



maschinenbezogene Qualitätssicherung für VMAT und FFF





Aufgabe



Kommissionierung zweier LINACs (Synergy – 2012 und Versa HD – 2014) für VMAT und FFF incl. Einführung geeigneter Qualitätssicherungsmaßnahmen



VMAT QS – Empfehlungen?

DIN 6875-3:2008-03

1 Anwendungsbereich

Diese Norm beschreibt KENNMERKMALE und Prüfmethode sowie Grundregeln für die klinische Anwendung der FLUENZMODULIERTEN STRAHLENTHERAPIE mit hochenergetischer PHOTONENSTRAHLUNG aus einem ELEKTRO- NENBESCHLEUNIGER mit ISOZENTRISCHEM TRAGARM.

Techniken der FLUENZMODULIERTEN STRAHLENTHERAPIE, bei denen ROTATIONSBESTRAHLUNGEN zum Einsatz kommen (z. B. Tomotherapie), werden in dieser Norm nicht behandelt.

Die in dieser Norm beschriebenen Prüfmethode sind teilweise sehr komplex und aufwändig und deshalb nur zum Teil für den routinemäßigen Einsatz im Rahmen von KONSTANZPRÜFUNGEN geeignet. Allerdings bietet diese Norm die Grundlage zur Definition von KONSTANZPRÜFUNGEN für den klinischen Einsatz der FLUENZ- MODULIERTEN STRAHLENTHERAPIE.

ANMERKUNG Die in dieser Norm festgelegten Grundregeln bei der klinischen Anwendung der FLUENZMODULIERTEN STRAHLENTHERAPIE orientieren sich an Empfehlungen [1] und [2] der American Association of Physicists in Medicine (AAPM).



VMAT – was ändert sich?

unter Strahlung ändern sich gleichzeitig Dosisleistung, Gantrywinkel, Gantrygeschwindigkeit sowie Lamellenpositionen und -geschwindigkeiten.

-> Zusätzlich nun genauer zu prüfen:

1. Dosislinearität über Dosisleistung

2. Dosis bei Rotationsbestrahlung

3. MLC (Lamellengeschwindigkeit und –geschwindigkeitsänderung, Transmission)

Bei VMAT vielleicht weniger relevant:

Einschwingverhalten (Symmetrie und Dosislinearität wenige MU) ,
Dosimetrische Feldgröße kleiner Segmente



Absolutdosis früher...

Energie	k_p	k_r	k_s	k_Q	U	M [nC]	Dosis [Gy]	Abw.
6 MV	1,023	1,009	1,0013	0,987	1,014	18,100	0,998	-0,25%
15 MV	1,023	1,009	1,0035	0,971	1,020	18,310	1,001	0,08%

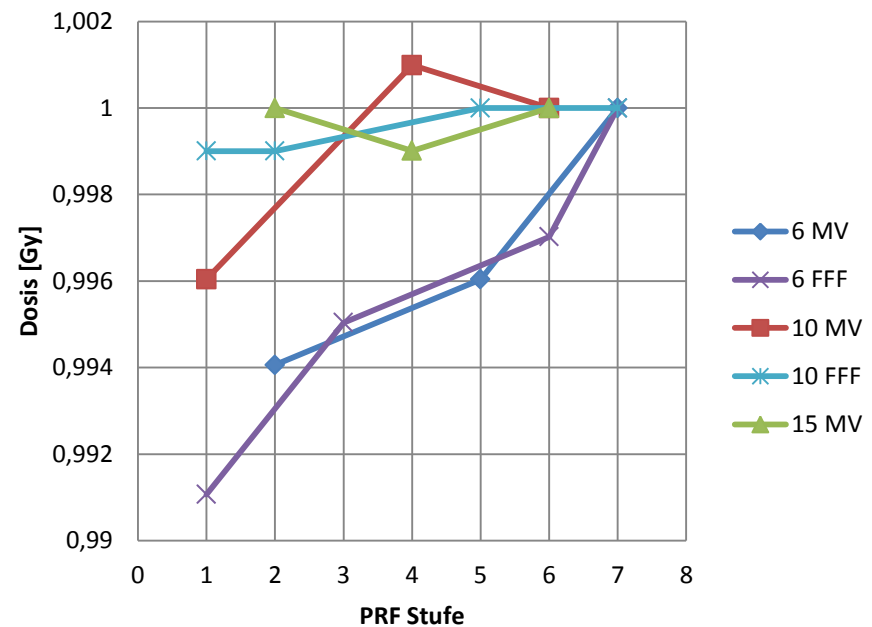
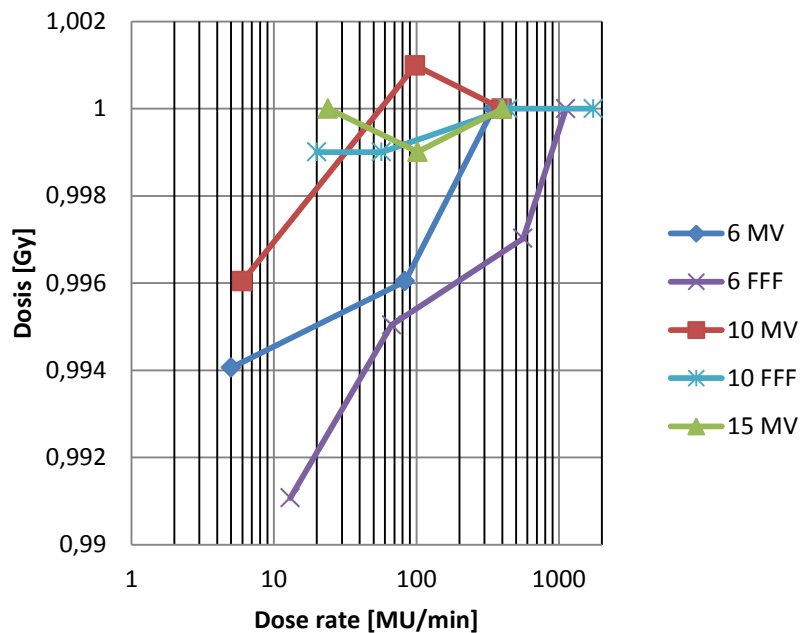


Absolutdosis heute

Energie	Dose rate	PRF	k_p	k_r	k_s	k_Q	U	M [nC]	Dosis [Gy]	Solldosis	Abw.
6 MV	357	7	1,036	1,008	1,0018	0,988	1,014	3,195	0,998	1,000	-0,17%
10 MV	405	6	1,036	1,008	1,0020	0,978	1,017	3,214	0,997	1,000	-0,26%
15 MV	405	6	1,036	1,008	1,0030	0,971	1,020	3,224	0,997	1,000	-0,30%
6 FFF	1120	7	1,036	1,008	1,0038	0,978	1,014	3,230	1,001	1,000	0,12%
10 FFF	1780	7	1,036	1,008	1,0053	0,971	1,017	3,249	1,004	1,000	0,41%
6 FFF 600	558	6	1,036	1,008	1,0036	0,978	1,014	3,217	0,997	1,000	-0,30%
10 FFF 600	448	5	1,036	1,008	1,0053	0,971	1,017	3,252	1,005	1,000	0,51%
6 MV LDR	20	3	1,036	1,008	1,0018	0,988	1,014	3,179	0,993	1,000	-0,67%
10 MV LDR	25	2	1,036	1,008	1,0020	0,978	1,017	3,211	0,996	1,000	-0,36%
15 MV LDR	25	2	1,036	1,008	1,0030	0,971	1,020	3,220	0,996	1,000	-0,42%
6 FFF LDR	34	2	1,036	1,008	1,0038	0,978	1,014	3,211	0,995	1,000	-0,47%
10 FFF LDR	25	1	1,036	1,008	1,0053	0,971	1,017	3,252	1,005	1,000	0,50%



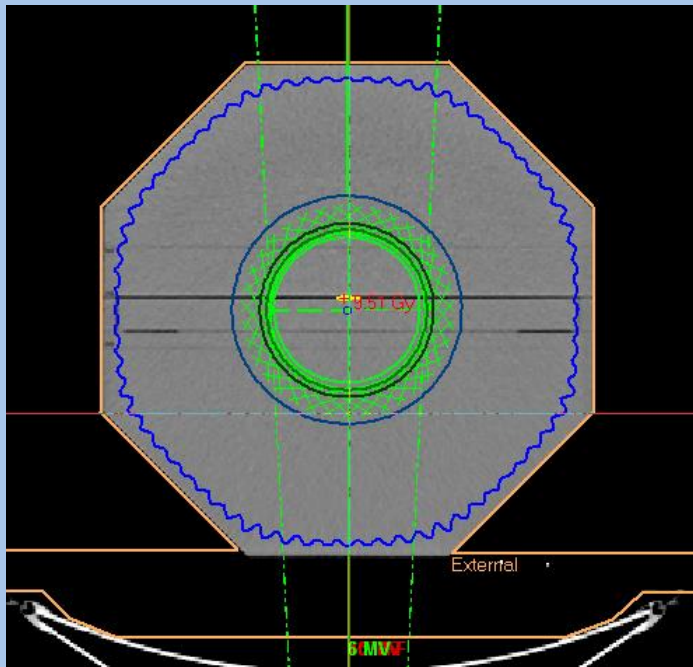
Dosislinearität über Dosisleistung



Für 6 MV und 6 FFF reproduzierbar ca. 0,4 % Abweichung bei reduzierter Dosisleistung, 10 MV, 10 FFF und 15 MV aber nahezu konstant.



Dosis bei Rotationsbestrahlungen



6 MV Oct.	357	7	1,036	1,008	1,0018	0,988	1,014	3,083	0,963	0,958	0,55%
10 MV Oct.	405	6	1,036	1,008	1,0020	0,978	1,017	3,252	1,009	1,000	0,92%
15 MV Oct.	392	6	1,036	1,008	1,0030	0,971	1,020	3,332	1,030	1,018	1,22%
6 FFF Oct.	1120	7	1,036	1,008	1,0038	0,978	1,014	3,108	0,963	0,957	0,66%
10 FFF Oct.	1780	7	1,036	1,008	1,0053	0,971	1,017	3,243	1,002	0,989	1,34%
6 MV rot.	176	6	1,036	1,008	1,0018	0,988	1,014	5,998	1,874	1,852	1,19%
10 MV rot.	197	5	1,036	1,008	1,0020	0,978	1,017	6,375	1,978	1,940	1,97%
15 MV rot.	102	4	1,036	1,008	1,0030	0,971	1,020	6,547	2,025	1,982	2,15%
6 FFF rot.	137	4	1,036	1,008	1,0038	0,978	1,014	6,029	1,869	1,838	1,67%
10 FFF rot.	109	3	1,036	1,008	1,0053	0,971	1,017	6,369	1,968	1,911	3,00%



Transmission Agility

Photonen 6 MV

Gemessen in 20 mm Tiefe RW3 mit Gafchromic EBT3-Filmen.

Abstand von Leaf-Spitze:	5 mm		100 mm		250 mm (inkl. Dynamic Leaf Guide)	
	Intra	Inter	Intra	Inter	Intra	Inter
Transmission	0,51%	0,57%	0,38%	0,43%	0,19%	0,21%
STABW (n=5)	0,009%	0,009%	0,007%	0,023%	0,002%	0,003%

Photonen 15 MV

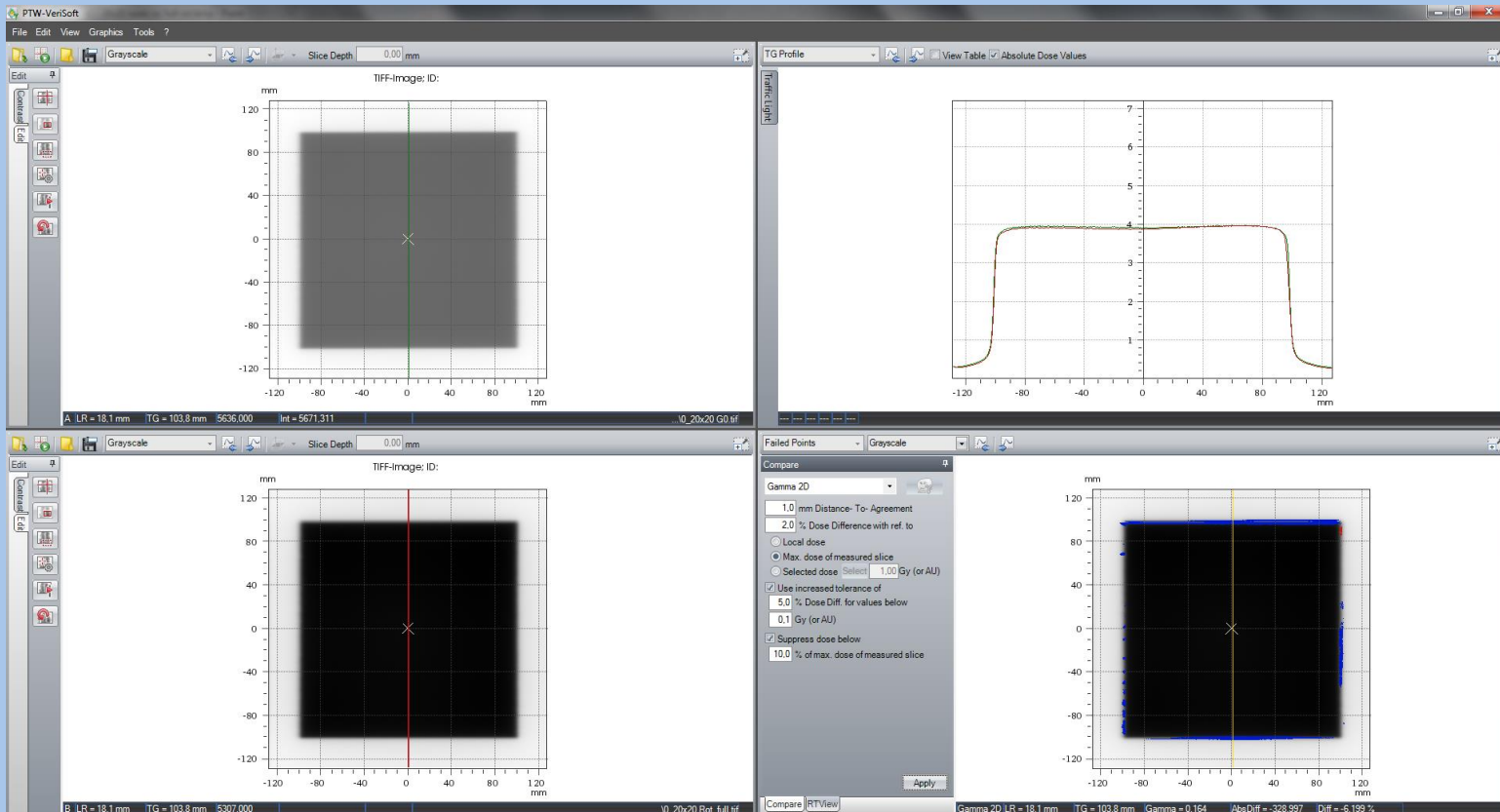
Gemessen in 20 mm Tiefe RW3 mit Gafchromic EBT3-Filmen.

