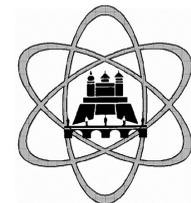




IMRT und Patientenbewegung

Klaus Bratengeier

Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie



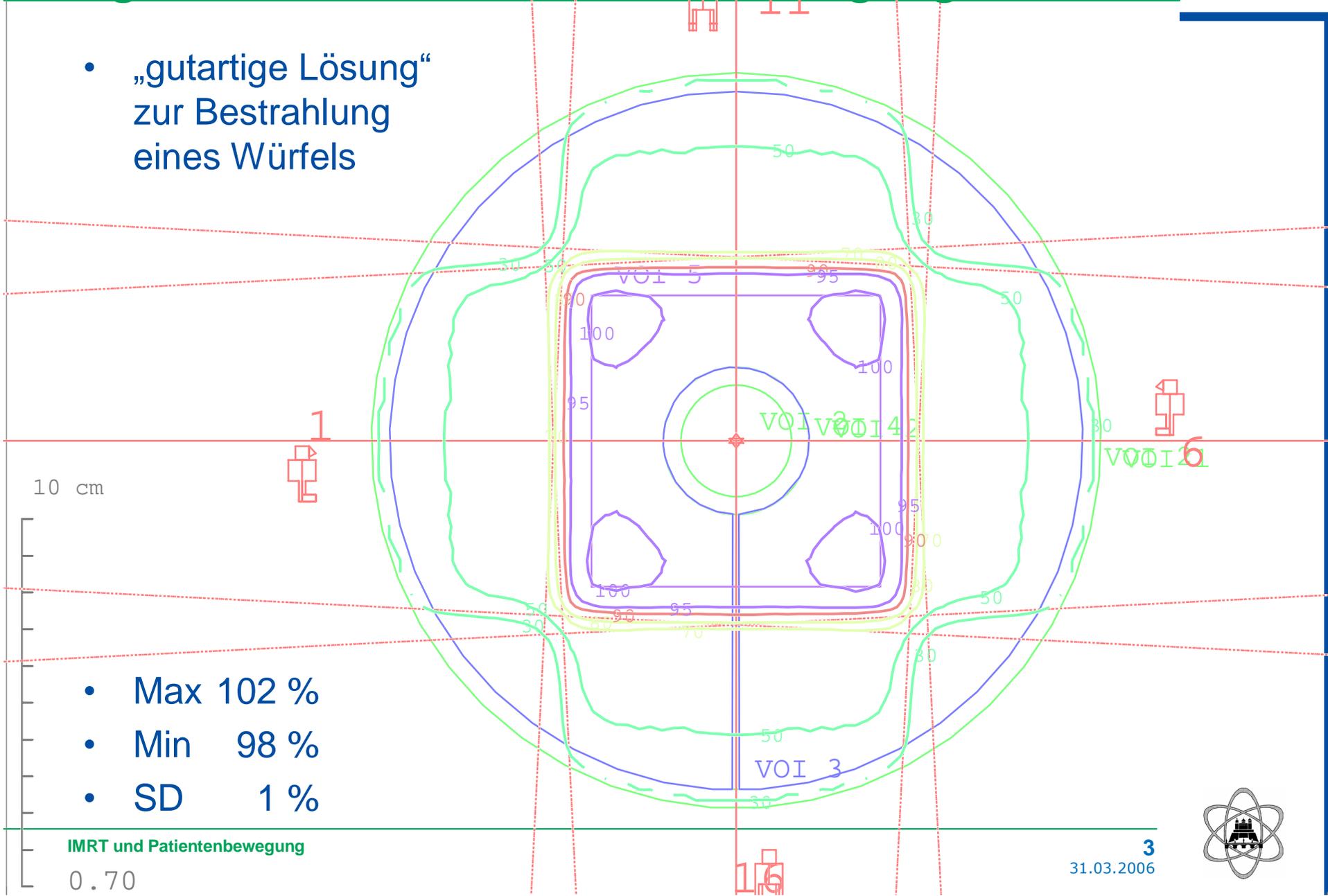
IMRT und Patientenbewegung **Schwerpunkt: intra-fraktionär**

- Die Problematik
- Literatur: Untersuchungen zum Einfluss von Bewegungen
- Literatur: Lösungsansätze und Hilfsmittel



