

Implementierung von SimRT in DIBH & Zukunftsperspektiven im Bereich der intelligenten 4DCT-Verfahren

Niklas Lackner

Strahlenklinik, Universitätsklinikum Erlangen



Friedrich-Alexander-Universität
Medizinische Fakultät



**Universitätsklinikum
Erlangen**



Dieser Vortrag wurde im Auftrag und in Absprache mit Vision RT erstellt. Die Vortragstätigkeit wurde durch ein Honorar sowie die Übernahme von Reise- und Übernachtungskosten vergütet.



Übersicht

- SimRT in der klinischen DIBH-Anwendung – (13-15 min)
Erfahrungen, Vorteile und Herausforderungen
- SimRT in der intelligenten 4DCT – (8-10 min)
Perspektiven und Potenziale
- Diskussion (5-7 min)



SimRT in der klinischen DIBH-Anwendung – Erfahrungen, Vorteile und Herausforderungen

Niklas Lackner et. al.

Strahlenklinik, Universitätsklinikum Erlangen



Friedrich-Alexander-Universität
Medizinische Fakultät



**Universitätsklinikum
Erlangen**



Universitätsklinikum Erlangen

Medizinphysik Gerätepark



Somatom go.Open Pro
Siemens Healthineers



Versa 1&2
Elekta



Vero
Mitsubishi



Novalis TX
Varian



Halcyon
Varian



Universitätsklinikum Erlangen

VisionRT @ Gerätepark

Somatom go.Open Pro
Siemens Healthineers



SimRT
VisionRT

Versa 1&2
Elekta



AlignRT
VisionRT

ExacTrac Dynamic
Brainlab

Halcyon
Varian



AlignRT InBore
VisionRT

Warum DIBH?

Motivation

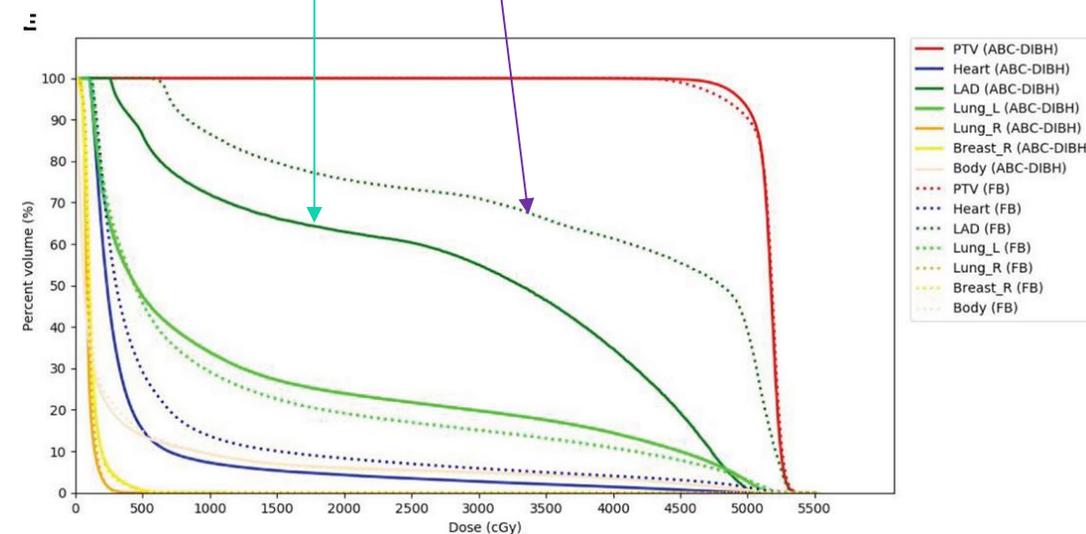
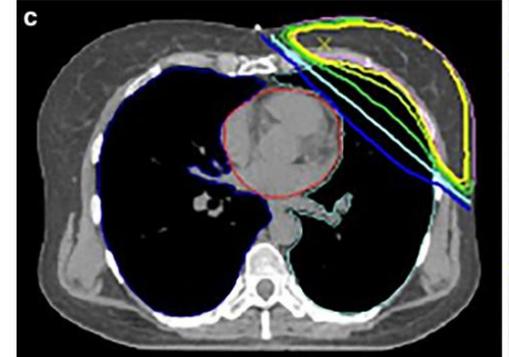
- **DIBH** vergrößert **Lungenvolumen** & verschiebt **Herz** nach kaudal/posterior
- **größerer Abstand** zwischen Herz und Zielvolumen
- **Reduktion der Herzdosis**
- **Herausforderung:**
Atemlage muss exakt und reproduzierbar

→ **DIBH** ist durch **starke wissenschaftliche Evidenz** gestützt

Freie Atmung

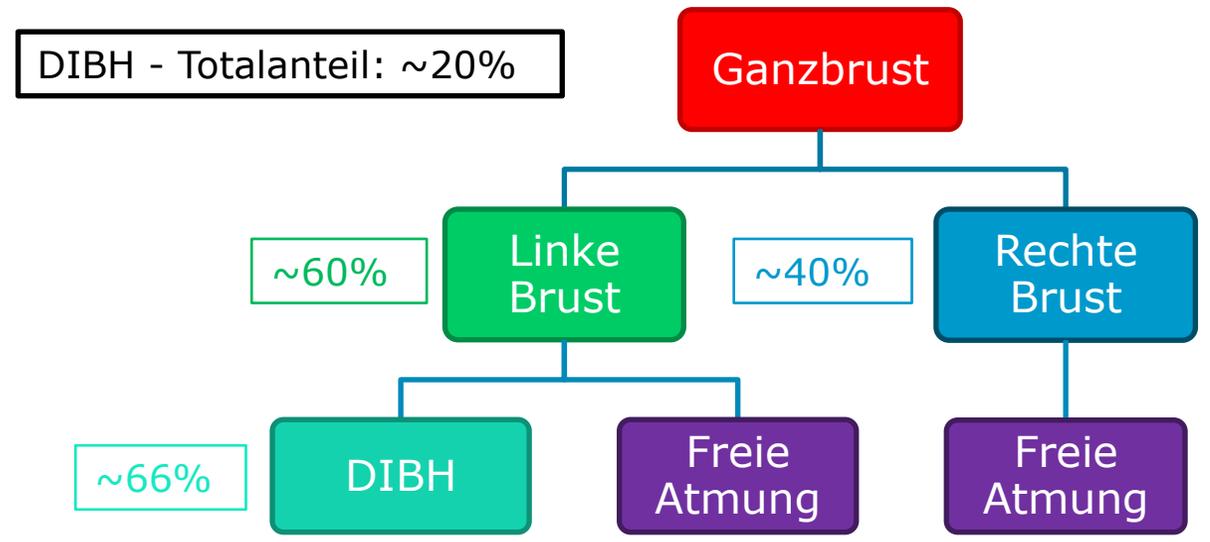
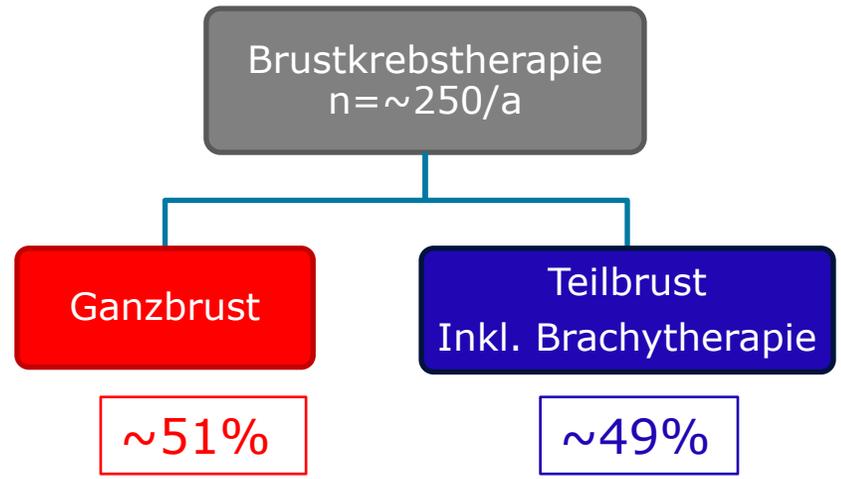