Abstand von Leaf-Spitze:	5 mm		100 mm		250 mm (inkl. Dynamic Leaf Guide)	
	Intra	Inter	Intra	Inter	Intra	Inter
Transmission	0,65%	0,71%	0,62%	0,66%	0,31%	0,33%
STABW (n=5)	0,015%	0,008%	0,016%	0,023%	0,001%	0,002%

herzlichen Dank an Bastian Zeeb für die Auswertung



EPID-basierte VMAT-QS



20x20 cm² open vs. 20x20 cm² full rot.



Mannheimer Badewanne

Gantry/Kollimator

Gantrywinkel: 180,0 Δ

Kollimator: 0,0

Feldgröße X: 40,0

Feldgröße Y: 20,0

X1: -20,0

X2: 20,0

Y1: -10,0

Y2: 10,0

Tol

0,5

0,5

0,2

0,2

0,2

0,2

0,2

0,2

Feldform

BEV Notiz

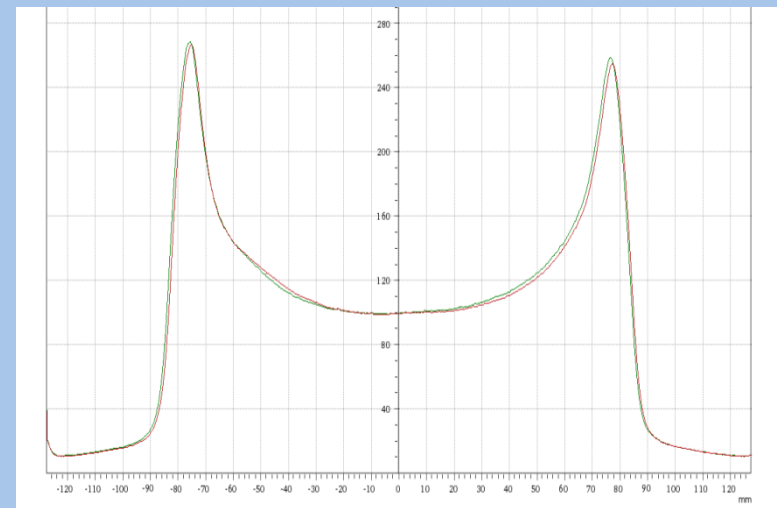
Y2

Y1

IMRT

Punkt	Index	MU
36/36	1,0000	641,00

Tisch Tol



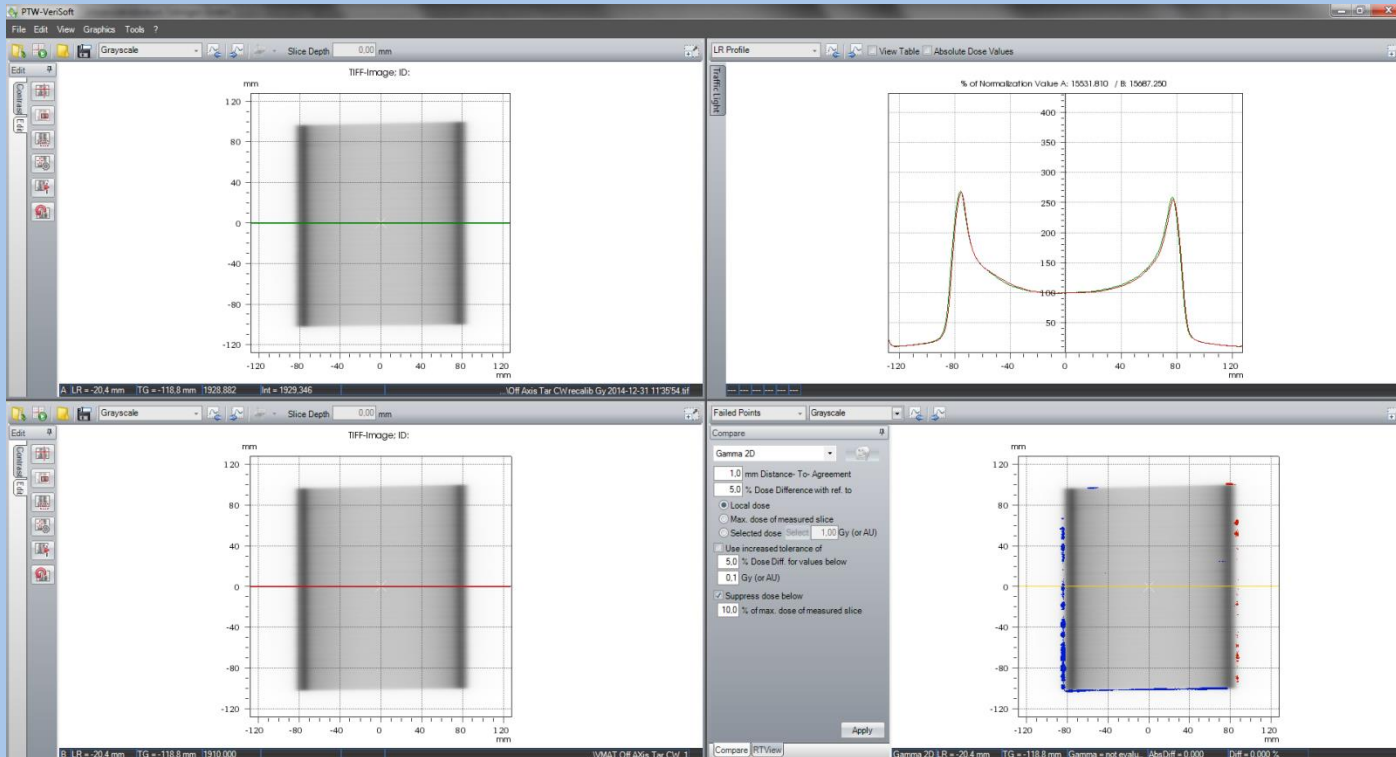
Service-Beam „Off Axis Tar CW“:

360°-Gantryrotation mit konstanter Dosisleistung und Gantrygeschwindigkeit und einem Leafspalt, der mit nicht konstanter Geschwindigkeit einmal hin- und zurück fährt (10 Kontrollpunkte, 641 MU) wird mit mitrotierendem EPID-Panel aufgenommen.

(Vielen Dank an Volker Steil und Frank Schneider vom UMM hierfür!)



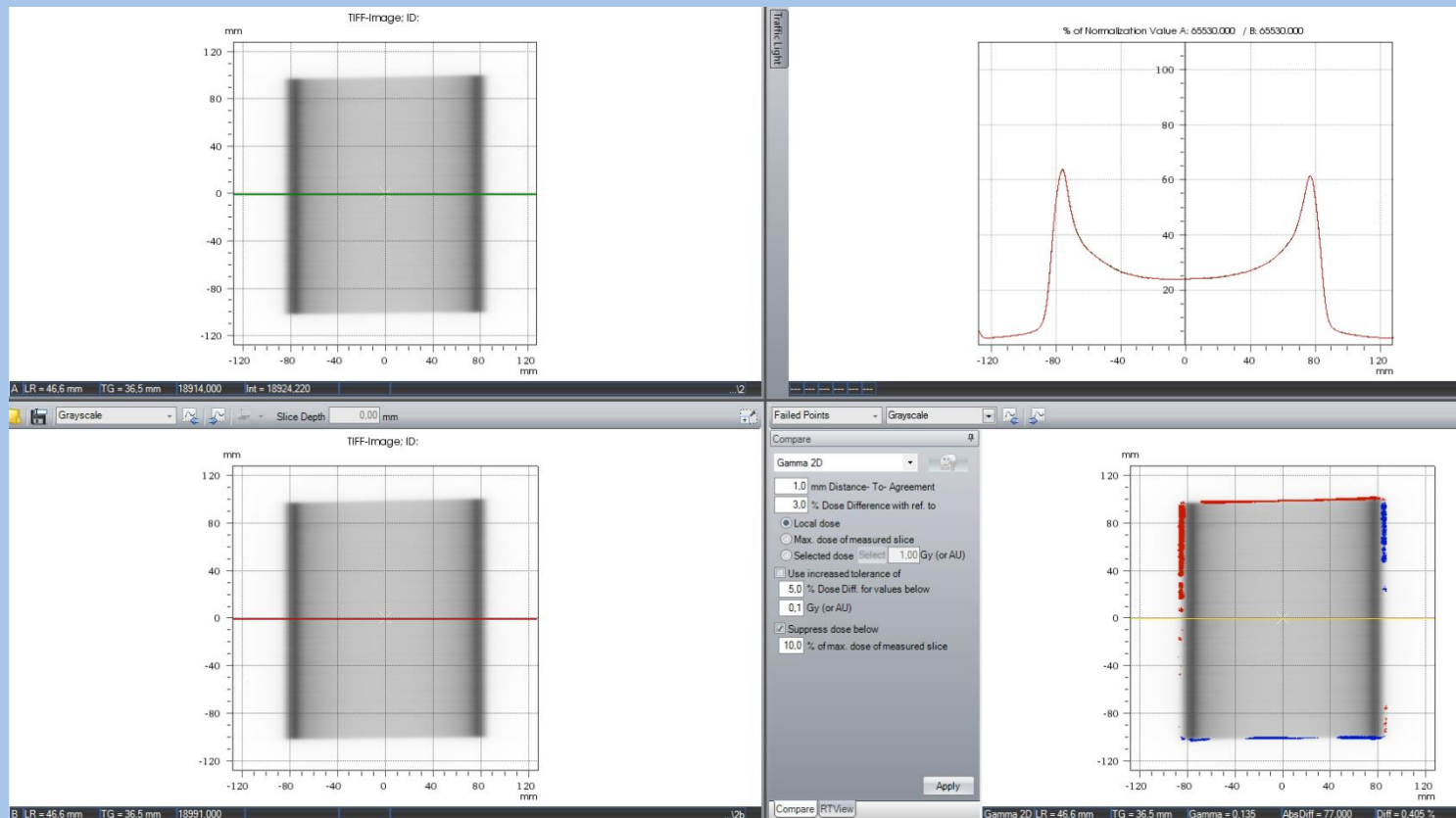
Mannheimer Badewanne



EPID-Aufnahmen werden als *.tif-Bilder exportiert und im PTW VeriSoft mittels lokaler 2D Gamma-Index-Analyse (1mm, 5%) miteinander verglichen. Normierung anhand des Verhältnisses der Grauwerte der offenen 20x20 cm²-Stehfelder.



