

Optimierte Step&Shoot IMRT am Siemens Artiste

Ulrich Wolf, Jens Taubmann

Universitätsklinikum Leipzig
Klinik für Strahlentherapie



Ausgangspunkt und Motivation

- Step&Shoot IMRT ist durchaus noch verbreitet
- Zeitbedarf hängt hauptsächlich von den Segmentformen, deren Abfolge und den Parametern der MLC ab
- Klassische Optimierung
 - Fluenzberechnung mit anschließender Segmentierung
 - Verwirklichung als Sweeping Segmentierung (KonRad)
 - Nachteil – viele Segmente
- Aktuelle Optimierung (DAO, DSS, DMPO...)
 - Deutlich weniger Segmente
 - aber mit „bizzarer“ Gestalt (stochastische Optimierung)

In der Theorie

- Planungssystemhersteller:
Segmentabfolge ist optimal an den jeweiligen MLC
adaptiert

In der Realität

- Ist sie das leider nicht wirklich....

Beispiel:

- Patientin mit Mb. Hodgkin, IMRT mit 9 Beams und 59 Segmenten, 7 MV FFF 2 Gy ED, 1605 MU
- Geplant mit Oncentra Masterplan 4.3
- Zeitbedarf: 13 min



LATERAL (cm)

-01.5

LONGIT (cm)

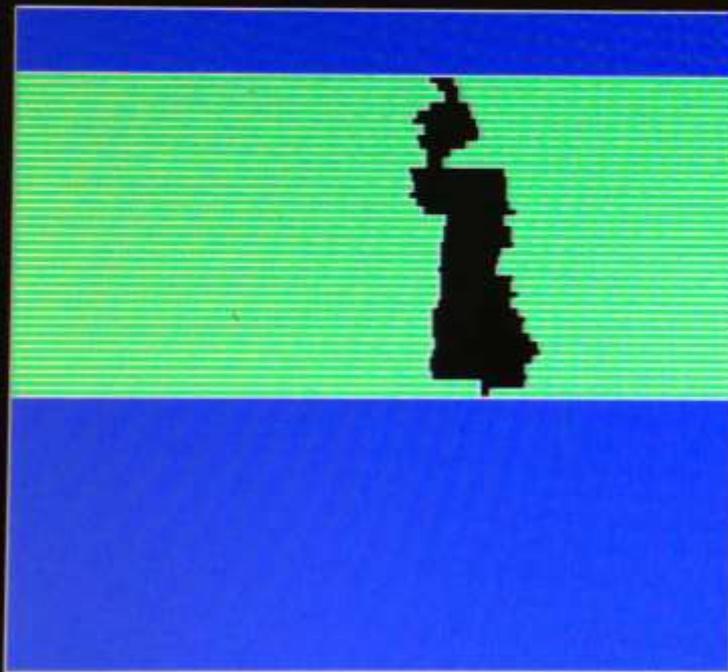
+73.8

VERTIC (cm)

-17.5

ISOCEN (°)

000.0



COLLIMATOR (°)

000.0

← GANTRY (°)

200.0

Wünschenswert

- Optimierung der Segmentreihenfolge
- Statische y-Blenden pro Beam
(bei MLC mit geringer Transmission)

Lösungsmöglichkeit

- Planungssystemhersteller realisiert das
- Software von Drittanbieter(n)

