

Bestrahlungsplanung

Teil 1: Einführung und Grundlagen

Dr. rer. nat. Hui Khee Looe

Tenzin S. Stelljes

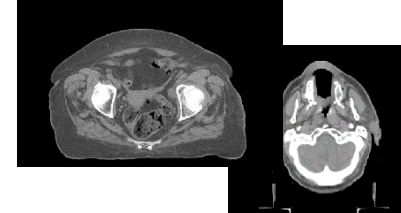
Folien erstellt von Daniela Poppinga

Universitätsklinik für Medizinische Strahlenphysik, Pius Hospital, Medizinischer Campus der
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg



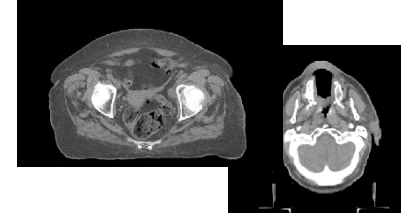
Ablauf einer Strahlentherapie

1. CT des Patienten in definierter Lagerung



Ablauf einer Strahlentherapie

1. CT des Patienten in definierter Lagerung

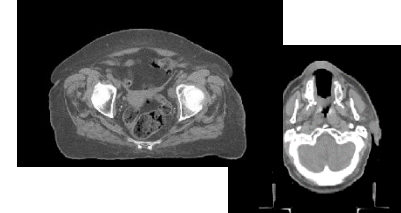


2. Konturierung der Risikoorgane und des zu bestrahlenden Gebiets



Ablauf einer Strahlentherapie

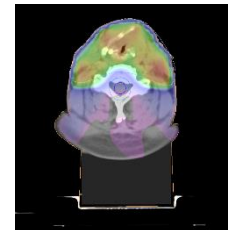
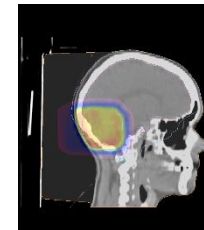
1. CT des Patienten in definierter Lagerung



2. Konturierung der Risikoorgane und des zu bestrahlenden Gebiets

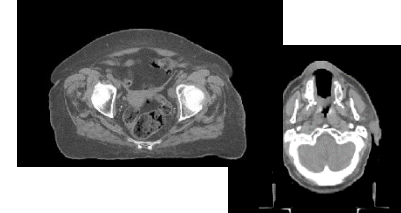


3. Bestrahlungsplanung



Ablauf einer Strahlentherapie

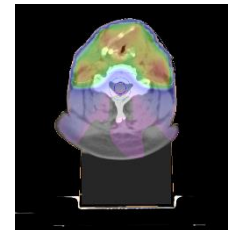
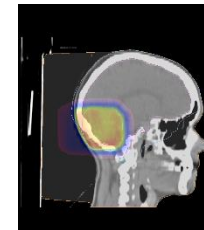
1. CT des Patienten in definierter Lagerung



2. Konturierung der Risikoorgane und des zu bestrahlenden Gebiets



3. Bestrahlungsplanung

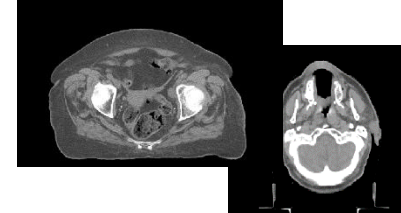


4. Durchführung der Bestrahlung



Ablauf einer Strahlentherapie

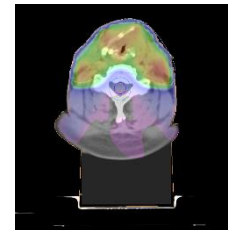
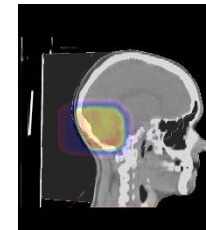
1. CT des Patienten in definierter Lagerung



2. Konturierung der Risikoorgane und des zu bestrahlenden Gebiets



3. **Bestrahlungsplanung**



4. Durchführung der Bestrahlung



Planungs CT

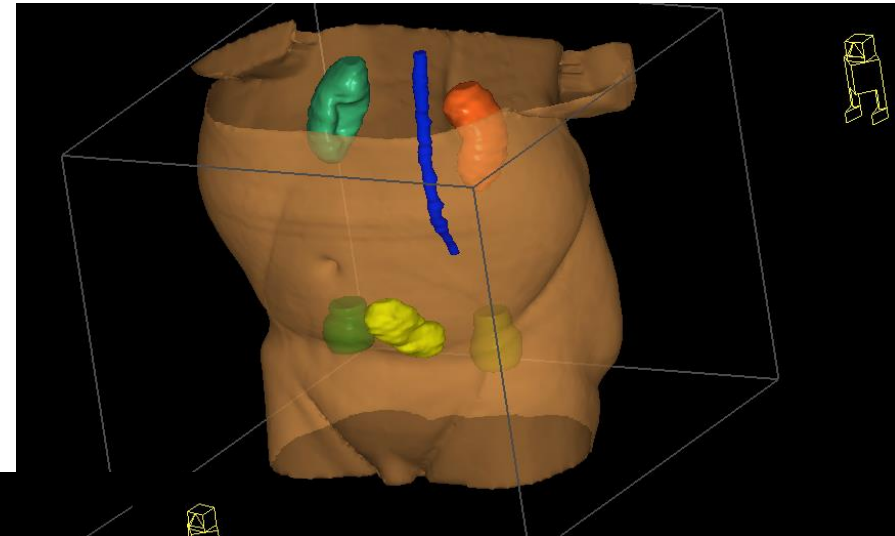
- Als Grundlage für einen Bestrahlungsplan dient ein CT des Patienten, evtl. auch ein MRT oder ein PET-CT
- Der Patient ist während des CT, der Bestrahlungssimulation, sowie der eigentlichen Bestrahlung **gleich gelagert**
- Durch das CT wird die Elektronendichte im Körper vermessen, welche für die Physik als **Grundlage zur Dosisberechnung** im Körper verwendet wird



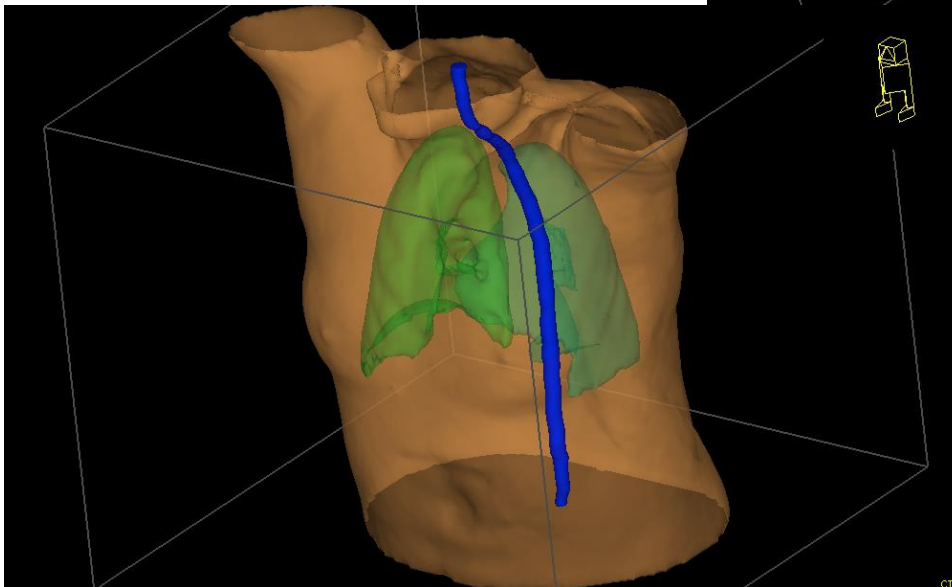
Konturierung

- Im CT werden die zu bestrahlende Region sowie zu schonende Risikoorgane konturiert

Konturierung der Nieren, Hüftköpfe, der Blase und des Rückenmarks



Konturierung Lungen und des Rückenmarks



Bestrahlungsplanung

- Grundlage der Bestrahlungsplanung ist eine exakte dosimetrische Vermessung der verwendeten Linearbeschleuniger. Auf Basis dieser Messungen wird ein Beschleunigermodell erzeugt.
- Mit diesem Beschleunigermodell, dem individuellen Planungs CT des Patienten sowie geeigneten Rechenalgorithmen kann die Strahlendosis im Patienten in jedem Punkt berechnet werden.
- Ziel der Bestrahlungsplanung ist eine Bestrahlung des konturierten Zielvolumens unter gleichzeitiger maximaler Schonung der angrenzenden Risikoorgane

Bestrahlungsplanung

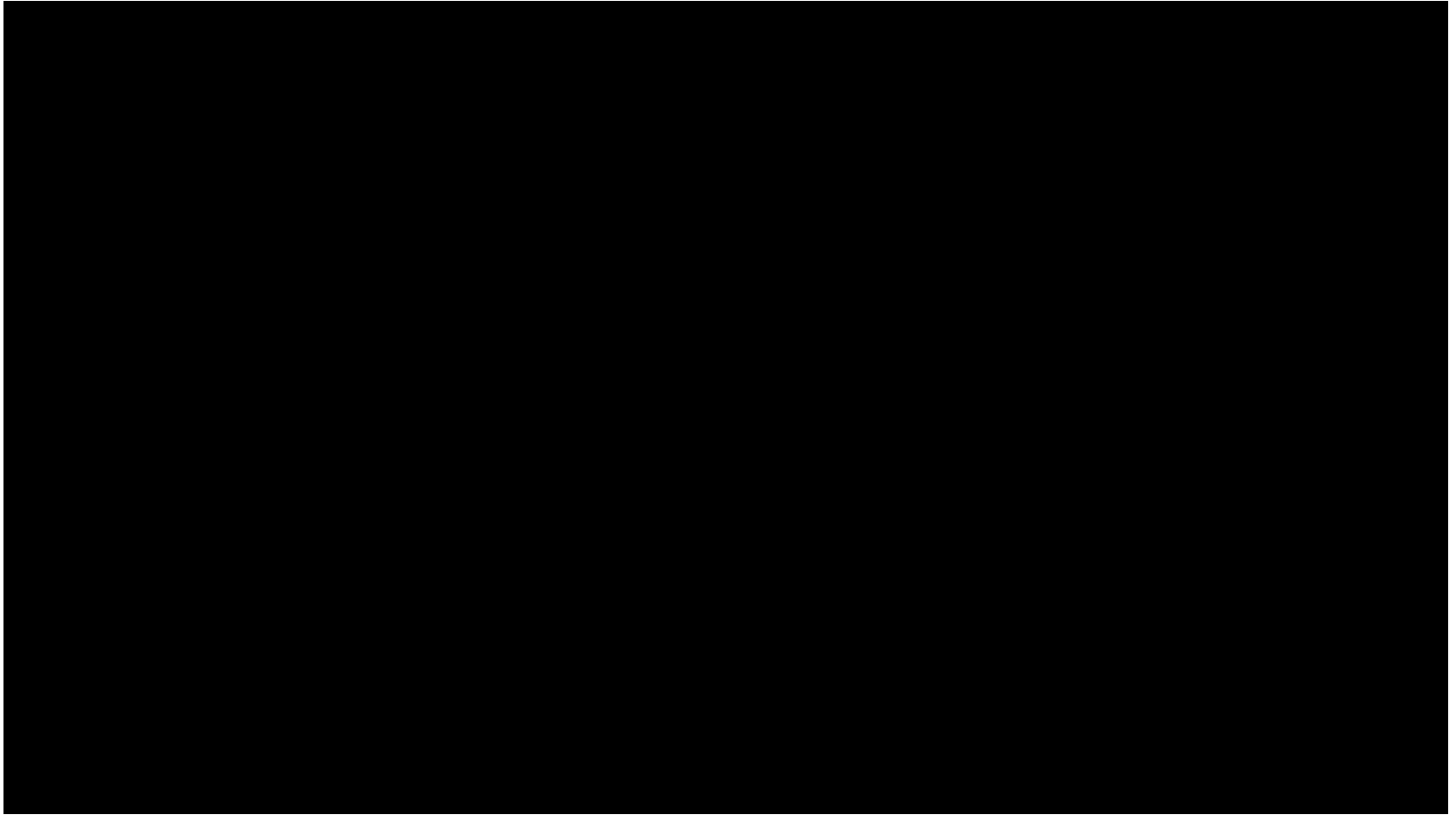
- Für die Bestrahlungsplanung stehen folgende Freiheitsgrade zur Verfügung:
 - Teilchenart der ionisierenden Strahlung (Elektronen, Photonen, Protonen, Schwerionen)
 - Gantrywinkel / Einstrahlwinkel
 - Energie der Teilchen
 - Feldform

