

Intrafraktionelle IGRT-Protokolle bei der Stereotaxie der Prostata

Peter Winkler

Univ. Klinik für Strahlentherapie-Radioonkologie Graz

Stereotaxiesymposium Graz
6. Februar 2026

Inhalt

- Anforderungen an IGRT-Protokolle bei der SBRT der Prostata
- Intrafraktionelle Bewegungsmuster der Prostata
- Konzept für intrafraktionelle IGRT
- Datenanalyse:
 - Zeitlicher Ablauf *IGRT* → *Beam on*
 - Analyse der Unterbrechungen laufender beams
- Analyse der winkelabhängigen Detektierbarkeit von Bewegungen

IGRT Protokolle sollten die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Hohe Präzision in der Positionierung der PTV
- Möglichkeit zur Beurteilung der Füllungszustände der Hohlorgane
- Kurze Zeitdauer zwischen Bildgebung/Positionierung und Bestrahlung
- Positionskontrolle während der laufenden Bestrahlung, idealerweise „intra-beam“

Strahlenther Onkol (2020) 196:421–443
<https://doi.org/10.1007/s00066-020-01583-2>

REVIEW ARTICLE

Technological quality requirements for stereotactic radiotherapy

Expert review group consensus from the DGMP Working Group for Physics and Technology in Stereotactic Radiotherapy

Daniela Schmitt¹  · Oliver Blanck² · Tobias Gauer³ · Michael K. Fix⁴ · Thomas B. Brunner⁵ · Jens Fleckenstein⁶ · Britta Loutfi-Krauss⁷ · Peter Manser⁴ · Rene Werner⁸ · Maria-Lisa Wilhelm⁹ · Wolfgang W. Baus¹⁰ · Christos Moustakis¹¹

Patient positioning and target volume localization

The optimal image-guidance strategy (...) needs to consider the following principles:

- in cases of target motion relative to the bony anatomy, image-guidance requires **volumetric imaging with or without implanted fiducial markers or electromagnetic transponders or requires stereoscopic X-ray imaging of the target itself or of implanted fiducial markers as target surrogate.**
- in cases at risk of serial OAR motion into areas of critical radiation doses, volumetric image guidance is recommended.

Strahlenther Onkol (2020) 196:421–443
<https://doi.org/10.1007/s00066-020-01583-2>

REVIEW ARTICLE

Technological quality requirements for stereotactic radiotherapy

Expert review group consensus from the DGMP Working Group for Physics and Technology in Stereotactic Radiotherapy

Daniela Schmitt¹  · Oliver Blanck² · Tobias Gauer³ · Michael K. Fix⁴ · Thomas B. Brunner⁵ · Jens Fleckenstein⁶ · Britta Loutfi-Krauss⁷ · Peter Manser⁴ · Rene Werner⁸ · Maria-Lisa Wilhelm⁹ · Wolfgang W. Baus¹⁰ · Christos Moustakis¹¹

(...) we strongly recommend to **define an institutional maximum time delay** between setup verification image acquisition and start of treatment for all treatment sites, with a time delay **as short as possible**.

To meet the accuracy requirements for stereotactic radiotherapy, this time delay **should not exceed 5min for most treatment sites**.

***HypoFocal* Studienprotokoll:**

6.6.5.1.1 IGRT-protocol for SBRT-patients with fiducials

The matching should be performed considering the position of the fiducials and not based on the bony structures.

It is mandatory to perform 3D imaging (cone-beam CT, MV-CT or MR-images) for the first three fractions to account for differences in bladder and bowel fillings or differences in the position of seminal vesicles. The subsequent fractions can be performed under 2D/2D kV-imaging guidance. However, it is mandatory to perform at least one 3D image for image guidance per week. If there are shifts >10 mm in 2D/2D kV-imaging, 3D imaging pre-treatment is mandatory.

If the treatment time is longer than 2 minutes (78) it is mandatory to perform intrafractional position verification and correction of the fiducials` position.