DIBH



Brustbehandlungen @ UKER

Übersicht



Verbesserung der DIBH Effizienz

Atemtraining erhöht die Zuverlässigkeit der DIBH

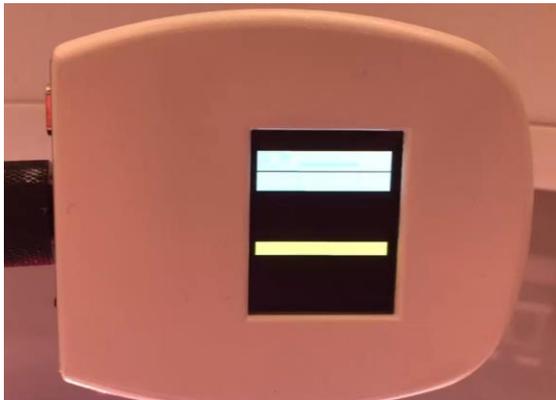
- Kim et al. (2018): 1-week pre-sim training → ↓ max heart dose (13.1 Gy vs 19.5 Gy)
doi: [10.1016/j.clon.2018.04.009](https://doi.org/10.1016/j.clon.2018.04.009)
- Cerviño et al. (2009): Visual feedback → ↓ breath-hold variability (0.5 mm vs 2.1 mm)
doi: [10.1088/0031-9155/54/22/007](https://doi.org/10.1088/0031-9155/54/22/007)
- Kalet et al. (2021): Early DIBH training → ↓ heart dose, ↑ reproducibility during treatment
doi: [10.1111/1754-9485.13181](https://doi.org/10.1111/1754-9485.13181)
- Aksu et al. (2025): Pre-sim coaching → ↓ LAD dose, faster setup times
doi: [10.1007/s00520-025-09446-1](https://doi.org/10.1007/s00520-025-09446-1)
- Oonsiri et al. (2019): Educational materials → ↑ patient satisfaction, ↓ sim duration
doi: [10.3857/roj.2019.00290](https://doi.org/10.3857/roj.2019.00290)



DIBH Workflow: CT

SimRT Demonstration

- Live seit: Januar 2023
- Nutzung von SimRT für:
 - Atemtraining (Bessere Reproduzierbarkeit)
 - Kontrolle der Atemlage (DIBH-CT, Zustand)



SimRT – Feedbackstudie

Materialien & Methoden

Investigating the effects of table movement and sag on optical surrogate-driven respiratory-guided computed tomography

Niklas Lackner , Lou Dietrich, Andre Karius, Rainer Fietkau, Christoph Bert, Juliane Szkitsak

First published: 29 November 2024

<https://doi.org/10.1002/acm2.14565>

■ Ziel der Studie:

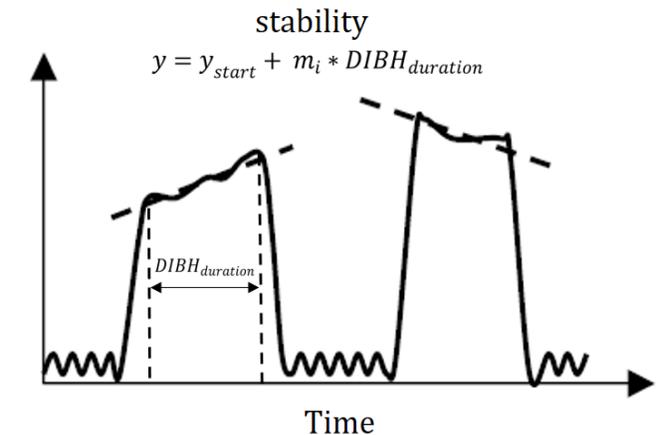
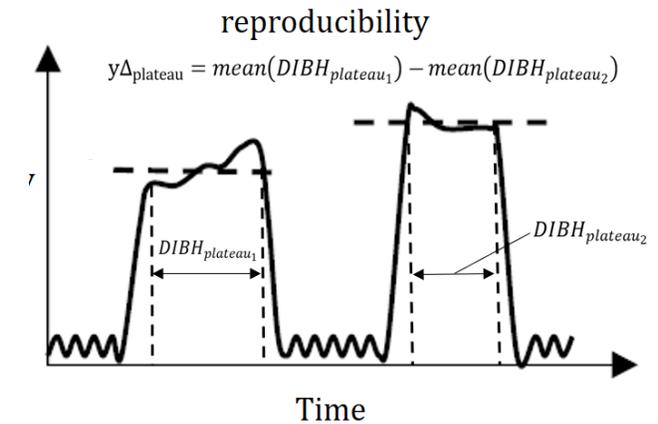
- Untersuchung der Atemdaten bei DIBH mit visueller Rückmeldung

■ Studiendesign:

- 40 Patientinnen mit linksseitigem Brustkrebs
- Atmungstraining + Scan

■ Patientinnen-Anleitung:

- Normale Atmung (30 Sek.) → 3× DIBH (8–15 Sek.)
- Fokus auf Brustatmung, keine Bauchatmung
- Visuelles Feedback über RTC + SimRT
- DIBH-Zielbereich mit $\pm 1,5$ mm Toleranzfenster



SimRT – Feedbackstudie

Resultate

- **Reproduzierbarkeit (y_{Δ_train}):**

- Mittlere Abweichung: $\sim 0.6 \text{ mm} \pm 1.0 \text{ mm}$

- **Stabilität (m_{trainA} / B):**

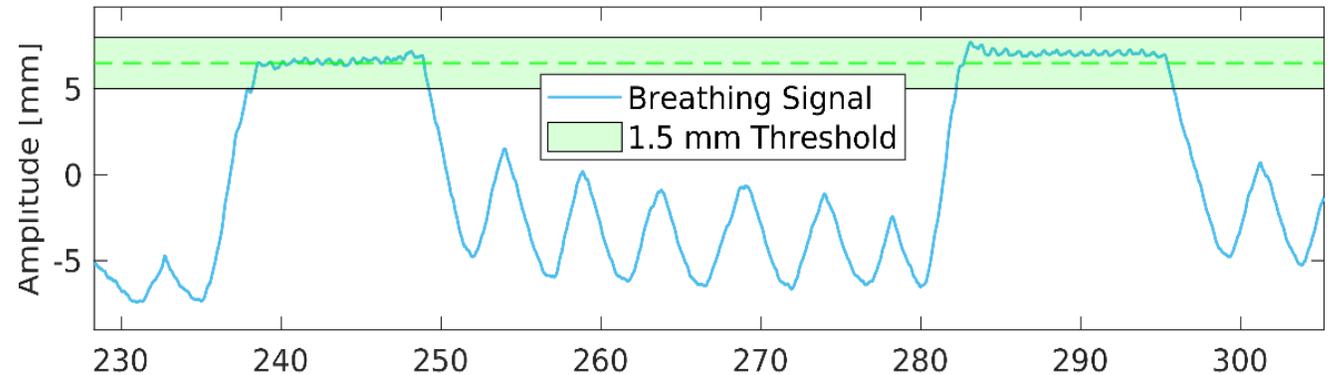
- Mittlere Abweichung: $\sim 0 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ mm}$

- **Drift sowohl positiv als auch negativ möglich**, aber klinisch stabil

- **Fazit**

DIBH mit visuellem Feedback ermöglicht **submillimetergenaue**

Reproduzierbarkeit und **stabile Atemlagen**, selbst bei leichtem Drift



Klinische DIBH Studie

Materialien & Methoden

■ Patientinnenkohorte:

- Insgesamt 194 Patientinnen mit DIBH (2022–2024)
 - 2022: 61 Patientinnen (ohne visuelle Atemführung bei CT)
 - 2023/24: 54 Patientinnen / 2024: 78 Patientinnen (mit visueller Atemführung bei CT)

■ Atemtraining (nur bei CT-Simulation):

- **2022:** Nur akustische Kommandos vom CT
- **Ab 2023:** Einführung von Training durch Oberflächenführung (RTC)
 - Visuelles Feedback + Start-/Stopp-Kommandos durch RTT

■ Atemaufnahmen:

- Für alle Patientinnen:
 - 1 CT in freier Atmung (FB)
 - 1 CT in DIBH

■ Behandlung:

- In **allen Jahren** wurde **AlignRT am Linearbeschleuniger** eingesetzt

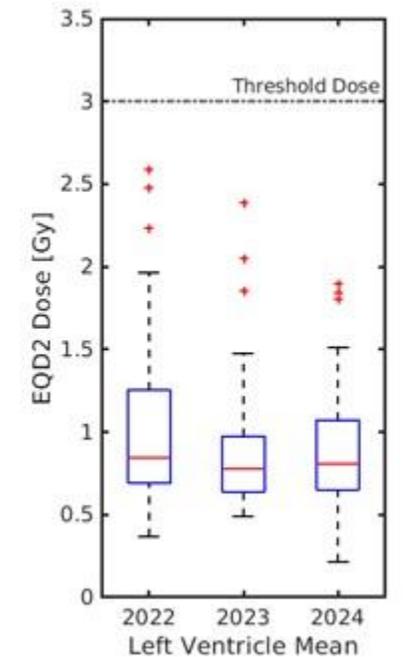
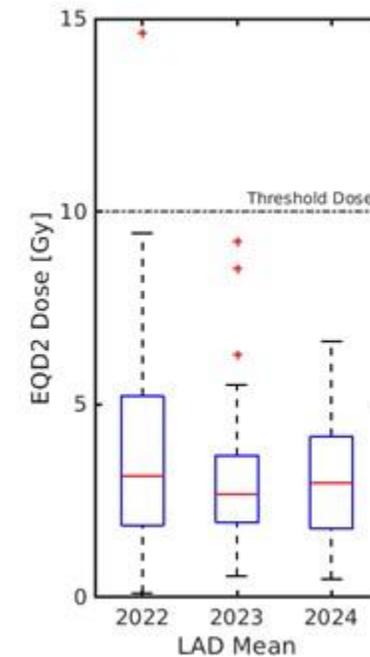
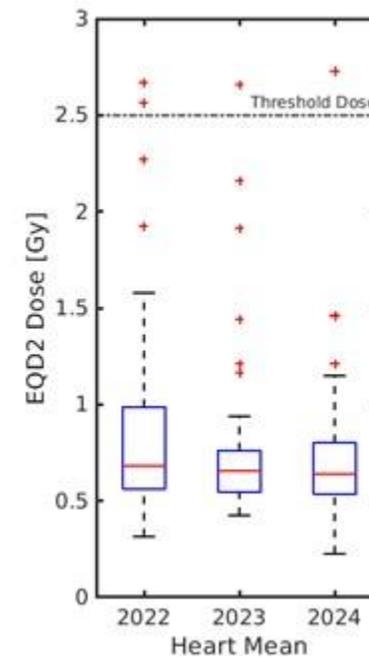
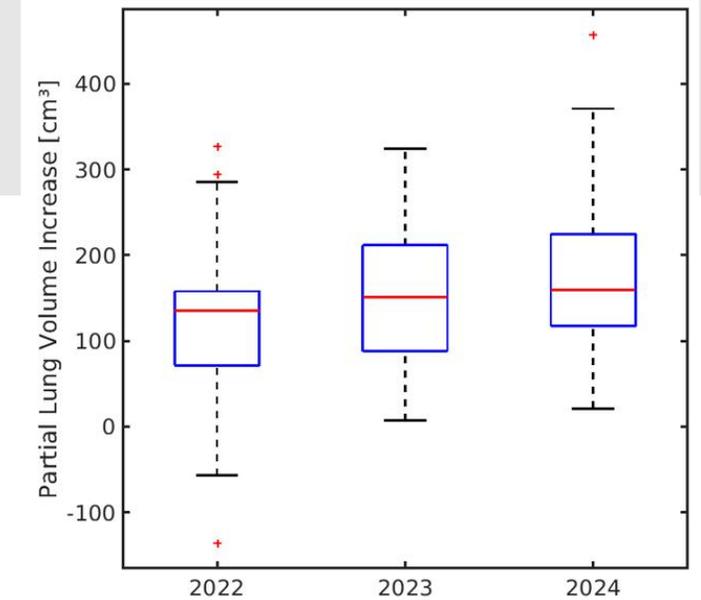
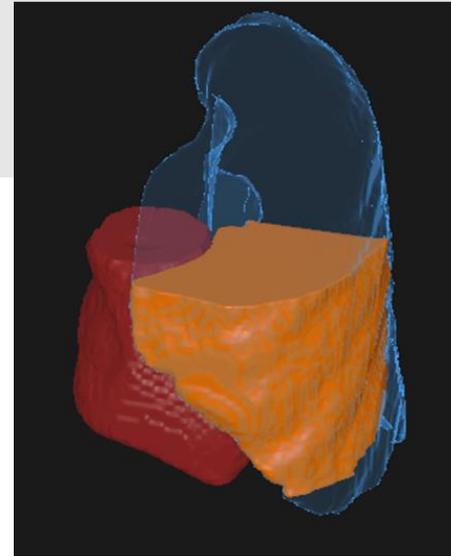


Klinische DIBH Studie

Resultate

Unpublished data

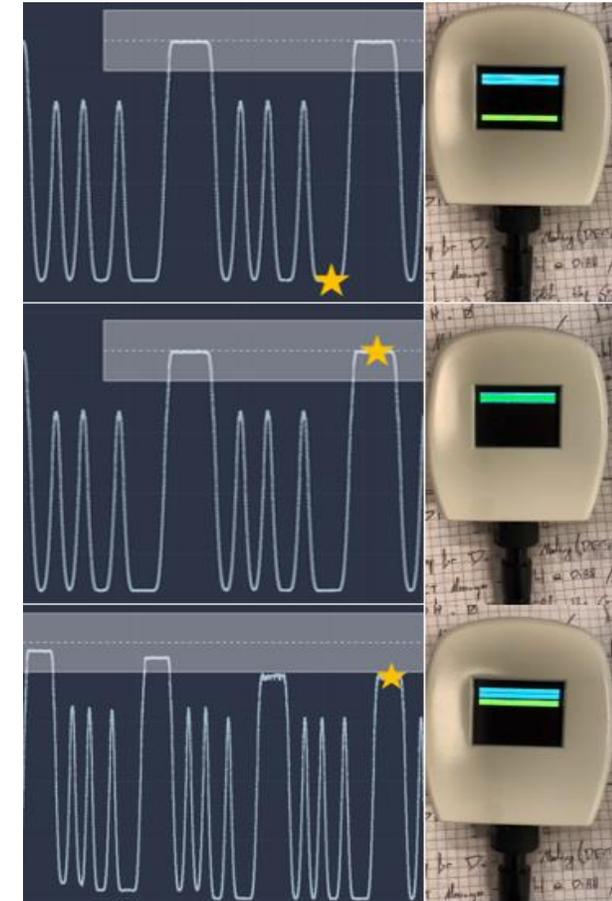
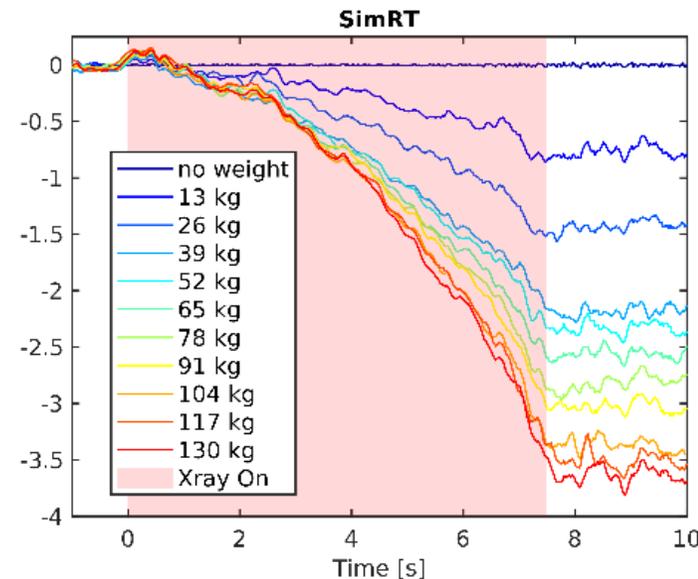
- Signifikanter Zuwachs an PLV durch DIBH-Training
- Negative PLVI bei 6 Patienten in 2022:
 - Untersuchung zeigt, CTs wurden nicht in DIBH-Zustand gemessen
 - Keine dieser Fälle in 2023 und 2024
- Dosisverteilung ändert sich nicht signifikant für alle OARs
- Auswirkung im Generellen auf Dosisverteilung nicht signifikant