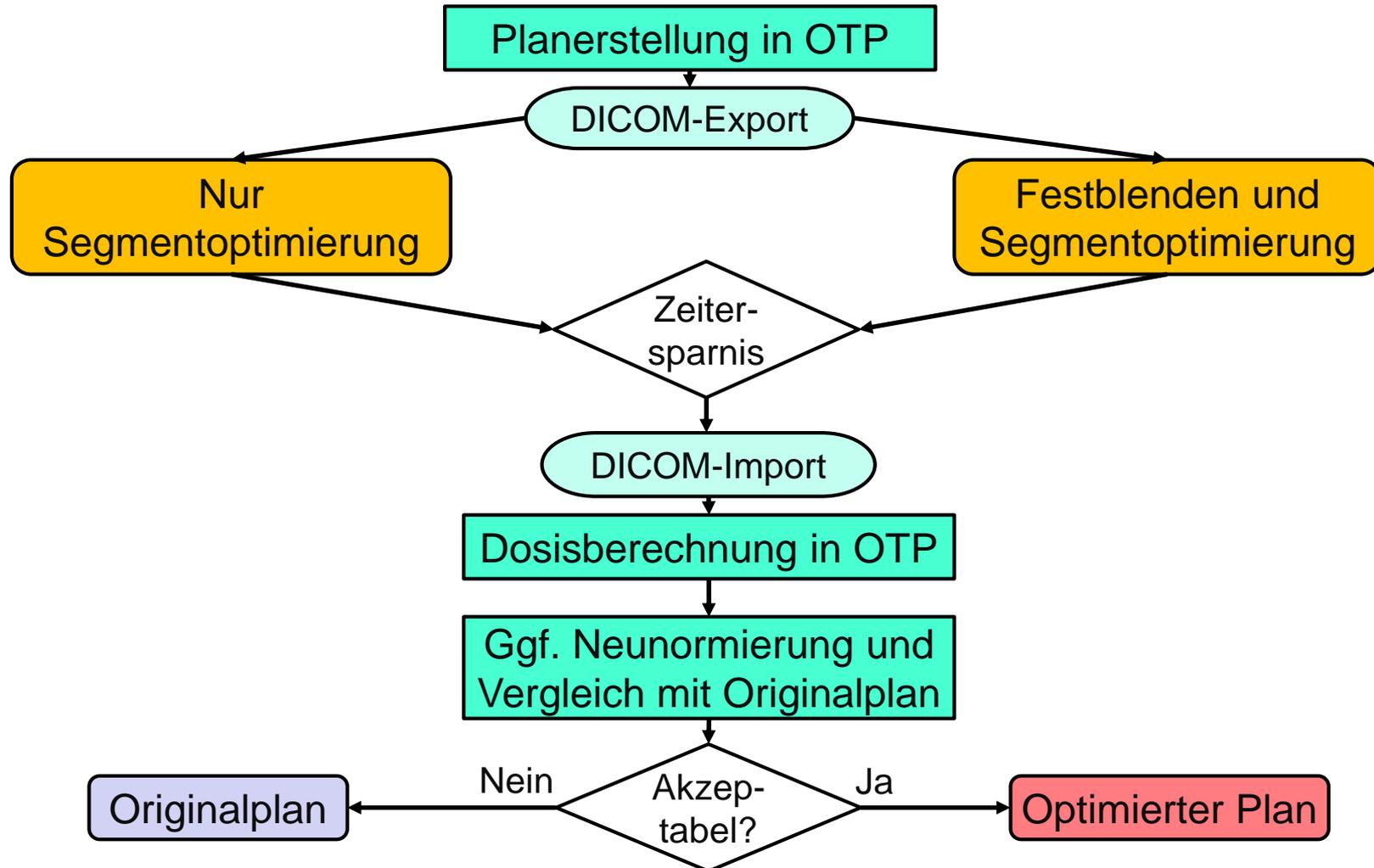
☛ **Unsere Lösung:**

☛ **DICOM-Adaptor Software (TIGER-Software Spenrath)**

☛ **Funktionen der Software (Version 5.3)**

- Zeitoptimierung bei IMRT-Plänen auf der Basis der MLC-typischen Parameter (Leaf-Speed, y-Jaw-Speed...)
 - Durch Optimierung der Segmentreihenfolge
 - Durch statische y-Blenden und Segmentoptimierung
- Anpassung, Ergänzung und Löschen von Tags in den DICOM-Dateien
- Bearbeitung von Bildern
-

Integration in den Workflow



Zurück zu unserem Beispiel...