Bestrahlungsplanung

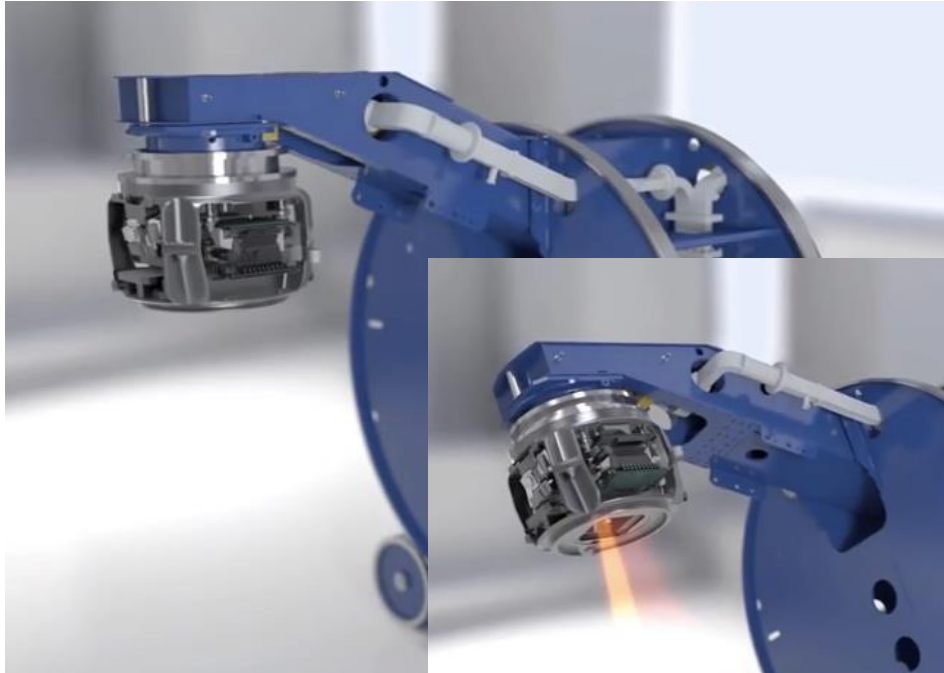
- Die Bestrahlungsplanung kann *vorwärts* oder *invers* berechnet werden
 - Bei einer **vorwärts** geplanten Bestrahlung werden alle Parameter vom Physiker festgelegt und die Dosisverteilung vom Rechenalgorithmus unter dieser Parameterwahl berechnet
 - Bei einer **invers** geplanten Bestrahlung wird nur ein Teil der Parameter vom Physiker festgelegt und unter Variation der übrigen Parameter wird die Dosisverteilung von einem Optimierungsalgorithmus entsprechender vom Physiker festgelegten Randbedingungen optimiert.

Kleiner Exkurs: Der Linearbeschleuniger

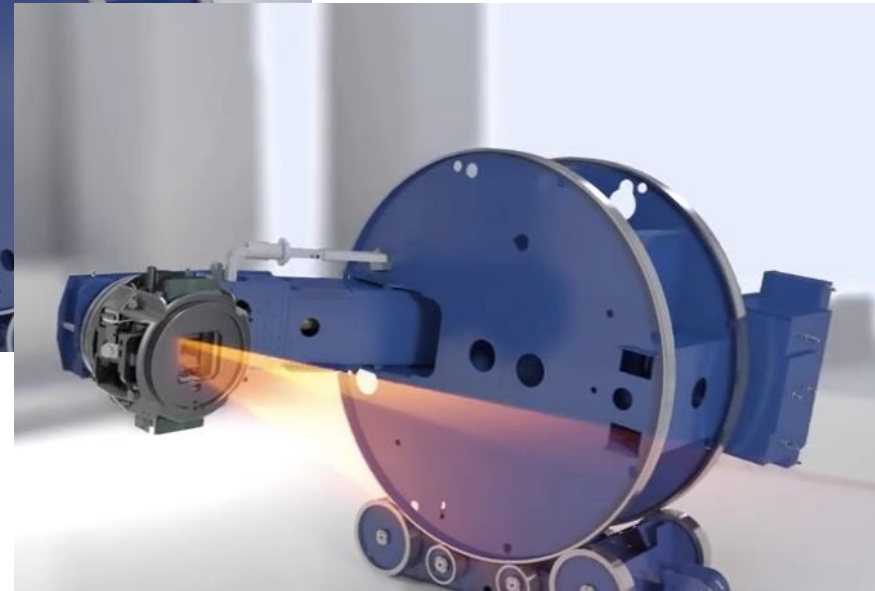
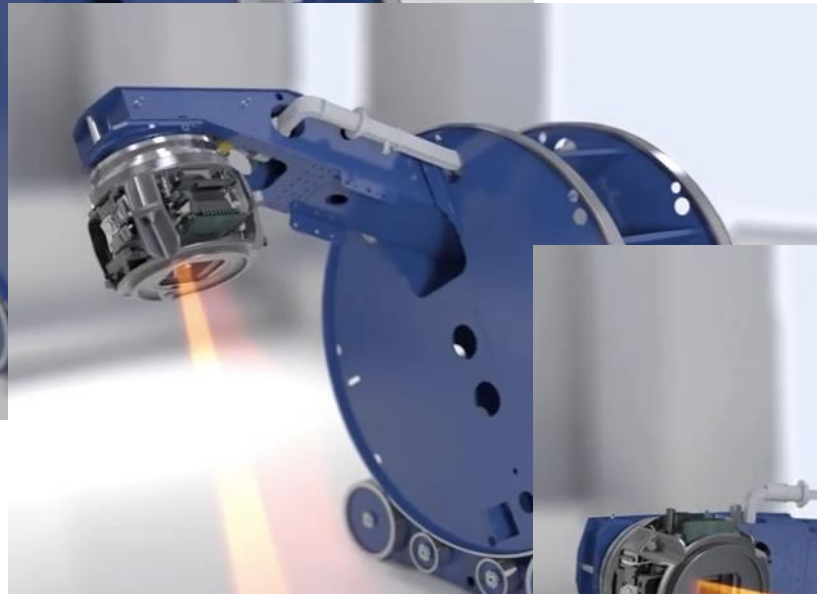
Der Linearbeschleuniger



Der Linearbeschleuniger

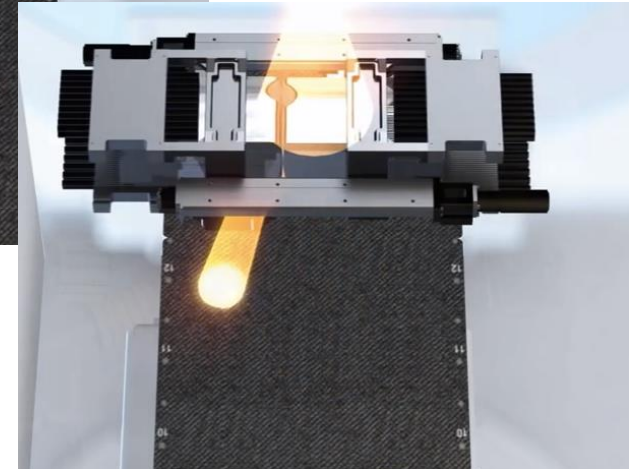
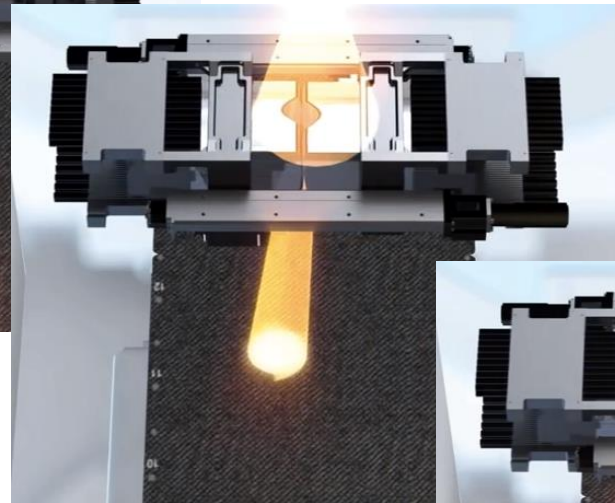
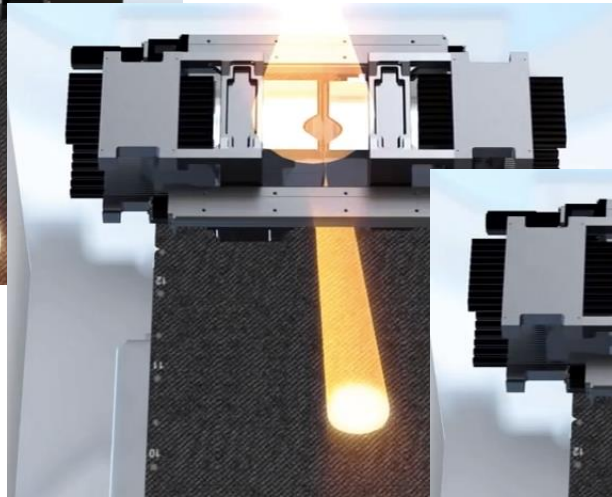
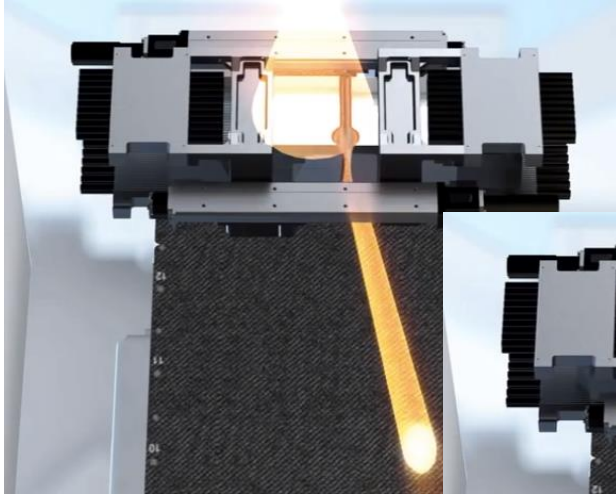


Gantry 360° drehbar

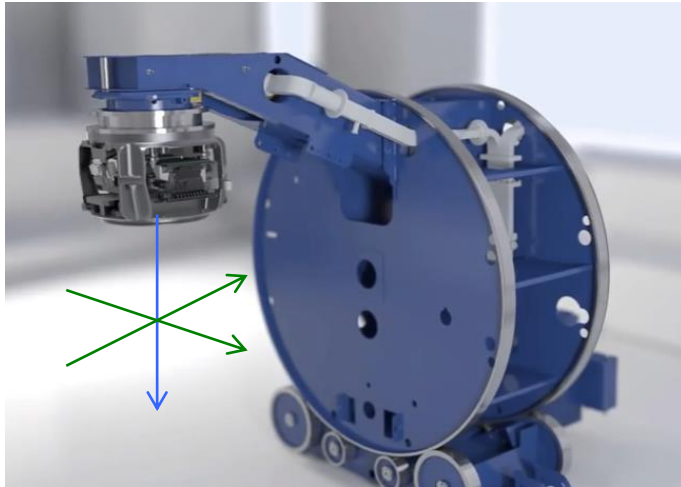


Der Linearbeschleuniger

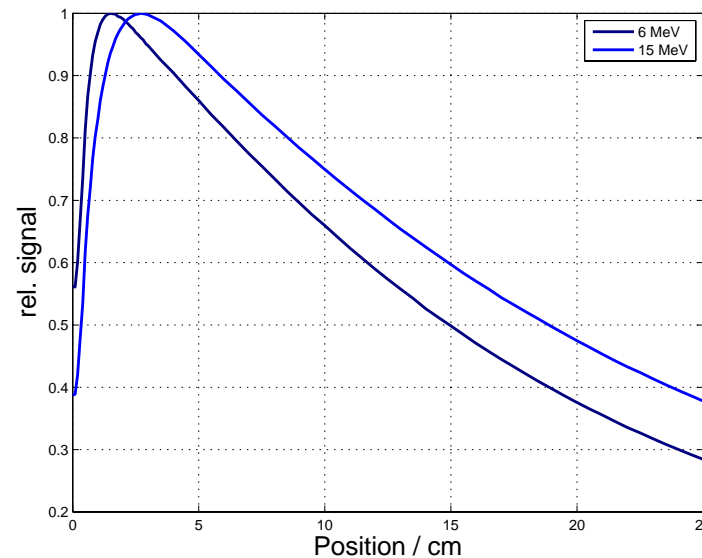
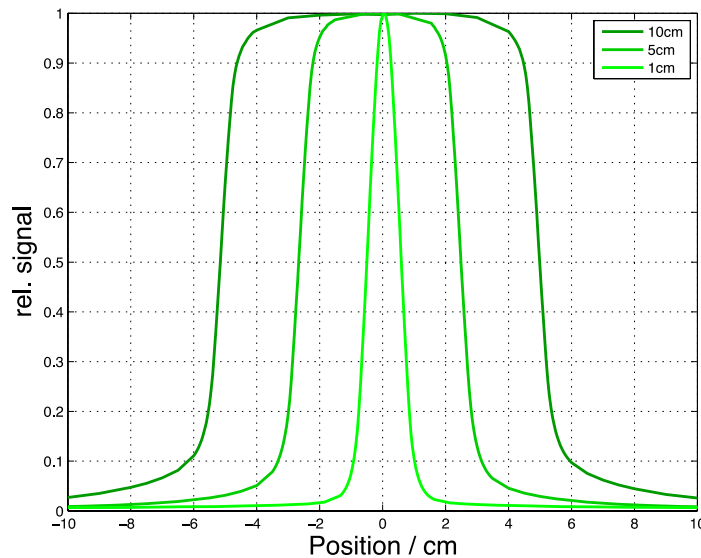
Feldanpassung durch **Multi Leaf Collimator**



