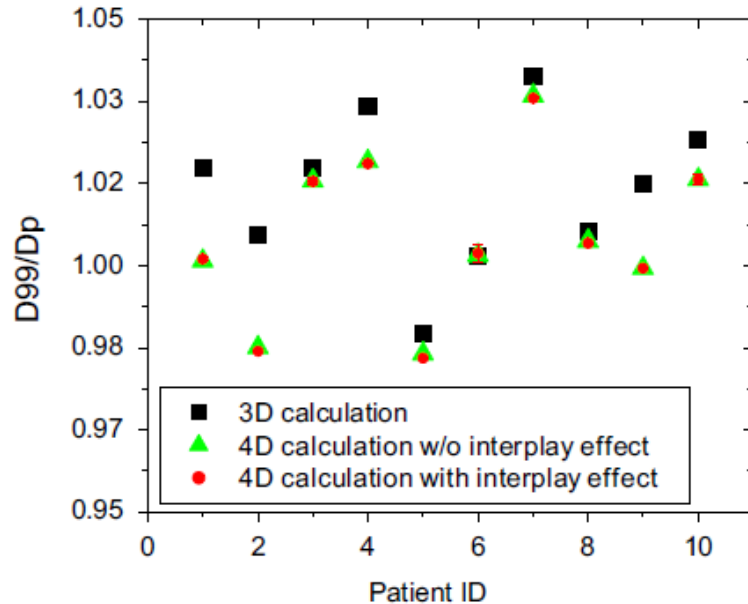
# Dosimetrischer Einfluss von Interplay

- IMRT und VMAT basierte Bestrahlung von je 10 Patienten mit stage I/II NSCLC
- 4DCT basierte Definition des ITV über maximum intensity projections (MIP)
- $PTV = ITV + 5 \text{ mm}$
- Berechnung der 3D und 4D Dosisverteilung
  - ohne Interplay Einfluss
  - unter Berücksichtigung von Interplay