Herausforderungen

Feedback während CT Fahrt

- **Kalibrierposition** sehr wichtig, bis zu 2 mm Unterschied je nach Position
- Biegung in ungewichteter Situation: bis zu 1.4 mm gemessen
- Kamerasysteme zeigen ähnliche Reaktion auf Tischbelastung bis zu 130 kg
- Eine Tischbiegung von bis zu 3,5 mm lässt sich beobachten (Vergleich zu 0 kg)



Investigating the effects of table movement and sag on optical surrogate-driven respiratory-guided computed tomography

Niklas Lackner Lou Dietrich, Andre Karius, Rainer Fietkau, Christoph Bert, Juliane Szkitsak

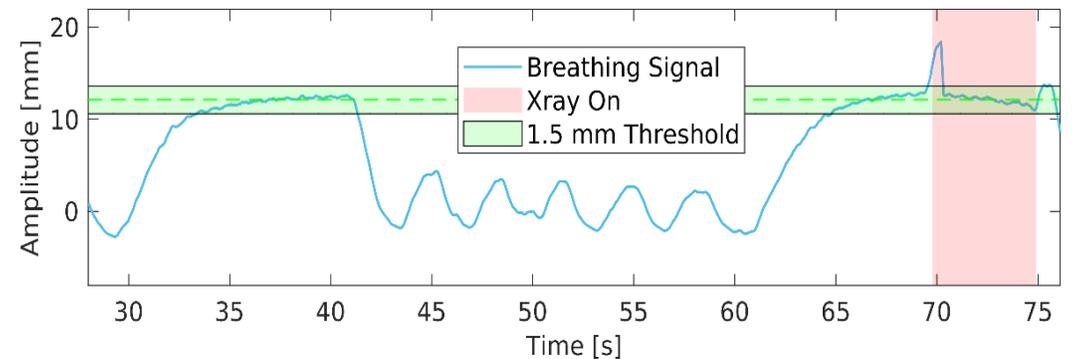
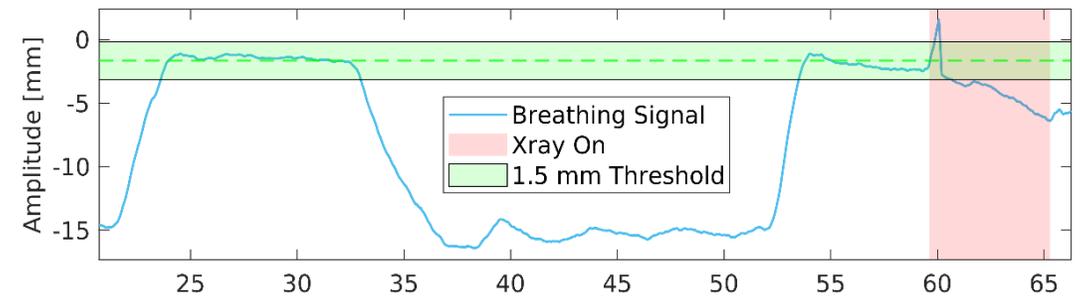
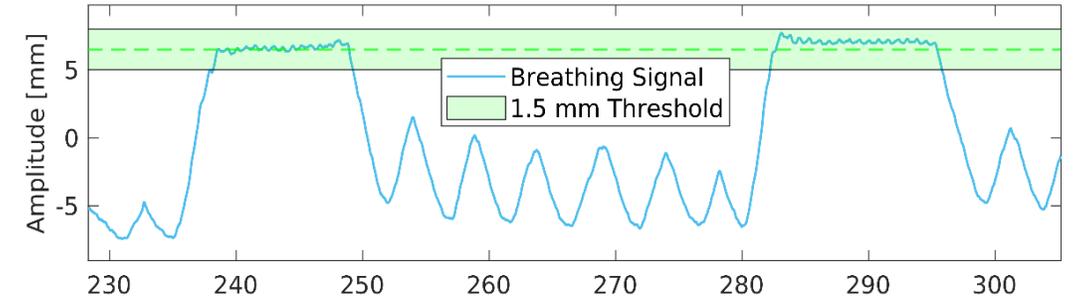
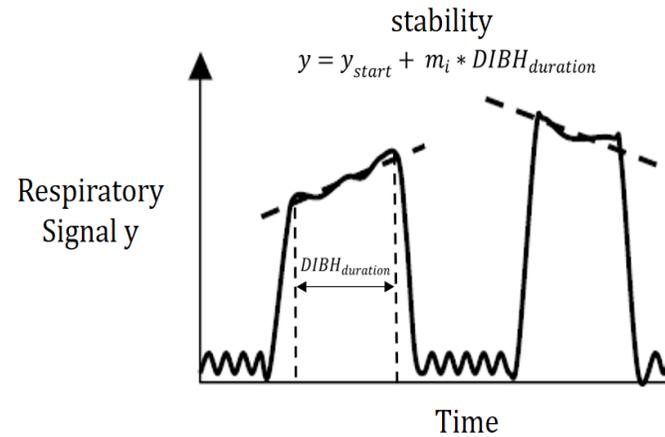
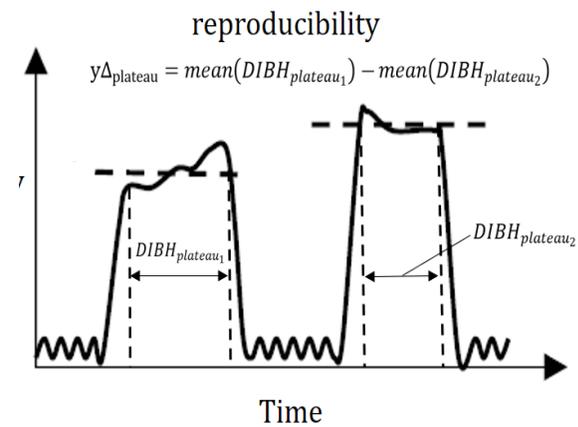
First published: 29 November 2024

<https://doi.org/10.1002/acm2.14565>

Herausforderungen

Feedback während CT Fahrt

	$y\Delta_{\text{train}}$ (mm)	$y\Delta_{\text{xray}}$ (mm)	m_{trainA} (mm / DIBH)	m_{trainB} (mm / DIBH)	m_{xray} (mm / DIBH)
Cohort-1 (n=21)	0.48 ± 0.68	0.20 ± 1.83	0.19 ± 1.76	-0.02 ± 1.31	-5.33 ± 3.68
Cohort-2 (n=19)	0.78 ± 1.24	0.33 ± 1.00	-0.54 ± 1.51	0.06 ± 1.19	-2.09 ± 2.04



SimRT in der klinischen DIBH-Anwendung

Zusammenfassung

- Einführung von Atemtraining führte zu stabilerer und reproduzierbarer DIBH
- Ein Training am CT bereitet den Patienten schon mental auf den Prozess am Beschleuniger vor
- Einführung von Atemtraining am CT führt zu Reduktion von Fehlern und tieferer Atemamplitude
- Ein schon guter DIBH Workflow wurde noch konsistenter gemacht
- Ein Zusammenspiel von SimRT & AlignRT würde die guten Systeme noch zusätzlich verbessern



SimRT in der intelligenten 4DCT – Perspektiven und Potenziale

Niklas Lackner et. al.