Nur Segmentoptimierung

26.05.2016 18:04:34 : Gesamte Fahrtzeit ohne Änderungen: 657.12 Sekunden
 26.05.2016 18:04:34 : Konvertiere...
 26.05.2016 18:04:34 : Feld 1 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:04:34 : Feld wurde optimiert: 111.59s -> 53.13s [12 13 6 7 2 3 0 1 10 11 8 9 4 5]
 26.05.2016 18:04:34 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 27.80 (+27.80) / 27.80 / 52.70 (+24.90) / 52.70 / 93.10 (+
 26.05.2016 18:04:34 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 45.70 (+45.70) / 45.70 / 85.30 (+39.60) / 85.30 / 110.20
 26.05.2016 18:04:34 : Feld 2 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:04:34 : Feld wurde optimiert: 73.87s -> 47.30s [8 9 6 7 4 5 12 13 10 11 2 3 0 1]
 26.05.2016 18:04:34 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 49.40 (+49.40) / 49.40 / 95.80 (+46.40) / 95.80 / 114.70
 26.05.2016 18:04:34 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 29.30 (+29.30) / 29.30 / 70.90 (+41.60) / 70.90 / 89.80
 26.05.2016 18:04:34 : Feld 3 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:04:34 : Feld wurde optimiert: 63.88s -> 47.04s [2 3 4 5 0 1 8 9 6 7]
 26.05.2016 18:04:34 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 27.50 (+27.50) / 27.50 / 67.70 (+40.20) / 67.70 / 96.10 (+
 26.05.2016 18:04:34 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 40.20 (+40.20) / 40.20 / 68.60 (+28.40) / 68.60 / 96.10
 26.05.2016 18:04:34 : Feld 4 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:04:34 : Feld wurde optimiert: 63.74s -> 50.84s [2 3 8 9 4 5 6 7 12 13 10 11 0 1]
 26.05.2016 18:04:34 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 21.00 (+21.00) / 21.00 / 35.80 (+14.80) / 35.80 / 68.10 (+
 26.05.2016 18:04:34 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 14.80 (+14.80) / 14.80 / 33.30 (+18.50) / 33.30 / 65.60
 26.05.2016 18:04:34 : Feld 5 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:04:35 : Feld wurde optimiert: 64.31s -> 50.12s [4 5 6 7 8 9 2 3 0 1 10 11]
 26.05.2016 18:04:35 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 45.40 (+45.40) / 45.40 / 71.80 (+26.40) / 71.80 / 93.90 (+
 26.05.2016 18:04:35 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 22.10 (+22.10) / 22.10 / 40.00 (+17.90) / 40.00 / 64.70
 26.05.2016 18:04:35 : Feld 6 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:04:35 : Feld wurde optimiert: 46.47s -> 39.22s [4 5 2 3 0 1 6 7 8 9 10 11]
 26.05.2016 18:04:35 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 17.20 (+17.20) / 17.20 / 37.60 (+20.40) / 37.60 / 55.20 (+
 26.05.2016 18:04:35 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 17.60 (+17.60) / 17.60 / 38.00 (+20.40) / 38.00 / 55.20
 26.05.2016 18:04:35 : Feld 7 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:04:35 : Feld wurde optimiert: 51.00s -> 49.07s [4 5 2 3 0 1 6 7]
 26.05.2016 18:04:35 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 24.00 (+24.00) / 24.00 / 41.50 (+17.50) / 41.50 / 80.00 (+
 26.05.2016 18:04:35 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 38.50 (+38.50) / 38.50 / 56.00 (+17.50) / 56.00 / 80.00
 26.05.2016 18:04:35 : Feld 8 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:04:35 : Feld wurde optimiert: 79.11s -> 52.23s [0 1 10 11 6 7 8 9 4 5 2 3]
 26.05.2016 18:04:35 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 22.90 (+22.90) / 22.90 / 48.70 (+25.80) / 48.70 / 77.90 (+
 26.05.2016 18:04:35 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 22.90 (+22.90) / 22.90 / 40.40 (+17.50) / 40.40 / 69.80
 26.05.2016 18:04:35 : Feld 9 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:04:35 : Feld wurde optimiert: 103.14s -> 63.10s [0 1 6 7 8 9 10 11 14 15 2 3 4 5 12 13]
 26.05.2016 18:04:35 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 13.30 (+13.30) / 13.30 / 36.40 (+23.10) / 36.40 / 46.50 (+
 26.05.2016 18:04:35 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 13.30 (+13.30) / 13.30 / 57.50 (+44.20) / 57.50 / 82.70
 26.05.2016 18:04:35 : **Gesamtersparnis durch die Zeit-Optimierung: 205.05 Sekunden (657.12s -> 452.06s)**
 26.05.2016 18:04:36 : **Änderung der Fahrtzeit durch ALLE Anpassungen: 205.05 Sekunden (657.12s -> 452.06s)**