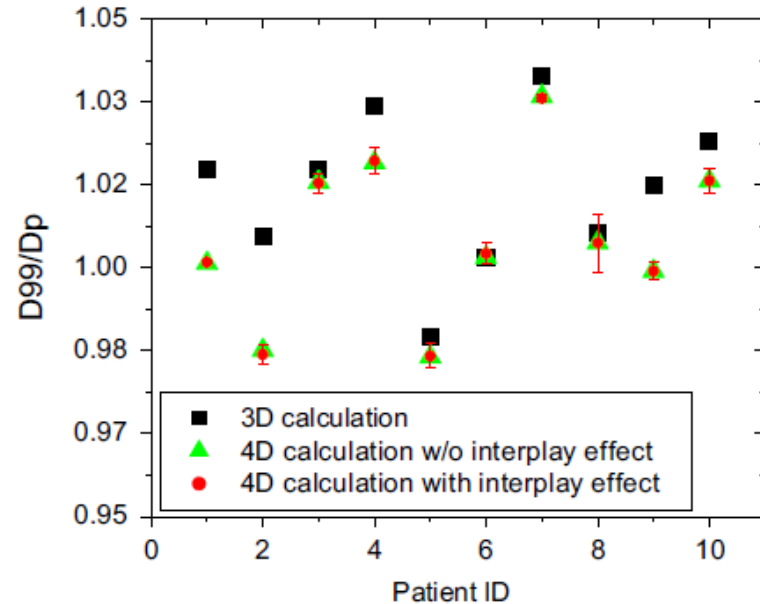
## ITV/MIP



# GTV Abdeckung unter VMAT



(a) SBRT with 20 Gy/fx

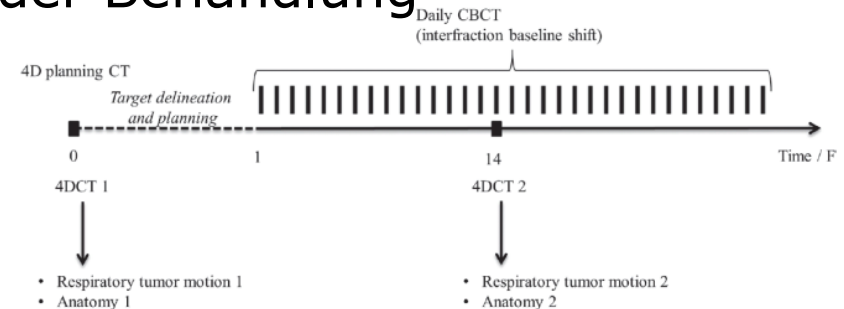


(b) Conventional treatment with 2 Gy/fx

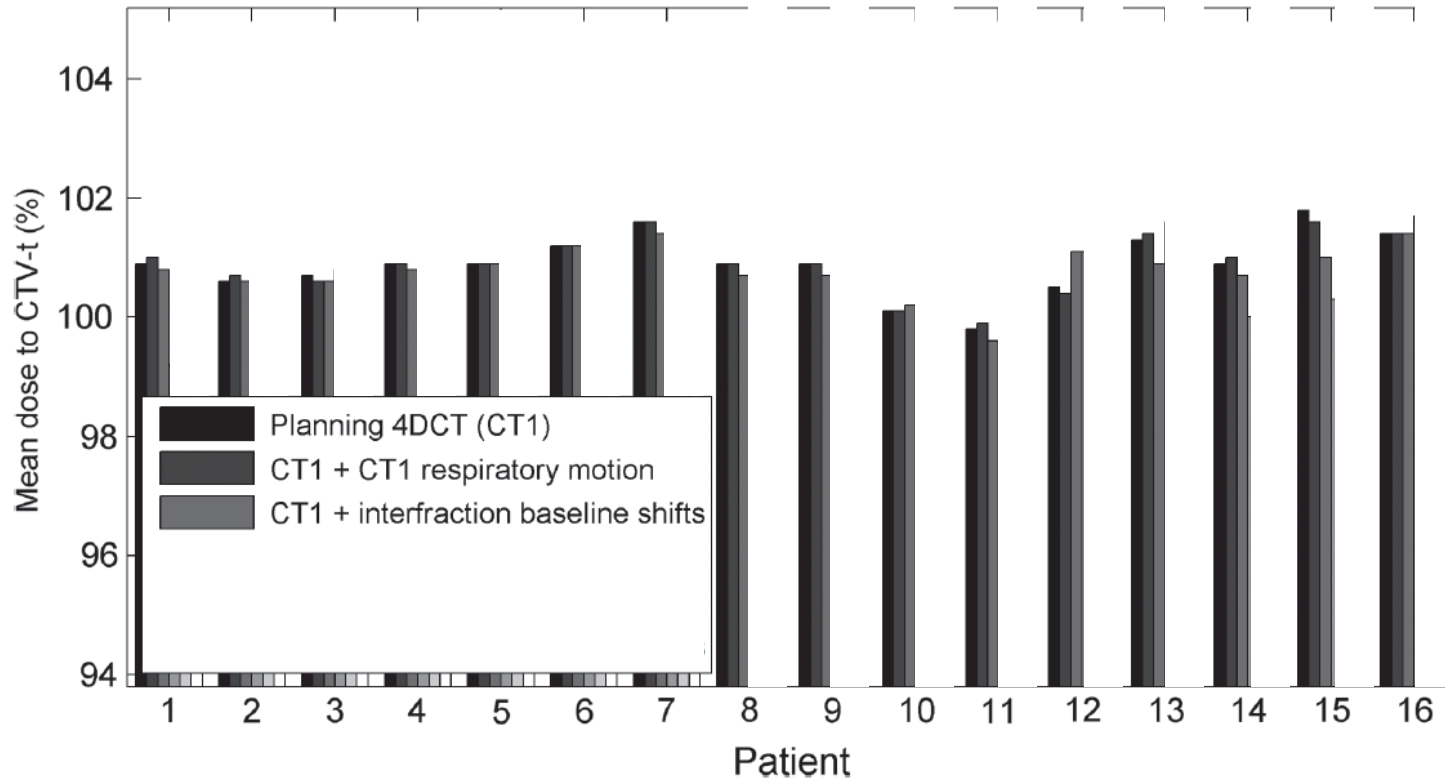
- Zusammenfassung: Vernachlässigbare Wechselwirkungseffekte bei IMRT und VMAT

# Dosimetrischer Einfluss: Anatomieveränderung

- IMRT Behandlung von 16 NSCLC Patienten
- Segmentierung in der midV Phase des 4DCTs
- 66 Gy in 33 Fraktionen
- Tägliche CBCT Lagerung  $\Rightarrow$  Baseline Shift
- Follow-up 4DCT nach der Hälfte der Behandlung
- 4D Nachberechnung des ursprünglichen Plans
  - auf beiden 4DCTs
  - anatomische Veränderung
  - Einfluss von Atembewegung (interplay)