Original article

Strahlenther Onkol 2013 · 189:321–328

DOI 10.1007/s00066-012-0303-0

Received: 8 September 2012

Accepted: 20 December 2012

Published online: 28. Februar 2013

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

T. Langsenlehner¹ · C. Döllner¹ · P. Winkler¹ · G. Gallé² · K.S. Kapp¹

¹ Department of Therapeutic Radiology and Oncology, Medical University of Graz

² Department of Urology, Medical University of Graz

Impact of inter- and intrafraction deviations and residual set-up errors on PTV margins

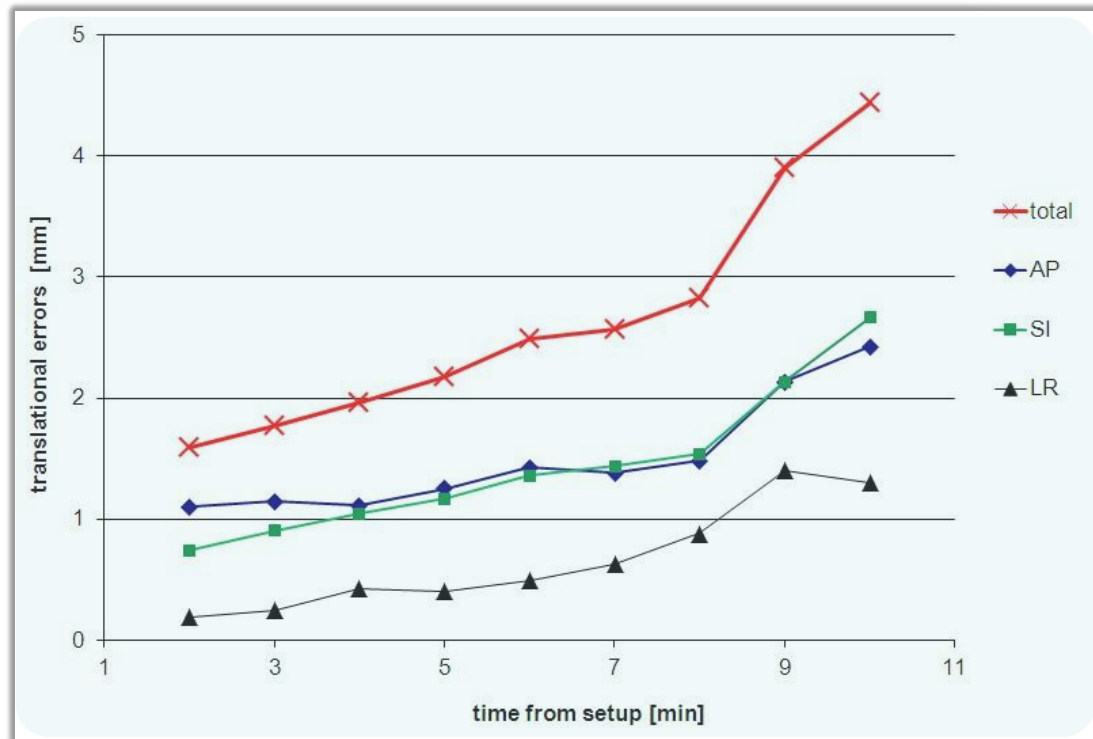


Fig. 3 ◀ Mean intrafractional errors as a function of treatment time.