Festblenden + Segmentoptimierung

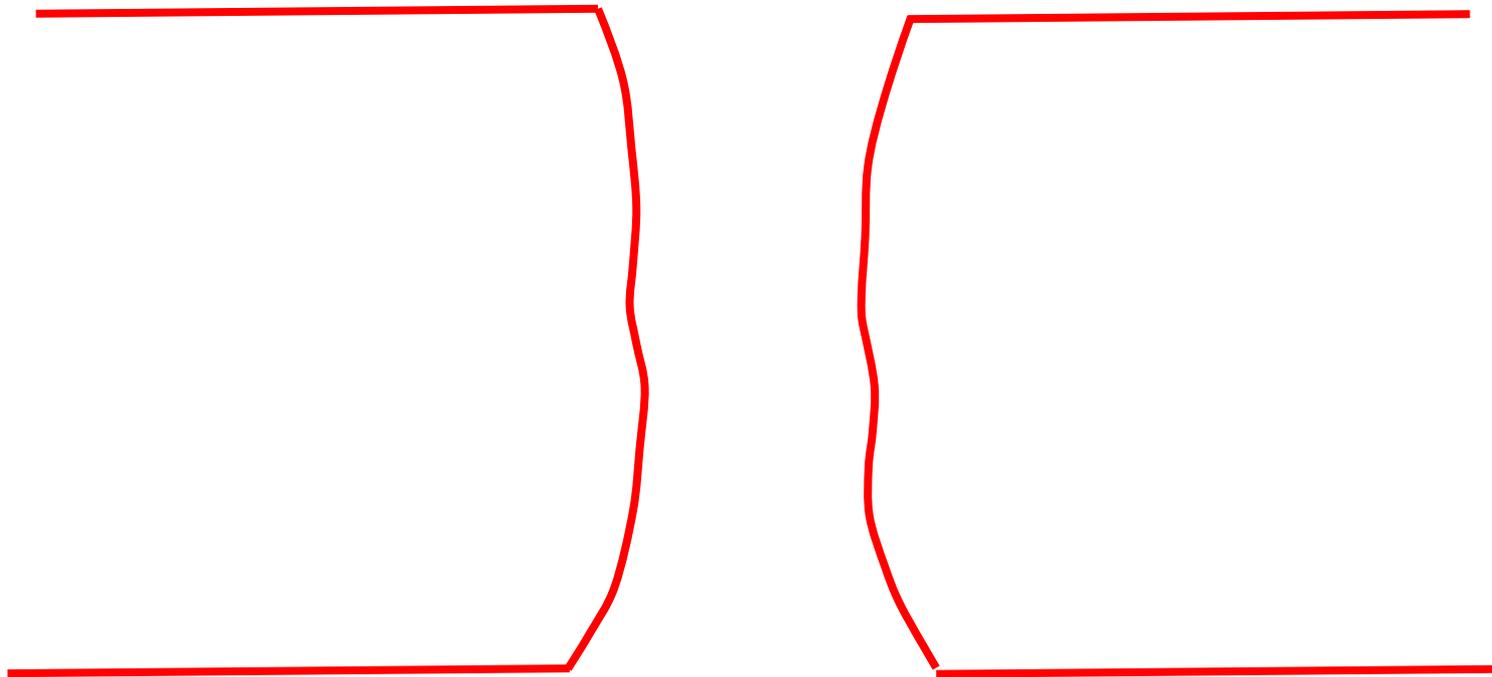
26.05.2016 18:07:36 : Gesamte Fahrtzeit ohne Änderungen: 657.12 Sekunden
 26.05.2016 18:07:36 : Konvertiere...
 26.05.2016 18:07:36 : Feld 1: Y-Blende vereinheitlicht auf -155.00/165.00
 26.05.2016 18:07:36 : Feld 2: Y-Blende vereinheitlicht auf -160.00/165.00
 26.05.2016 18:07:36 : Feld 3: Y-Blende vereinheitlicht auf -150.00/165.00
 26.05.2016 18:07:36 : Feld 4: Y-Blende vereinheitlicht auf -145.00/165.00
 26.05.2016 18:07:36 : Feld 5: Y-Blende vereinheitlicht auf -140.00/160.00
 26.05.2016 18:07:36 : Feld 6: Y-Blende vereinheitlicht auf -140.00/160.00
 26.05.2016 18:07:36 : Feld 7: Y-Blende vereinheitlicht auf -140.00/160.00
 26.05.2016 18:07:36 : Feld 8: Y-Blende vereinheitlicht auf -145.00/160.00
 26.05.2016 18:07:36 : Feld 9: Y-Blende vereinheitlicht auf -150.00/160.00
 26.05.2016 18:07:37 : **Änderung der Fahrtzeit nach MLC Anpassungen: 356.26 Sekunden (657.12s -> 300.86s)**
 26.05.2016 18:07:37 : Feld 1 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:07:37 : Feld wurde optimiert: 34.28s -> 33.53s [10 11 8 9 4 5 0 1 2 3 6 7 12 13]
 26.05.2016 18:07:37 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 27.80 (+27.80) / 27.80 / 52.70 (+24.90) / 52.70 / 93.10 (+
 26.05.2016 18:07:37 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 13.60 (+13.60) / 13.60 / 32.30 (+18.70) / 32.30 / 72.70 (+
 26.05.2016 18:07:37 : Feld 2 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:07:37 : Feld wurde optimiert: 40.54s -> 39.23s [0 1 2 3 6 7 8 9 10 11 12 13 4 5]
 26.05.2016 18:07:37 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 49.40 (+49.40) / 49.40 / 95.80 (+46.40) / 95.80 / 114.70 (+
 26.05.2016 18:07:37 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 49.40 (+49.40) / 49.40 / 95.80 (+46.40) / 95.80 / 137.40 (+
 26.05.2016 18:07:37 : Feld 3 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:07:37 : Feld wurde optimiert: 28.05s -> 28.05s [8 9 6 7 4 5 2 3 0 1]
 26.05.2016 18:07:37 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 27.50 (+27.50) / 27.50 / 67.70 (+40.20) / 67.70 / 96.10 (+
 26.05.2016 18:07:37 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 18.00 (+18.00) / 18.00 / 56.40 (+38.40) / 56.40 / 84.80 (+
 26.05.2016 18:07:37 : Feld 4 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:07:37 : Feld wurde optimiert: 42.53s -> 38.27s [12 13 10 11 6 7 4 5 8 9 0 1 2 3]