# Einfluss der Bewegungskomponenten

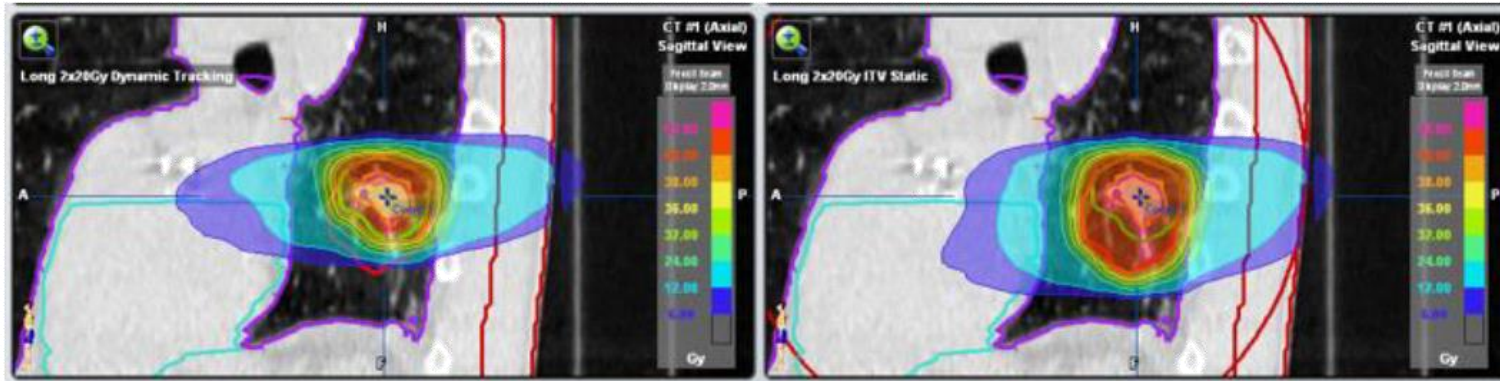


klinikum



# Motivation für Bewegungskompensation

*DT approach: CTV=GTV, PTV=CTV+5mm*      *ITV approach: PTV=ITV+5mm*



CTV/GTV volume: 9.0 cm<sup>3</sup> range: [ 1.0 cm<sup>3</sup>, 22.3 cm<sup>3</sup>]

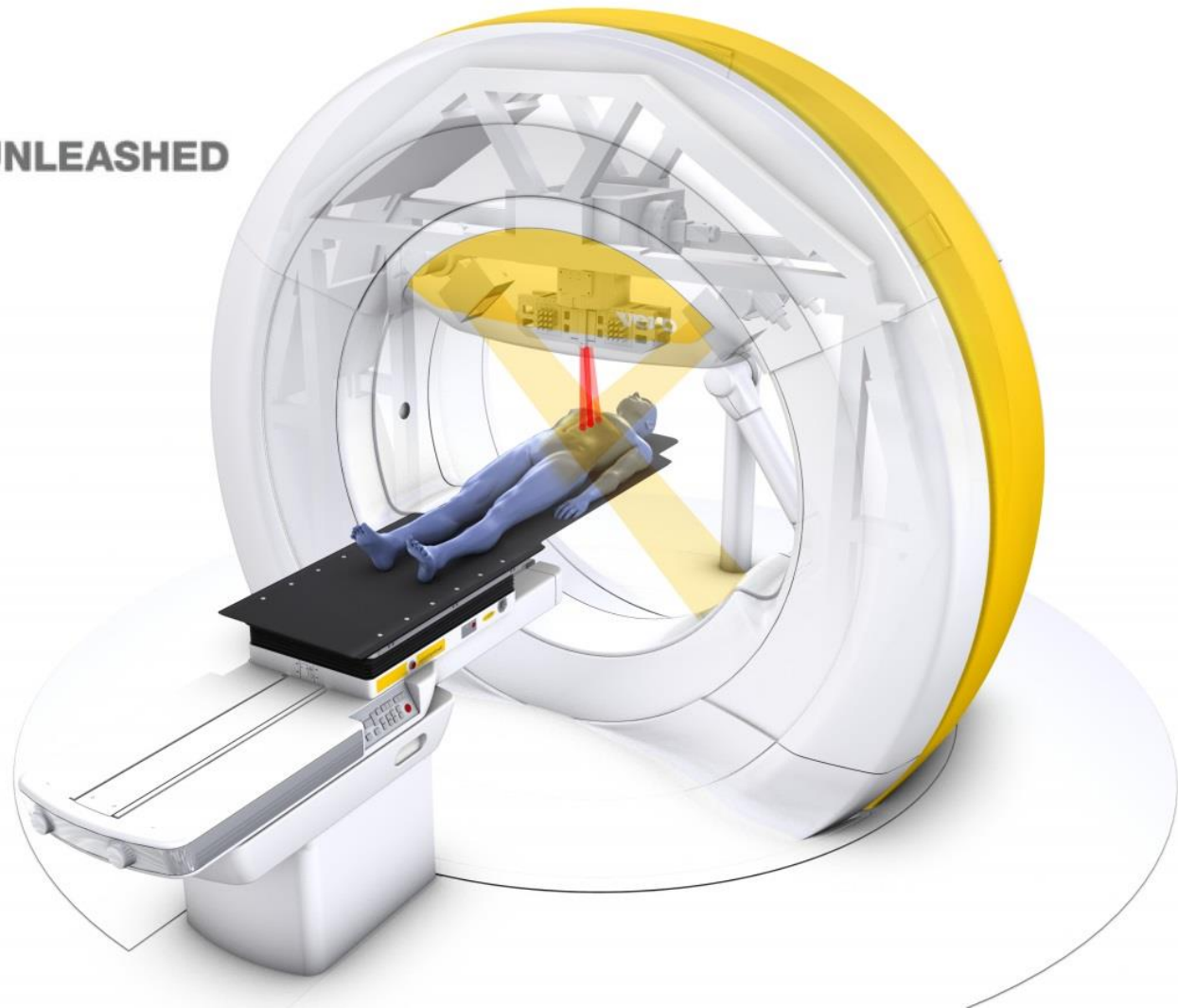
PTV<sub>ITV</sub> volume: 42.8 cm<sup>3</sup> range: [ 10.7 cm<sup>3</sup>, 75.8 cm<sup>3</sup>]