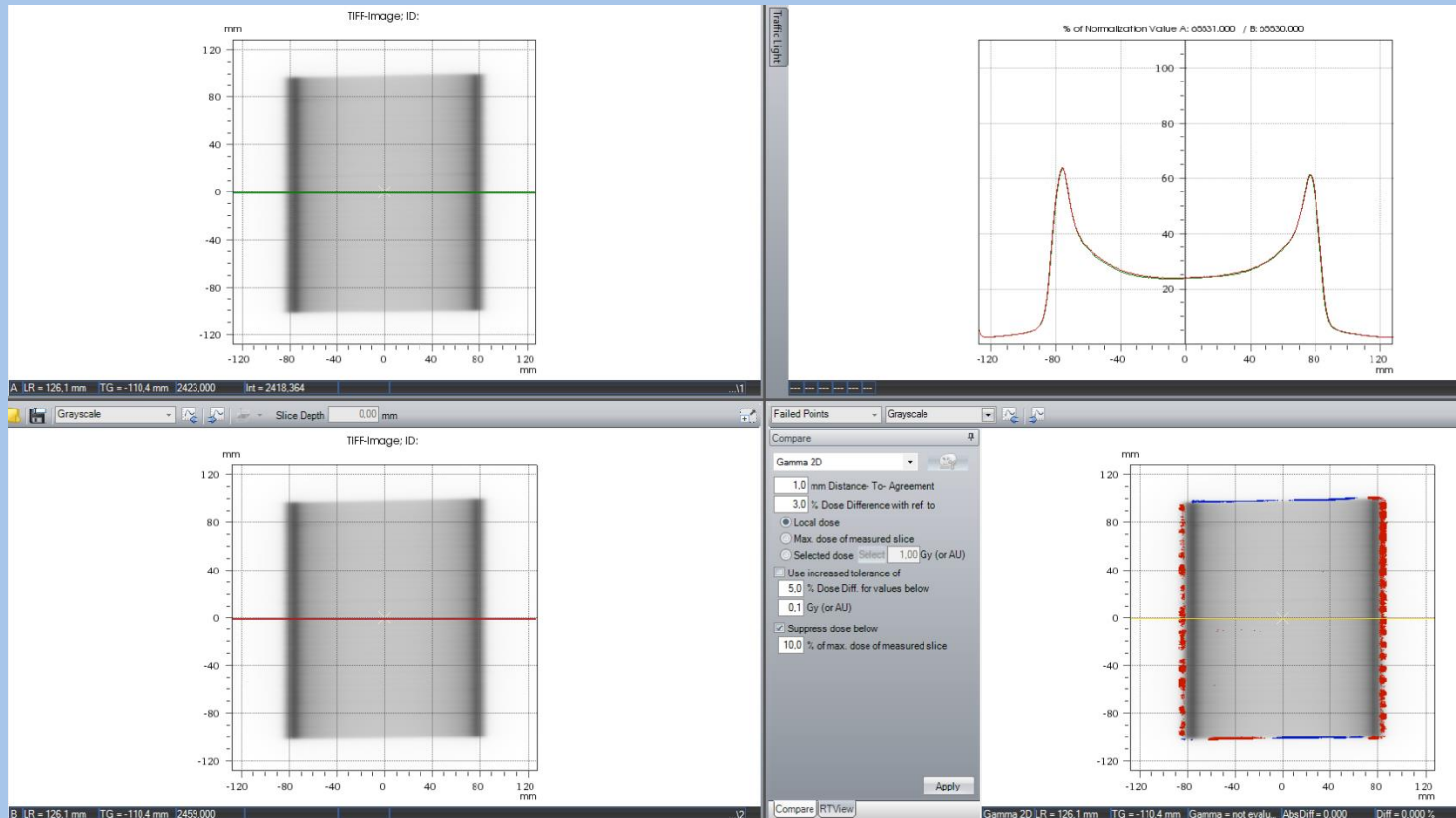
Reproduzierbarkeit



Vergleich zweier direkt hintereinander aufgenommenen Verteilungen desselben Beams.



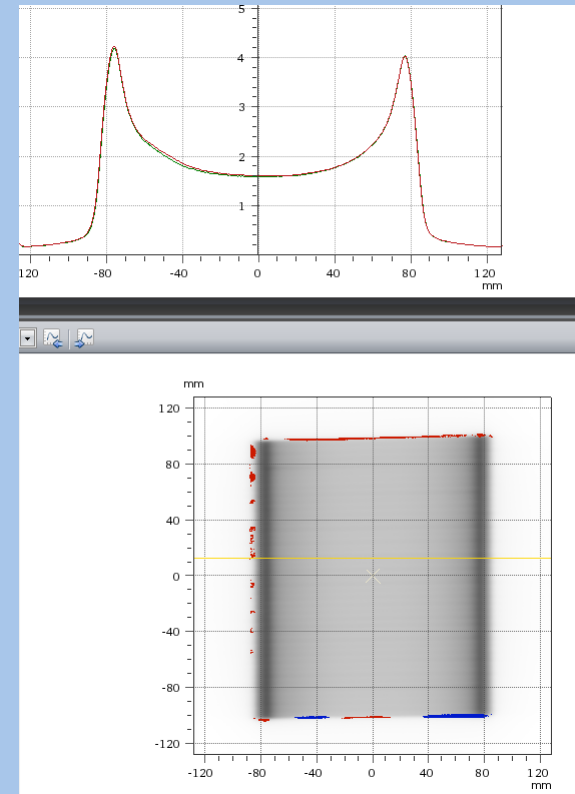
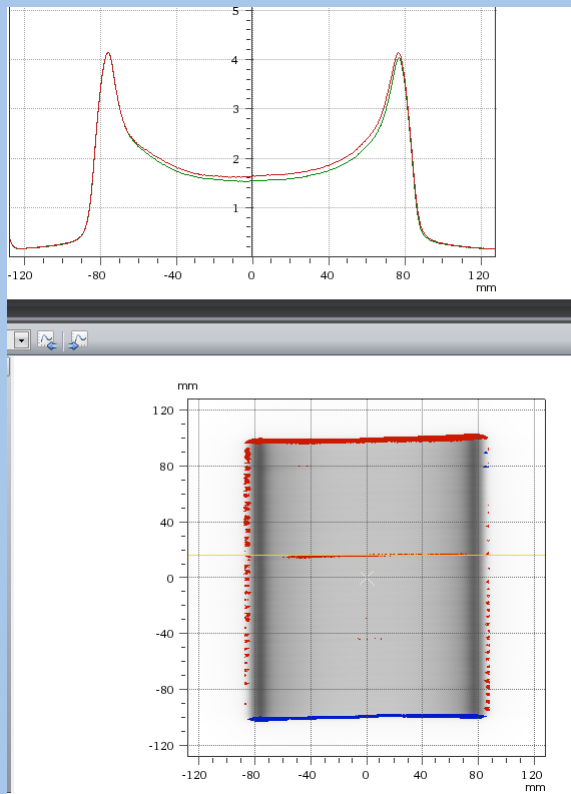
Richtungsabhängigkeit



CW gegen CCW



Sensitivität

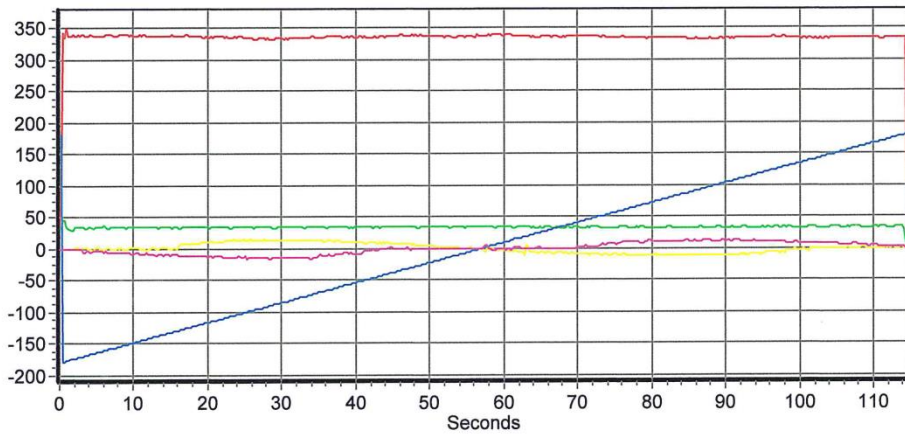


Vor und nach MLC-Neukalibrierung



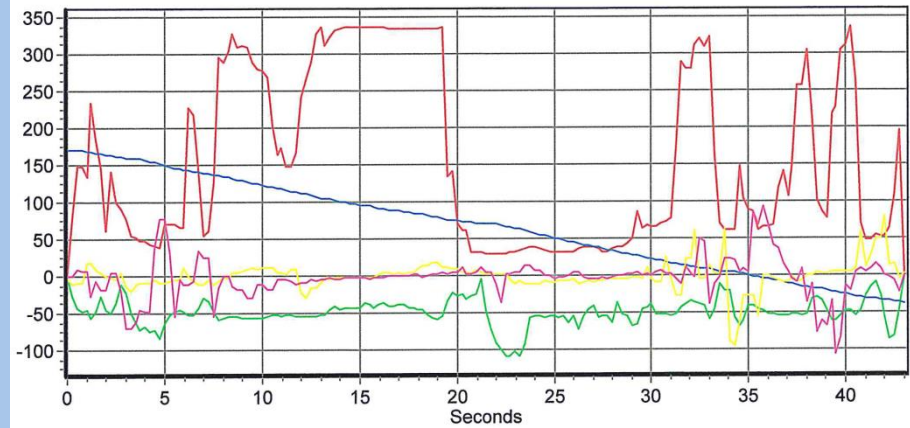
Maschinenparameter-Logs

Live data capture - Display during acquire for Linac: 3180 / Linac-T
Graph Printed on 20/08/2014 6:18:17 PM



- Item 44 /Part 4, D/rate 1 / Confirmed Value, Aq 1
- Item 540 /Part 4, Gant speed / Confirmed Value, Aq 1
- Item 70 /Part 4, Gantry / Confirmed Value, Aq 1
- Item 2420 /Part 115, Leaf Y2 41 / Speed, Aq 1
- Item 2500 /Part 115, Leaf Y1 41 / Speed, Aq 1

Live data capture - Display during acquire for Linac: 3180 / Linac-T
Graph Printed on 20/08/2014 6:22:25 PM



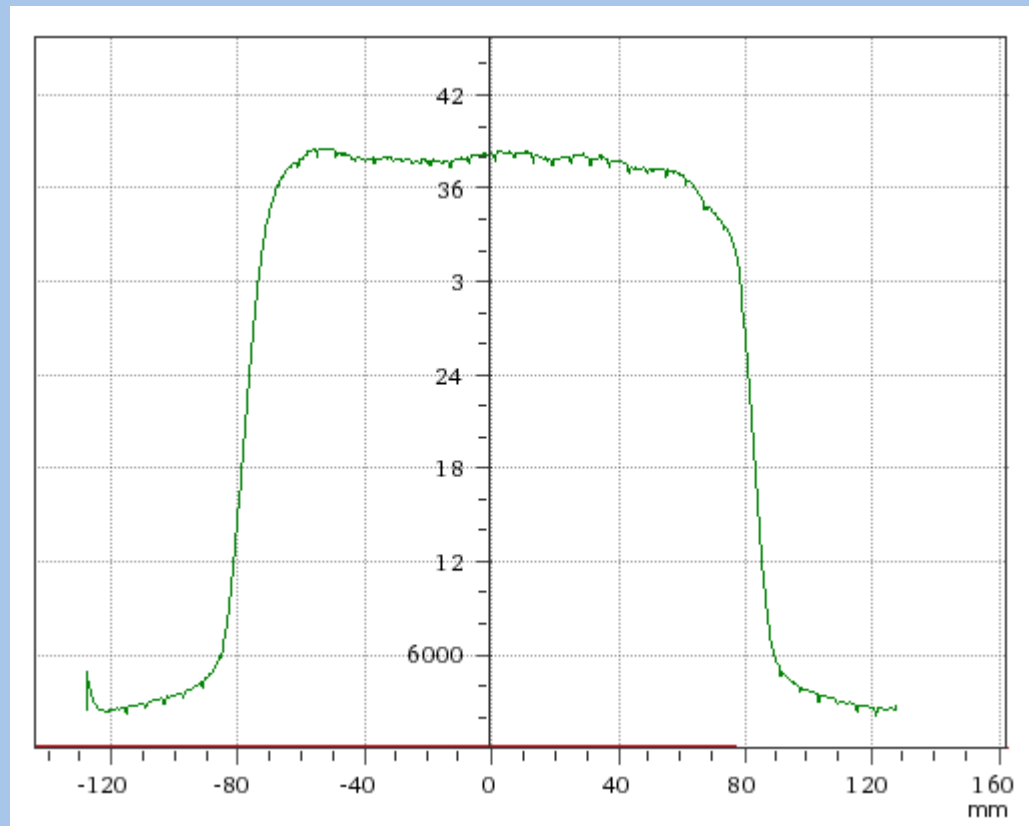
- Item 44 /Part 4, D/rate 1 / Confirmed Value, Aq 1
- Item 540 /Part 4, Gant speed / Confirmed Value, Aq 1
- Item 70 /Part 4, Gantry / Confirmed Value, Aq 1
- Item 2420 /Part 115, Leaf Y2 41 / Speed, Aq 1
- Item 2500 /Part 115, Leaf Y1 41 / Speed, Aq 1

Mannheimer Badewanne (6 MV)

Patientenplan (6 MV)