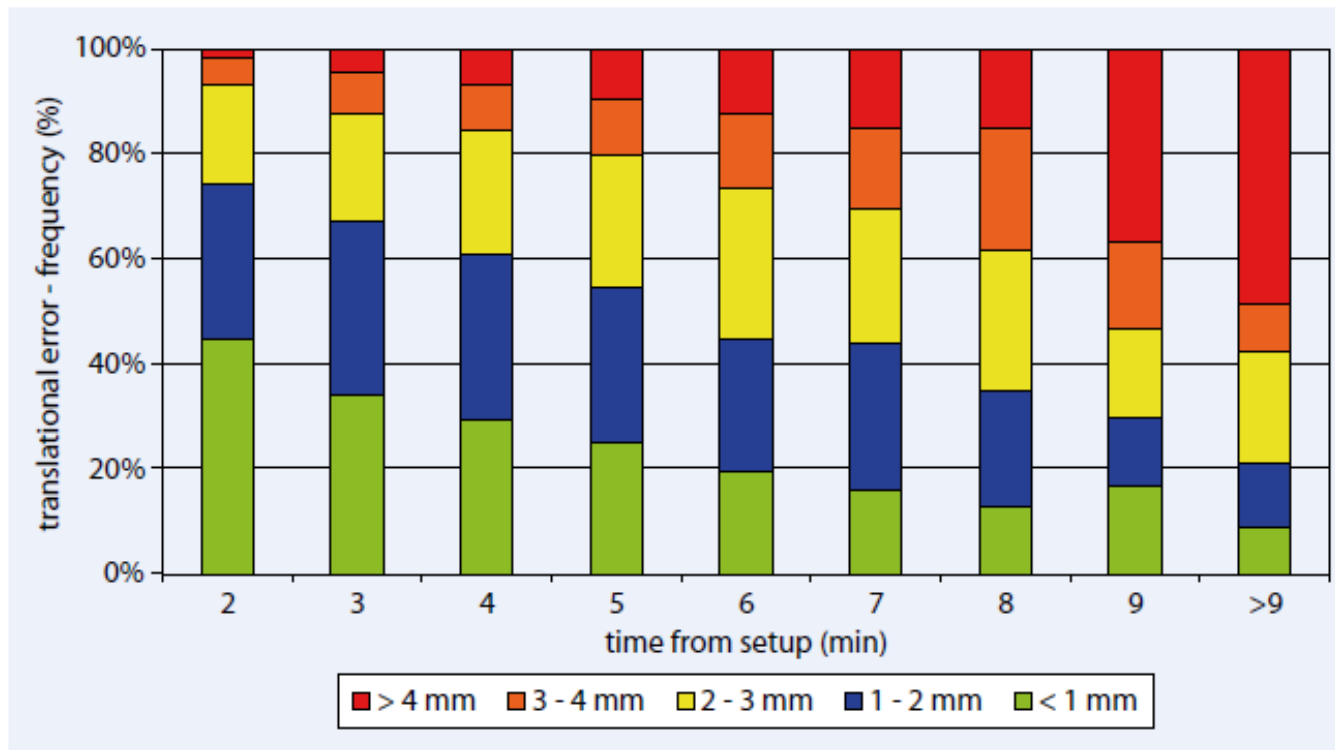
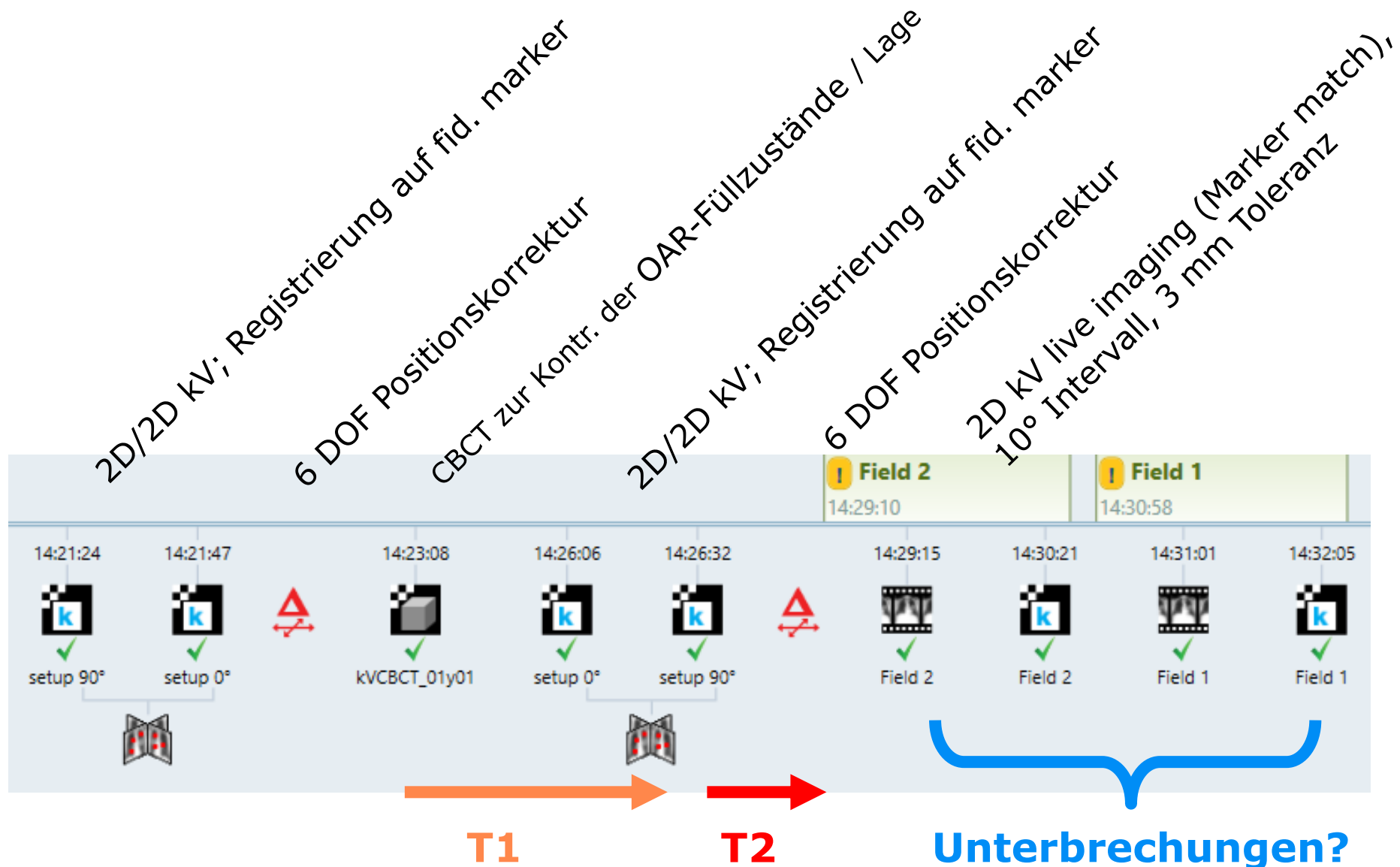