Algorithmus / intrafraktionäre Bewegung

- „gutartige Lösung“ zur Bestrahlung eines Würfels

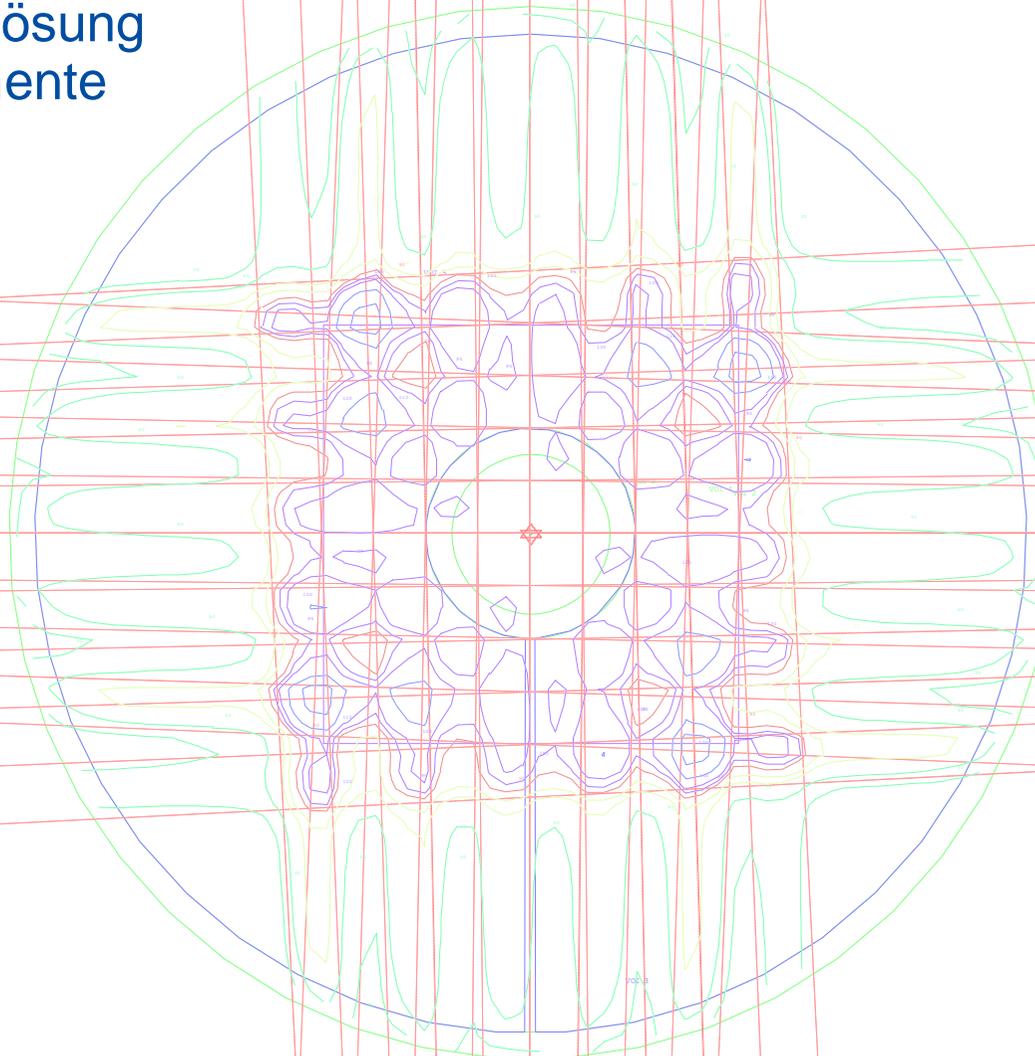


- Max 102 %
- Min 98 %
- SD 1 %



Algorithmus / intrafraktionäre Bewegung

- „böartige“ Lösung
1 cm - Segmente
fingerartig
ineinander
verzahnt



- Max 126 %
- Min 76 %
- SD 7 %

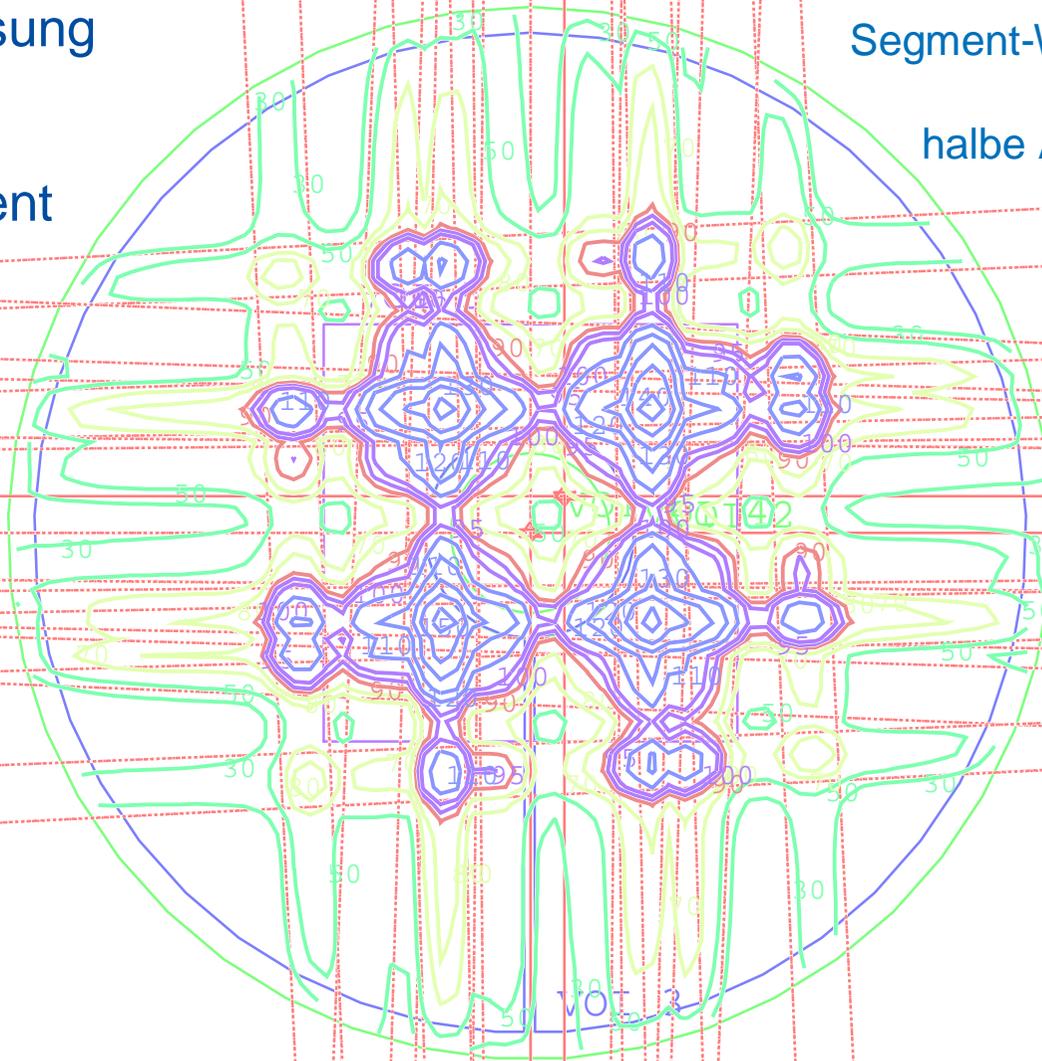


Algorithmus / intrafraktionäre Bewegung

/ 13

- „böartige“ Lösung
- verschoben
1 cm diagonal
jedes 2 Segment

Segment-Wechselphase
≈
halbe Atemphase



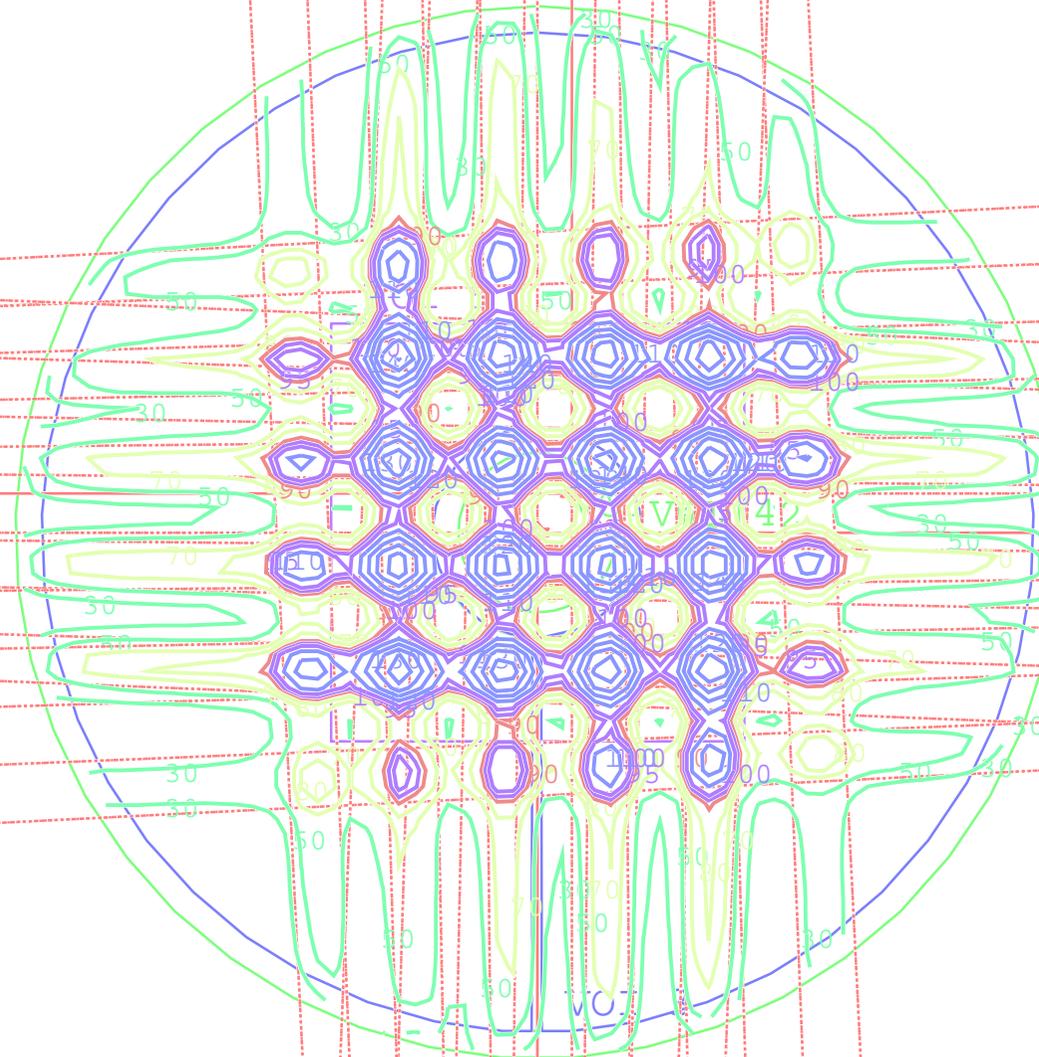
10 cm