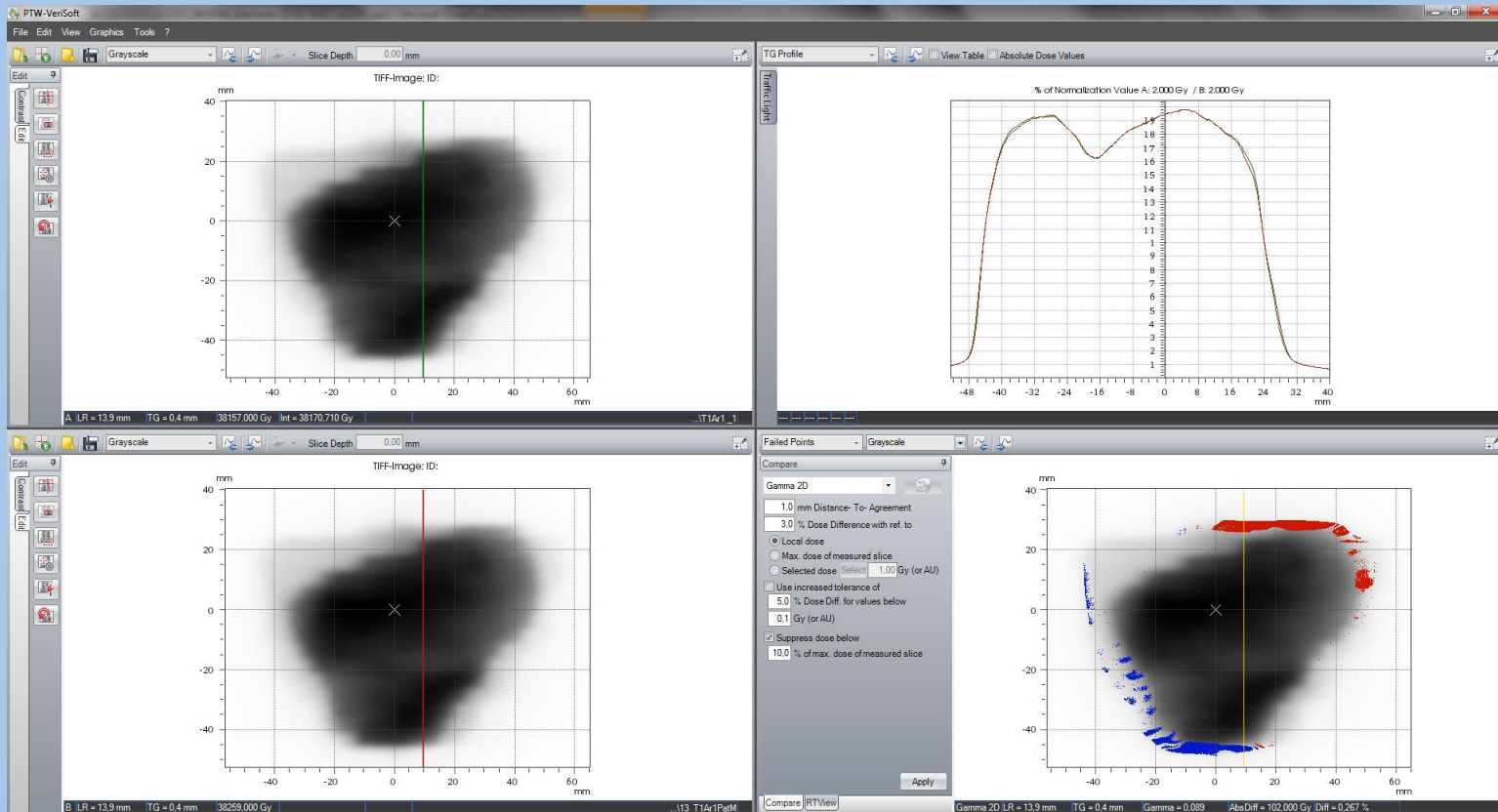
Versuch einer Anpassung



Geringere Leafgeschwindigkeit soll durch geringere Dosisleistung kompensiert werden.



Patientenplan EPID-Dosimetrie

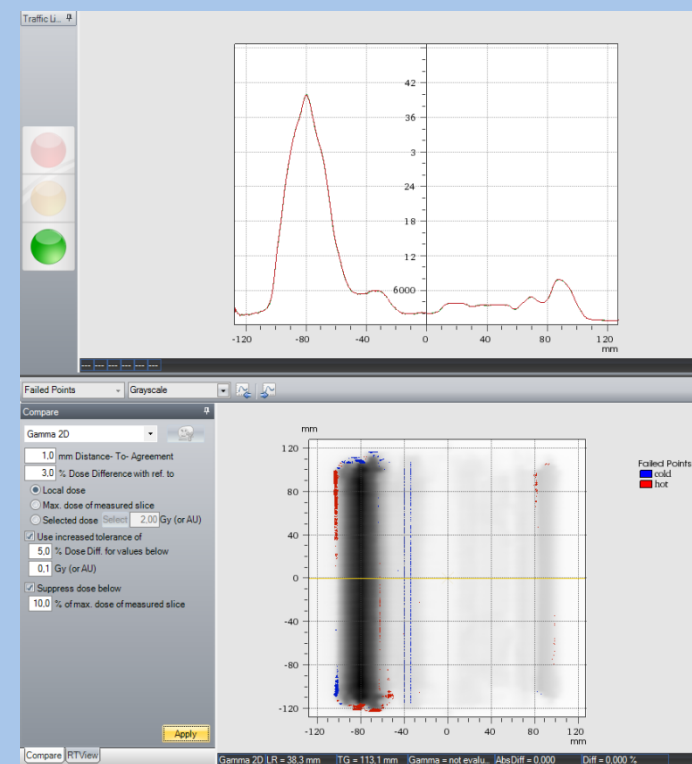


Absolutdosiskalibrierung wieder anhand des Verhältnisses der Dosen im offenen 20x20 cm²- Feld möglich



neuer VMAT-Plan für Konstanzprüfung

Gantry/Kollimator		Tol	Feldform
Gantrywinkel:	179,0 Δ	0,5	<input checked="" type="radio"/> BEV <input type="radio"/> Notiz
Kollimator:	0,0	0,5	
Feldgröße X:	40,0	0,2	
Feldgröße Y:	22,5 Δ	0,2	
X1:	-20,0	0,2	
X2:	20,0	0,2	
Y1:	-11,5 Δ	0,2	
Y2:	11,0 Δ	0,2	
IMRT			
	Punkt Index MU		
	179/179 1,0000 195,40		
Tisch			



Alle Maschinenparameter werden über den gesamten Bereich variiert



Zusammenfassung VMAT-QS

zusätzliche QS-Maßnahmen:

(1. Dosis bei Rotationsbestrahlung mit Ionisationskammer im RW3-Phantom)

2. Absolutdosimetrie bei reduzierter Dosisleistung mit Ionisationskammer (ca. 15 min)

3. VMAT-Konstanzprüfung mit EPID: Mannheimer Badewanne , Patientenplan und neuer eigener Plan (ca. 15 min)

4. Patientenplan – Verifikationen mit Octavius & seven29-Array (ca. 15 min)

-> EPID-Dosimetrie ist gut geeignet, um anhand standardisierter VMAT-Pläne alle relevanten Maschinenparameter in Summe auf Konstanz zu prüfen.
Wichtig: gesamten Parameterbereich prüfen!



FFF („Flattening Filter Free“)



Ausgleichsfilter raus -> höhere Dosisleistung, aber unebene Dosisquerprofile



FFF – wozu?

Höhere Dosisleistung -> kürzere Bestrahlungsdauer -> Zeitersparnis / weniger intrafrakt. Bewegung. (relevante Zeitersparnis nur für Einzeldosen ≥ 7 Gy)

kein Ausgleichsfilter -> deutlich reduzierte Streu- und Leckstrahlung -> geringere Ferndosis -> geringeres Sekundärtumor-Risiko

weniger Streu – und Leckstrahlung + höhere Konstanz des Energiespektrums off-axis -> höhere Genauigkeit der Dosisberechnung möglich.

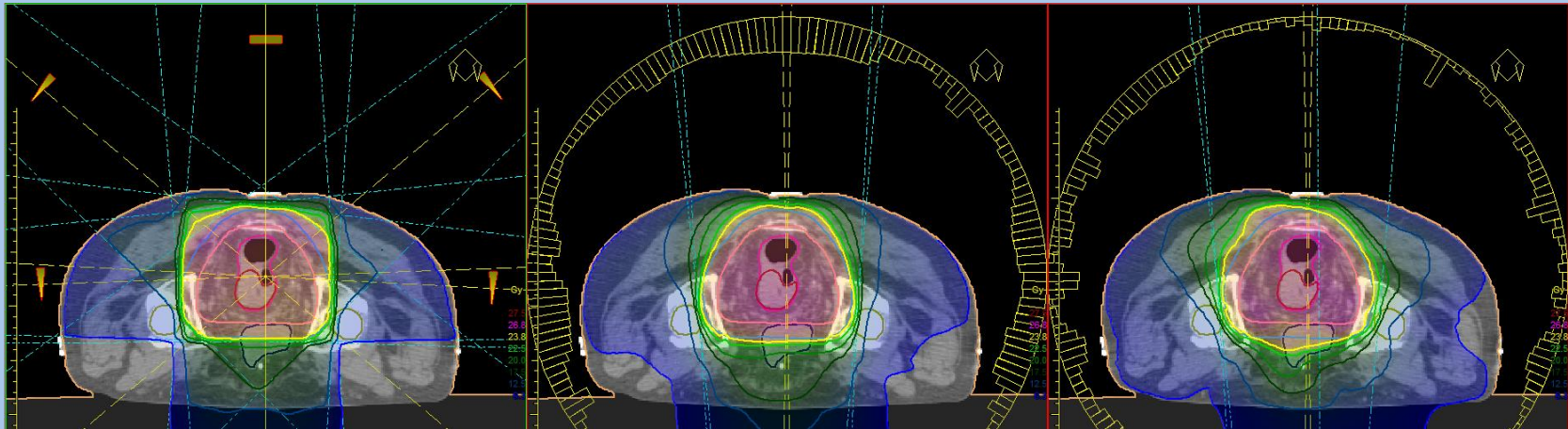
kein Ausgleichsfilter -> weniger LINAC-Regelung erforderlich -> stabilerer Beam

strahlenbiologische Effekte?

-> FFF sollte wegen Minimierungsgebot zumindest für alle kurativen Patienten mit hoher Rest-Lebenserwartung die Methode der Wahl sein!



Pat. mit neoadjuvanten Rektum-Ca., 5x5 Gy ED



Plan	Felder / Bögen	Energie	Anzahl MU	Maximale Dosisrate [cGy/min]	Bestrahlungsdauer [min]	Zeitgewinn
konv. 3D	6	15 MV	703,2	405	6:40	
VMAT	2	10 MV	482,5	405	2:42	3:58
VMAT FFF	2	10 FFF	875,2	1634	2:41	3:59

-> relevante Zeitersparnis erst ab Einzeldosen ≥ 7 Gy und bei kleinen Zielvolumen



reduzierte Ferndosis

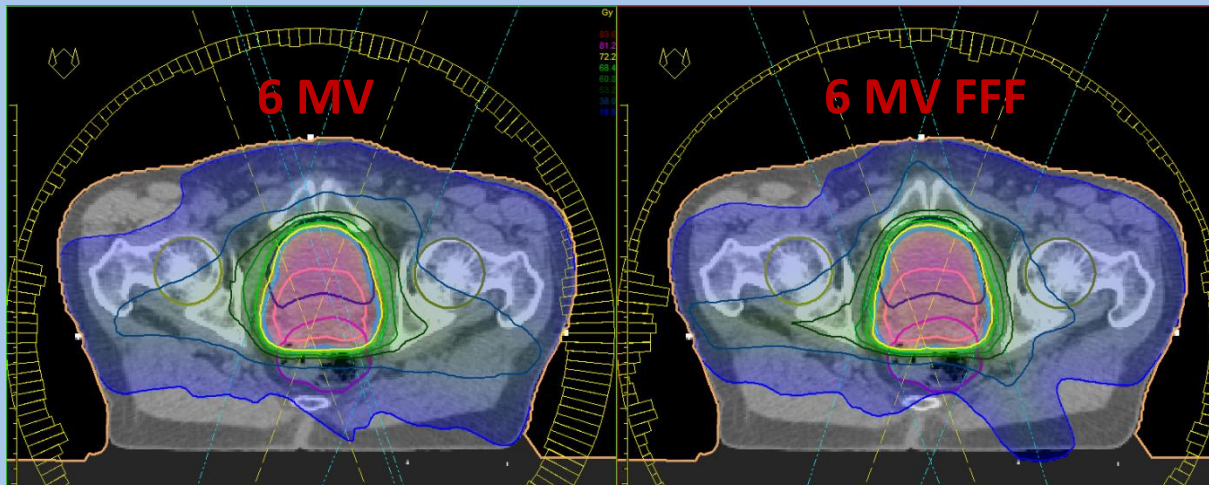
Energie	Stehfeld 0° Gantry Feldgröße [cm ²]	0,3cc semiflex in 17 cm Iso- Entfernung	Farmer in 31 cm Iso- Entfernung	Kugelkammer in ca. 300 cm Iso-Entfernung
6 MV	3 x 3	- 33,6 %	- 39,9 %	- 64,8 %
	5 x 5	- 27,9 %	- 30,3%	- 63,4 %
	10 x 10	- 25,6 %	- 28,0 %	- 59,1 %
	20 x 20	- 40,3 %	- 41,0 %	- 54,8 %
10 MV	3 x 3	- 47,3 %	- 43,3%	- 61,3 %
	5 x 5	- 40,8 %	- 34,9 %	- 69,3 %
	10 x 10	- 35,0 %	- 33,8 %	- 58,7 %
	20 x 20	- 46,7 %	- 47,4 %	- 54,5 %

Unterschied der in den Ionisationskammern gesammelten Ladungen außerhalb des Strahlenfeldes bei FFF im Vergleich zu WFF.