Fig. 2 ▲ Frequency of total intrafractional errors as a function of treatment time (i.e., time from completion of the implanted marker-based set-up to acquisition of the in-treatment MV image)

Zeitdauer zwischen imaging und beam-on für Prostata-SBRT:
Zielwert: < 3min?

IGRT-Konzept



- 24 Patienten (PACE, HypoFocal), 120 Fx zwischen 02/25 und 12/25
- Zeitintervall **T1**: CBCT → Positionierungs-kV:
Dauer der Aufnahme und Bewertung der CBCT
 3.87 ± 1.84 min + 20s für Markermatch & Tischkorr. (*Annahme*)
- Zeitintervall **T2**: Positionierungs-kV → Beam-on
 2.40 ± 1.08 min

Tab: Zeitintervall Imaging → Beam-on: CBCT vs. 2D/2D

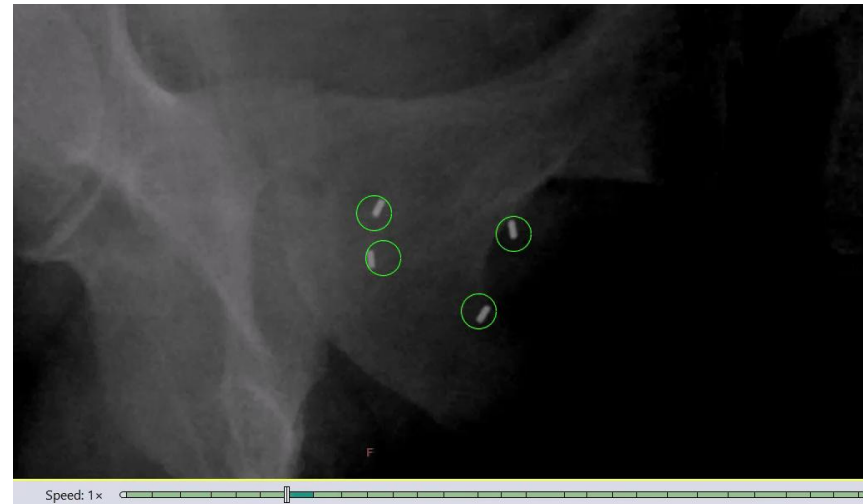
	Sitzung 1	2	3	4	5	MW ± SD
T1 „CBCT“	4,5	3,9	4,5	3,6	4,4	4,2 ± 1,8
T2 „2D/2D“	2,3	2,5	2,5	2,4	2,3	2,4 ± 1,1

→ Durch die Re-Positionierung auf Basis der 2D/2D
Bildgebung verkürzt sich die Dauer um **108 Sekunden!**

Ergebnisse II

- 24 Patienten, 120 Fx zwischen 02/25 und 12/25
- 2D kV live imaging

Marker match
10° Intervall
3 mm Toleranz



Tab: Strahlunterbrechungen aufgrund detektierter intra-fraktioneller Bewegung [%]

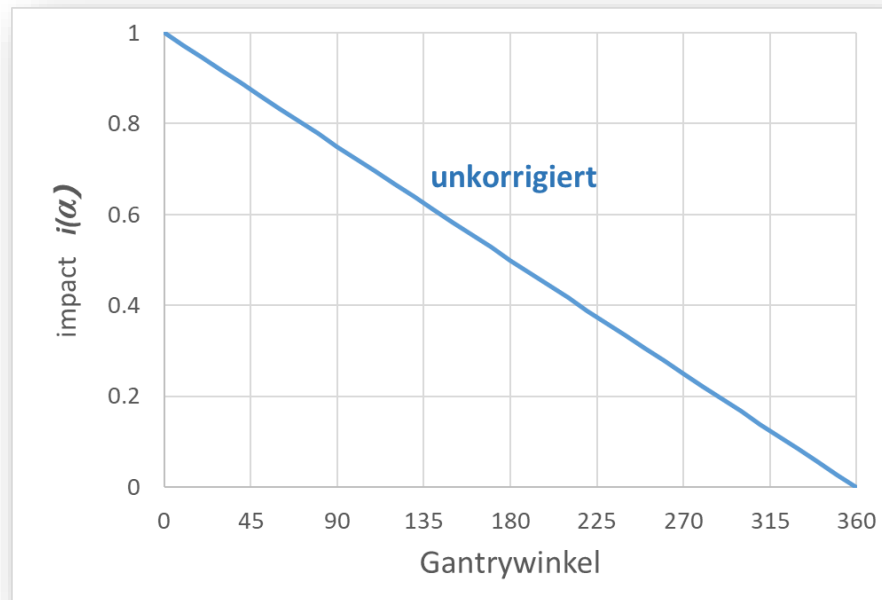
	Sitzung 1	2	3	4	5	gesamt [%]
ohne Neupos.	8	21	21	13	8	14
mit Neupos.	25	17	17	17	17	18
gesamt	33	38	38	30	25	32