- Max 162 %
- Min 42 %
- SD 25 %



Algorithmus / intrafraktionäre Bewegung

- „böartige“ Lösung
- verschoben
1 cm diagonal
blockweise



10 cm

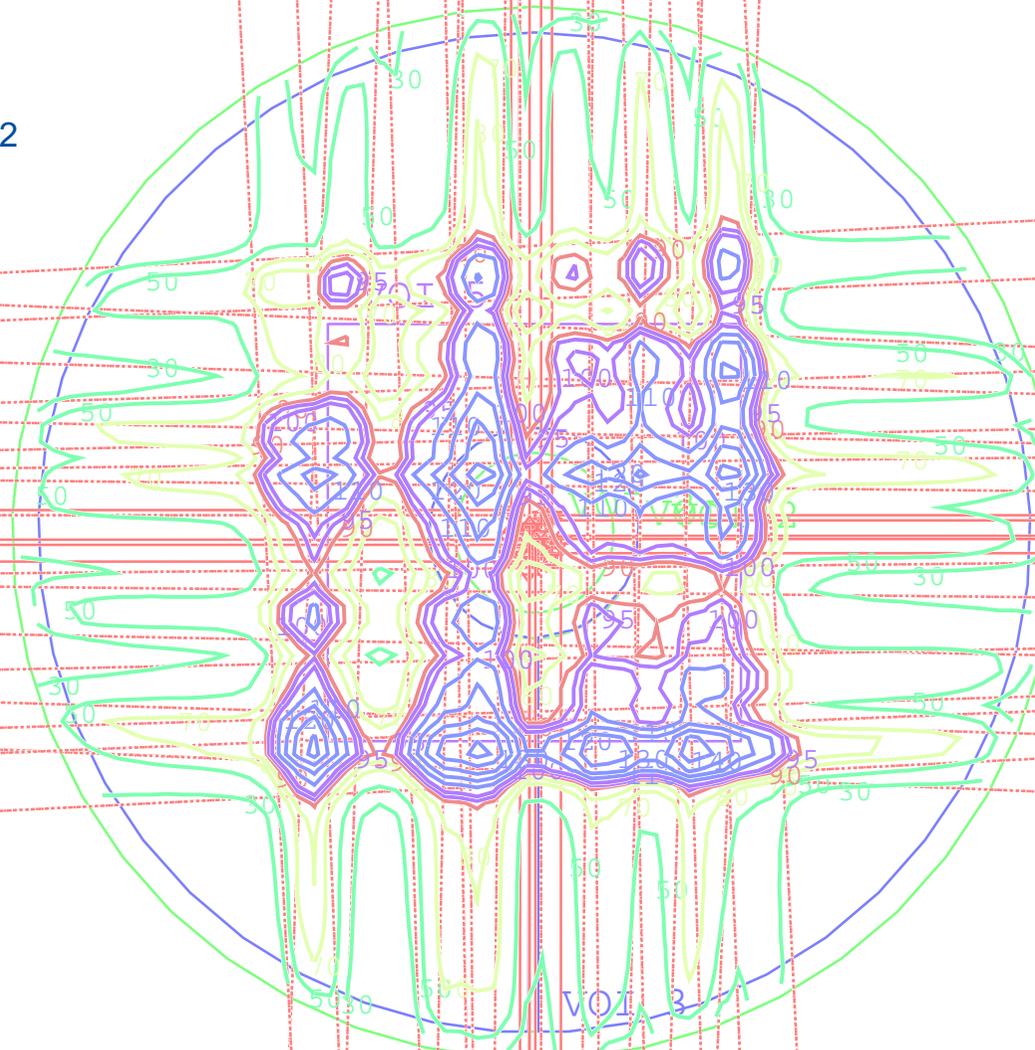
- Max 155 %
- Min 47 %
- SD 26 %

0.70



Algorithmus / intrafraktionäre Bewegung

- „böartige“ Lösung
- verschoben
gestreut über 1 cm²

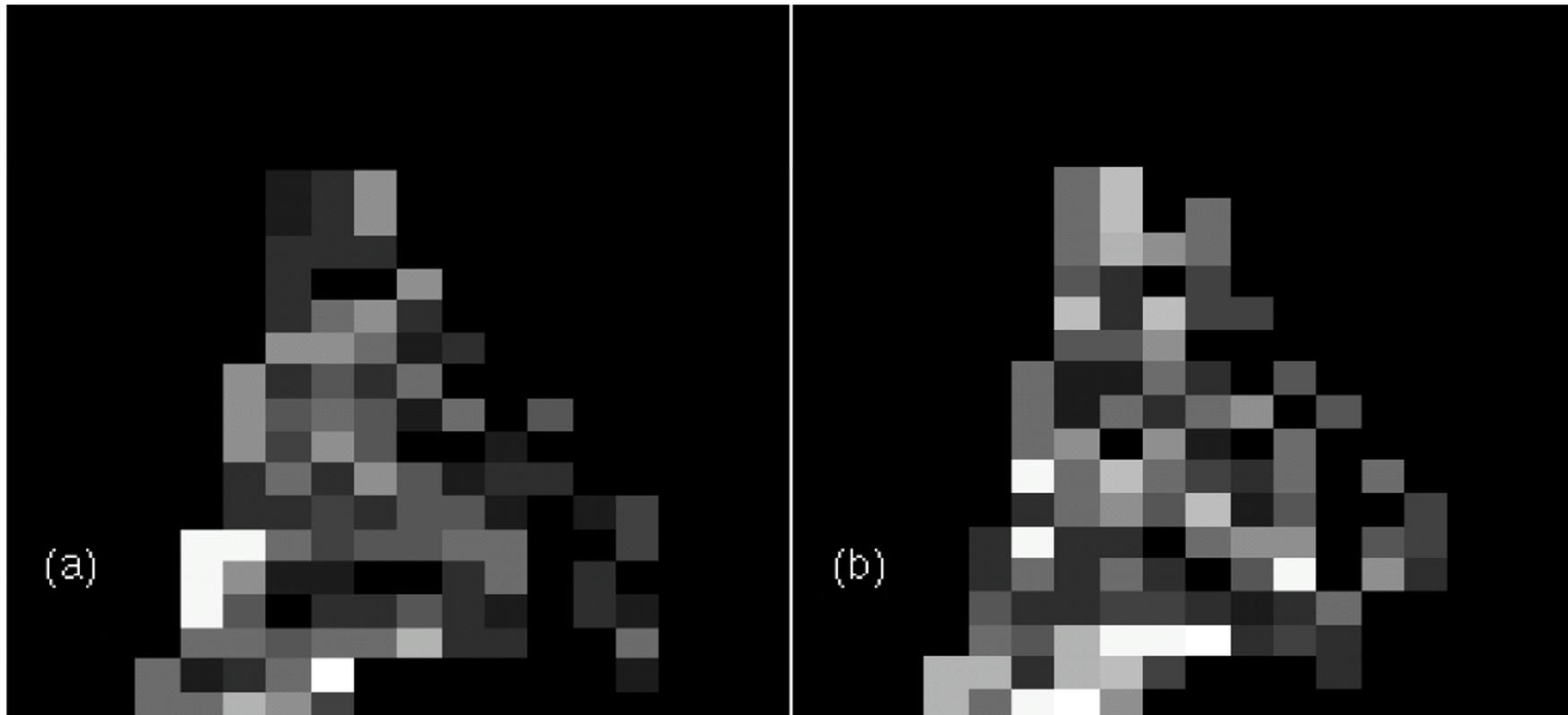


- Max 154 %
- Min 45 %
- SD 19 %



Degenerierte Optimierungslösungen

- Degeneracy in IMRT Optimization [Llacer 2004]



- Glättungsverfahren?
Superposition?
A priori „unverrauschte“ Lösungen?