reduzierte Ferndosis

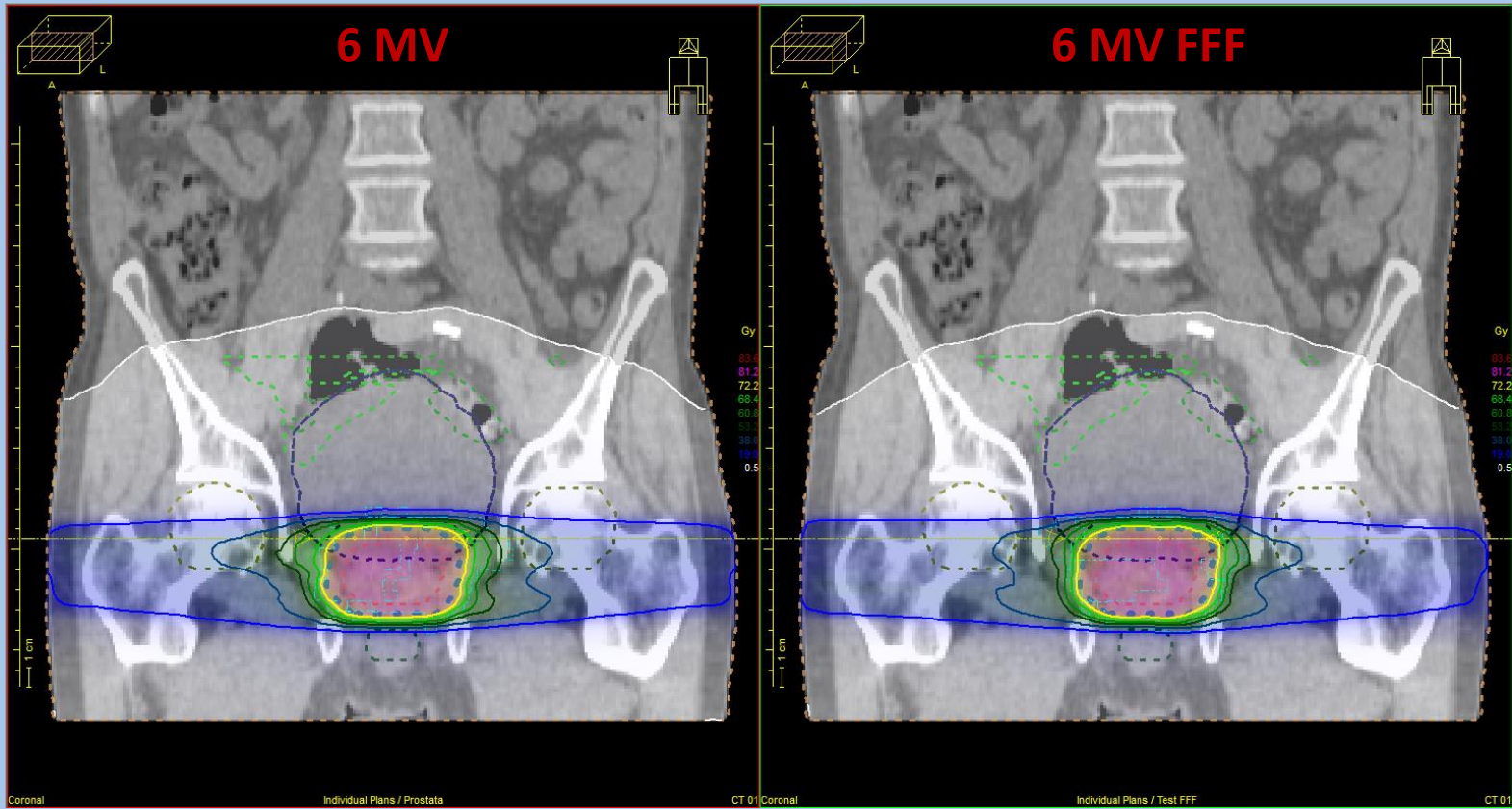
Patient 1: Prostata-Ca. 76 Gy, 2 Arcs 200°-160°, PTV-Größe: **140 cm³**



Energie	Anzahl MU	Maximale Dosisrate [MU/min]	0,3 cc semiflex in 17 cm Iso-Entfernung	Farmer in 31 cm Iso-Entfernung	Kugelkammer in ca. 300 cm Iso-Entfernung
6 MV	304,3	350	102,6 pC	28,3 pC	13130 pC
6 MV FFF	324,2	1246	72,4 pC	17,7 pC	5064 pC
Differenz:	+ 6,5 %	+ 256 %	-29,4 %	- 37,6 %	- 61,4 %



reduzierte Ferndosis

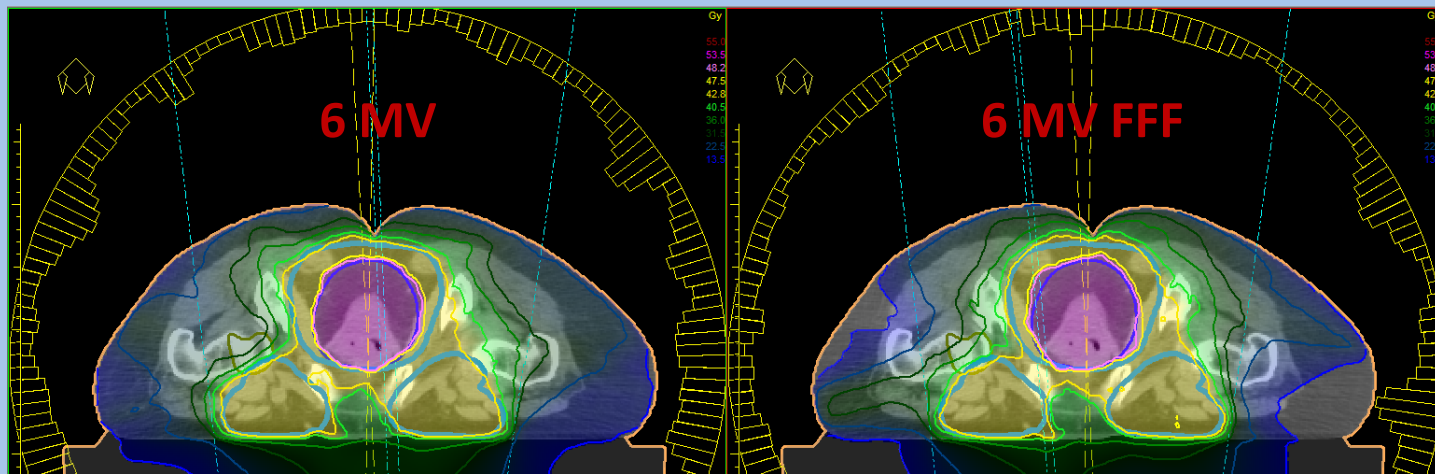


Im TPS (Masterplan) jedoch nicht sichtbar, da hier nur Streuung im Patienten, nicht jedoch Streu- und Leckstrahlung im Strahlerkopf berücksichtigt werden!



reduzierte Ferndosis

Patient 2: Anal-Ca. SIB 45/50 Gy, 2 Arcs 181°-179°,
PTV-Größe: **3002** cm³ (davon 394 cm³ PTV Boost)

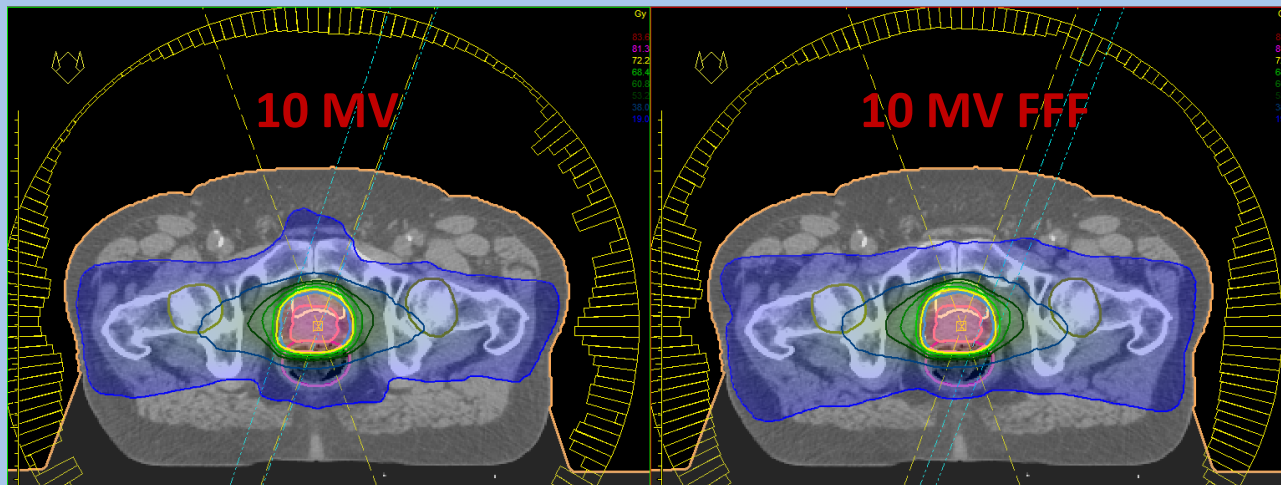


Energie	Anzahl MU	Maximale Dosisrate [MU/min]	0,3 cc semiflex in 17 cm Iso-Entfernung	Farmer in 31 cm Iso-Entfernung	Kugelkammer in ca. 300 cm Iso-Entfernung
6 MV	460,6	350	903,2 pC	205,5 pC	31410 pC
6 MV FFF	503,2	773	760,5 pC	167,9 pC	20730 pC
Differenz:	+ 9,2 %	+ 121 %	- 15,8 %	- 18,3 %	- 34,0 %



reduzierte Ferndosis

Patient 3: Prostata 76 Gy, 1 Arc 200°-160°,
PTV-Größe: **135,9 cm³**



Energie	Anzahl MU	Maximale Dosisrate [MU/min]	0,3 cc semiflex in 17 cm Iso-Entfernung	Farmer in 31 cm Iso-Entfernung	Kugelkammer in ca. 300 cm Iso-Entfernung
10 MV	242,3	405	11,38 mGy	1,60 mGy	9647 pC
10 MV FFF	268,9	450	8,02 mGy	1,13 mGy	6401 pC
Differenz:	+ 11 %	+ 11,1 %	- 29,5 %	- 29,3 %	- 33,6 %



FFF – was ändert sich?

Höhere Dosisleistung , insb. höhere Dosis pro Puls -> dosimetrische Effekte?

unebene Dosisquerprofile -> neue Definitionen für Feldgröße, Symmetrie, Flatness usw. nötig?

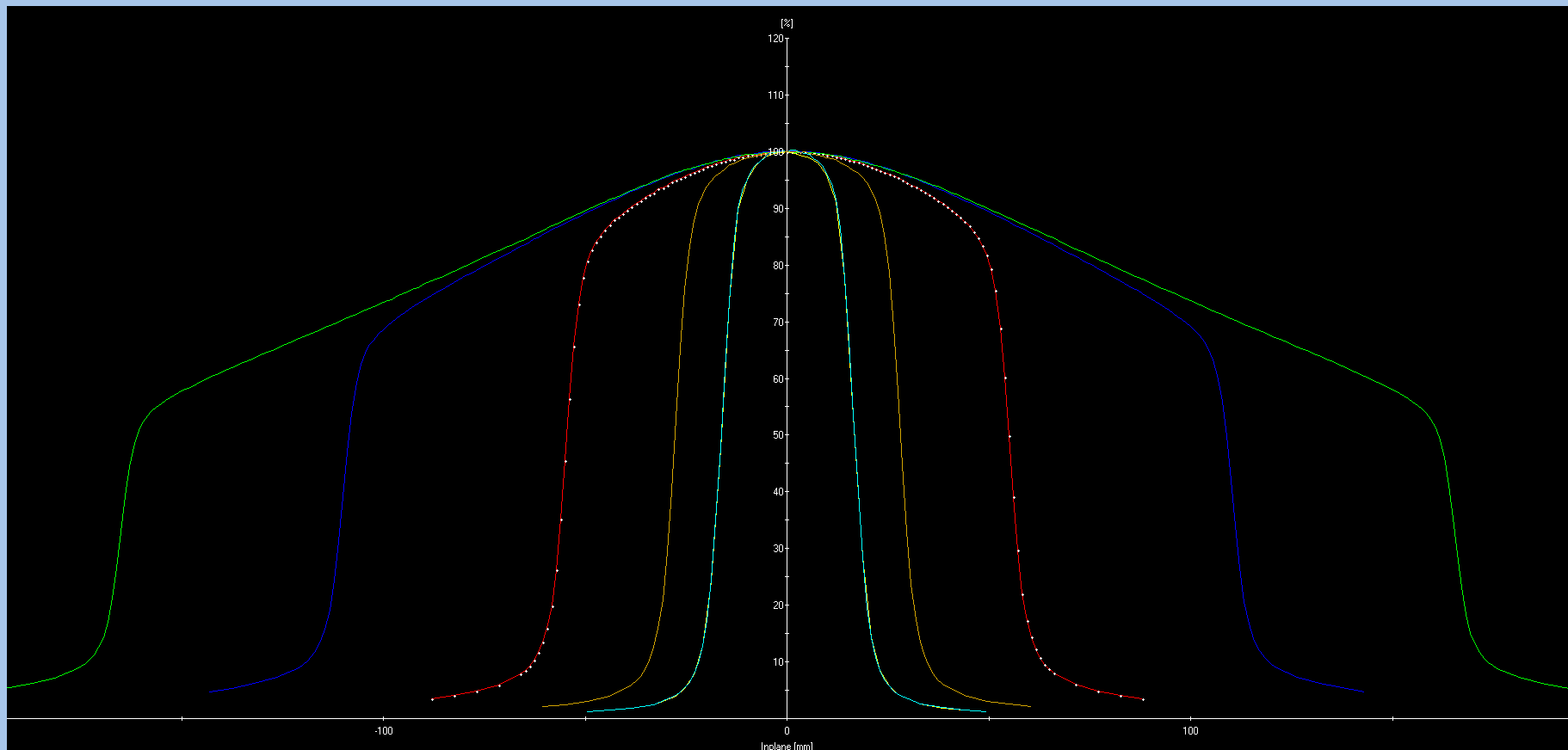
Energiespektrum? -> klinische und dosimetrische Effekte?

höhere Dosisleistung, weniger Streu- und Leckstrahlung -> Effekte auf die Bestrahlungsplanung?

Strahlenbiologie?