Wie „gut“ (schnell, exakt) erkenne ich eine Bewegung während der laufenden Bestrahlung durch ein bestimmtes IGRT-Verfahren?

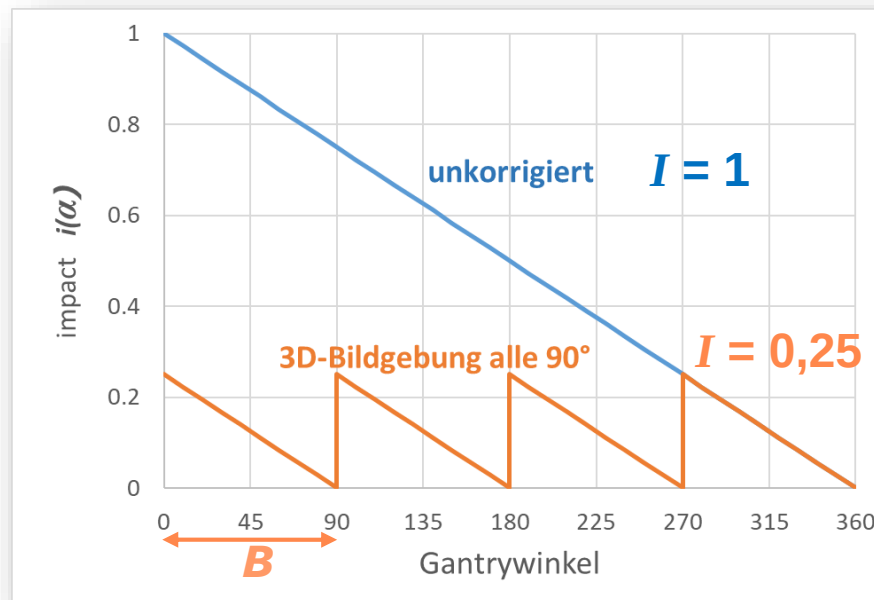
$i(\alpha)$...winkelabhängiger *impact* einer Bewegung auf die Treffgenauigkeit:
abhängig von der Intervallbreite **B** bis zur nächsten Positionskontrolle
(bzw. Ende des Feldes) bei einem Gesamtwinkelbereich GW

$$i(\alpha) = \frac{B - \alpha}{GW} \quad 0 \leq i \leq 1$$



$i(\alpha)$...winkelabhängiger *impact* einer Bewegung auf die Treffgenauigkeit:
abhängig von der Intervallbreite **B** bis zur nächsten Positionskontrolle
(bzw. Ende des Feldes) bei einem Gesamtwinkelbereich GW