Der Linearbeschleuniger

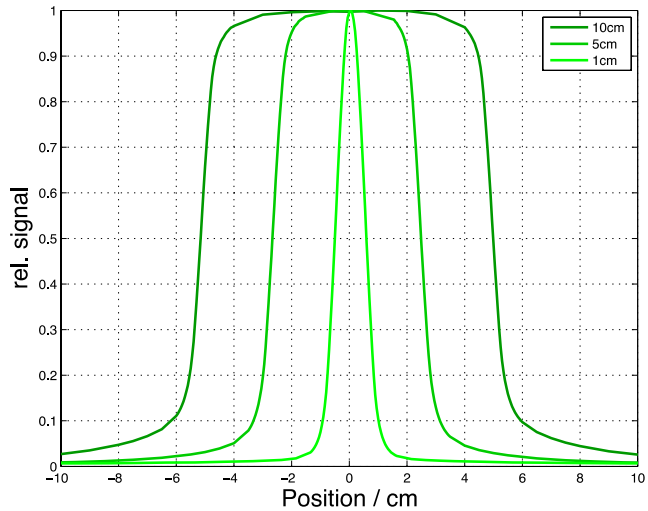


flattening filter / Ausgleichkörper



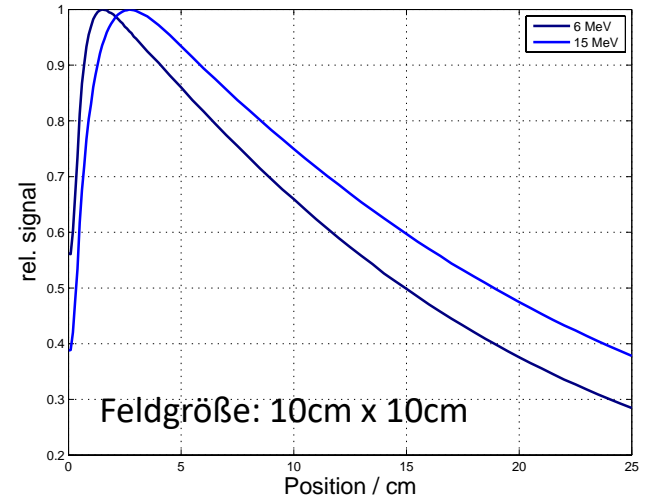
Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile



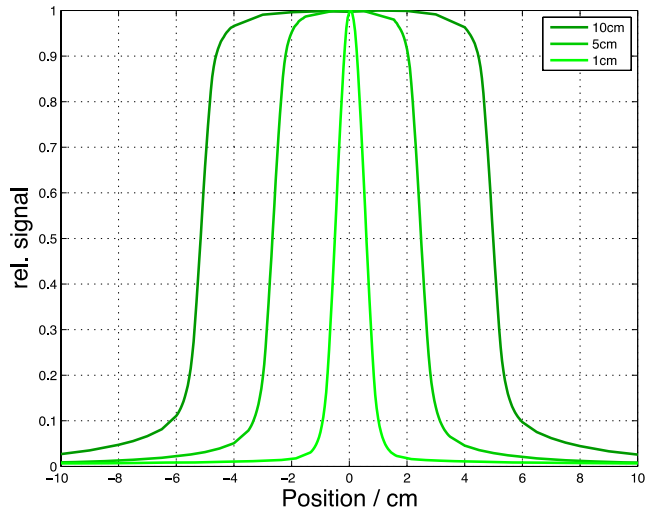
Tiefendosiskurve

Unterschied 6MV / 15MV

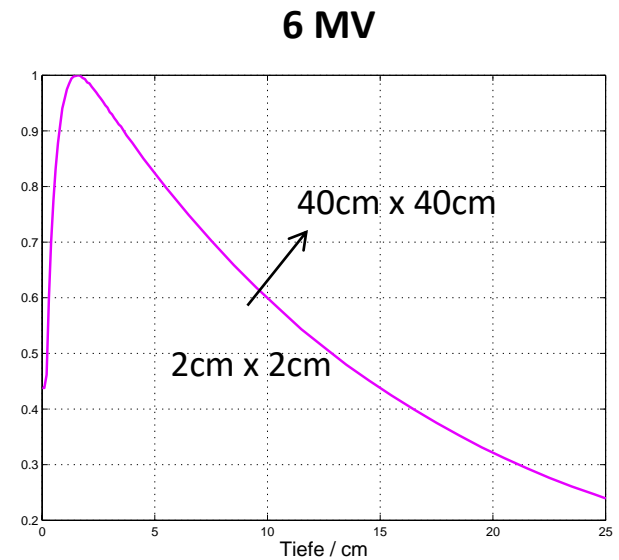


Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile

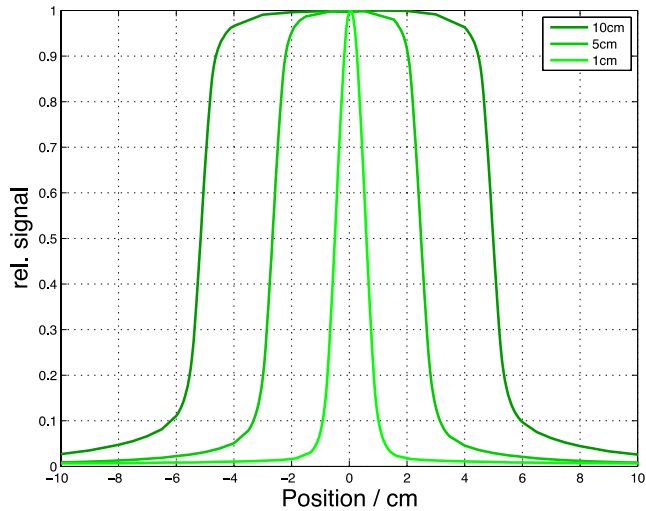


Tiefendosiskurve

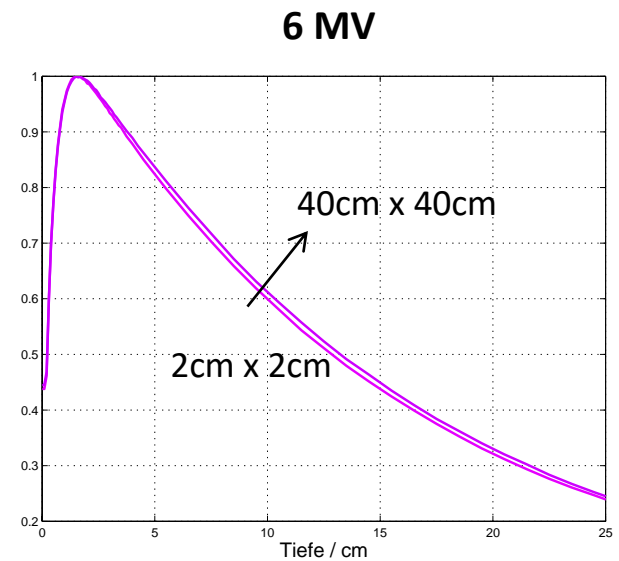


Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile

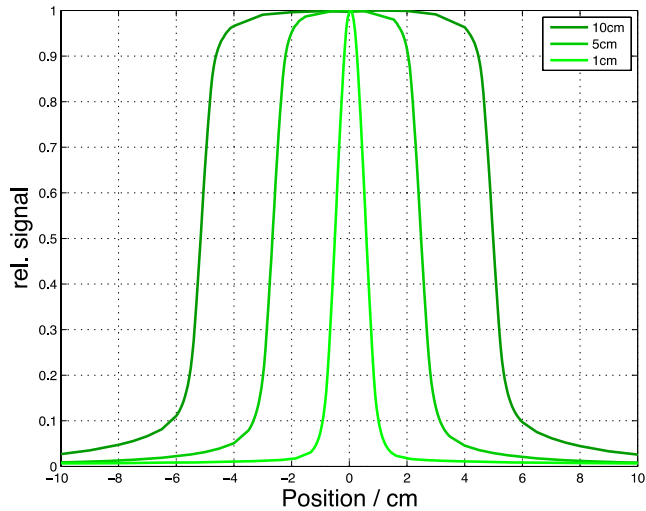


Tiefendosiskurve

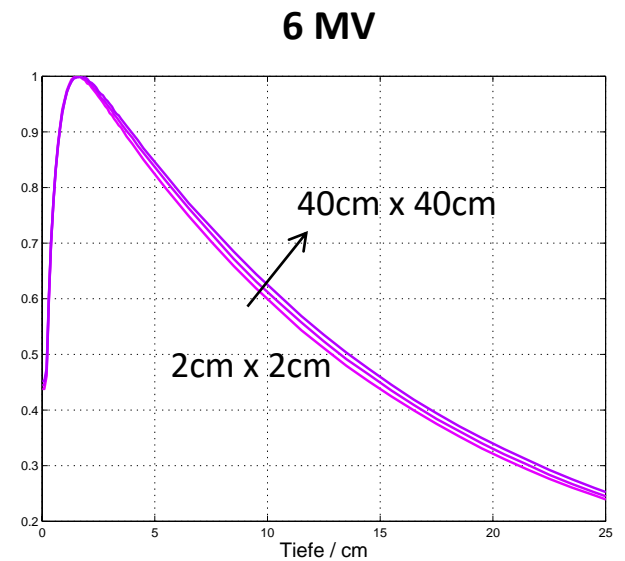


Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile

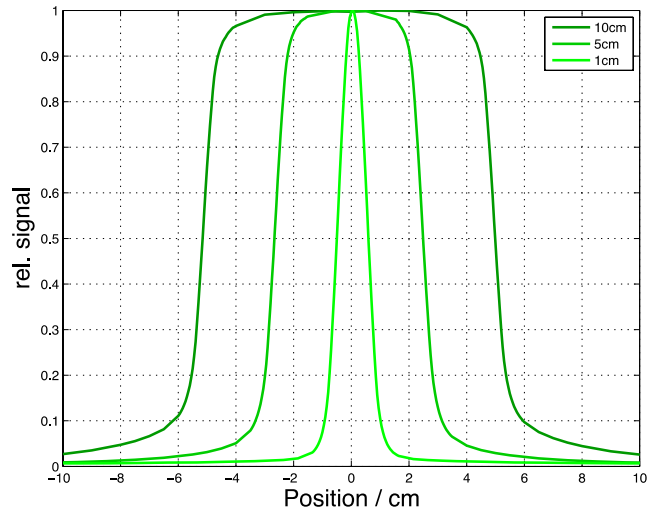


Tiefendosiskurve

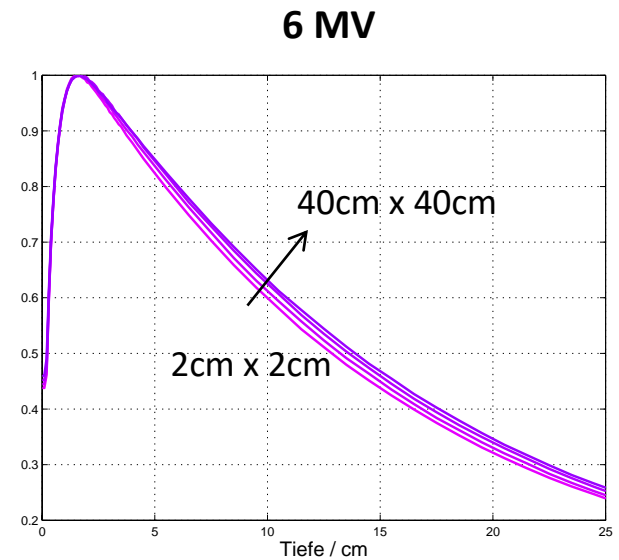


Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile

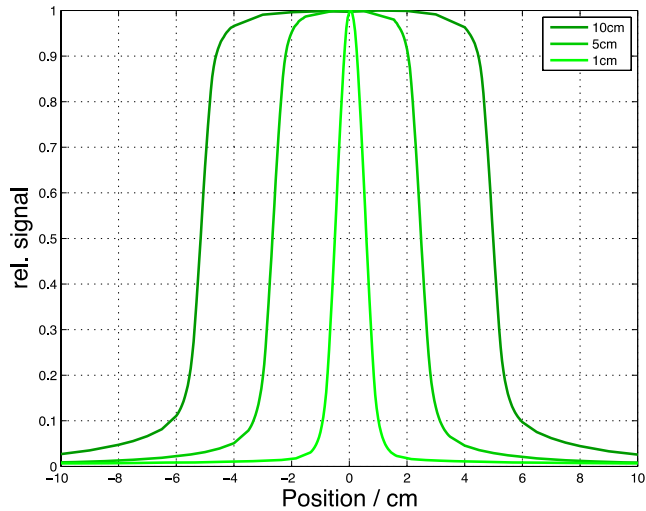


Tiefendosiskurve

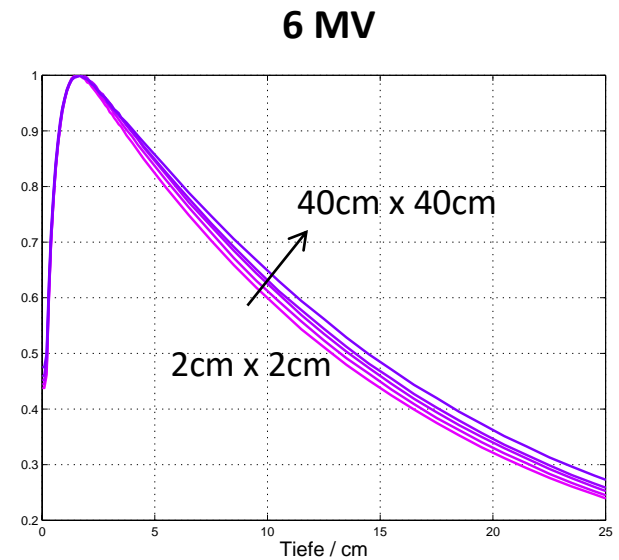


Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile

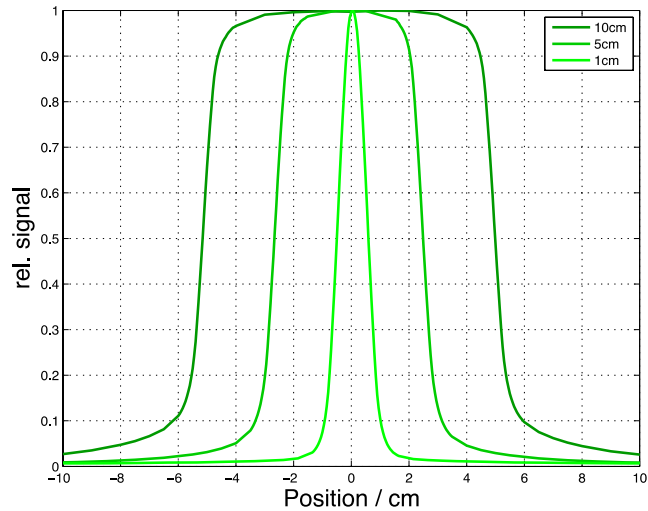


Tiefendosiskurve