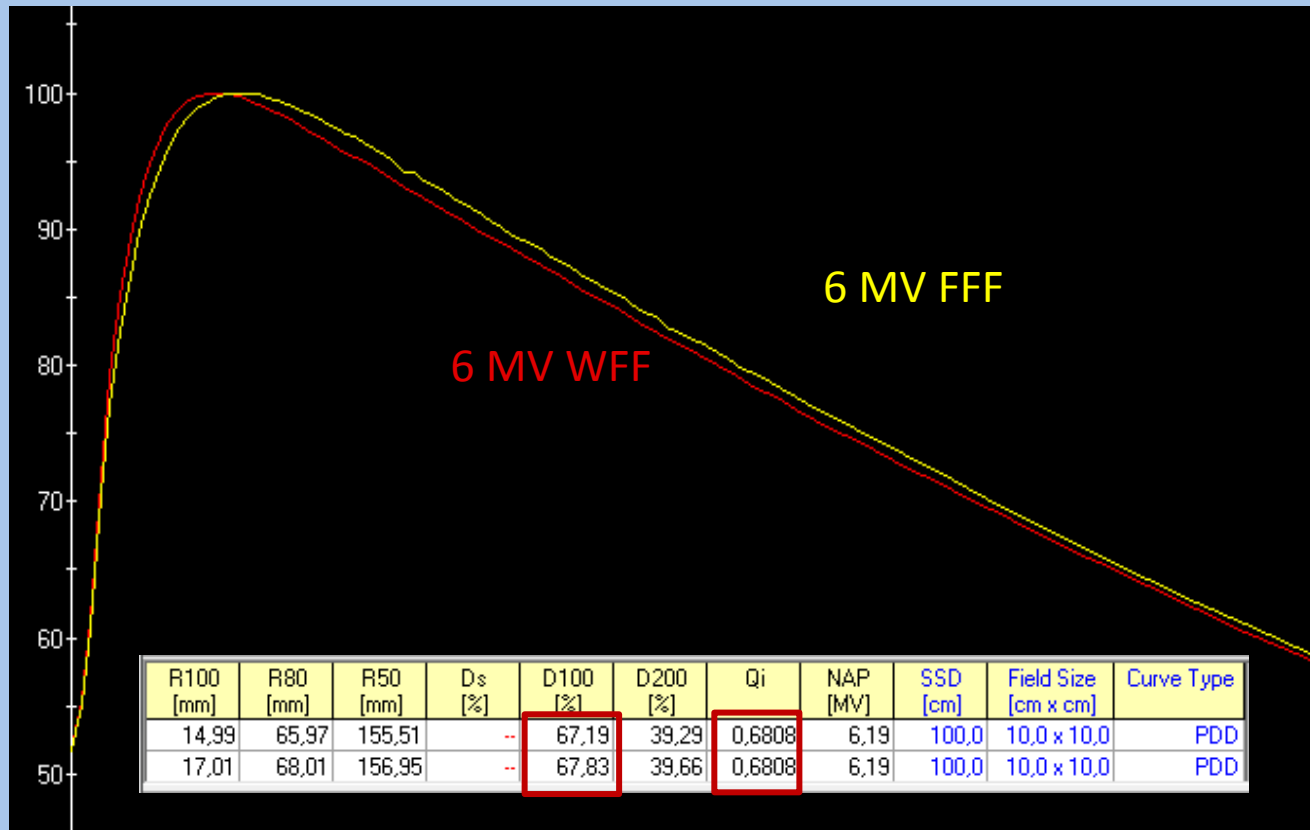


FFF - Dosisquerprofile





FFF – Energie matchen



Energiedefinition ELEKTA 6 MV:

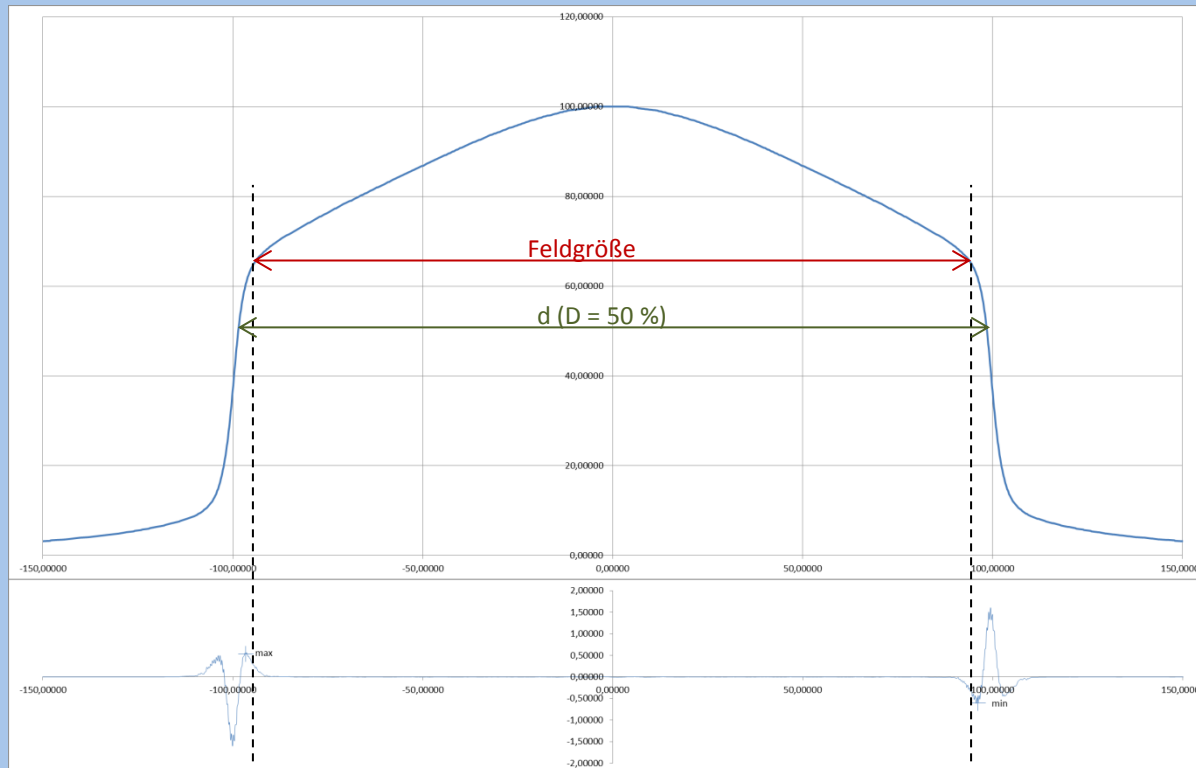
fixes $D_{10\text{ cm}} = 67,5\%$

Energiedefinition nach DIN 6800 6 MV:

fixes $Q = 1,2661 * (D_{20\text{ cm}} / D_{10\text{ cm}}) - 0,0595 = 0,6800$



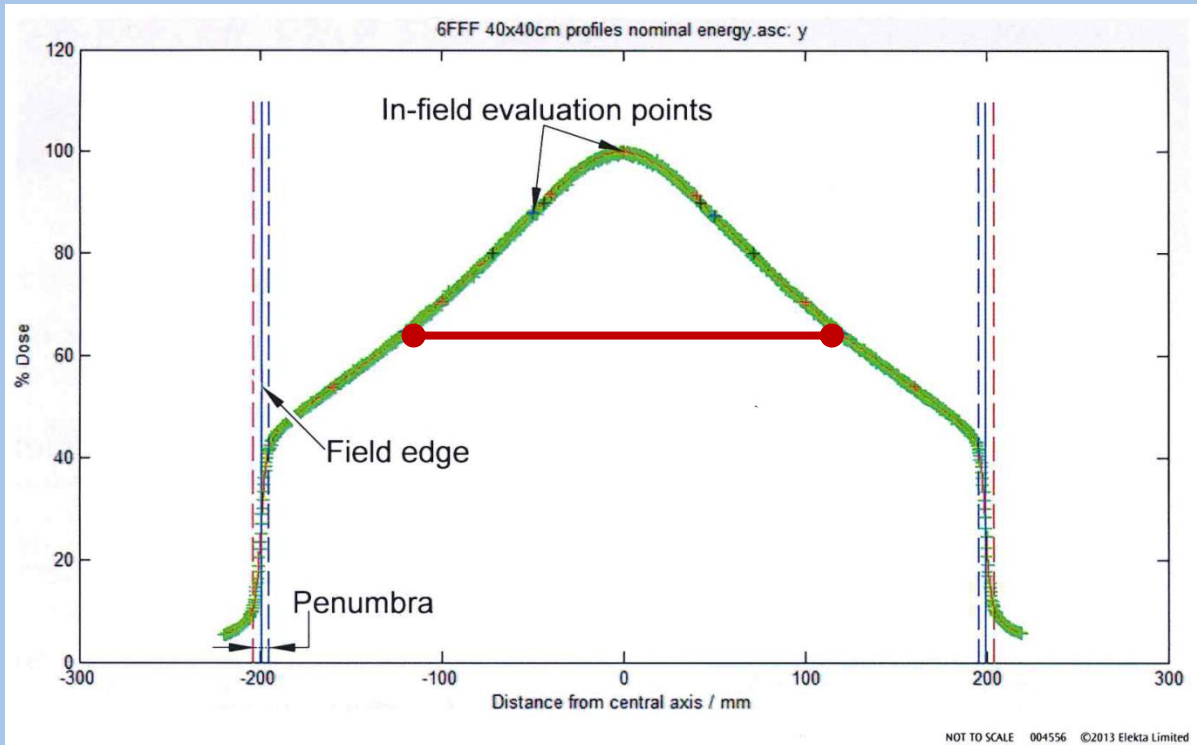
FFF – Definition Feldgröße und Penumbra



Die Feldgröße wird definiert als Abstand inneres Maximum-Minimum der 3. Ableitung. Nach Renormierung dieser Punkte auf 100 % ist dann die Penumbra wie üblich (80 % -20 %) bestimmbar. (Methode nach Fogliata et al.)



FFF – Definition Symmetrie



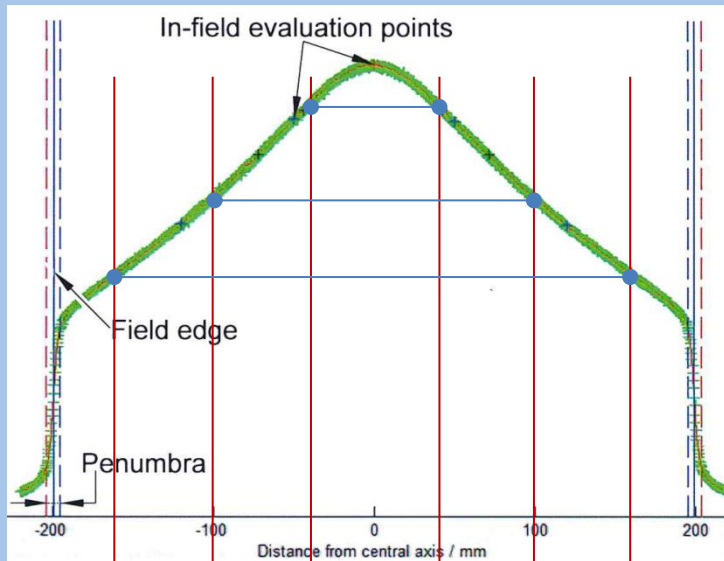
$$\text{Symmetry} = 100 \times \frac{\max(D_{\text{left}}, D_{\text{right}})}{\min(D_{\text{left}}, D_{\text{right}})}$$

D_{left} and D_{right} are points equidistant from the center axis on the left and right side.



FFF – Definition Homogenität („Flatness“)

Vergleich der relativen Dosiswerte bei



der halben Feldgröße links - rechts

Table 2.22 Nominal relative dose and tolerances at each field measurement point for the major axes (6 MV)

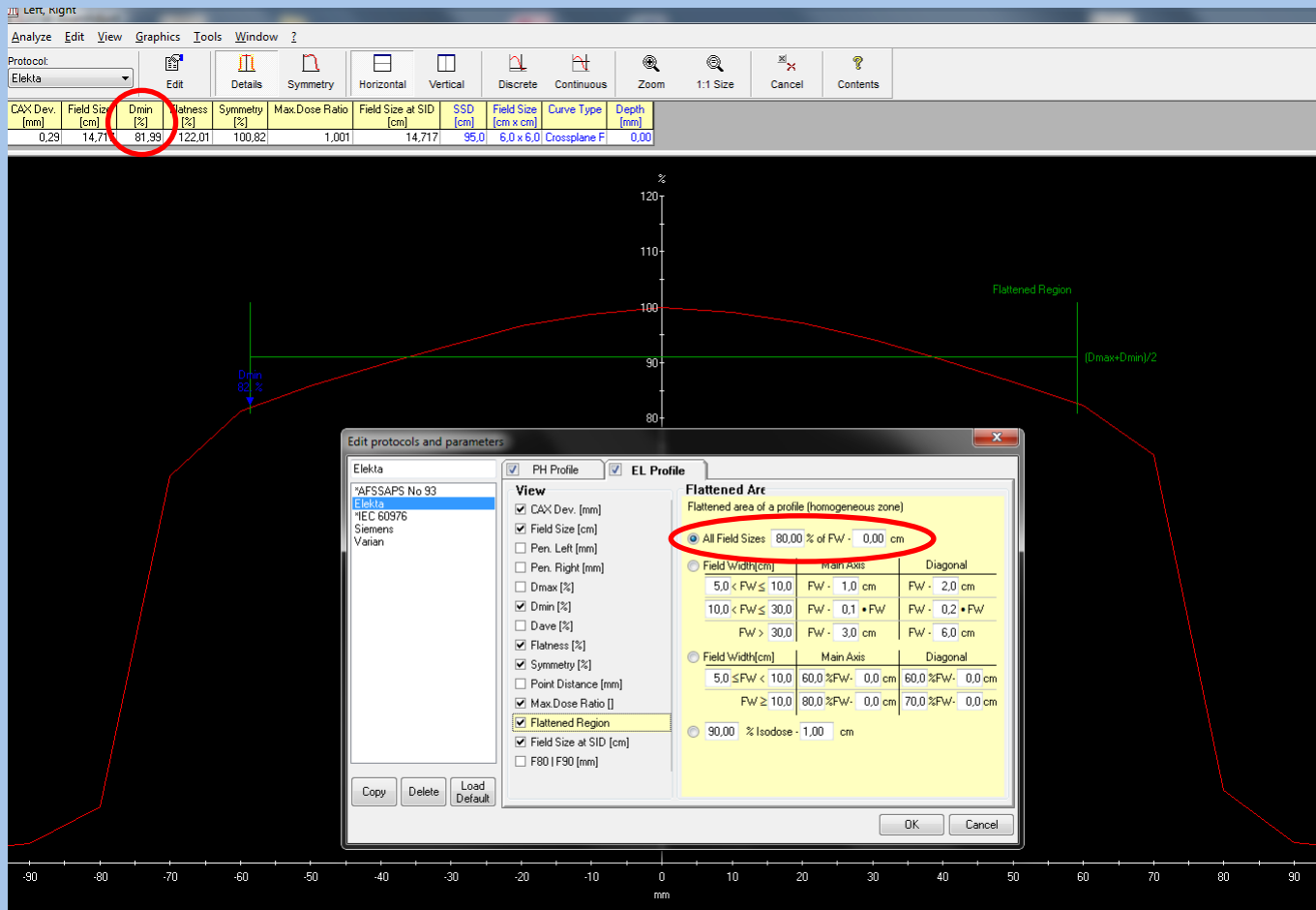
Measurement point distance from CAX as a % of the half field width	Nominal relative dose (%) for each test field size (cm × cm)					
	5 × 5	10 × 10	15 × 15	30 × 30	35 × 35	40 × 40
20%	99.6	99.1	98.3	94.6	93.1	91.1
50%	97.8	94.9	90.9	78.2	74.4	70.3
80%	91.5	87.1	80.5	62.6	58.2	53.6
Absolute tolerance (±%)	2	2	3	3	3	3