$$i(\alpha) = \frac{B - \alpha}{GW} \quad 0 \leq i \leq 1$$

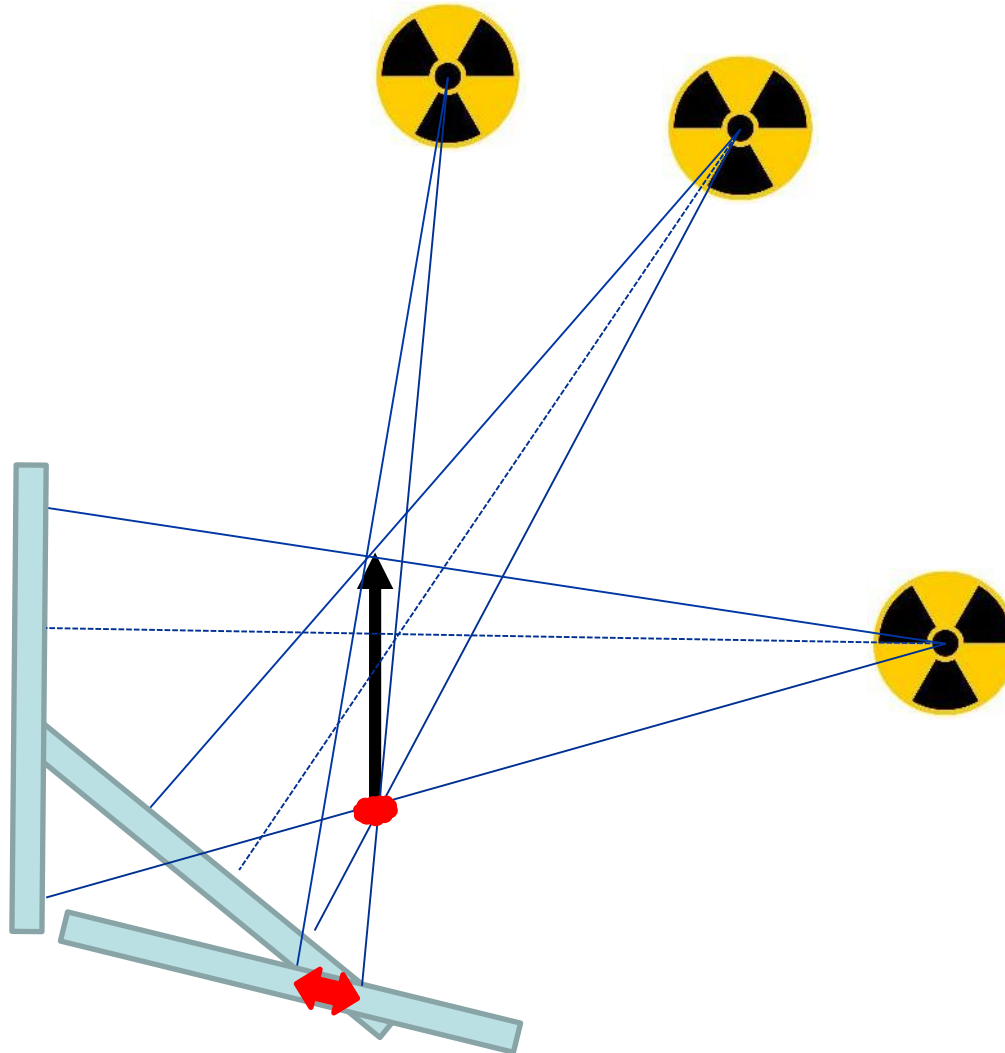


10° Intervall: $I = 0.03$

Isummierter *impact* als Maß für die Anfälligkeit einer Bestrahlung für
Positionierungsfehler:

$$I = \frac{2}{N} \cdot \sum_{\alpha} i(\alpha)$$

Winkelabhängigkeit der Detektion von Bewegungen



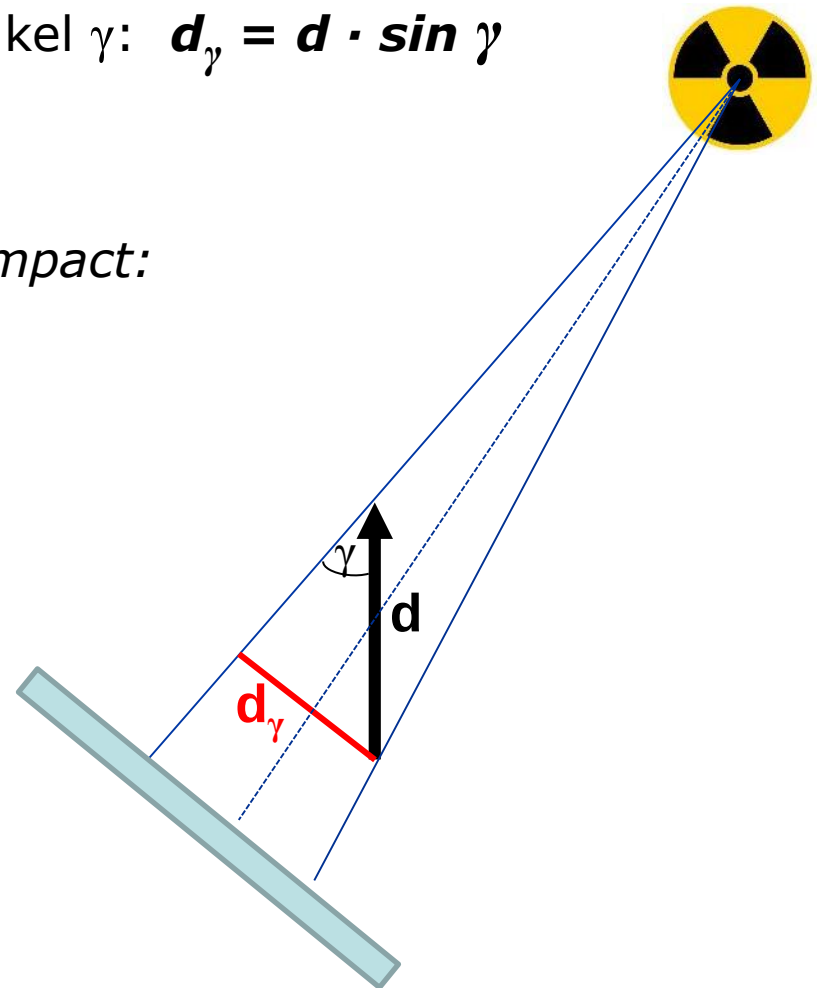
Bsp.: Intrafraktionelle vertikale Bewegung ***d***