PTV<sub>DT</sub> volume: 27.7 cm<sup>3</sup> range: [ 6.7 cm<sup>3</sup>, 59.4 cm<sup>3</sup>]

Reduction of  
**35.3%**  
Universitätsklinikum  
Erlangen

**vero**

SBRT UNLEASHED



# Gerät für extracranielle Stereotaxie

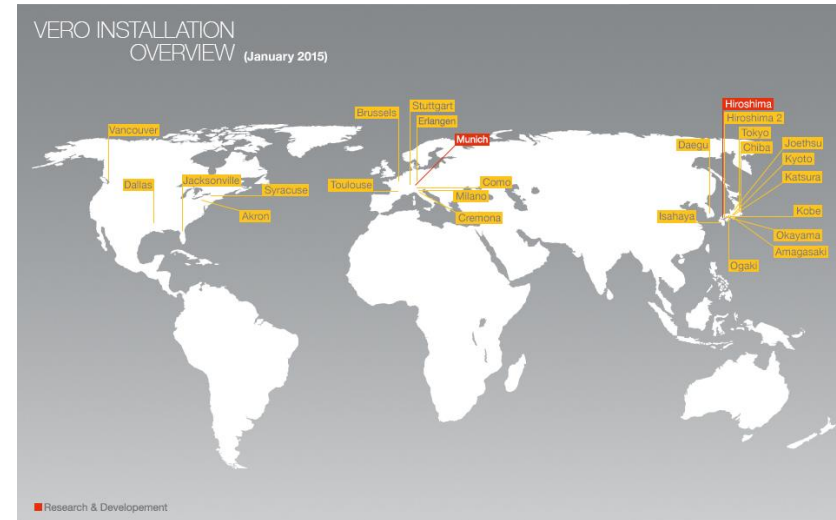
Gemeinsame Entwicklung von:

## ■ Mitsubishi Heavy Industries (MHI)

- MHI-TM2000 Beschleuniger
- Inkl. EPID, kV Bildgebung, CBCT, R+V System (MHI), Bedienkonsole

## ■ Brainlab

- ExacTrac Vero
- Patientenlagerung
- Vertrieb, Wartung und Installation (zumindest größtenteils)



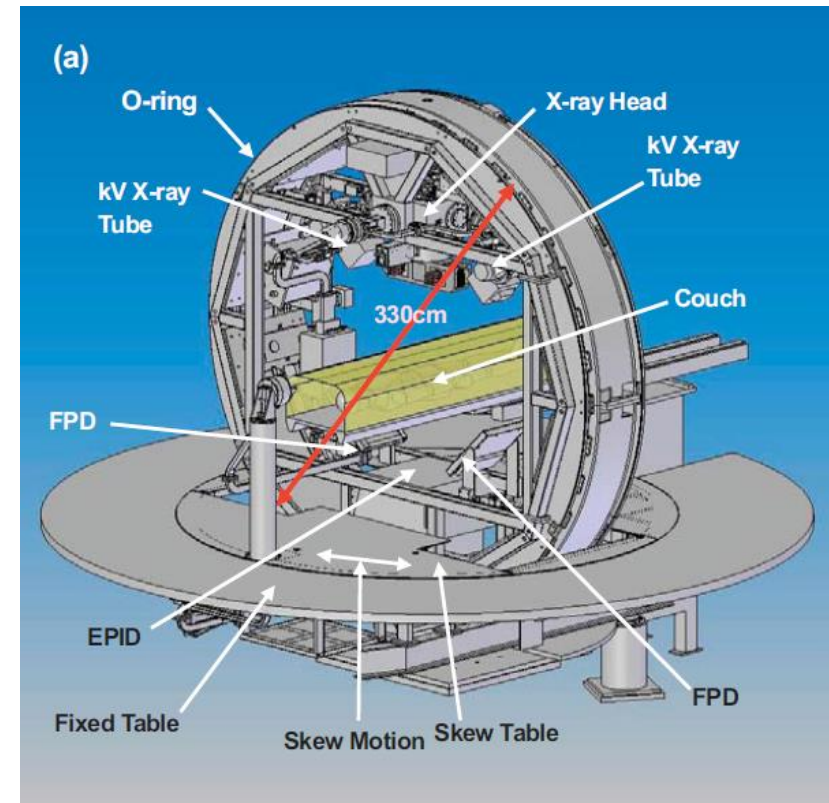
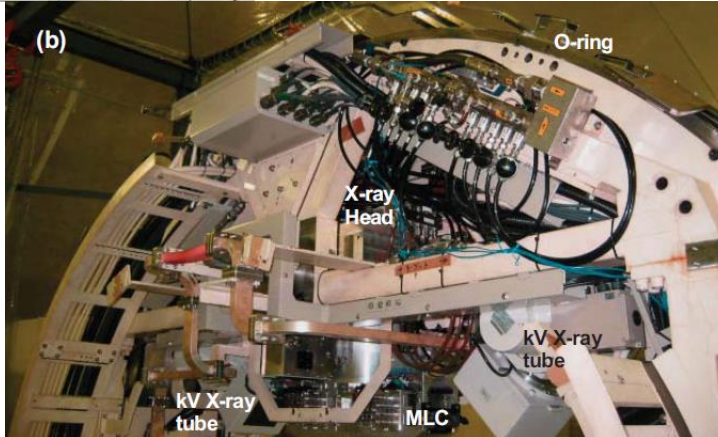