Strahlenklinik, Universitätsklinikum Erlangen



Friedrich-Alexander-Universität
Medizinische Fakultät

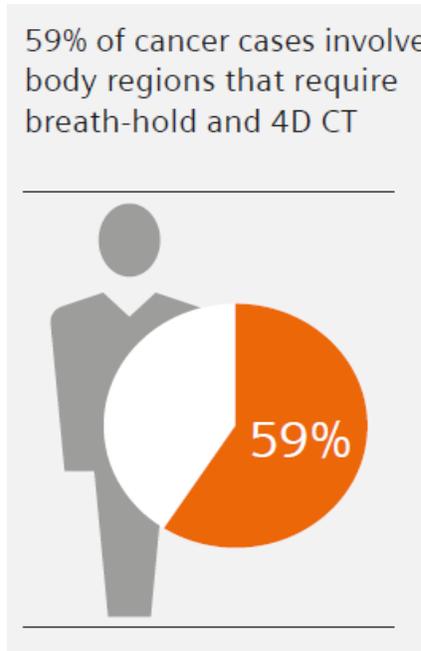


**Universitätsklinikum
Erlangen**

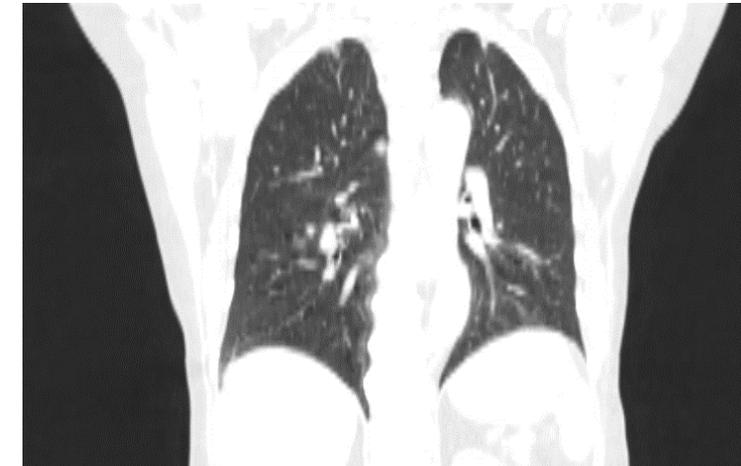


Die Rolle der 4DCT in der Strahlentherapie

- Strahlentherapie erfordert präzise Bildgebung
- Atmung als besondere Herausforderung
- 4DCT als wesentlicher Bestandteil
→ kann zur Bewegungsabschätzung genutzt werden



The future is in motion



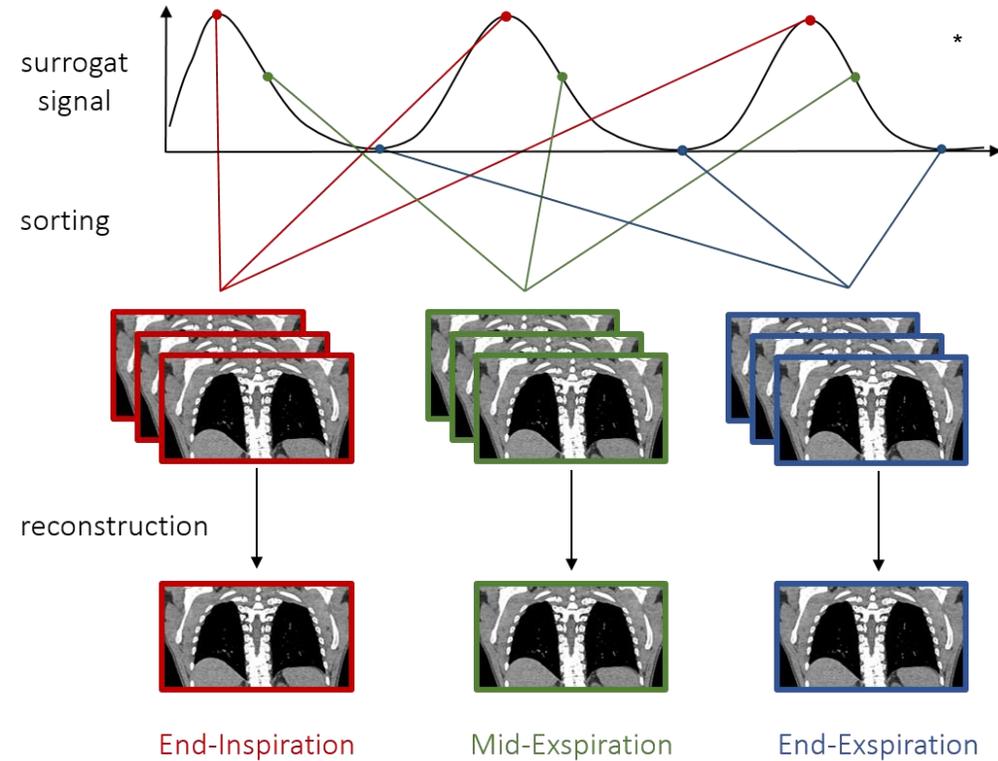
*Courtesy of Siemens Healthineers AG



4DCT

Funktionsprinzip

- Gleichzeitige Erfassung des Atemsignals und der CT-Projektionsdaten
- Retrospektive Zuordnung der Projektionsdaten zur Atemkurve

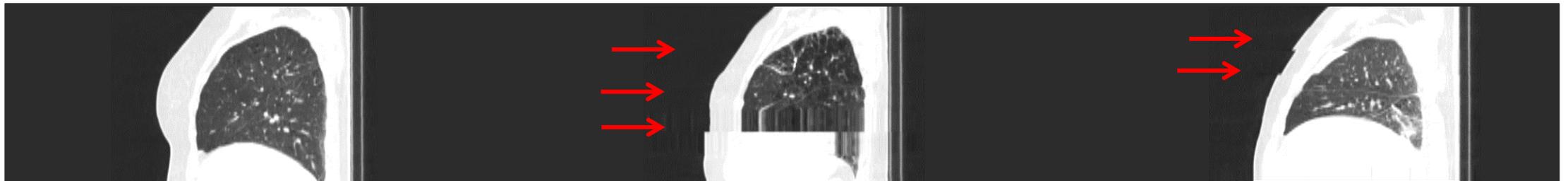
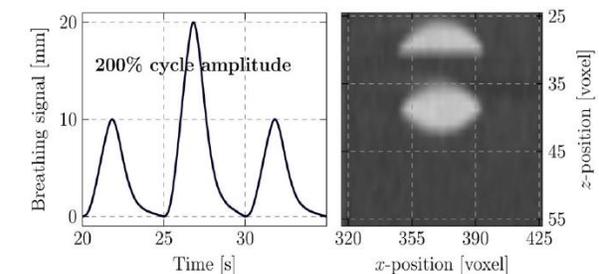
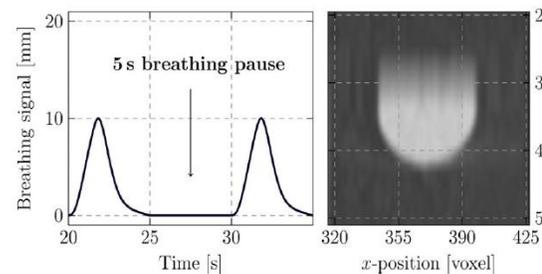
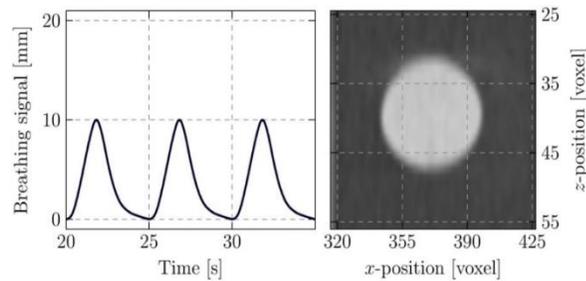


Konventionelle 4DCT Algorithmen

Annahmen

- I. **Regelmäßige Atmung** des Patienten während der Datenakquisition
- II. **Konstante Beziehung** zwischen **Atmungssignal** und **innerer anatomischer Bewegung**
- III. **Ausreichend Daten** zur Rekonstruktion definierter Atemphasen **an jeder Patientenposition**