Projektion unter einem Aufnahmewinkel γ : ***$d_\gamma = d \cdot \sin \gamma$***

Winkel- und projektionsabhängiger *impact*:

$$i^*(\alpha, \gamma) = \frac{B - \alpha * \sin \gamma}{GW}$$

αWinkelsegment seit der letzten Kontrolle
 γProjektionswinkel der nächsten Aufnahme
 BIntervallbreite
 GW ...Gesamtwinkel des Rotationsfeldes



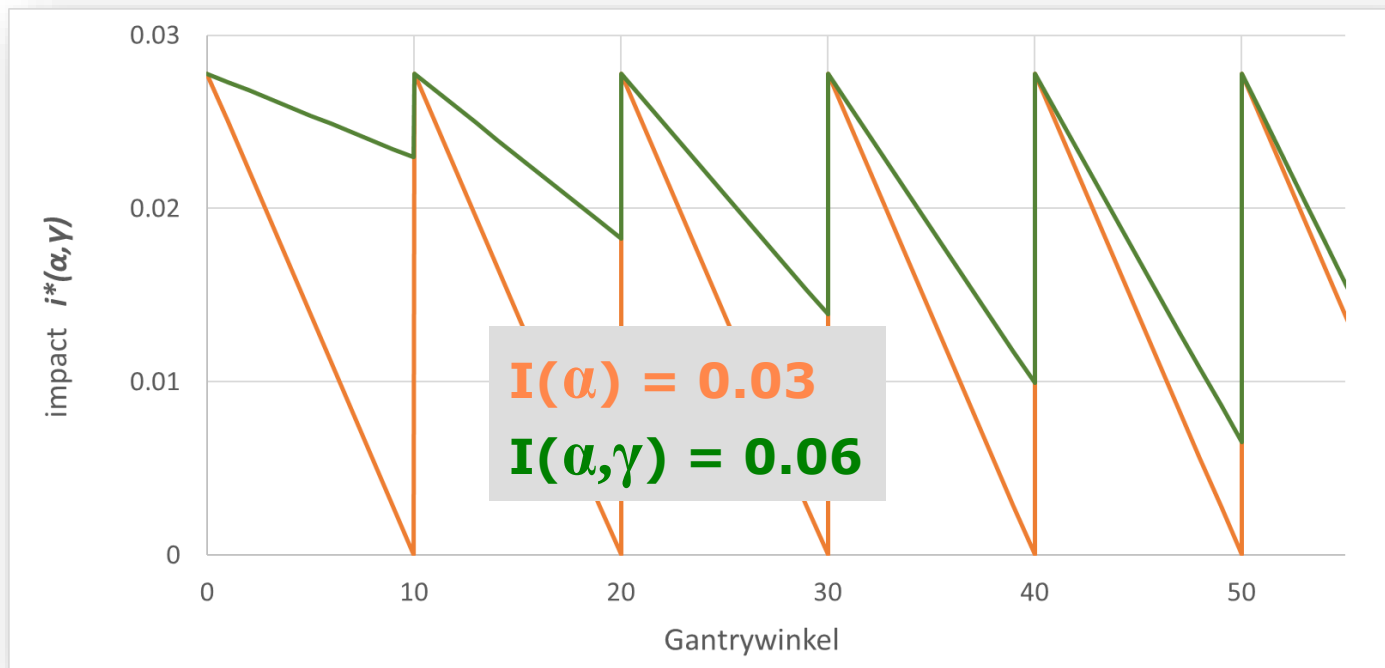
Winkelabhängigkeit der Detektion von Bewegungen