 26.05.2016 18:07:37 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 21.00 (+21.00) / 21.00 / 35.80 (+14.80) / 35.80 / 68.10 (+
 26.05.2016 18:07:37 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 36.00 (+36.00) / 36.00 / 54.00 (+18.00) / 54.00 / 86.10 (+
 26.05.2016 18:07:37 : Feld 5 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:07:37 : Feld wurde optimiert: 35.14s -> 33.22s [4 5 0 1 2 3 8 9 6 7 10 11]
 26.05.2016 18:07:37 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 45.40 (+45.40) / 45.40 / 71.80 (+26.40) / 71.80 / 93.90 (+
 26.05.2016 18:07:37 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 22.10 (+22.10) / 22.10 / 67.50 (+45.40) / 67.50 / 93.90 (+
 26.05.2016 18:07:37 : Feld 6 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:07:38 : **Feld wurde nicht optimiert: Control Points sind bereits in optimaler Reihenfolge**
 26.05.2016 18:07:38 : Feld 7 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:07:38 : Feld wurde optimiert: 18.65s -> 18.65s [6 7 4 5 2 3 0 1]
 26.05.2016 18:07:38 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 24.00 (+24.00) / 24.00 / 41.50 (+17.50) / 41.50 / 80.00 (+
 26.05.2016 18:07:38 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 35.70 (+35.70) / 35.70 / 74.20 (+38.50) / 74.20 / 91.70 (+
 26.05.2016 18:07:38 : Feld 8 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:07:38 : Feld wurde optimiert: 29.46s -> 29.27s [8 9 6 7 4 5 2 3 0 1 10 11]
 26.05.2016 18:07:38 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 22.90 (+22.90) / 22.90 / 48.70 (+25.80) / 48.70 / 77.90 (+
 26.05.2016 18:07:38 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 63.40 (+63.40) / 63.40 / 92.80 (+29.40) / 92.80 / 122.00
 26.05.2016 18:07:38 : Feld 9 wird zeit-optimiert ...
 26.05.2016 18:07:38 : Feld wurde optimiert: 40.31s -> 39.65s [0 1 2 3 8 9 4 5 6 7 10 11 12 13 14 15]
 26.05.2016 18:07:38 : Vorher: Meterset Weight 0.00 / 13.30 (+13.30) / 13.30 / 36.40 (+23.10) / 36.40 / 46.50 (+
 26.05.2016 18:07:38 : Danach: Meterset Weight 0.00 / 13.30 (+13.30) / 13.30 / 56.40 (+23.10) / 56.40 / 61.60 (+
 26.05.2016 18:07:38 : **Gesamtersparnis durch die Zeit-Optimierung: 9.07 Sekunden (300.86s -> 291.79s)**
 26.05.2016 18:07:38 : **Änderung der Fahrtzeit durch ALLE Anpassungen: 365.31 Sekunden (657.12s -> 291.79s)**