# Fakten / Zahlen

- 6 MV Beschleuniger Photonen (keine Elektronen)
- Feldgröße 15x15 cm<sup>2</sup> über MLC (5 mm Lamellen), keine steuerbaren Blenden
- Nur Bestrahlungen mit Ausgleichkörper (Dosisraten bis 500 MU/min)
- Gantryrotation (-185°-185°)
- Ringrotation (-60° - +60°)
- Tisch mit 5 Freiheitsgraden (keine Tischrotation, da Ringrotation möglich)
- Bewegungskompensierte Bestrahlungen über Gimbal Head



# Überblick der Komponenten

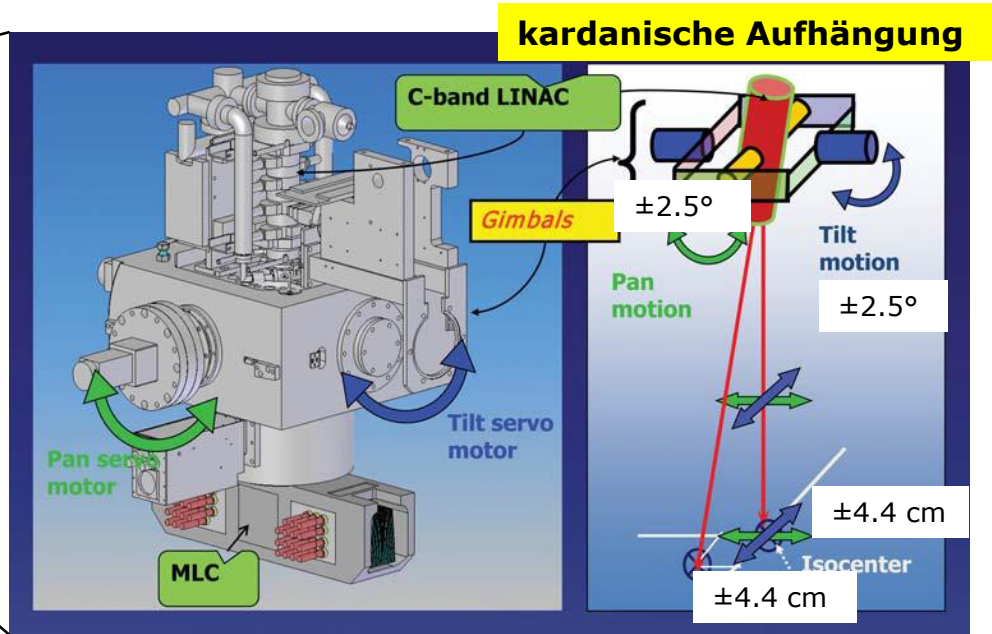
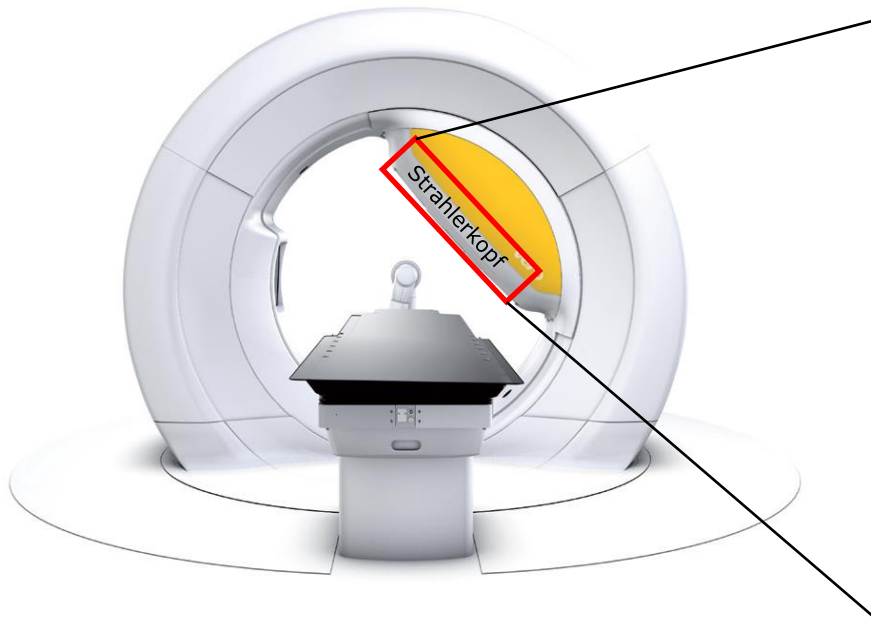