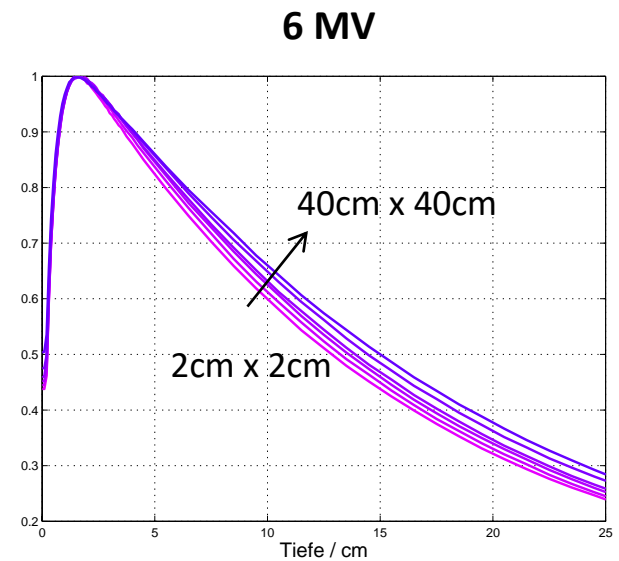


Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile

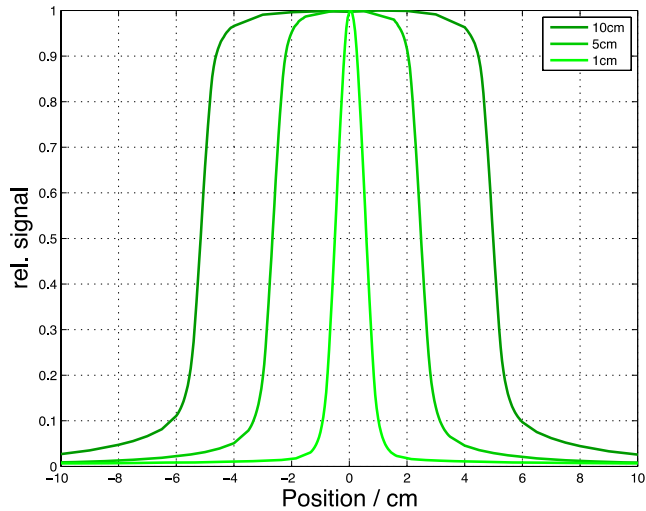


Tiefendosiskurve

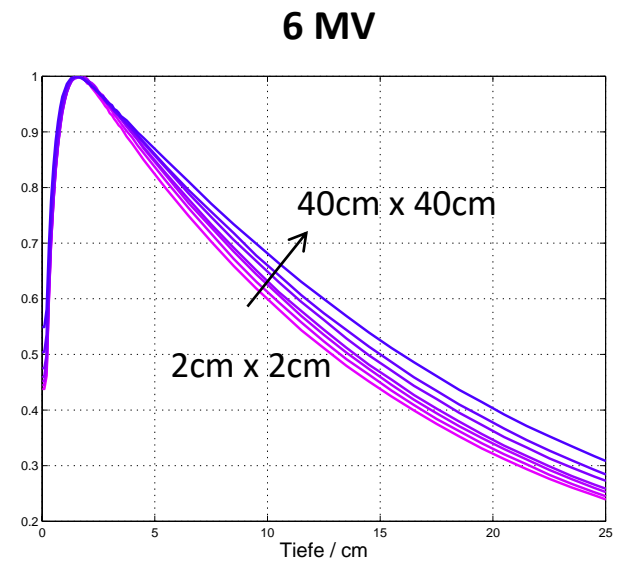


Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile

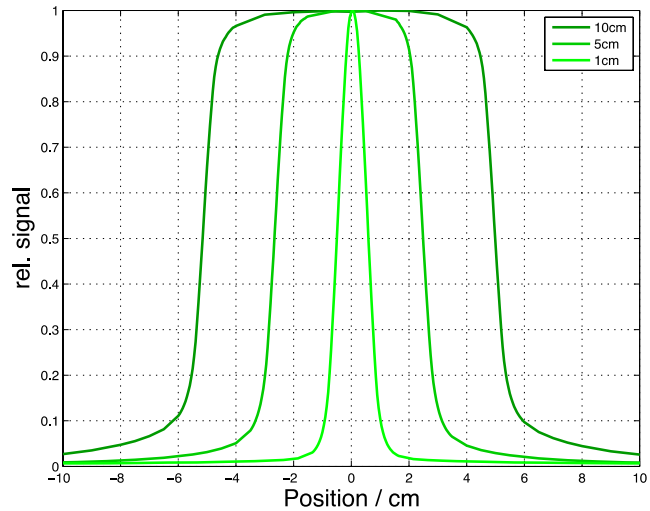


Tiefendosiskurve

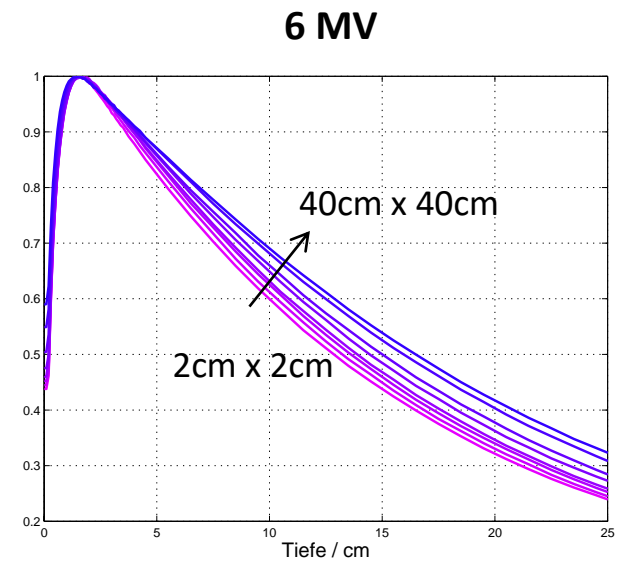


Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile

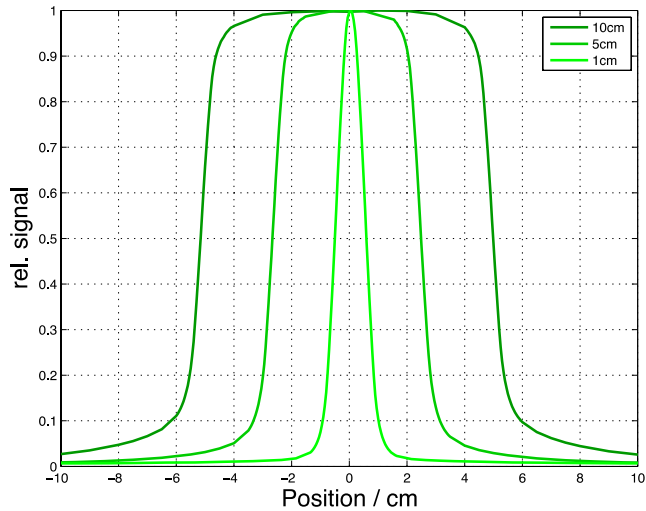


Tiefendosiskurve

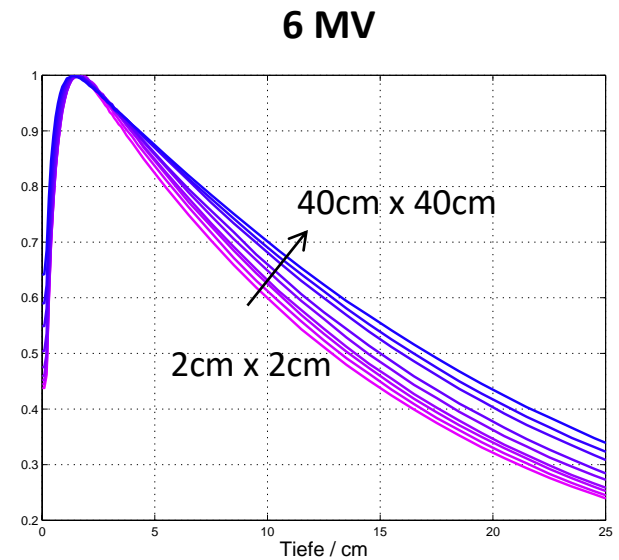


Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile

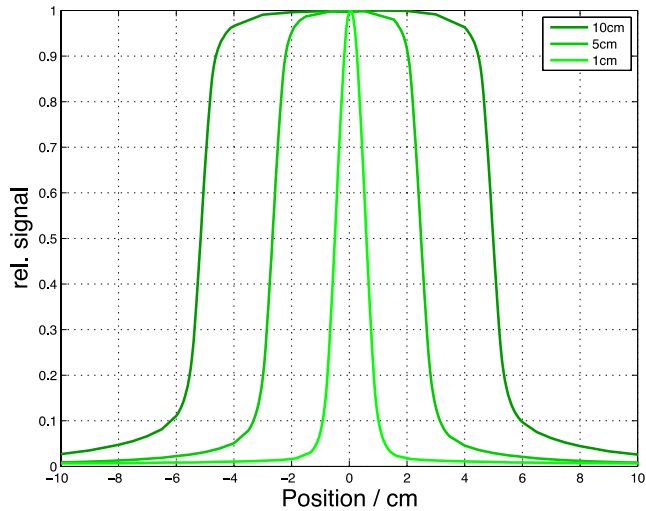


Tiefendosiskurve

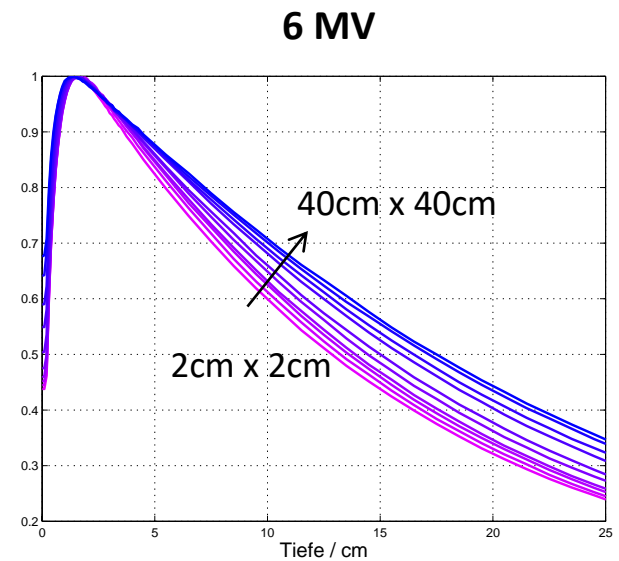


Querprofile / Tiefendosiskurven

Querprofile

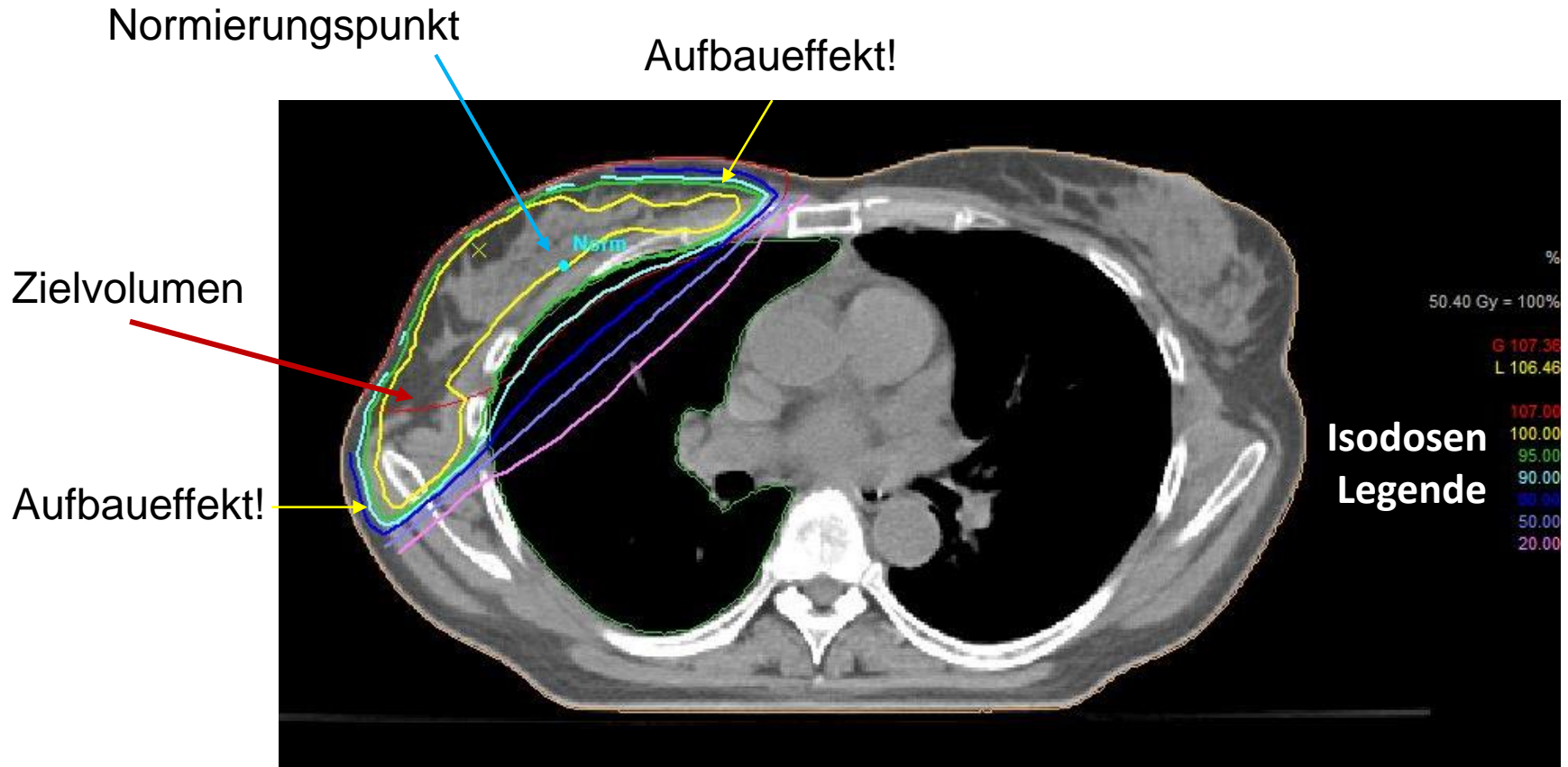


Tiefendosiskurve



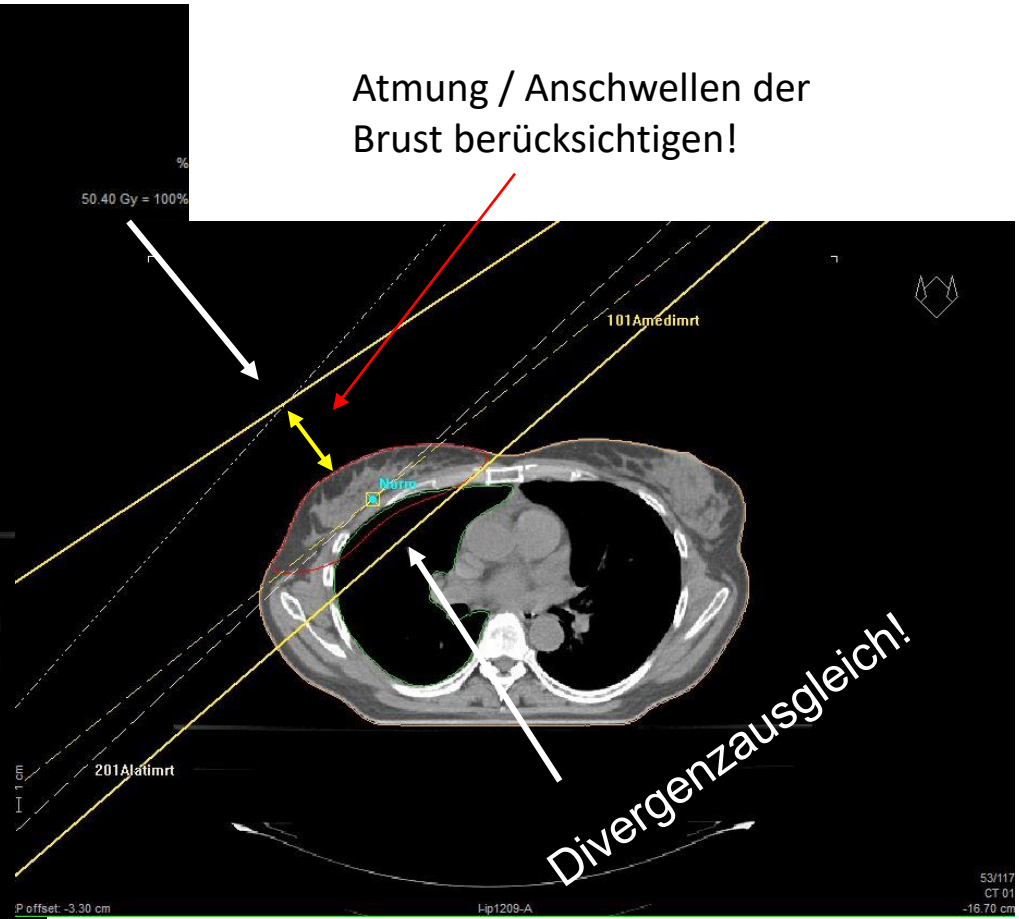
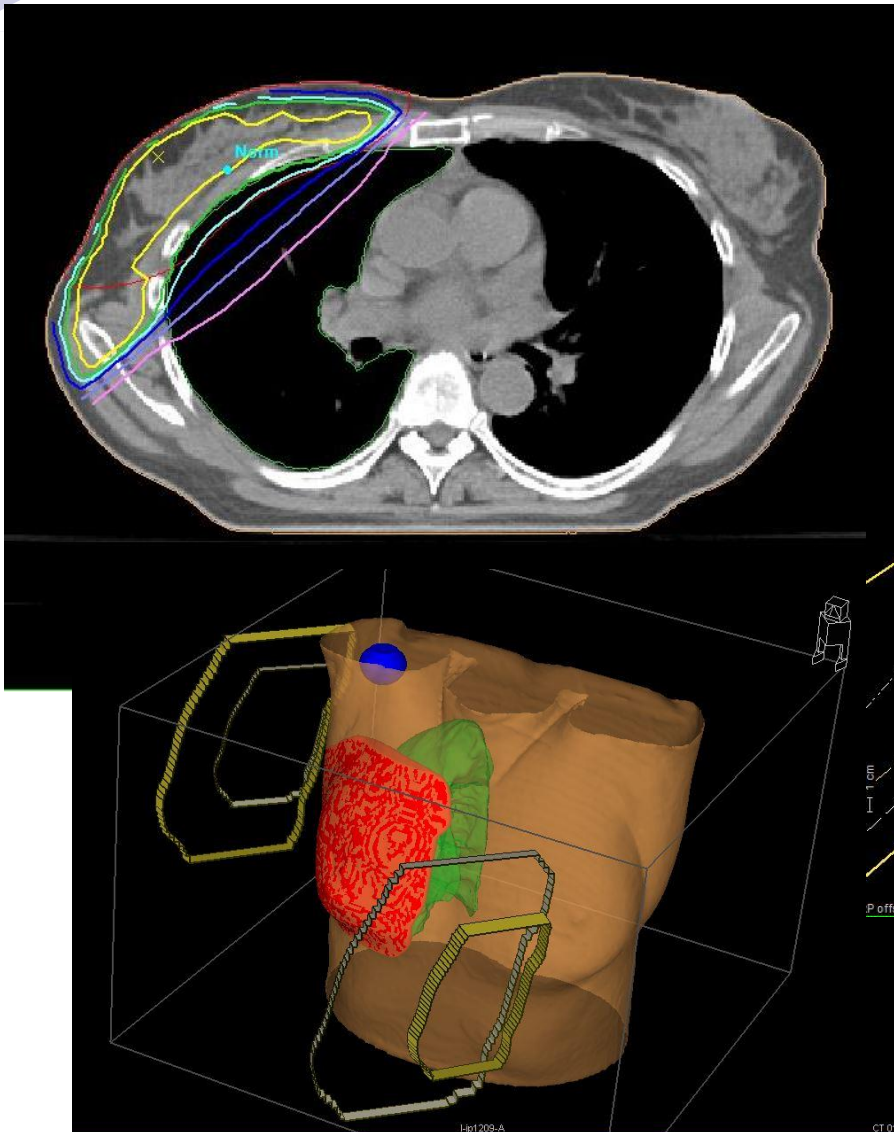
Jetzt geht's los: Ein erster Bestrahlungsplan