IMRT und Intra-fraktionäre Bewegung (1)

- [Schaefer 2004]:
 Zyklische Bewegung
 12/min und 16/min,
 alle Felder
 eine Fraktion akkumuliert
 Messung an mehreren (18)
 Punkten
 Abweichung
 vom statischen Fall
 zwischen
 +5,5% und -3,5%

Jedoch:
 Kein Fall mit besonders
 hohen
 Anforderungen an die
 Fluenzverteilung

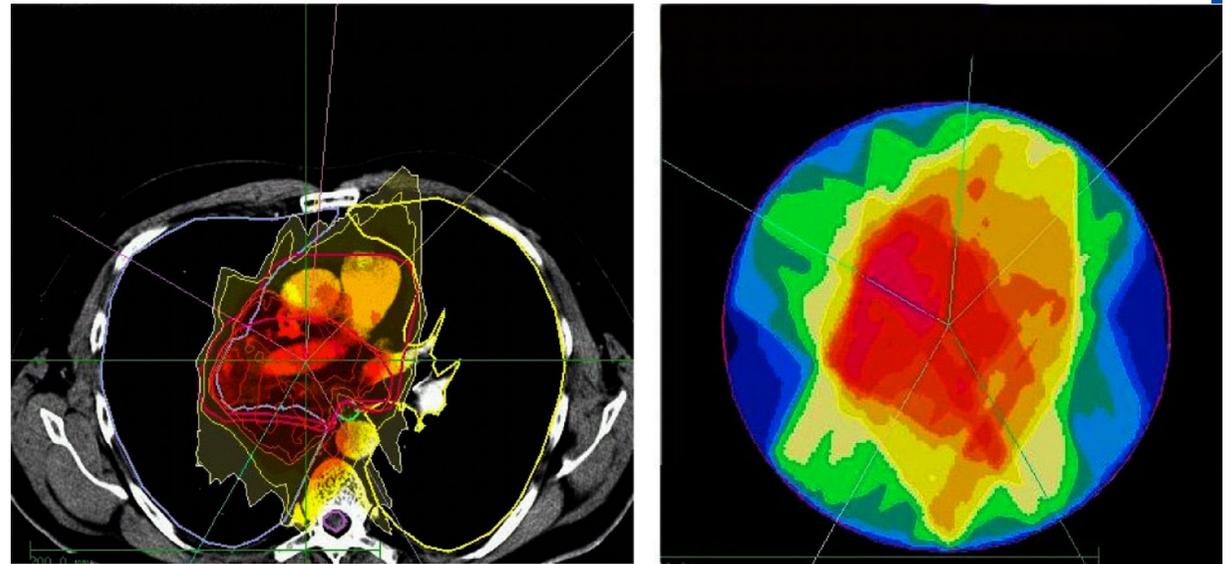
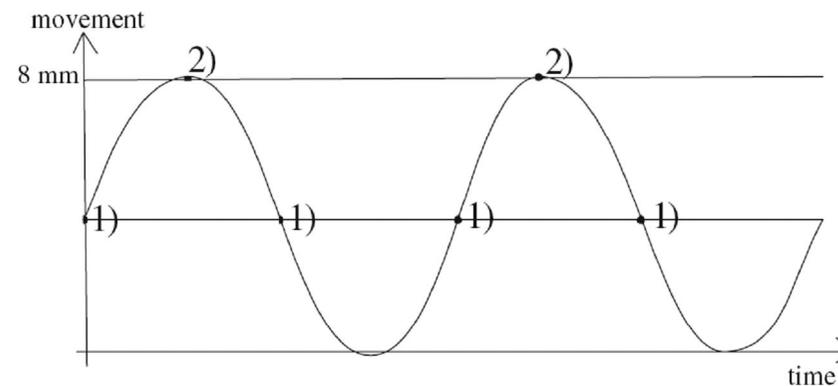
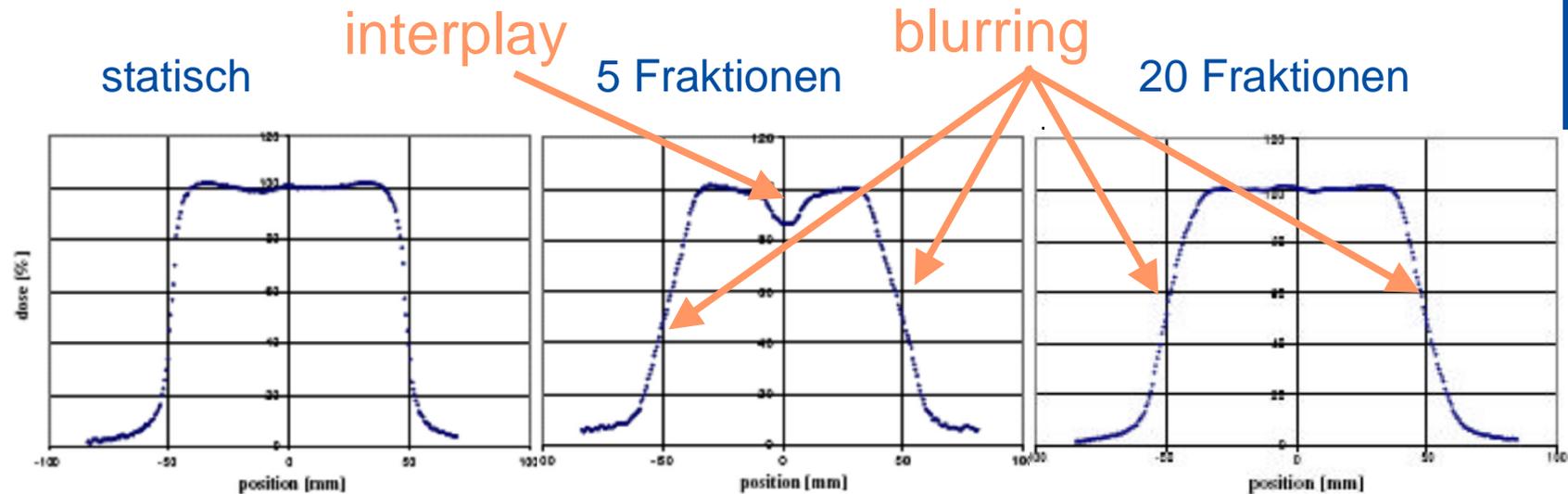
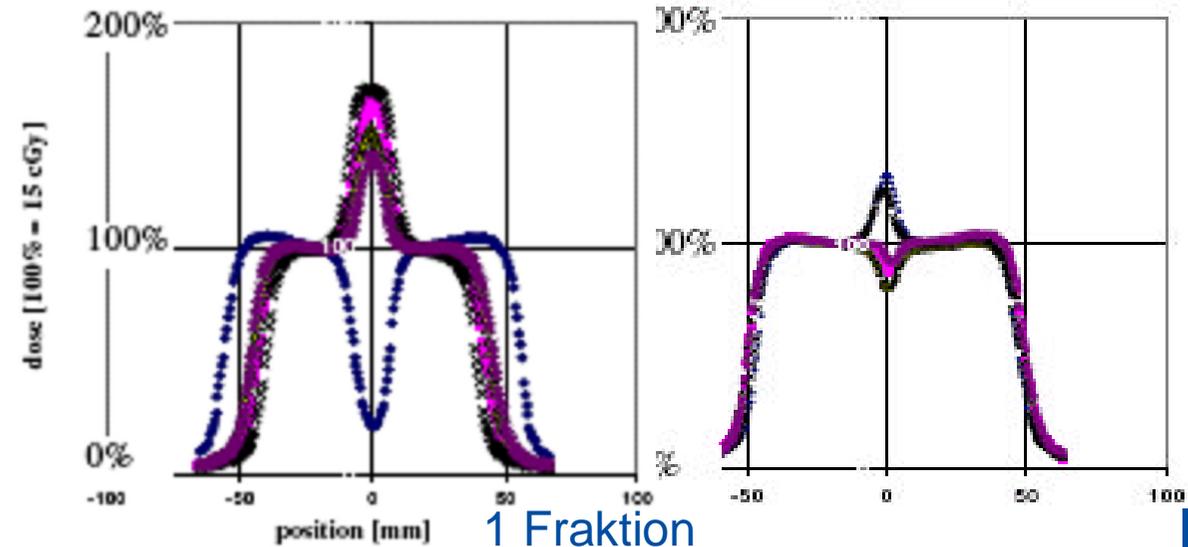