# Image guidance

- ExacTrac vero als integraler Bestandteil
  - IR-System inkl. Stern
  - 2 kV Flatpanels in Gantry verbaut
  - CBCT Möglichkeit mit Registrierung unter ExacTrac  
⇒ 6 dof Korrektur möglich
- EPID vorhanden, aber (noch) nicht in die klinische Bildgebung integriert
- Prinzipiell auch Laser-System (in und außerhalb der Gantry)

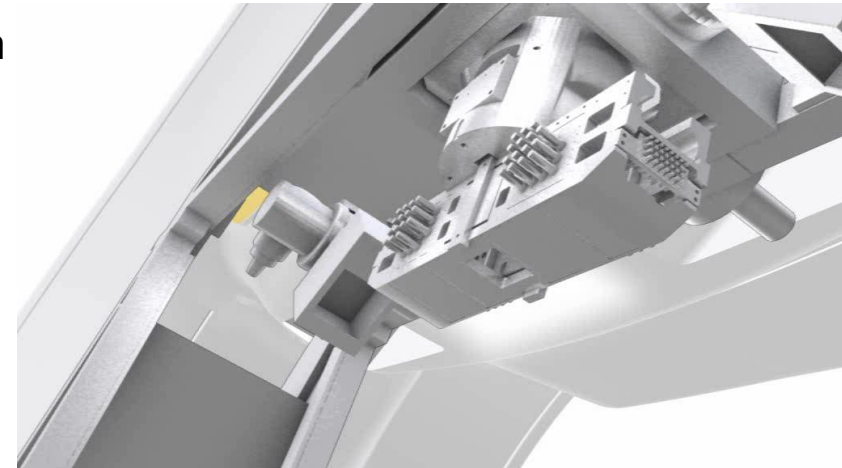


# Strahlerkopf



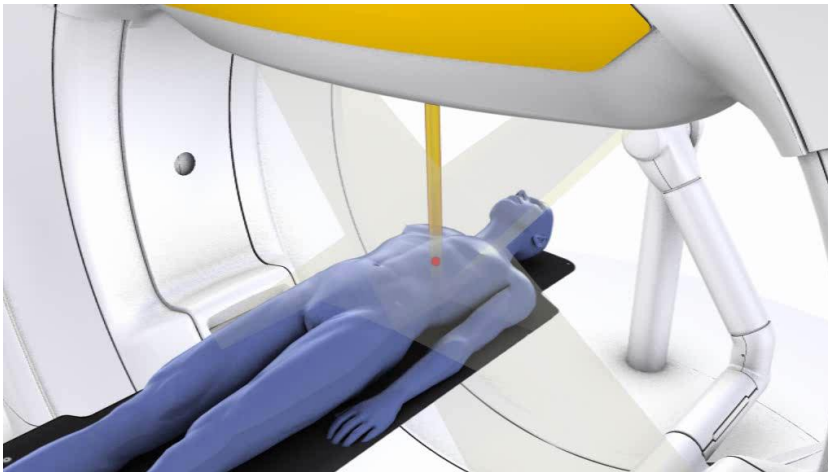
# Vero Tracking

- **Bewegungskompensation durch kardanisches System**
  - Kompensation der minimalen mechanischen Fehler  $\Rightarrow$  Steigerung der Präzision
  - Kompensation von intra-fraktionärer Organbewegung
- **Bewegungserfassung über ExacTrac**
  - extern: IR-Reflektoren + Stereokamera
  - intern: Fluoroskopie mit Goldmarker
  - Korrelationsmodell
- **Klinische Anwendung seit 2011**