Bestrahlungspläne - Einführung

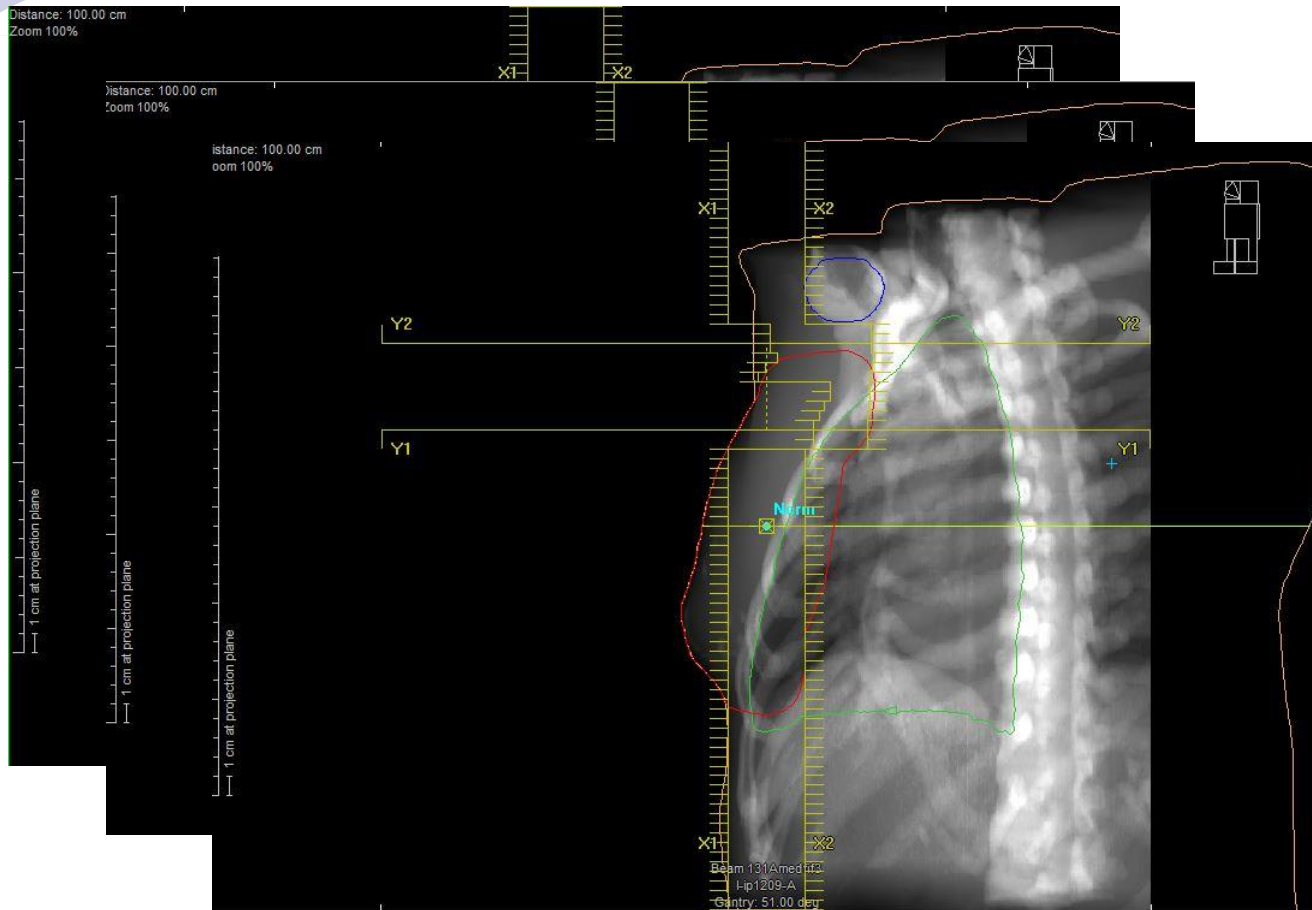


Mamma Ca rechts mit zwei Gantryrichtungen und FiF Feldern

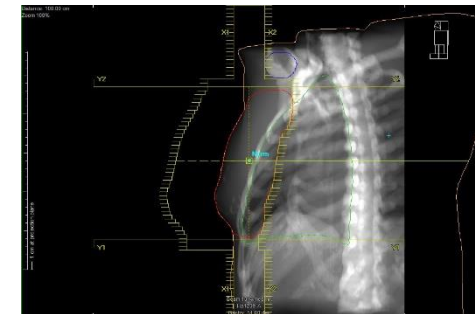
Bestrahlungspläne - Mamma



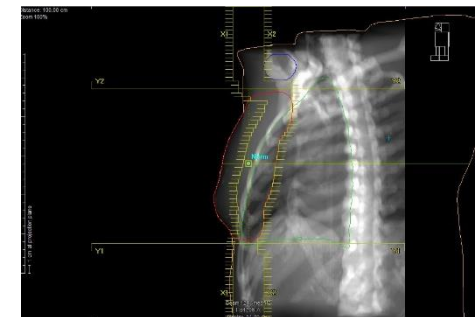
Mamma – 1. Gantryrichtung



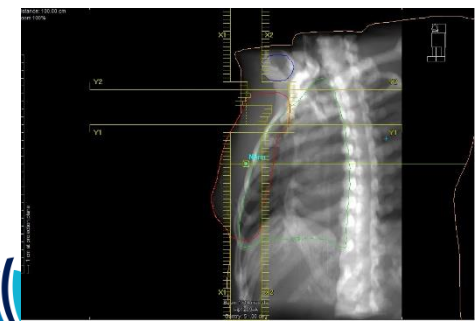
(Digital rekonstruierte Röntgenbilder (DRR) mit MLC Form)



1. Feld (mediales Hauptfeld)

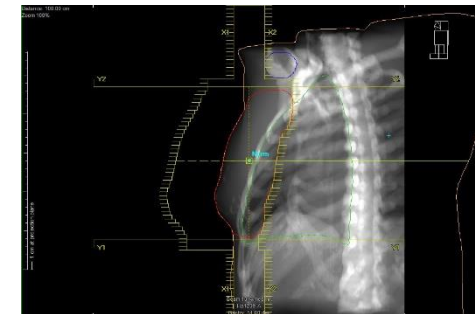
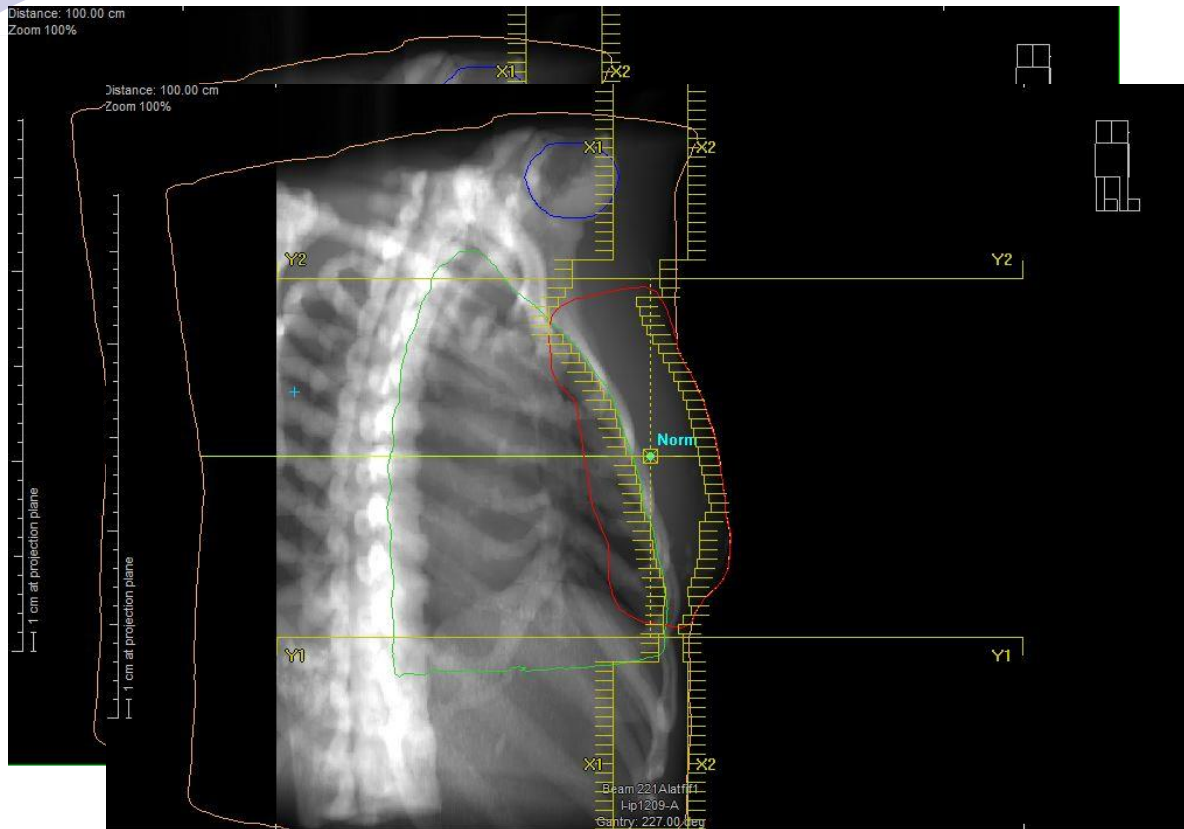


1. FiF Feld
(Schonung vordere mamma)

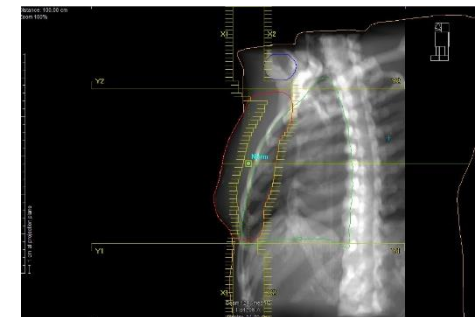


2. FiF Feld (Aufsättigung)

Mamma – 2. Gantryrichtung



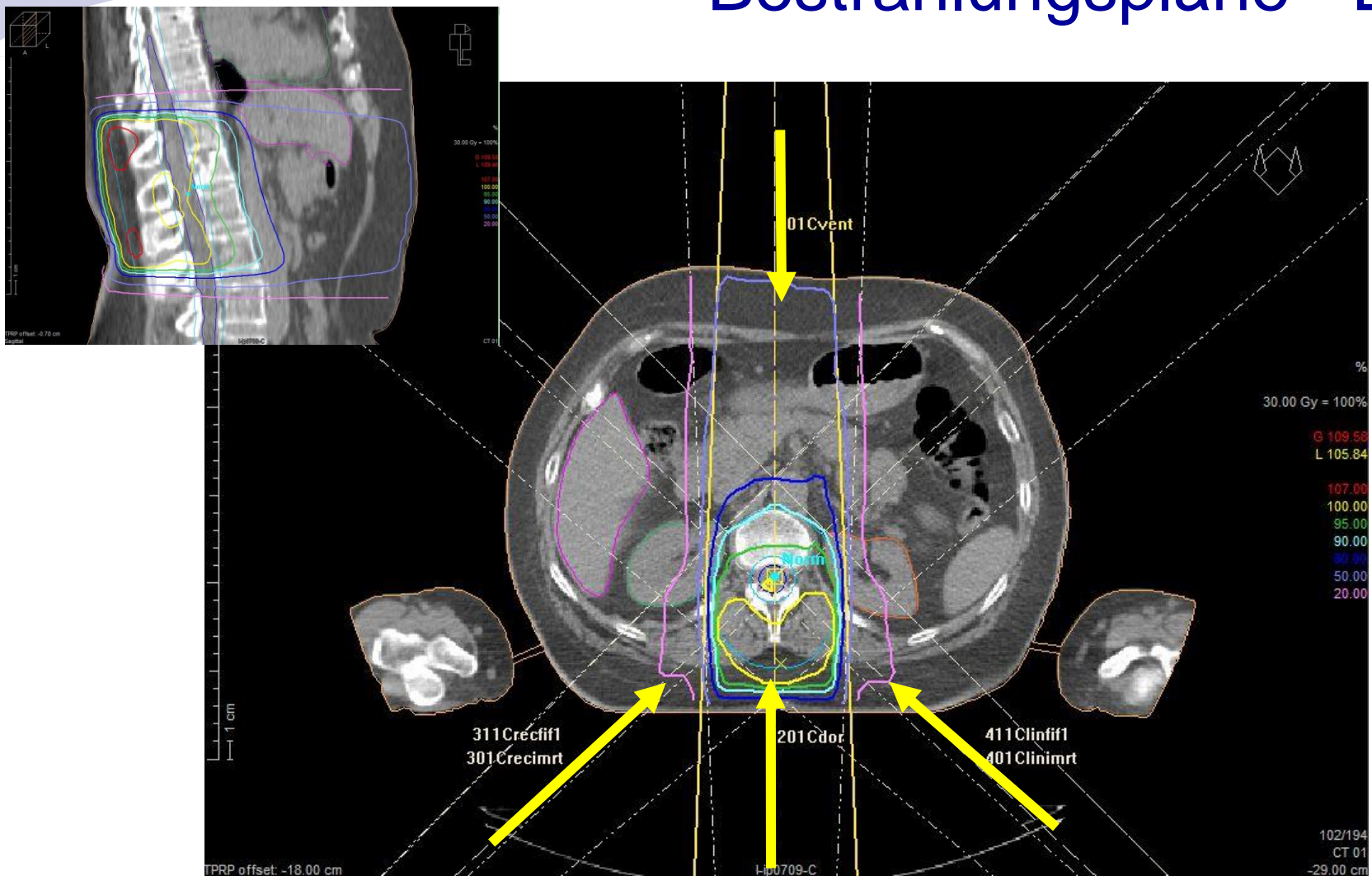
1. Feld (laterales Hauptfeld)