Auswirkungen des Optimierungsverfahrens auf die Dosisverteilung

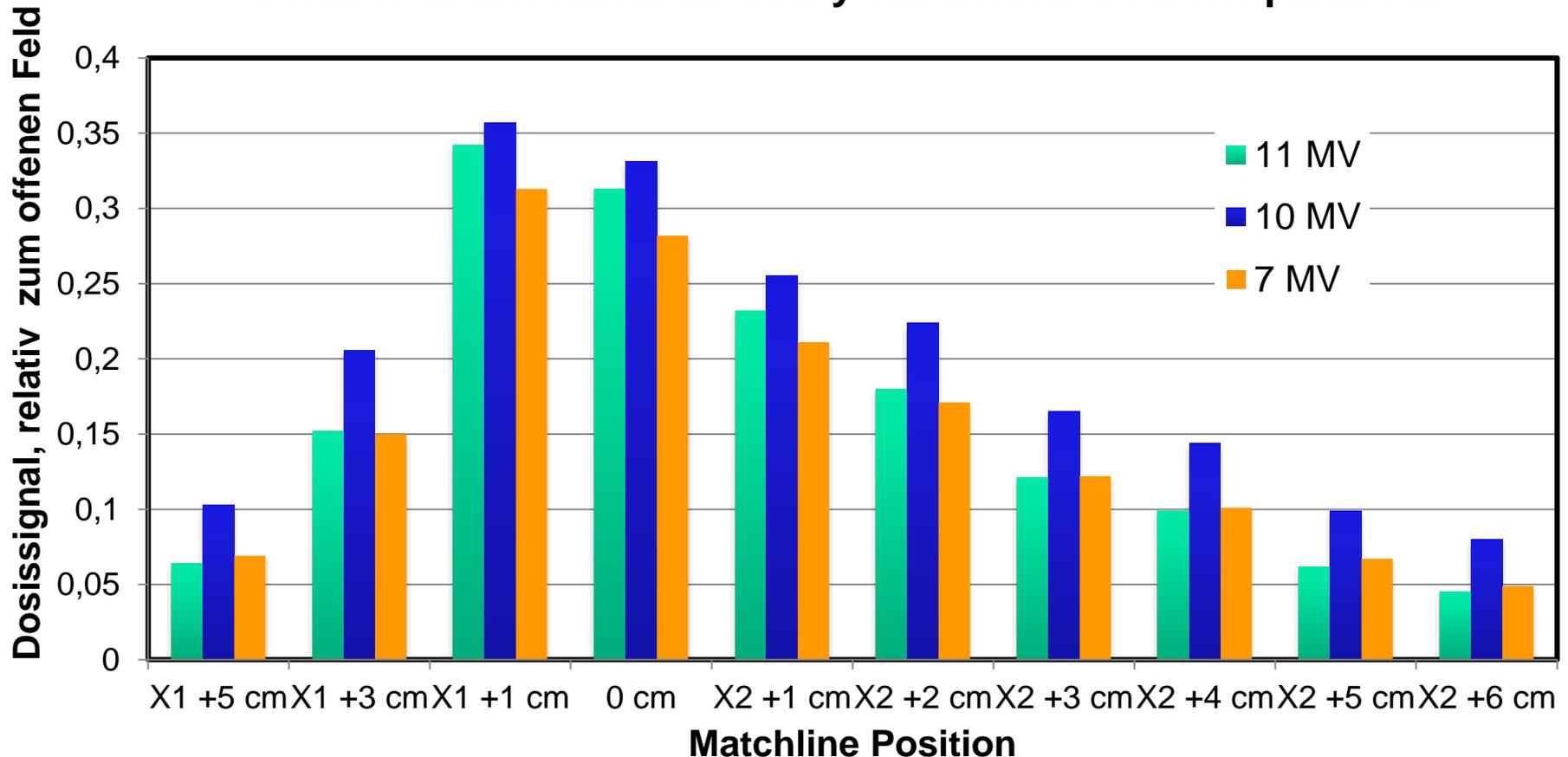
- Umordnung der Segmente
 - Sollte keine Änderungen an der Dosisverteilung nach sich ziehen
- Statische y-Blenden
 - Lamellen moderner MLCs sind deutlich dicker als bei den älteren Modellen (7.6 cm → 9.5 cm) → geringere Transmission
 - Lamellenspitzen sind nicht fokussierend sondern firmenspezifisch gerundet
 - Lamellen müssen außerhalb der Mitte geschlossen werden zur Minimierung von Matchline-Effekten
 - Abstand der Matchline zur Mitte sollte optimiert werden