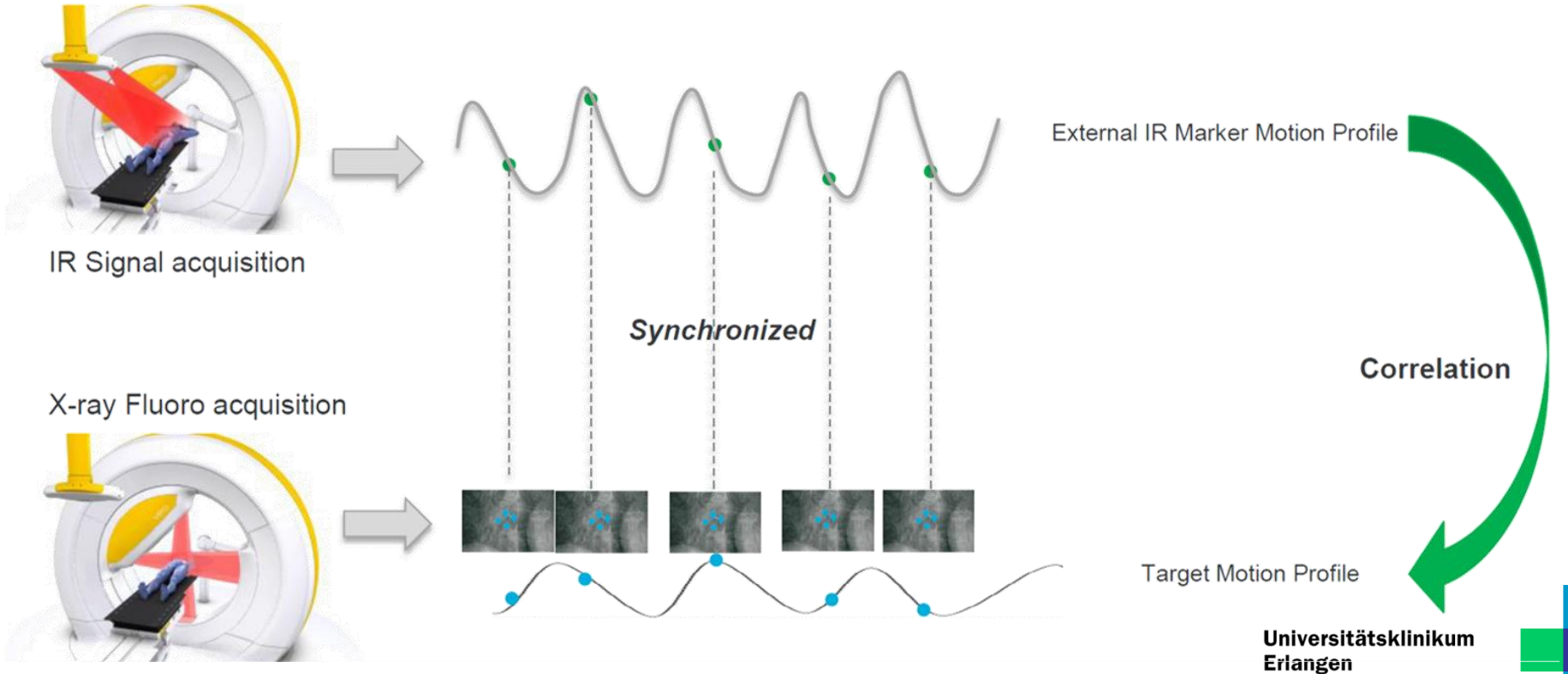


# Detektion der Organbewegung

- Bewegungserfassung über ExacTrac vero
  - extern: IR-Reflektoren + Stereokamera
  - intern: Fluoroskopie mit Goldmarker
  - Korrelationsmodell