→ **Verletzung führt zu Bewegungsartefakten**



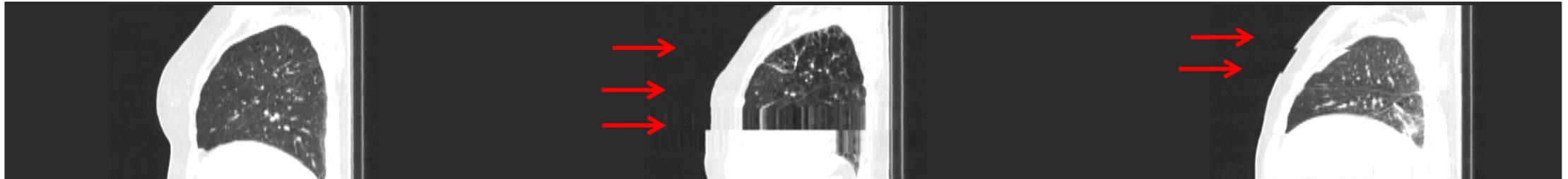
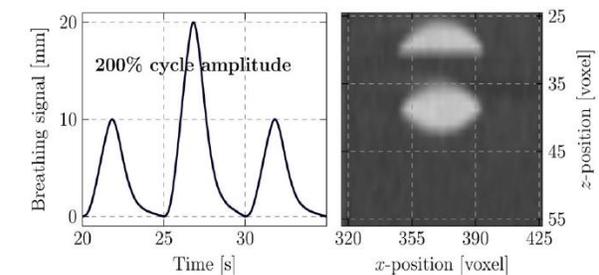
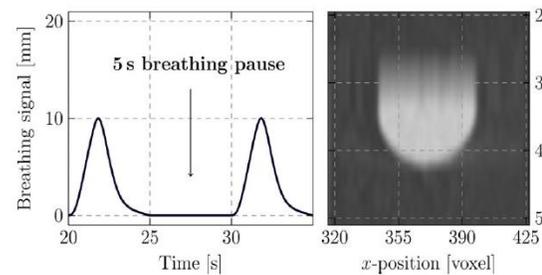
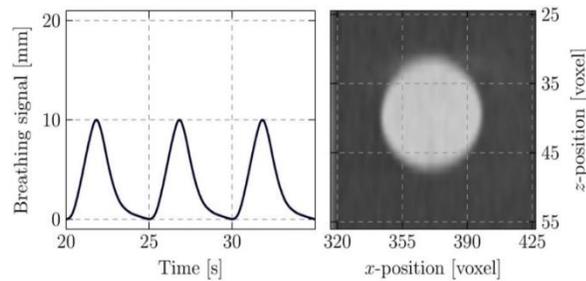
Konventionelle 4DCT Algorithmen

Annahmen

75 % der Patienten atmen unregelmäßig

- I. **Regelmäßige Atmung** des Patienten während der Datenakquisition
- II. **Konstante Beziehung** zwischen **Atmungssignal** und **innerer anatomischer Bewegung**
- III. **Ausreichend Daten** zur Rekonstruktion definierter Atemphasen **an jeder Patientenposition**

→ **Verletzung führt zu Bewegungsartefakten** → Eine Innovation für die 4DCT war längst überfällig!



Innovation! Sequenzielles Scannen mit intelligenter 4DCT (i4DCT)

Funktionsprinzip

■ FAST 4D

- Initiale Lernphase zur Erfassung des patientenspezifischen Referenz-Atemzyklus
- Automatische Anpassung der Scanparameter

■ Direct i4D

- Online-Analyse der Atemkurve
- Automatische Auswahl des Röntgentriggers
- Optimierter Rekonstruktionsalgorithmus



*Courtesy of Siemens Healthineers AG



Ziel der Studie

4DCT-Algorithmen basieren auf ...

Surrogatsystemen: z. B. infrarotbasierte Marker, Druckgurte, Spirometrie ...

i4DCT-Einschränkung:

→ **Aktuell unterstützte Surrogatsysteme: RGSC / Anzai**

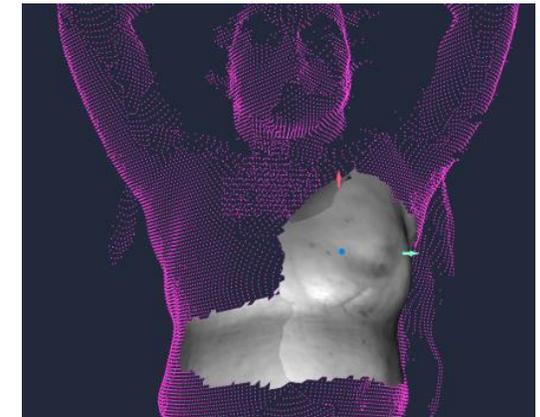


Zielsetzung

Bewertung der Anwendbarkeit eines zusätzlichen Surrogatsystems: SGRT

- Einfluss der Atemkurvengenauigkeit auf die 4DCT-Bildqualität
- Effekt der Latenz auf die Bildqualität
- Validierung an Phantom- und Patientendaten

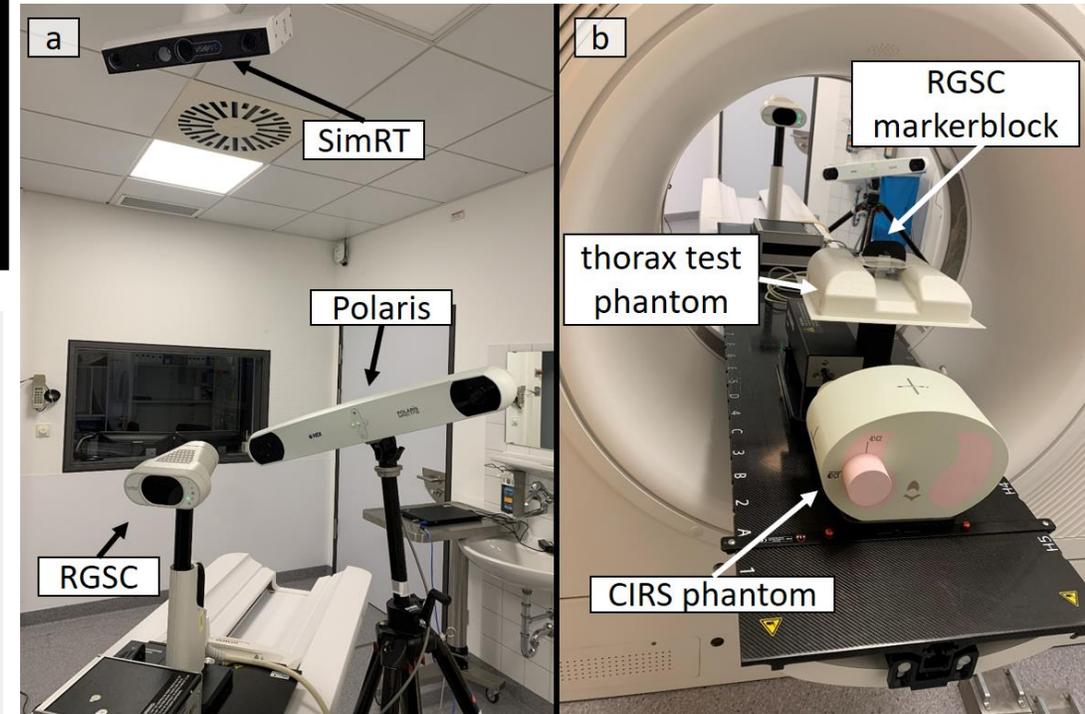
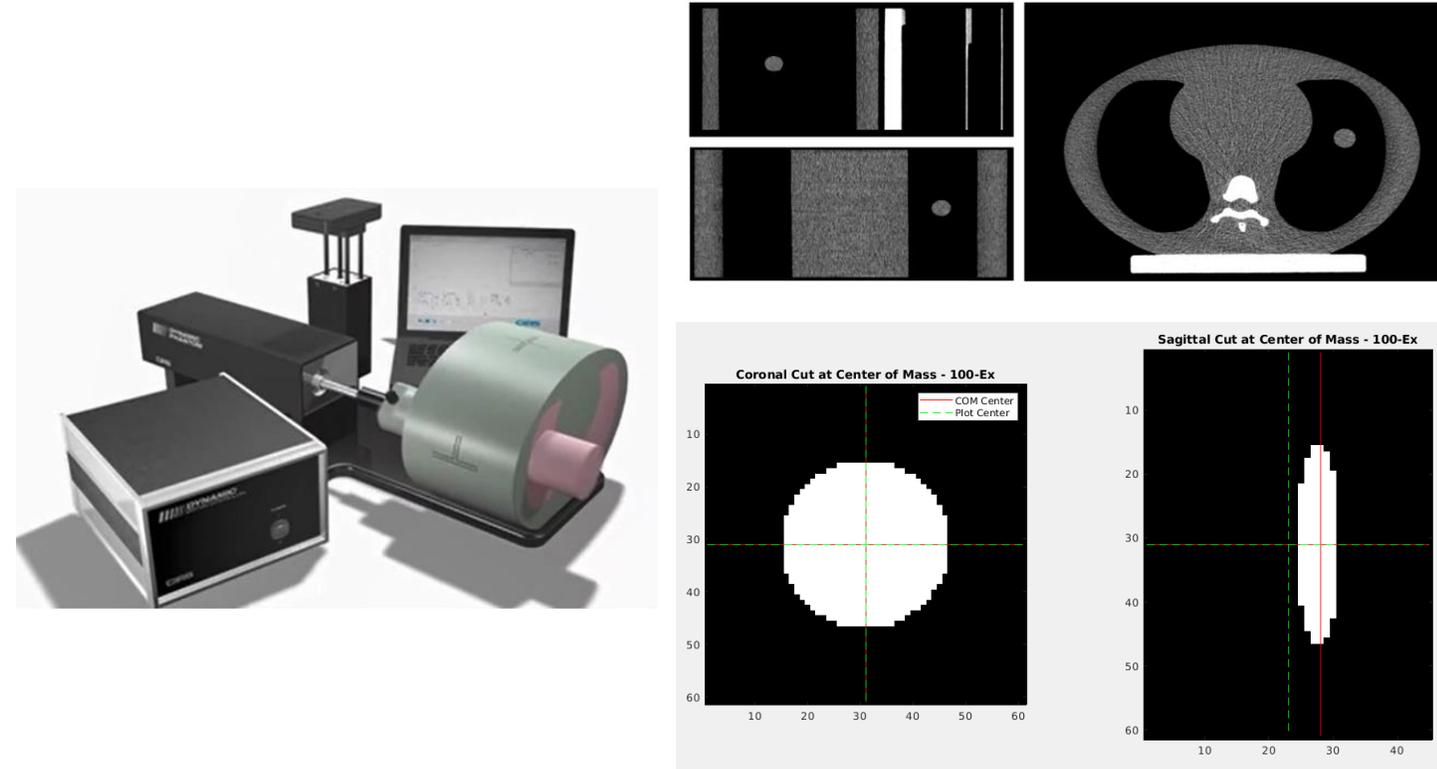
→ **SGRT: einfacherer Workflow, markerless!**