Figure 1. Original patient plan and corresponding phantom plan.
 (This figure is in colour only in the electronic version)



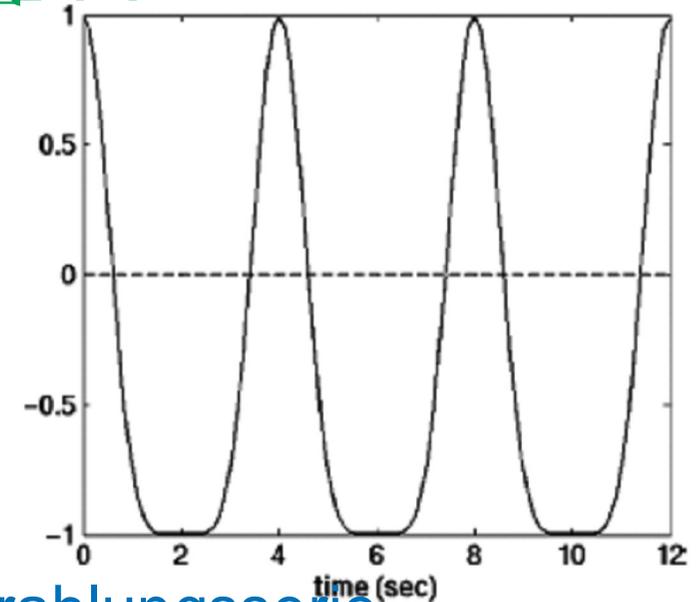
IMRT und Intra-fraktionäre Bewegung (2)

- [Thilmann 2005]:
 Zyklische Bewegung
 12/min und 6/min,
 Amplitude 10 und 4 mm
 Scharf aneinander gesetzte
 Felder
 (Zusätzlich: Brust-IMRT)

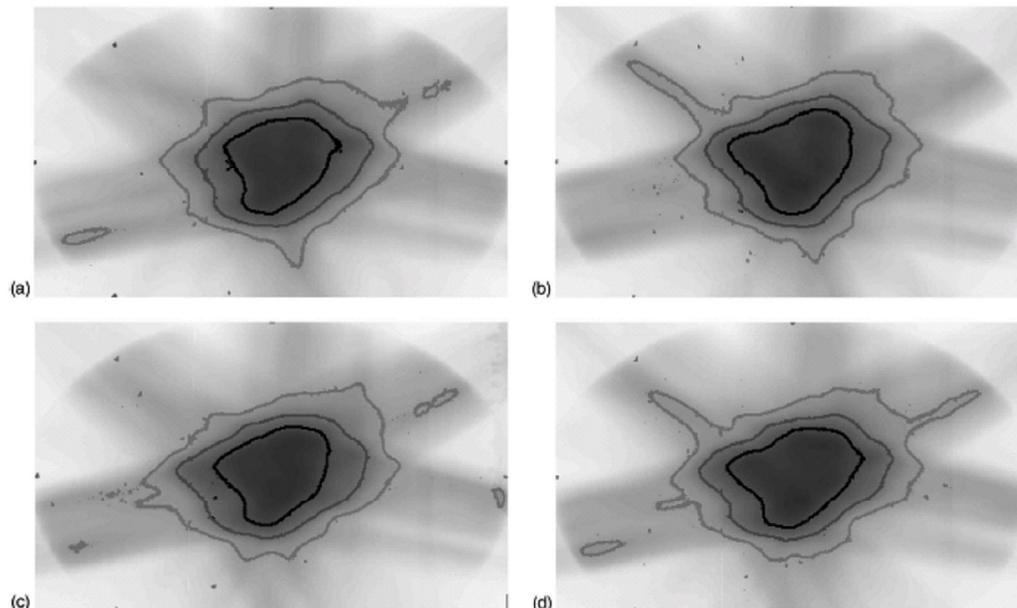


IMRT und Intra-fraktionäre Bewegung (3)

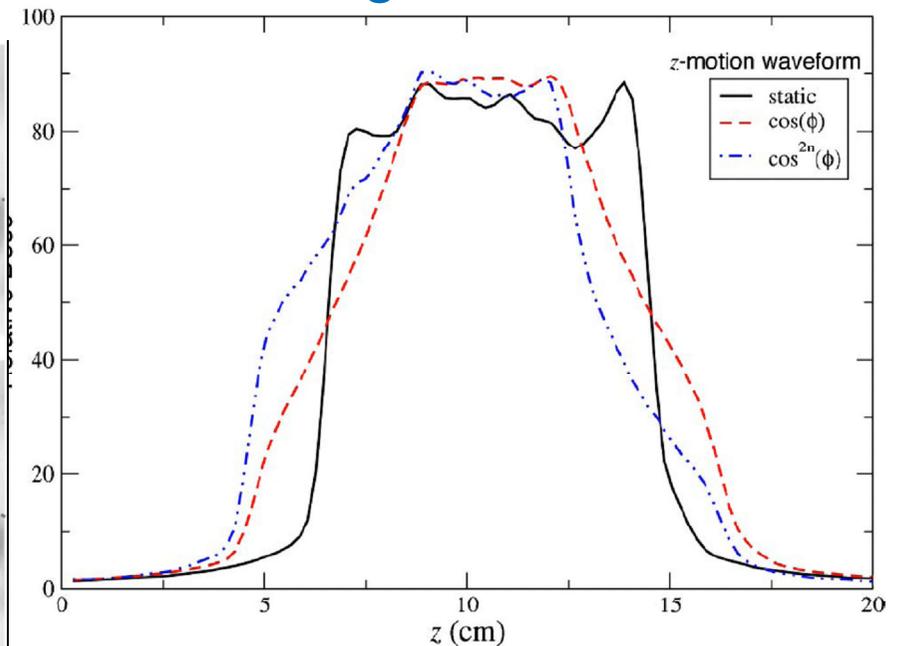
- [Naqvi 2005]:
 Zyklische Bewegung
 Auch: anharmonischer Oszillator