Table 2.23 Nominal relative dose and tolerances at each field measurement point for the major axes (10 MV)

Measurement point distance from CAX as a % of the half field width	Nominal relative dose (%) for each test field size (cm × cm)					
	5 × 5	10 × 10	15 × 15	30 × 30	35 × 35	40 × 40
20%	99.5	98.4	96.7	90.0	87.3	84.9
50%	96.6	91.4	85.0	67.9	62.9	59.0
80%	88.4	81.1	71.8	51.5	46.5	42.4
Absolute tolerance (±%)	3	3	3	3	3	3



QS Symmetrie und Flatness





QS Symmetrie und Flatness

Messaufbau: seven29-Array im Isozentrum, 2 cm RW3 Aufbau- und Rückstreumaterial, Nullmessung
Messung mit Software "BeamAdjust", Dose rate, Averaging OFF, Speed=Normal, Range=Low, Intervall time=200ms
nach Messung auf "Dose" umschalten und Werte auslesen
FG: 20x20 cm²
Achtung: Check->Analyze->Edit->Flattened Region = 90,00% of FW - 1,00 cm

Monitorvorwahl	100 MU				3 MU			
	Flatness A-B	Flatness G-T	Symmetrie A-B	Symmetrie G-T	Flatness A-B	Flatness G-T	Symmetrie A-B	Symmetrie G-T
6 MV	102,47	103,1	100,22	100,39	102,75	103,05	100,69	100,24
15 MV	103,96	103,36	100,5	100,29	104,45	103,34	101,98	101,61
10 MV	102,43	102,56	100,62	100,43	102,52	102,56	101,33	100,8
6 MV FFF			100,75	100,6			100,09	100,7
10 MV FFF			100,71	100,77			100,67	101,87

Toleranz: < 105 % < 101,5 % < 107 % < 103 %

"Flatness" FFF:
FG: 15x15 cm² Range = High 100 MU
Check->Analyze->Edit->Flattened Region = 80,00% of FW - 0,00 cm
-> Flatness = Dmax/Dmin, Kehrwert davon in Tabelle unten eintragen!

	Flatness A-B	Flatness G-T	Soll	Abw. A-B	Abw. G-T
6 MV FFF	0,820	0,828	0,805	0,015	0,023
10 MV FFF	0,738	0,742	0,718	0,020	0,024

Toleranz: Abweichung vom Soll < 0,05

Check->Analyze->Edit->Flattened Region = 50,00% of FW - 0,00 cm
-> Flatness = Dmax/Dmin, Kehrwert davon in Tabelle unten eintragen!

	Flatness A-B	Flatness G-T	Soll	Abw. A-B	Abw. G-T
6 MV FFF	0,909	0,914	0,909	0,000	0,005
10 MV FFF	0,852	0,859	0,850	0,002	0,009

Toleranz: Abweichung vom Soll < 0,05

Check->Analyze->Edit->Flattened Region = 20,00% of FW - 0,00 cm
-> Flatness = Dmax/Dmin, Kehrwert davon in Tabelle unten eintragen!

	Flatness A-B	Flatness G-T	Soll	Abw. A-B	Abw. G-T
6 MV FFF	0,978	0,979	0,983	-0,005	-0,004
10 MV FFF	0,961	0,965	0,967	-0,006	-0,002

Toleranz: Abweichung vom Soll < 0,05

Table 2.22 Nominal relative dose and tolerances at each field measurement point for the major axes (6 MV)

Measurement point distance from CAX as a % of the half field width	Nominal relative dose (%) for each test field size (cm x cm)					
	5 x 5	10 x 10	15 x 15	30 x 30	35 x 35	40 x 40
20%	99.6	99.1	98.3	94.6	93.1	91.1
50%	97.8	94.9	90.9	78.2	74.4	70.3
80%	91.5	87.1	80.5	62.6	58.2	53.6
Absolute tolerance (±%)	2	2	3	3	3	3

Table 2.23 Nominal relative dose and tolerances at each field measurement point for the major axes (10 MV)

Measurement point distance from CAX as a % of the half field width	Nominal relative dose (%) for each test field size (cm x cm)					
	5 x 5	10 x 10	15 x 15	30 x 30	35 x 35	40 x 40
20%	99.5	98.4	96.7	90.0	87.3	84.9
50%	96.6	91.4	85.0	67.9	62.9	59.0
80%	88.4	81.1	71.8	51.5	46.5	42.4
Absolute tolerance (±%)	3	3	3	3	3	3

aus ELEKTA CAT Manual:



FFF / HDR - Dosimetrische Effekte

Inkonstante Dosisverteilung über den Kammerquerschnitt -> volume averaging effect -> für kleine Detektoren $< 0,1\%$ -> kleine Kammern verwenden, dann vernachlässigbar

Weicheres Energiespektrum -> Änderung der Massen-Stoßbremsvermögen-Verhältnisse Wasser/Luft -> neue k_Q -Faktoren (Unterschied max. 0,5 %)

Höhere Dosis pro Puls-Rate -> andere k_s -Faktoren. (typischerweise $< 1,0\%$, aber für flüssigkeitsgefüllte Ionisationskammern lt. Literatur bis zu 7 %). Zwei-Spannungen-Methode funktioniert auch bei FFF.

Kammerarray (seven29) zeigt keine Sättigung, aber andere k_s – bzw. k_Q -Faktoren



Patientenplan-Verifikationen

DoseMap: ID: ST001084

	Messung	Messung	Abweichung	berechnet	Abweichung
	seven29	0,125cc		seven29	
	[Gy]	[Gy]		[Gy]	
6 MV	0,938	0,950	-1,31%	0,941	-0,35%
10 MV	0,997	0,992	0,43%	0,99	0,67%
15 MV	1,028	1,009	1,82%	1,014	1,37%
6 FFF	0,952	0,948	0,35%	0,939	1,36%
10 FFF	0,998	0,985	1,39%	0,978	2,09%

Measurement

50 mm distance: 10 Agreements

2.0 % Dose Difference with ref. to

Local dose

Max. dose of measured slice

Selected dose (selected: 2.00 Gy (or AU))

Use increased tolerance of

5.0 % Dose Diff. for values below

0.2 Gy (or AU)

Suppress dose below

30.0 % of max. dose of measured slice

Apply

Gamma 3D LR = -30,0 mm TG = -50,0 mm Gamma = not evalu. AbsDiff = 0,000 Gy Diff = 0,000 %

im Octavius-Phantom mit seven29



HDR - Effekte auf die Bestrahlungsplanung

Höhere Dosisleistung führt (bei Nichtbeachtung) zu:

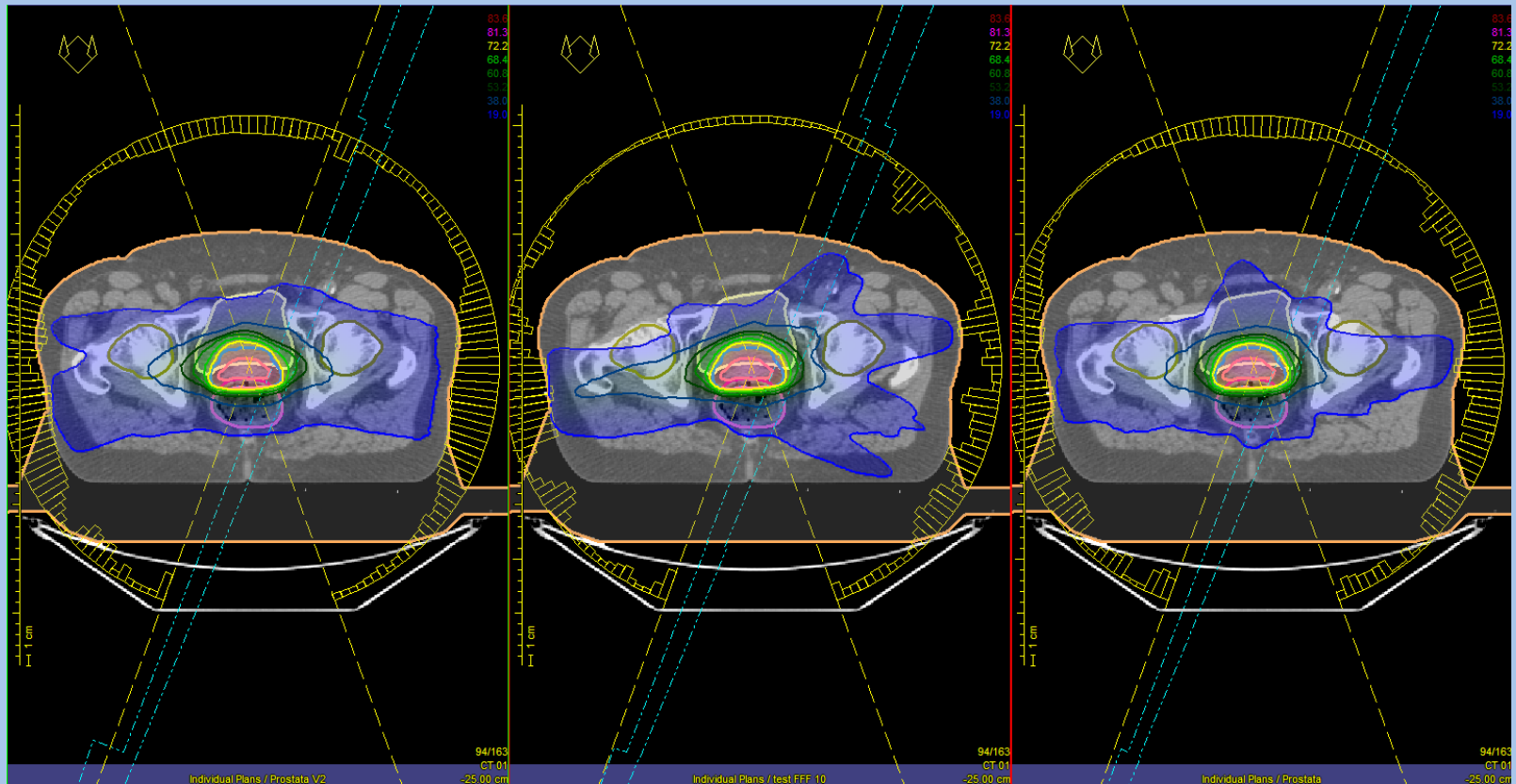
inhomogenerer Dosisverteilung, mehr „Dosisstraßen“, stärker modulierten Plänen

kleineren MLC-Abständen (schmalere Segmente) -> höherem Einfluss von Transmission,