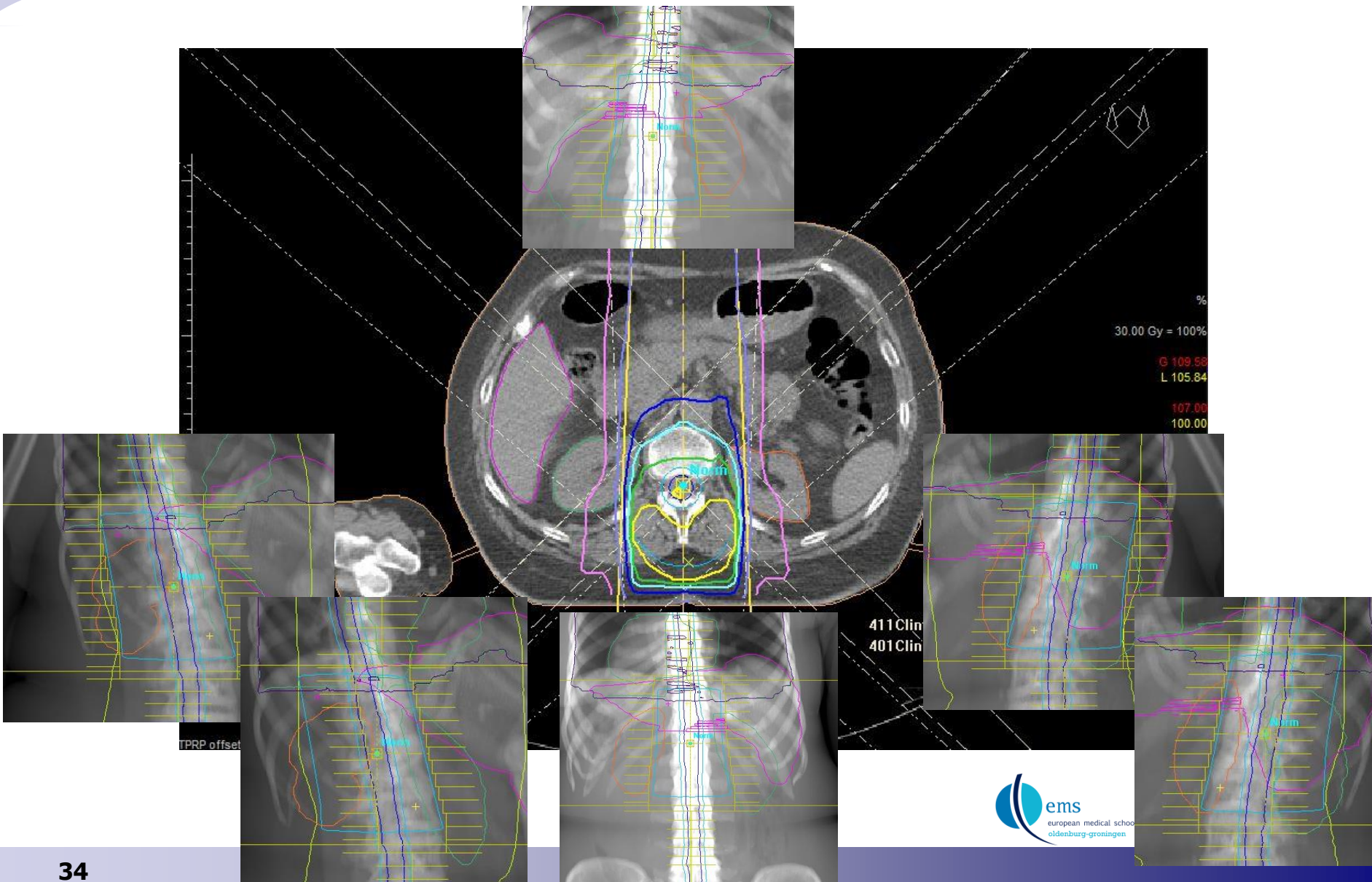
1. FiF Feld
(Schonung vordere mamma / Lunge)

(Digital rekonstruierte Röntgenbilder (DRR) mit MLC Form)

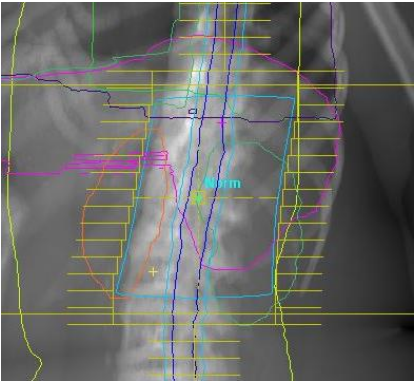
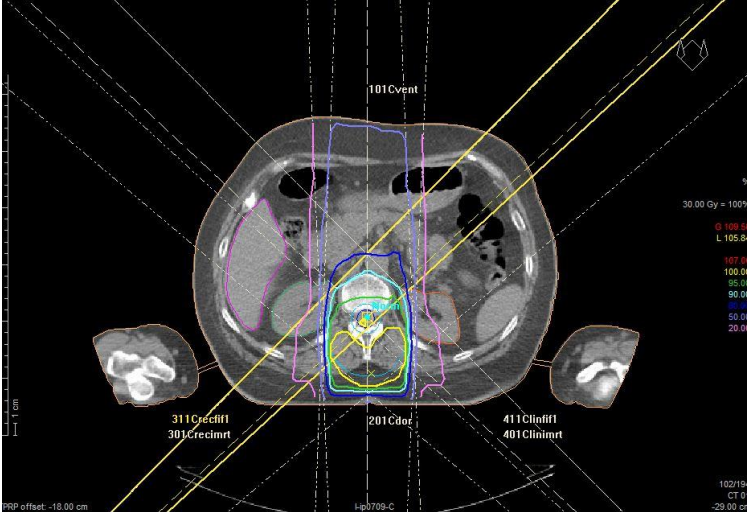
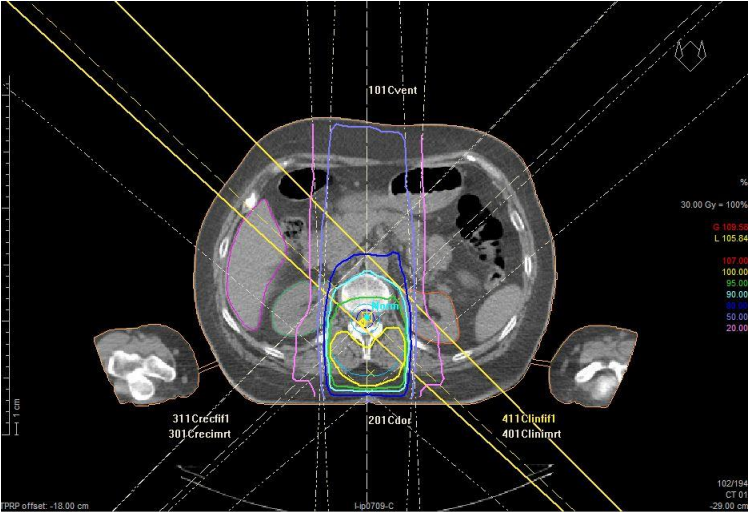
Bestrahlungspläne - LWS



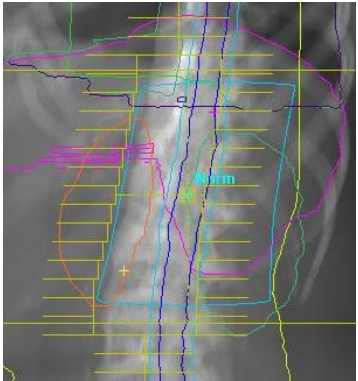
Bestrahlungspläne - LWS



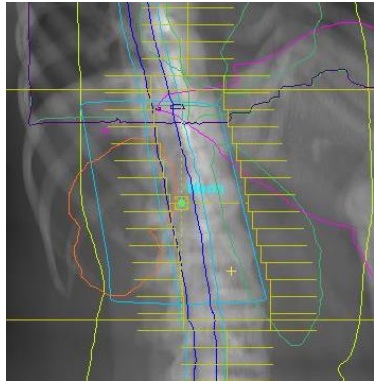
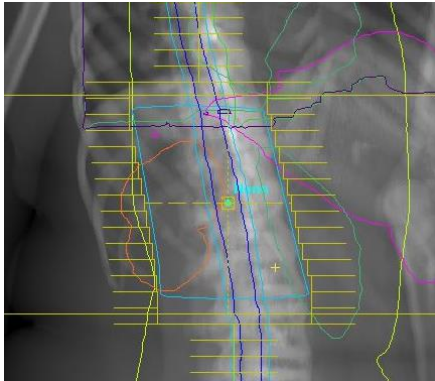
Bestrahlungspläne - LWS