4 einzelne Fraktionen



Bestrahlungsserie

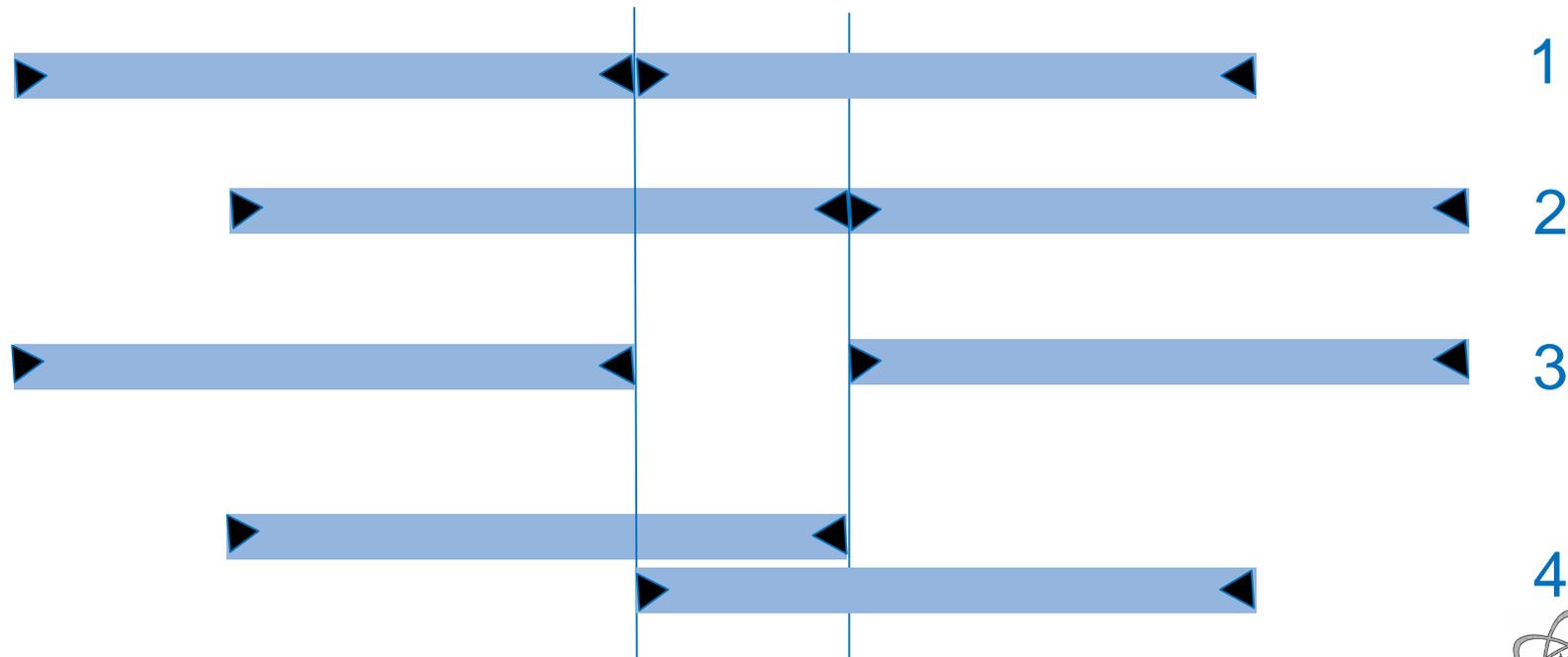


IMRT und Intra-fraktionäre Bewegung (stochastische Überlegungen)

Einfaches stochastisches Modell für aneinander grenzende Felder:



- nur zwei mögliche Positionen E und A für jede Blende (entsprechend zwei Bewegungszuständen eines Patienten wie z.B. Ein- und Ausatmung)
- daher gibt es nur vier mögliche Zustände bei einer Fraktion: zweimal aneinandergrenzend, einmal Lücke, einmal Überlapp (je $\frac{1}{4}$ Wahrscheinlichkeit)
- Lücke und Überlapp entstehen am selben Ort, können sich also kompensieren: 3 + 4)



IMRT und Intra-fraktionäre Bewegung (stochastische Überlegungen)

Einfaches stochastisches Modell für aneinander grenzende Felder:

- nur zwei mögliche Positionen für jede Blende (entsprechend zwei Bewegungszuständen eines Patienten)
- daher gibt es nur vier mögliche Zustände bei einer Fraktion: zweimal aneinandergrenzend, einmal Lücke, einmal Überlapp
- Lücke und Überlapp entstehen am selben Ort, können sich also kompensieren
- P ist die Wahrscheinlichkeit, dass nach n Fraktionen noch mindestens k-mal eine Lücke nicht kompensiert wird.
- Sie beträgt (n=150 entspricht zwei aneinander gesetzten 5-Felder-Techniken):

n / k	30 / 3	30 / 6	150 / 3	150 / 15	150 / 30
P [%]	25,9	7,7	38,6	4,7	0,03

Unterdosierung **10%** **20%** **10%** **20%**



Einwände / Anfragen Intra-fractionäre Bewegung

- nicht-zyklische oder korrelierte Bewegungen (kein statistischer Ausgleich)?
- Erwartungswert für große Dosisabweichungen ist nicht gleich Null.
Daher werden in einem größeren Patientenkollektiv gelegentlich große Abweichungen vorkommen.
Ist dies nur bei adjuvanter Therapie tolerabel?
- Sollten Worst-Case-Analysen für jeden Bestrahlungsplan bzw. jede „Class solution“ an einem bestimmten Planungssystem bzw. für einen bestimmten Berechnungsalgorithmus durchgeführt werden?



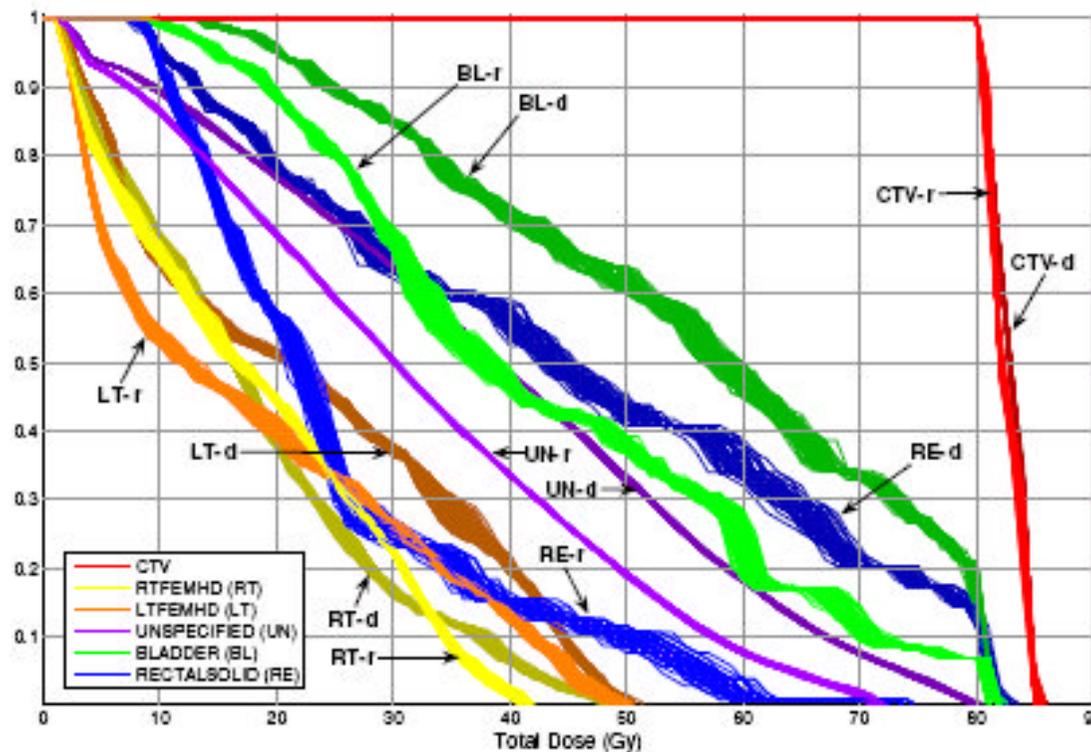
Lösungsansätze und Hilfsmittel inter-frakt. (1)