größerem Einfluss des Einschwingverhaltens bei Step&Shoot



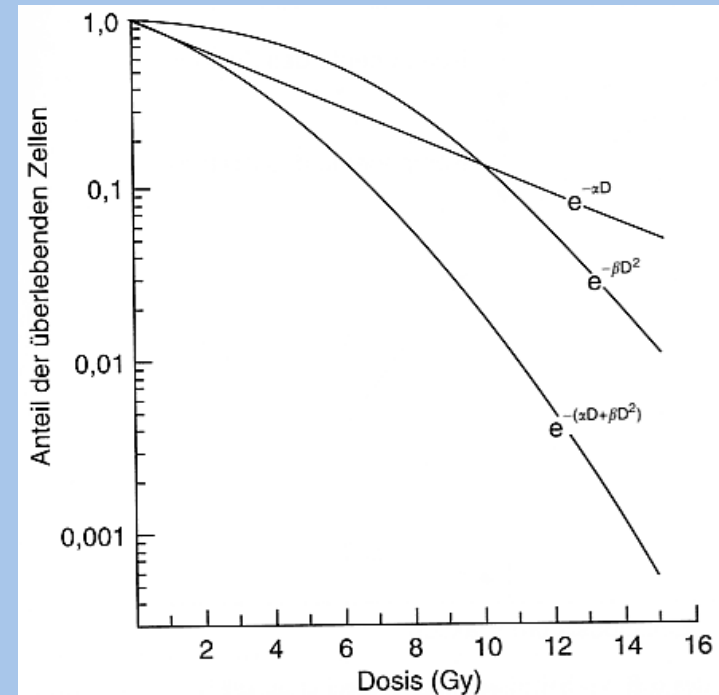
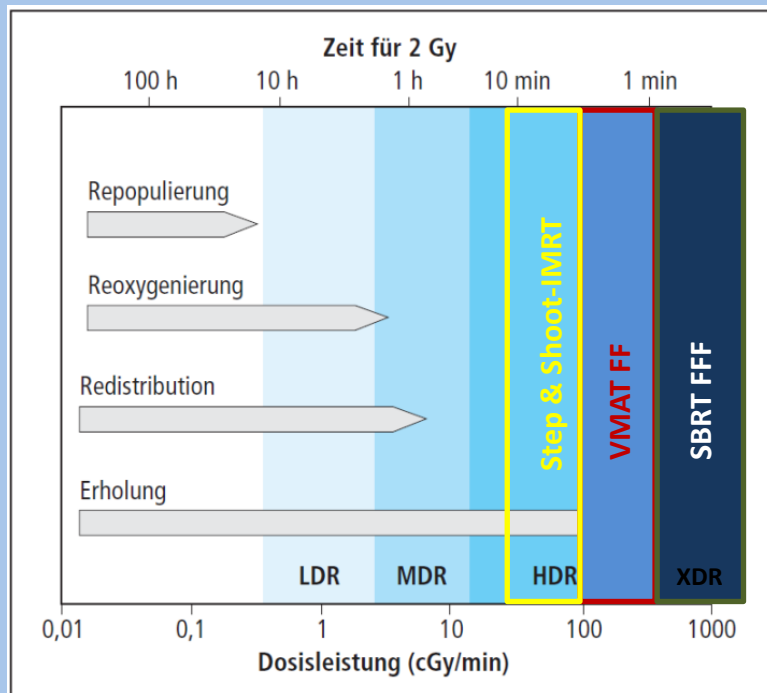
Dosisstraßen



Dosisstraßen und unnötig stark modulierte Pläne durch Reduzierung der maximalen Dosisleistung, Hilfsvolumen oder surrounding dose falloff vermeidbar.



FFF/HDR - strahlenbiologische Effekte?

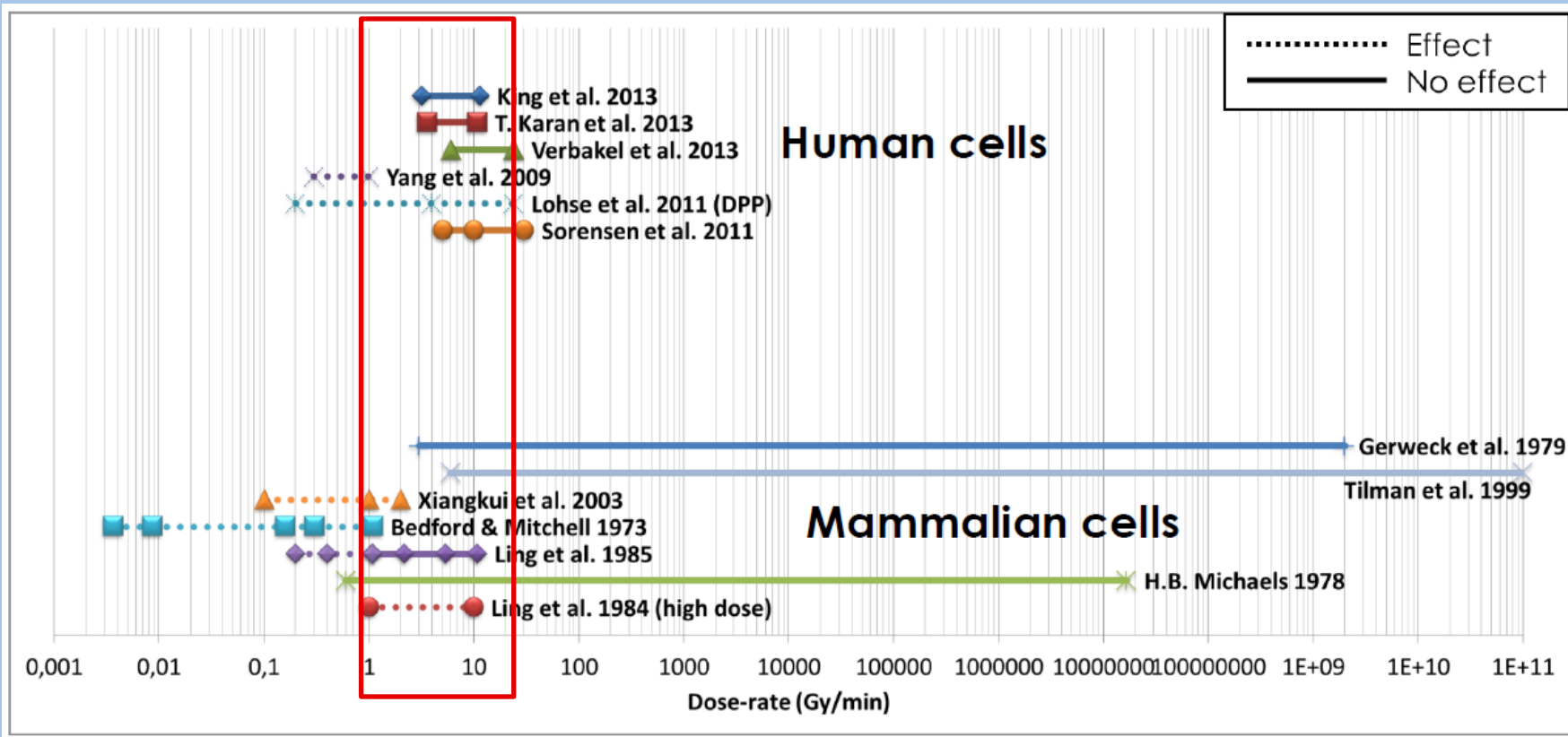


4Rs: Erholung WÄHREND einer Bestrahlungsfraction?

Gültigkeit des linearquadratischen Modells bei hohen Dosisleistungen und hohen Einzeldosen?



Zusammenfassung einiger Studien über strahlenbiologische Effekte



(mit freundlicher Genehmigung von Simon Valdenaire, IPC / CRCM Marseille)



Zusammenfassung Studien über strahlenbiologische Effekte

Author(s)	Year	Cells studied	Dose-rate	Dose	Results
Verb Fond Powerpoint IPC-blanc-petit-AMU.jpg		lung cancer (SW1573), malignant glioma (T98) & astrocytoma (D384)	6 & 24 Gy/min	0 à 12 Gy en 1 fraction 10 ou 15 Gy en 5 fractions	No dose-rate effect entre 0 et 12 Gy No difference in 5 fractions survival
T. Karan et al.	2013	2 human carcinoma (H460 non-small lung carcinoma & SiHa carcinoma of the cervix) & Hamster lung fibroblasts V79	3,6 Gy/min (F et FFF), 10,8 Gy/min (FFF)	2, 5 or 10 Gy, en une ou plusieurs fractions (jusqu'à 1h d'irradiation)	Few low differences at 5Gy for H460 cells and at 10 Gy for V79 (dose per pulse difference only). Split-dose exp: no difference WFF & FFF. At 15 min, treatments start being less effective.
King et al.	2013	Human prostate cancer (DU-145) Human non-small cell lung cancer (NCI-H460)	3,2 Gy/min (FF et FFF), 11,3 Gy/min (FFF)	2, 4 and 8 Gy	No instantaneous dose-rate effect (6X & 6FFF, 400 UM/min) No delivery time effect (6FFF with different PRF)
Sorensen et al.	2011	chinese hamster lung fibroblast (V79) & human head and neck squamous carcinoma (FaDu)	5, 10 et 30 Gy/min	1 --> 10 Gy	No dose-rate effect, or instantaneous dose-rate (56-338 Gy/s) effect
Lohse et al.	2011	Human glioblastoma T98G (p53 muté) and U87-MG (p53 ok)	0,2, 4 (X10) and 24 (FFF10) Gy/min	5 et 10 Gy	Difference in survival due to dose per pulse (rather than delivery time, PRF or spectrum)
Yang et al.	2009	lung (H460), prostate (PC3) & breast (MCF7) tumor	1 Gy/min ou 7 champs de 2 Gy/min (moyenne 0,3 Gy/min)	2 Gy	Difference for 3 cell lines (MCF7 : de 25 à 40 % de survie) Durée : 123 ou 421,5 secondes pr 2 Gy
Deasy et al. (review)	2001				10 % change in BED when changing from 2 to 10 min
Song et al. (review)	2012				10 % BED loss in 30 min tumor irradiation (compared to acute)
Fowler (review)	2004	animal & human			loss of BED when treatment time > 15 min (increase with fraction dose). Repair half time 4.8 min --> 1.2 h
Ling (review)	2010	animal & human			Repair 1/2 time 80 +/- 50 min in tumors, 2 components in NT (7 min --> 3,5 h)

(mit freundlicher Genehmigung von Simon Valdenaire, IPC / CRCM Marseille)



Zusammenfassung FFF

FFF stellt neue Herausforderungen bei Dosimetrie und Bestrahlungsplanung, aber diese sind überschaubar, die Unterschiede sind kleiner als erwartet.

Qualitätssicherung von Symmetrie, Flatness, Field Size etc. mit kleinen Anpassungen wie bisher möglich.

Absolutdosimetrie mit kleinen luftgefüllten Kammern, Kammerarrays und Dioden ohne großen Fehler möglich, Dosis über den gesamten Dosisleistungsbereich prüfen!

Hauptvorteil: deutliche Reduzierung der Ferndosis um 30 bis 70 %, deshalb für alle kurativen Patienten mit kleinen bis mittleren Zielvolumen empfehlenswert .

Relevante Zeitersparnis erst bei Einzeldosen ≥ 7 Gy.

Weitere Vorteile: Stabilerer Beam und höhere Genauigkeit der Dosisberechnung.

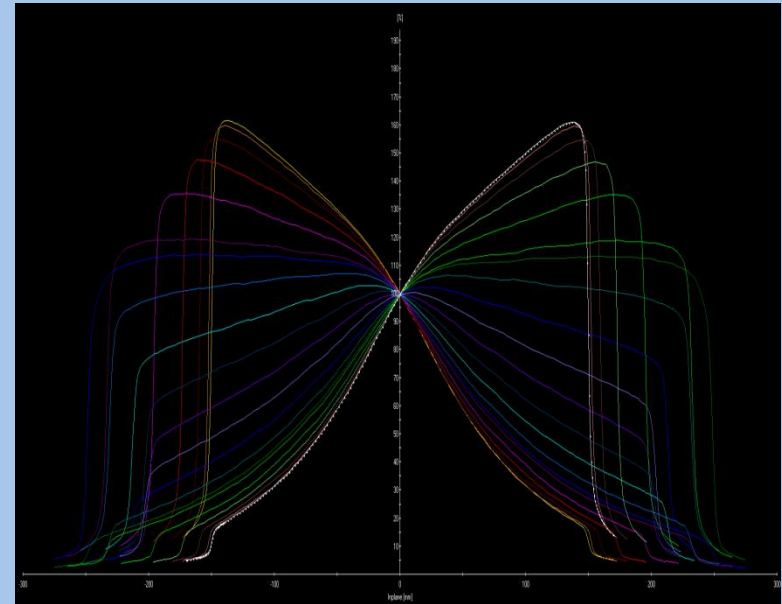
Strahlenbiologisch zumindest für kleine Einzeldosen vermutlich k(l)eine Effekte.



Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit !

Vielen Dank für die Unterstützung an:

- Michael Bay, MVZ-UKT Stuttgart,
- Erdal Parlak, MVZ-UKT Stuttgart,
- Bastian Zeeb, UKT Tübingen,
- Daniel Porzer, ELEKTA Stuttgart,
- Volker Steil, UMM Mannheim,
- Frank Schneider, UMM Mannheim,
- Simon Valdenaire, IPC Marseille.



Kontakt: daniel.hummel@med.uni-tuebingen.de



Referenzen

DIN 6875-3: Spezielle Bestrahlungseinrichtungen – Teil 3: Fluenzmodulierte Strahlentherapie – Kennmerkmale, Prüfmethode und Regeln für den klinischen Einsatz 2008

Schneider, F. et al: Angleichen von Elekta Versa HD Linearbeschleunigern für IMRT- und VMAT-Behandlungen mit und ohne Ausgleichsfilter. Poster PY4, DEGRO 2014

Fogliata et. al: Definition of parameters for quality assurance of flattening filter free (FFF) photon beams in radiation therapy. Med. Phys. 39 (10) 2012

ELEKTA CAT Manual 1503568 (03/2013)

Duane, S.: Traceable dosimetry in FFF beams.pdf Vortrag ELEKTA FFF-Symposium prior to ESTRO am 3.4.14 in Wien

Xiong, G. and Rogers, D.W.O.: Stopping-power ratios $%dd(10)x$, for FFF accelerators. Med. Phys. 35 (5) 2008

Lechner et al.: Detector comparison for small field output factor measurements in flattening filter free photon beams. Rad. Oncol . 309 (2013) 356-360

Steil, V. und Fleckenstein, J.: QA of FFF beams.pdf Vortrag ELEKTA FFF-Symposium prior to ESTRO am 3.4.14 in Wien

Valdenaire, S.: High dose-rate effects in radiotherapy. in vitro experiments and literature review.pdf Vortrag FFF-Summit Marseille 6./7.10.2014