Leaf-Enden beim MLC160

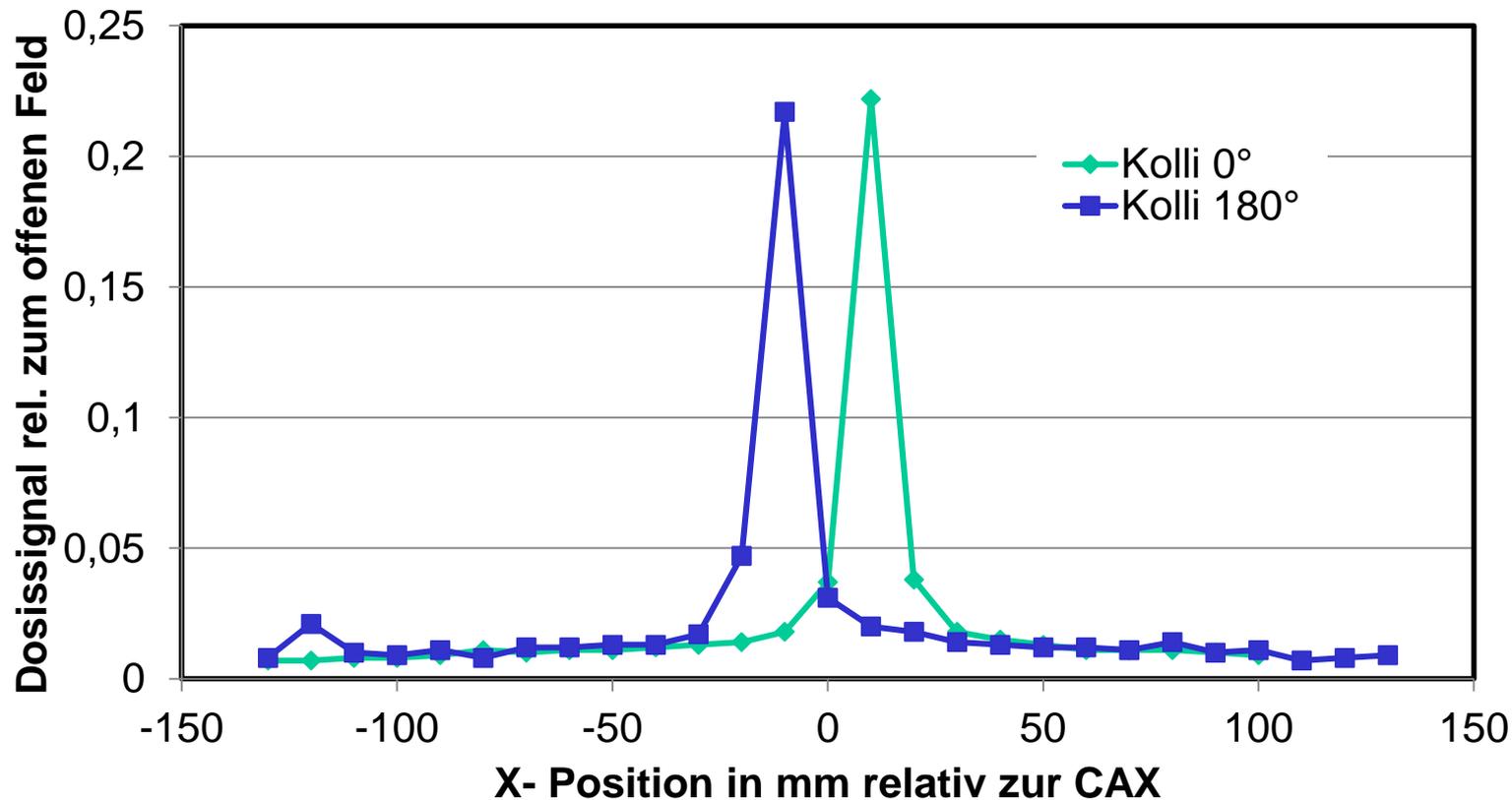
- Speziell geformt zur Minimierung von Leakage
- Leaf-Gap praktisch 0



**Durchlassstrahlung - MLC Matchline
Artiste MLC 160
in Abhängigkeit von der Matchline-Position
Gemessen mit einem 2D-Array 729 im RW 3 Plattenphantom**



Matchline-Leakage MLC160
7 MV, Gap = 0, X1 = 1.0 cm, X2 = 1.0 cm
Kollimator 0° und 180°
RW3 Plattenphantom, 2D-Array 729