Bsp.: 360° Rotationsfeld

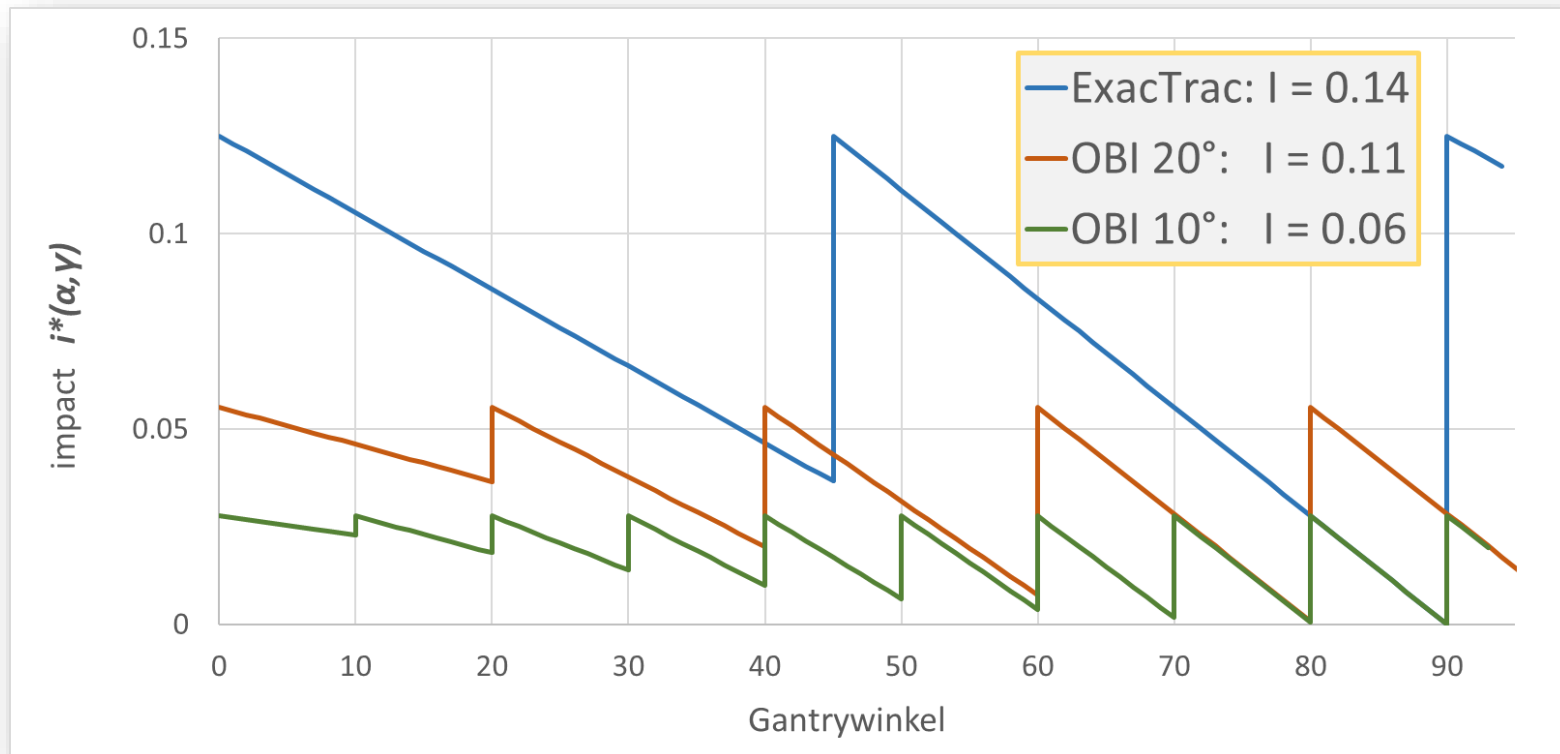
2D-Aufnahme alle 10°

Detektion einer intrafraktionellen vertikalen Bewegung ***d***

mit / **ohne** Berücksichtigung des Projektionswinkels



→ Vergleich unterschiedlicher IGRT-Protokolle



Anforderungen an die IGRT bei der SBRT der Prostata:

- Kurze Zeitdauer zwischen Bildgebung und Bestrahlung:
 - *mit 2D-Bildgebung leichter zu realisieren als mit CBCT*

- Positionskontrolle während der laufenden Bestrahlung:
 - *Sinnvoll, da intrafraktionelle Bewegungen auch innerhalb weniger Minuten auftreten;*
 - *Projektionswinkelabhängigkeit ist zu berücksichtigen;*

Danke!

Andreas Apfalter, Thomas Brunner, Eva Haas, Thomas Konrad,
Tanja Langsenlehner, Zoltan Lócsei, Kerstin Schreilechner



© Graz Tourismus – Harry Schiffer

peter.winkler@medunigraz.at