visionrt

Materialien & Methoden

Phantommessungen



Resultate

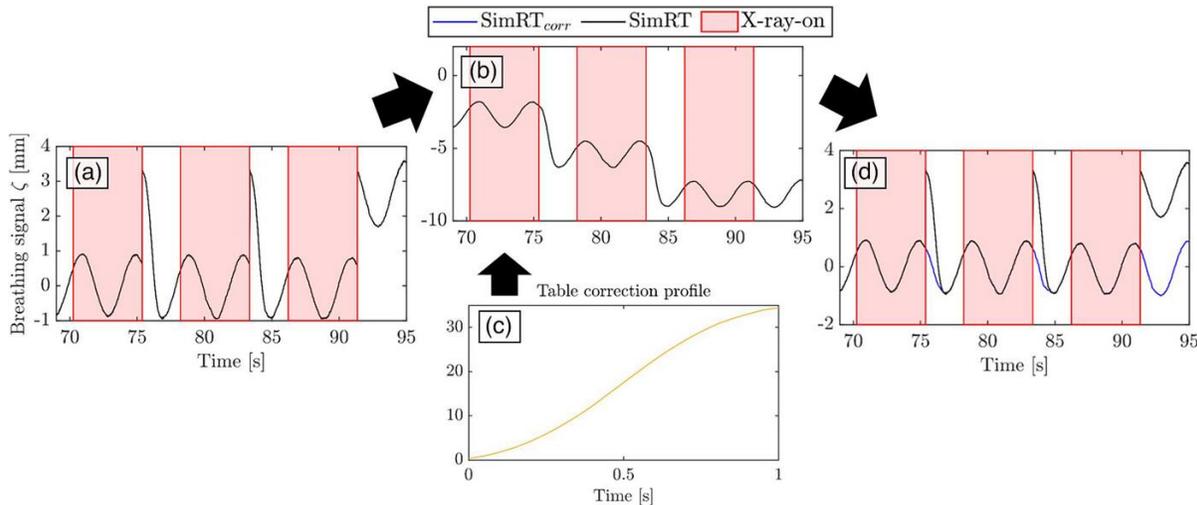
Technische Machbarkeitsstudie

Exploring surface-guided systems for intelligent breathing-adapted four-dimensional computed tomography: A comparison to infrared-based reflective marker systems

Niklas Lackner , Andre Karius, Rainer Fietkau, Christoph Bert, Juliane Szkitsak

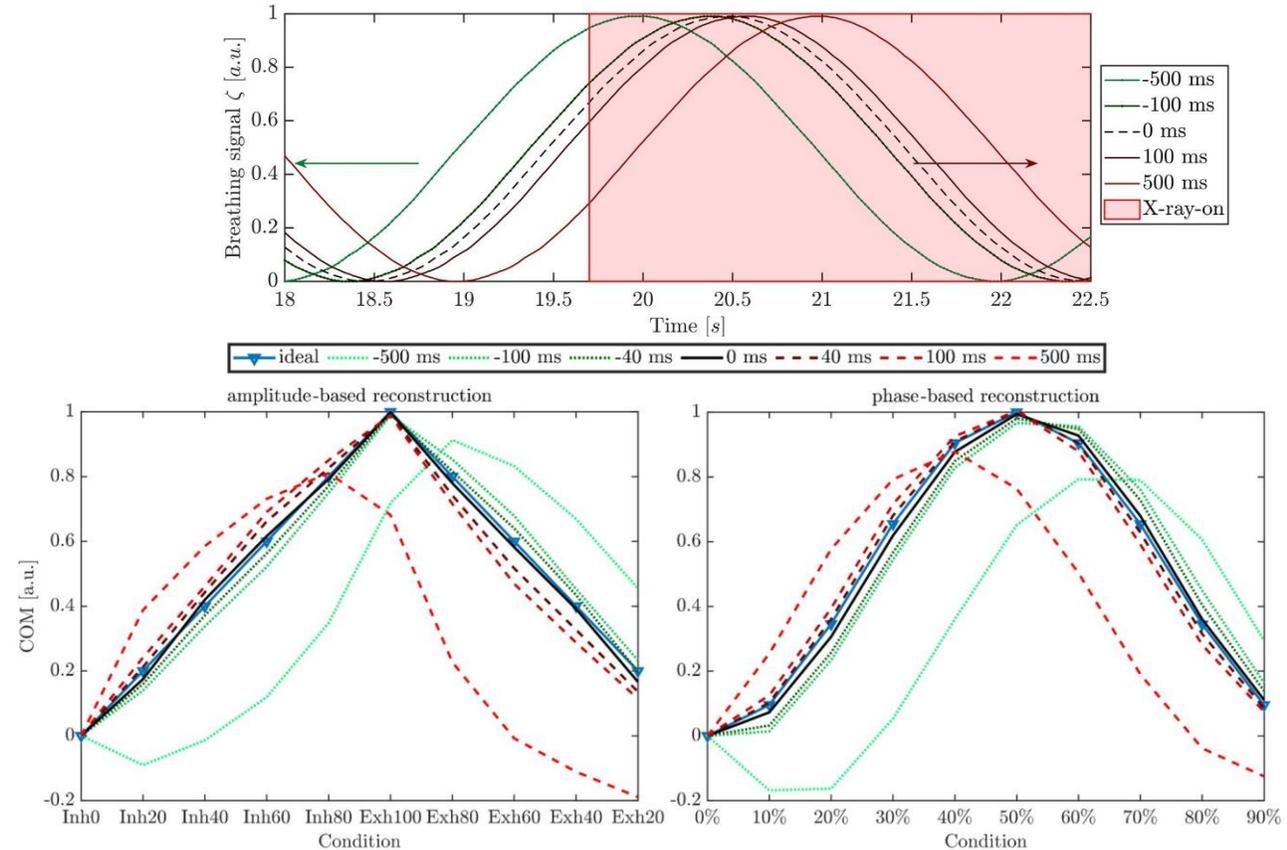
Zwei Dinge waren entscheiden...