- „Mesh“ – individuell wandernde Gitterpunkte; Akkumulieren der Dosis im sich deformierenden Organ [Yan 1999]
- Recalculation, Reoptimization [Wu, Jerai 2002] (inter-frakt.), Replanning (HNO; [Hansen 2005])
- Deformed intensity distributions [Mohan 2005] (inter-frakt.)
- Stabilität der Lösung gegenüber Bewegungen als Bewertungskriterium während des Optimierungsvorgangs [Unkelbach 2004/05]



Lösungsansätze und Hilfsmittel inter-frakt. (2)

- Statt „margins“ Einbinden statistischer Verfahren in den Optimierungsprozess zur Sicherstellung einer adäquaten Behandlung (gilt nur für „blurring“- daher: inter-fraction) [Li 2000], [Birkner 2003], mehrfach verschobene CTV statt PTV: [Yang 2005]
 „Robust optimization for intensity modulated radiation therapy treatment planning under uncertainty“ [Chu 2005] :



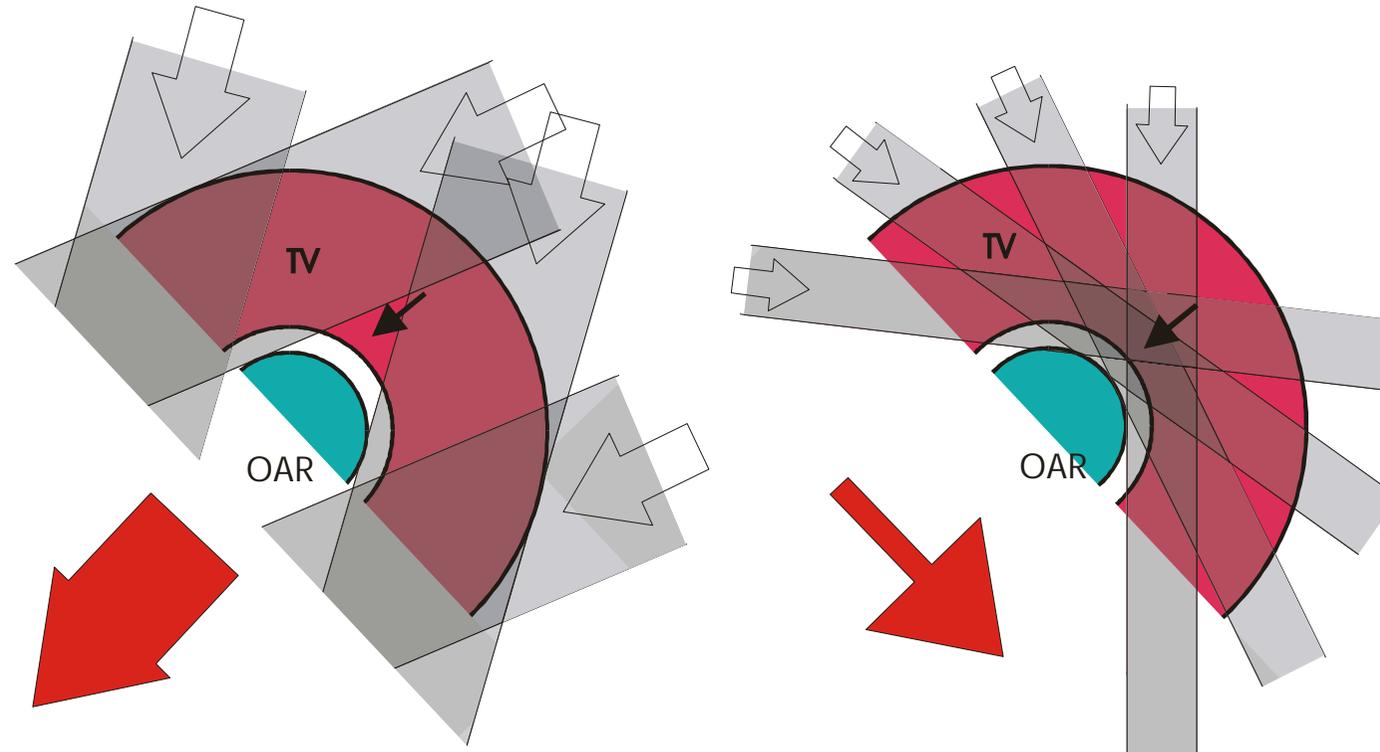
Lösungsansätze intra-fraktionär: passiv

- Gegenfelder vermeiden
- Wenige Segmente verwenden; z.B.
 - > Hyperion [Alber]
 - > DMPO mit Segmentzahlbeschränkung (Pinnacle)
d.h. unempfindlichere IMRT
- „Intelligente“ IMRT mit „sinnvoll“ gewählter Physik verwenden
 - > Hyperion [Alber] Fluenzen für „schlauchartige“ OAR
 - > 2-Step IMRT (geometrische Überlegungen [Bratengeier 2005/ 2005];