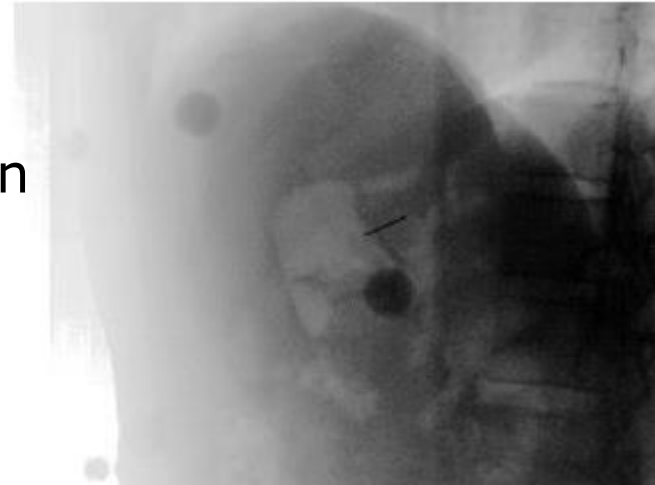


# Korrelationsmodell



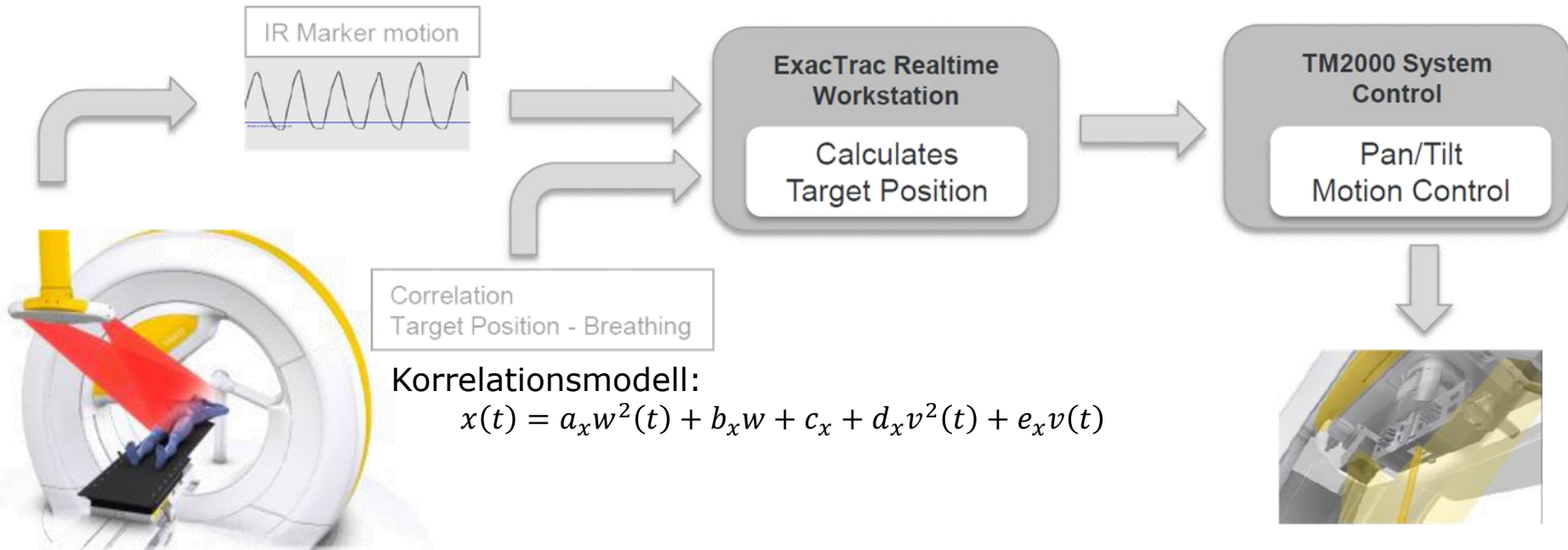
# Korrelationsmodell und Vorhersage

- Korrelationsmodell wird mehrfach pro Fraktion trainiert
  - Parallele Aufnahme von Markerposition  $(x(t), y(t), z(t))$  durch kV-Fluoroskopie und IR-Markerbewegung  $(w(t), \dot{w}(t) = v(t))$
  - Automatische Detektion des implantierten Goldmarkers
  - Optimierung der Koeffizienten des Polynoms des Korrelationsmodells (1 pro Richtung)
    - $x(t) = a_x w^2(t) + b_x w + c_x + d_x v^2(t) + e_x v(t)$
- Zusätzlich Vorhersage, um Verzögerungen von  $\sim 50$  ms auszugleichen





# Tracking Ablauf



VERO



# Diverse spezielle Bestrahlungsmodalitäten

- 3D CRT, IMRT
  - Step-and-shoot
  - Dynamische MLC Bewegung
- Conformal Arc / Dynamic Arc
  - 3DCRT (MLC) / adaptierter MLC + Gantry
- Dynamic Wave Arc
  - Parallele Bewegung von Ring und Gantry
- Hybrid Arc
  - Pendel + step-and-shoot IMRT
- Dynamic Arc Tracking, Dynamic IMRT Tracking



# Stand Erlangen

- Installationsabschluss 03/2014
- Verzug durch Wasserschaden (7 Monate)
- Behandlung des ersten Patienten: 12.2.2015
- Seitdem (6 Prostata-Ca. Behandlungen, 2 H&N, 1 Pelvis)
- Beginn Bewegungskompensierte Bestrahlung im Sommer



# Zusammenfassung

- Organbewegung (intra-, inter-fraktionell) und anatomische Veränderungen haben dosimetrische Auswirkungen
  - Sicherheitssäume, adaptive Planungen, Motion management
  - IMRT kann zu Interplay führen – i.d.R. keine dosimetrische Auswirkung
- Vero ist ein Spezialgerät für die extrakranielle Stereotaxie
  - Bewegungskompensation (Dynamic Tracking) durch Verkippung des gesamten Beschleunigerkopfes auf Basis eines Korrelationsmodells
  - Potentielle Reduktion der Sicherheitssäume
- Behandlungen in ER seit 12.2.15