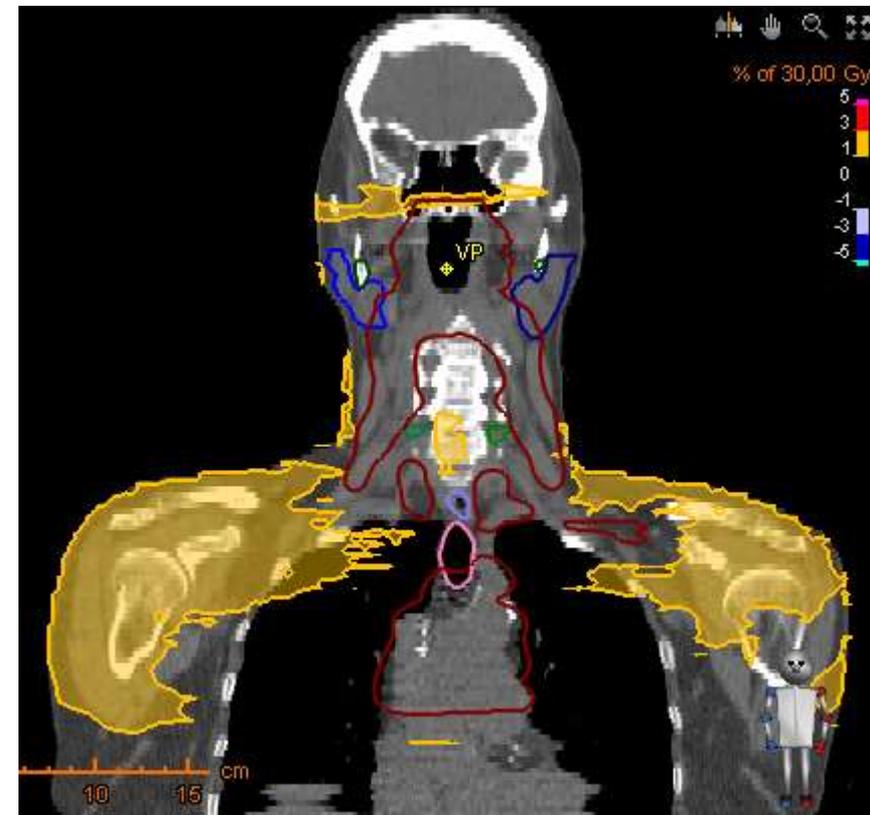


☛ Dosisdifferenzen zum Originalplan (RS 4.7.2) (nach Renormierung im PTV)

Nur Segmentoptimierung



Festblenden +
Segmentoptimierung



- **Test mit 14 Patienten mit typischen Indikationen (Becken, HNO, Kopf)**
- **DICOM-Adaptor-Software Einstellungen:**
 - MLC-Geschwindigkeit 12 mm/s (effektive Geschwindigkeit)
 - Y-Blenden-Geschwindigkeit 10,3 mm/s
 - Änderung der Matchline der MLC-Lamellen um 3cm off axis → Minimierung der Transmission
 - Optimierung der Segmentabfolge (max. 14 Segmente pro Einstrahlrichtung)
 - Mit (S.m.B.) und ohne (S.o.B.) Fixierung der Y-Blenden

- **Folgende Ergebnisse wurden über alle Patienten ermittelt:**
 - Zeitersparnis für S.m.B.: -9,7 s bis 401,7 s
(negative Zeiten aufgrund Matchlineeinstellungen)
 - Zeitersparnis für S.o.B.: 3,3 s bis 234,2 s
 - Änderung globales Maximums: -0,27 % bis 3,8 %
 - Renormierung: -0,24 % bis -2,78 %

Modellrechnung für die konsequente Anwendung der IMRT-Optimierung für 2 beliebige Tage aus dem Routineprogramm von 2 Artiste-Linacs

S.o.B. – nur Segmentoptimierung

S.m.B. – feste Blenden + Segmentoptimierung

		Artiste 1	Artiste 2
1. Tag	Anzahl IMRT Patienten	37	37
	S.m.B. gesamt	48,6 min	58,9 min
	S.m.B. pro Patient	112,1 s	141,3 s
	S.o.B. gesamt	24,2 min	30,7 min
	S.o.B. pro Patient	41,6 s	73,1 s
	2. Tag	Anzahl IMRT Patienten	34
2. Tag	S.m.B. gesamt	58,9 min	46 min
	S.m.B. pro Patient	103,9 s	72,7 s
	S.o.B. gesamt	28,3 min	22,2 min
	S.o.B. pro Patient	49,9 s	35,1 s

Zusammenfassung (zumindest gültig für die Kombination Artiste MLC160 und OTP)

- S&S IMRT lässt sich durch Optimierung der Segmentabfolge und statische y-Blenden pro Feld teilweise deutlich beschleunigen
- Bei komplexen Plänen ist der Effekt wesentlich deutlicher
- Der Effekt durch die statischen y-Blenden ist dann meist der dominierende
- Bei einfachen Plänen kann sich durch statische y-Blenden der Zeitbedarf u.U. sogar leicht erhöhen



Eine Frage bleibt offen:

Ist die höhere Dosisexposition außerhalb des Zielvolumens bei statischen γ -Blenden durch die teilweise deutliche Verkürzung der Bestrahlungszeit (geringere intrafraktionelle Bewegungen, Patientenkomfort) bei Einhaltung der OAR-Toleranzen gerechtfertigt?
„Strahlenhygiene“?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