d.h. unempfindlichere IMRT



Einschub: IMRT-Prinzipien

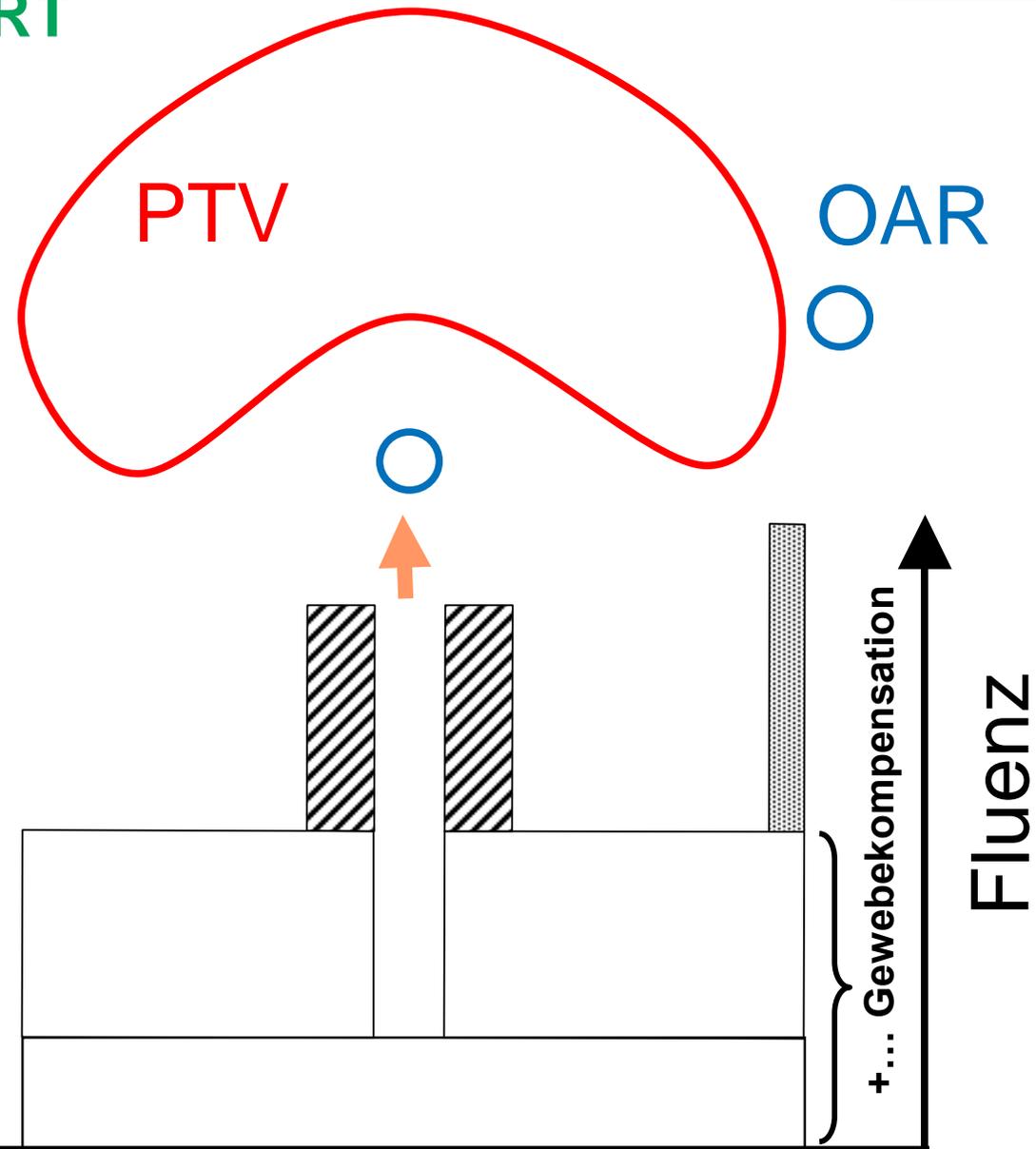


- **Unterdosierung** neben dem OAR durch Ausblockung (kleiner schwarzer Pfeil - links)
- **Kompensation** by durch zusätzliche Felder aus näherungsweise orthogonalen Richtungen (kleiner schwarzer Pfeil - rechts)

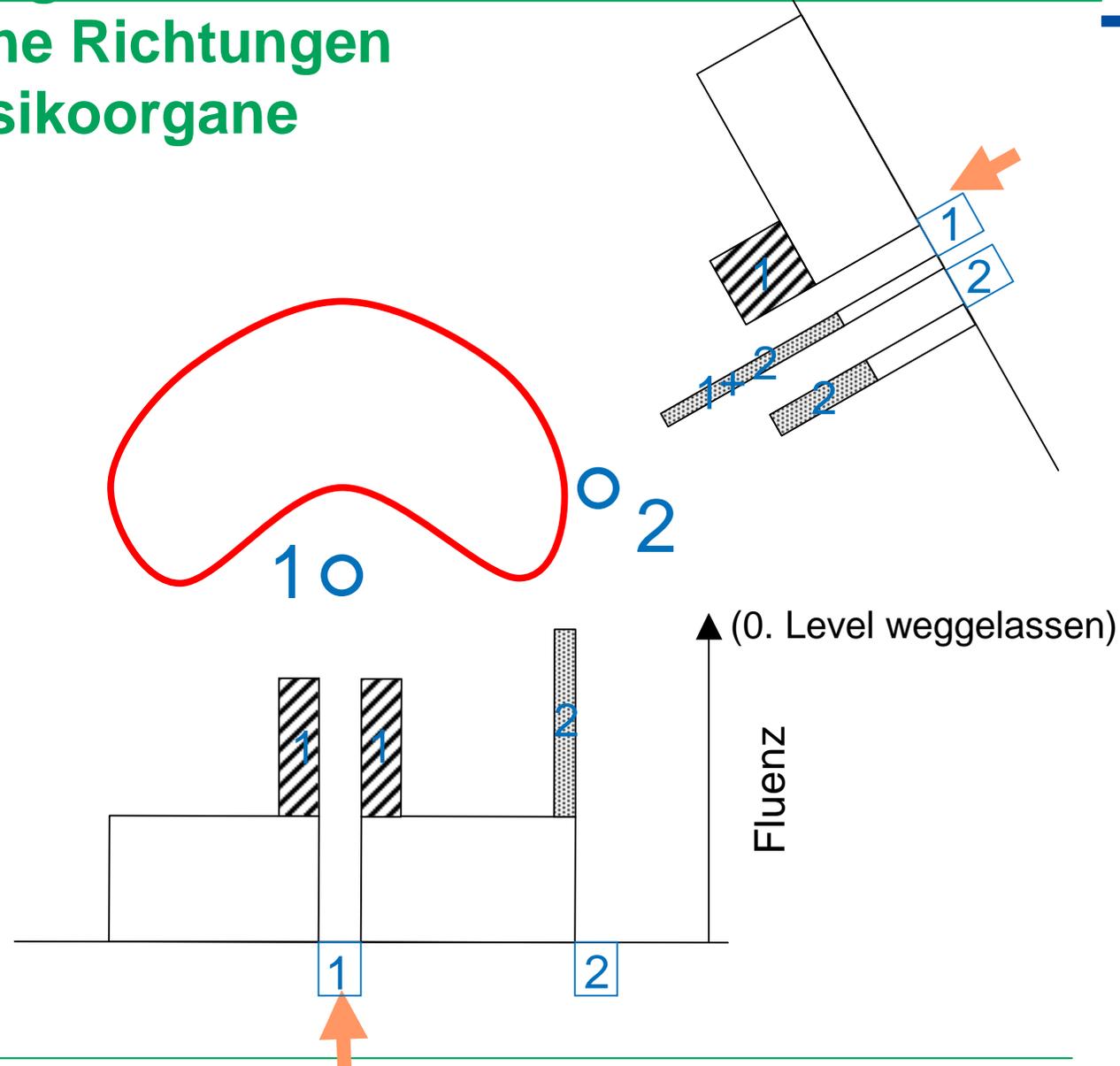


Analyse der geometrischen Strukturen: Segmenttypen bei IMRT

- 2. zweites IMRT Level
 - Kompensation der Ausblockungsverlusten (orthogon. Richtungen)
 - Schmal, gerichtet auf PTV-Areale direkt neben dem OAR
- 1. erstes IMRT Level
 - Orientiert an PTV-Form
 - Ausgeblockt für OAR
- 0. PTV-konformale Komponente



Analyse der geometrischen Strukturen: verschiedene Richtungen mehrere Risikoorgane



Segmentzahl (Schätzung) in the 2-Step IMRT- approach

- S_k : Zahl der Segmente für Einstrahlrichtung k :
 n_k : Zahl der relevanten OAR im jeweiligen BEV
 $S_k \leq 1 + 3 n_k$
- S : Gesamtzahl der Segmente (Obergrenze)
 m : Zahl der Einstrahlrichtungen
 n : Zahl der OAR
 $S \leq m (1 + 3n)$



Lösungsansätze intra-fraktionär: aktiv

- Gating [Duan 2003]
 - aber „leaf lag“ (Anlaufverzögerung bei sliding window)
 - aber [Bortfeld 2002] keine statistische Unabhängigkeit
- Tisch bzw. MLC folgt ZV-Bewegung
Synchronized Moving Aperture RT - SMART
[Neicu 2003]
- Kombination verschiedener Ansätze; Atemphasen-abhängige
„intensity maps“: „Temporo-spatial IMRT optimization: concepts,
implementation and initial results“ [Trofimov 2005]
- „Leaf-pair Control for Moving Rigid Target“ [Papiez 2004]
„Modified Dynamic Multileaf“ [Webb 2005]
„Real-time DMLC IMRT delivery for mobile and deforming targets“
[Papiez 2005]
 - jedoch: „Does elastic tissue intrafraction motion with density
changes forbid motion-compensated radiotherapy?“ [Webb 2006]



Resümee „Patientenbewegung und IMRT“

- Forschung zum Thema „Patientenbewegung und IMRT“ noch nicht abgeschlossen
- Noch keine Entwarnung trotz ermutigender Ergebnisse
- Nicht-zyklische „Trend“-Bewegungen besonders kritisch
- Techniken mit vielen MU und vielen (aneinander grenzenden) Segmenten besonders kritisch