1) Eine effektive Tischbewegungskorrektur



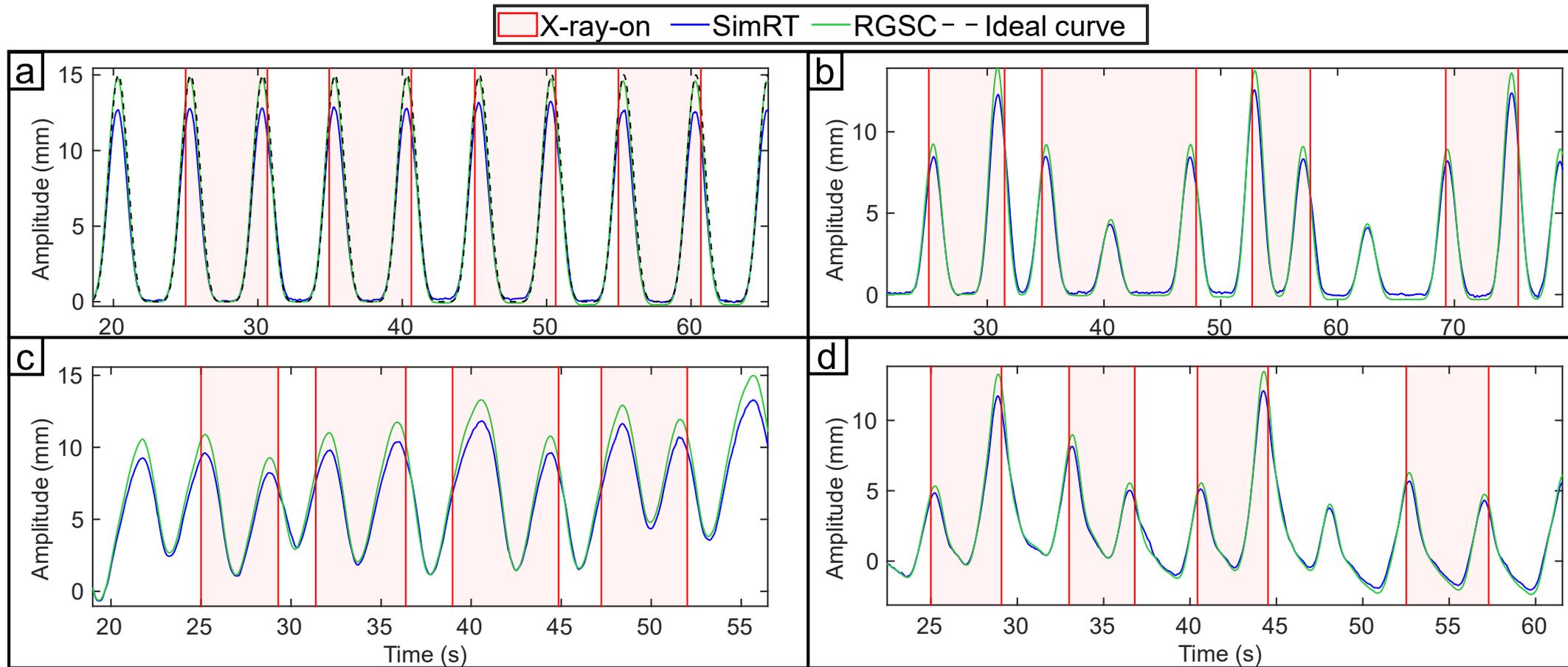
Latenz

Zeitliche Verzögerung zwischen dem tatsächlichen Ereignis und seiner Messung mittels eines Surrogatsignals



Resultate

Prototyp-Studie: Phantommessungen - Atemkurven

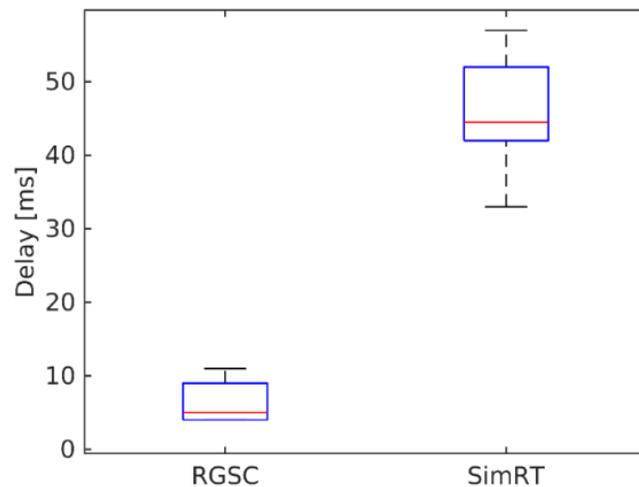


Resultate

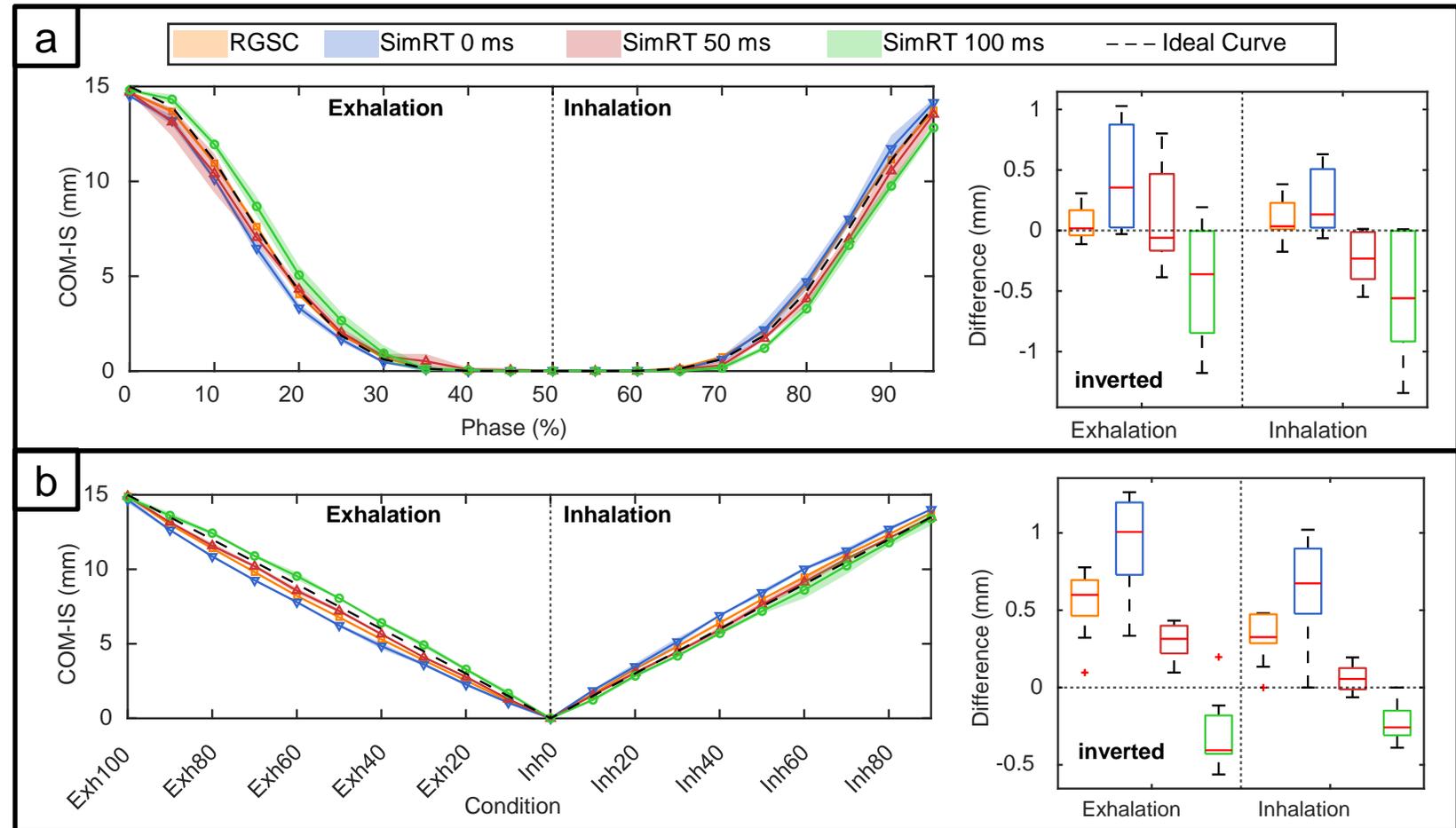
Prototyp-Studie: Vorhersage Algorithmen zur Bekämpfung von Latenz

Absolute Latenzen:

- **SimRT:** ~ 60 ms
- **RGSC:** ~ 23 ms
- **Polaris:** ~ 16 ms



12 BPM/15 mm



Zusammenfassung

- **Sehr gute Übereinstimmung der Atemkurven zwischen Systemen***
 - **IR-Marker-Systeme etwas schneller (~40 ms) als SGRT**
 - **Bildqualität vergleichbar – Latenz kompensierbar**
- **SGRT ist eine vielversprechende markerlose Alternative für i4DCT**

*nach Tischbewegungskorrektur



Thank you!



Contact:

Niklas Lackner

Niklas.Lackner@uk-Erlangen.de