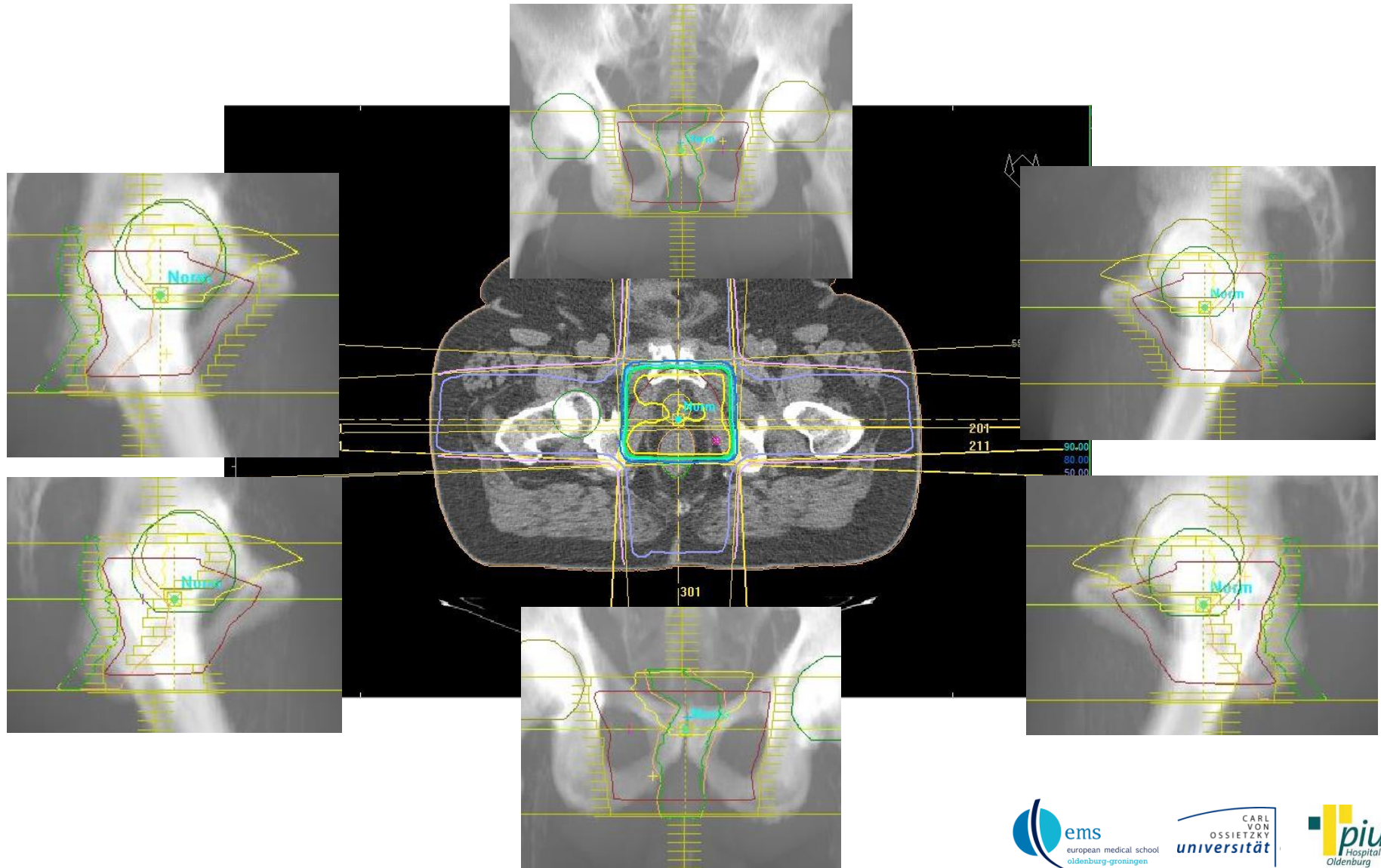
+



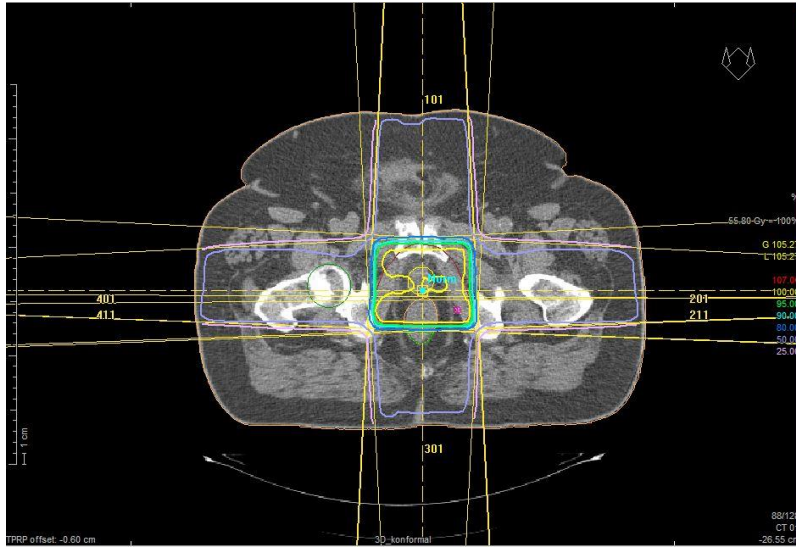
+



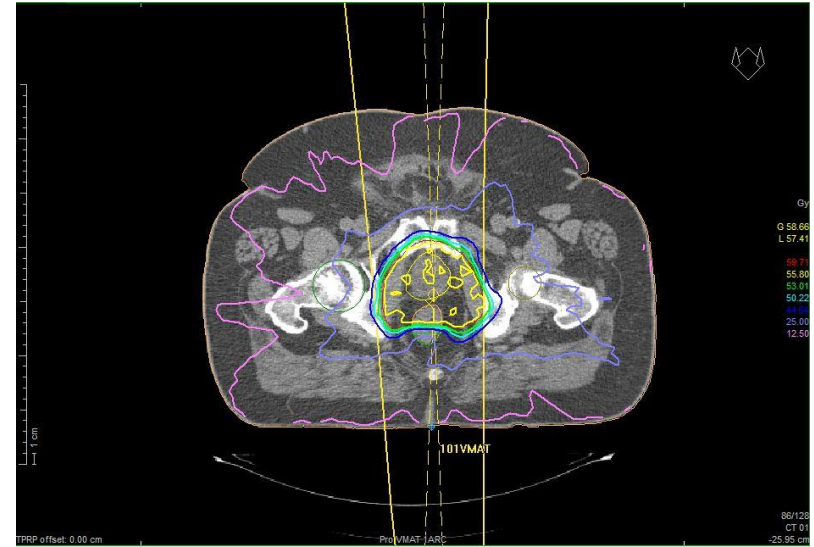
Bestrahlungspläne - Prostata



Vergleich 3D konformal / VMAT

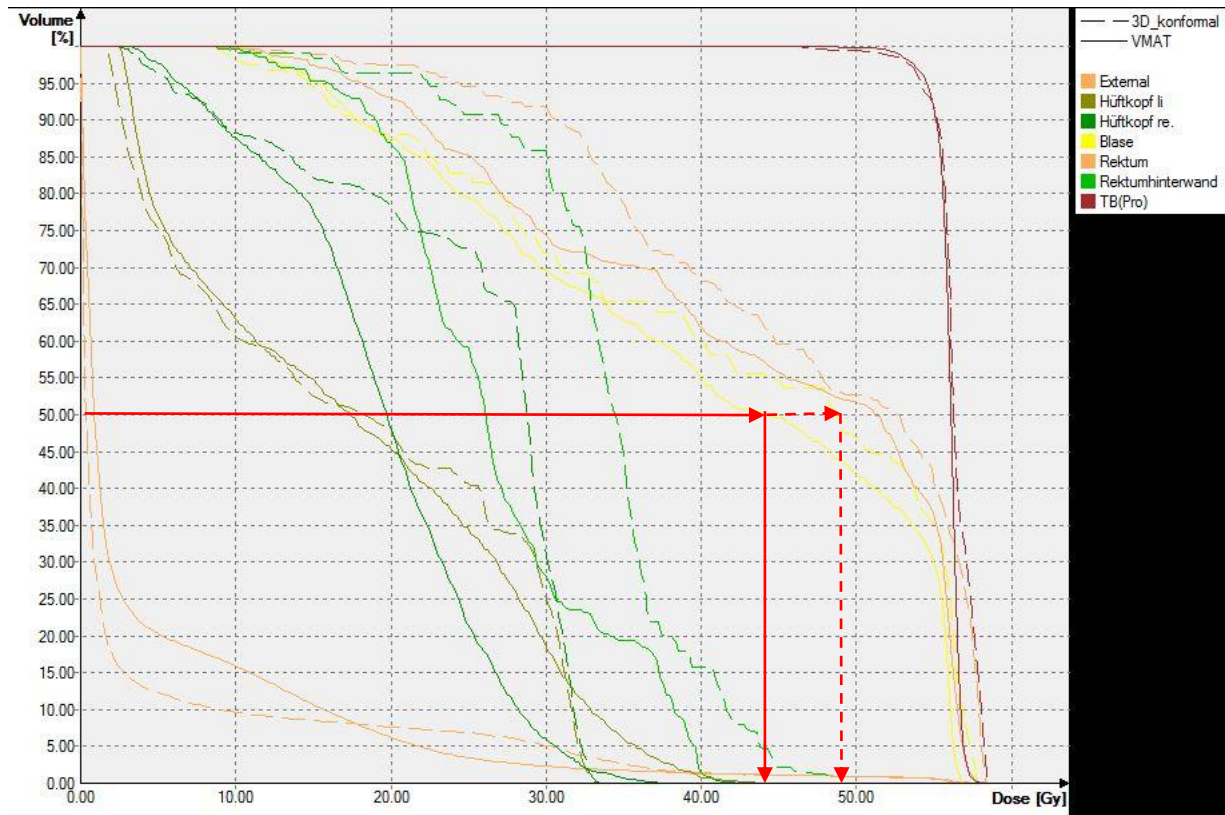


- Vorwärts geplant mit 4 Gantryrichtungen
- sog. 3D konformale Bestrahlungsplanung



- Invers geplant mit einer Gantryumdrehung, also "360 Einstrahlwinkeln"
- sog. **Volumetric Arc Therapy (VMAT)**

Das Dosisvolumenhistogramm



Beispiel Blase:

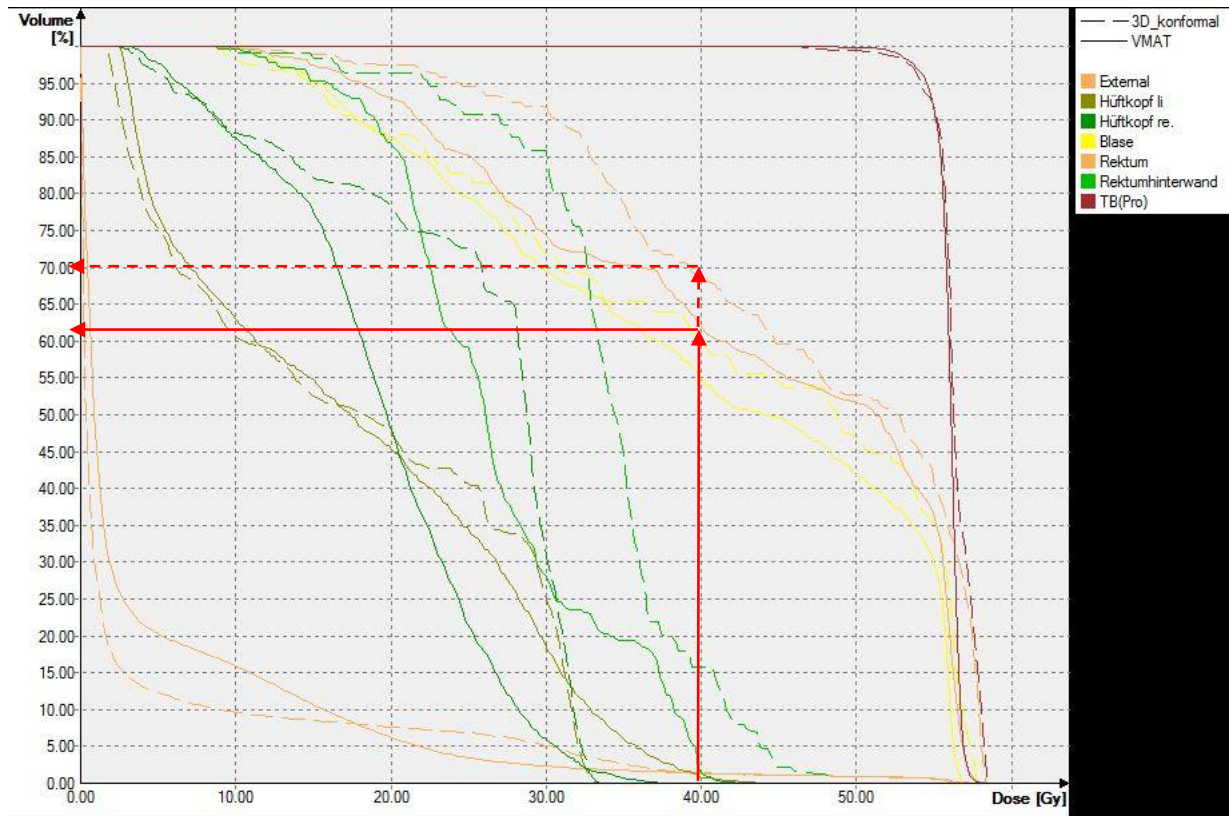
VMAT:

50% der Blase sind mit 43 Gy belastet

3D konformal:

50% der Blase sind mit 49 Gy belastet

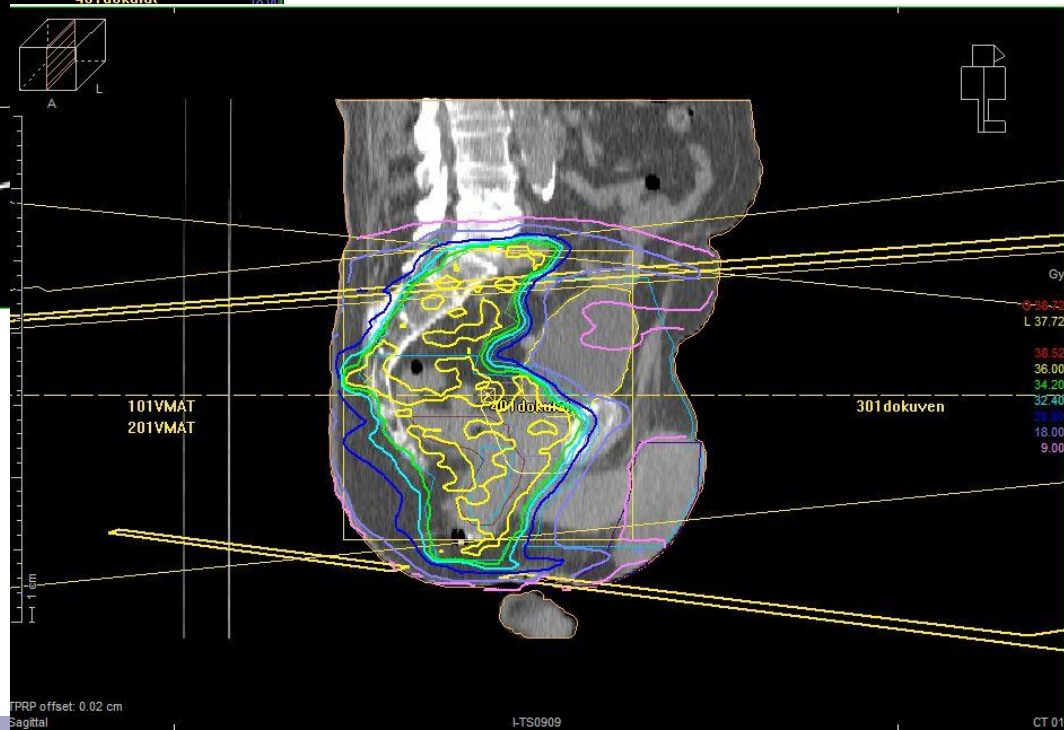
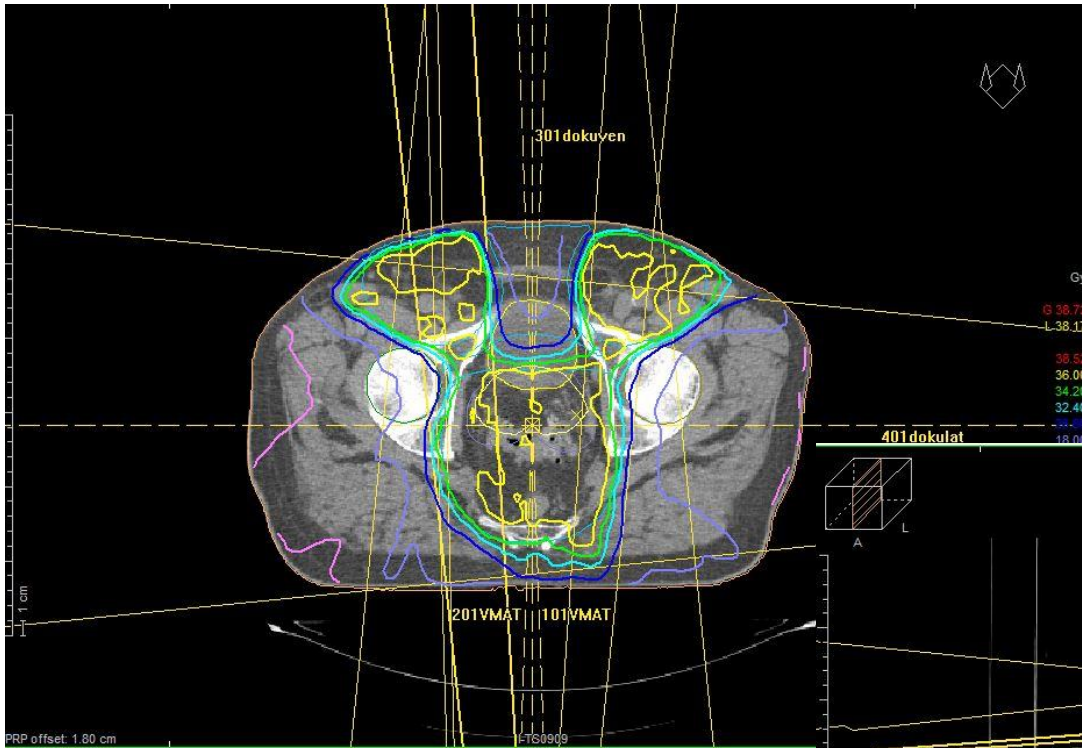
Das Dosisvolumenhistogramm



Beispiel Rektum:

VMAT: 62 % des Rektums sind mit 40 Gy belastet
3D konformal: 70 % des Rektums sind mit 40 Gy belastet

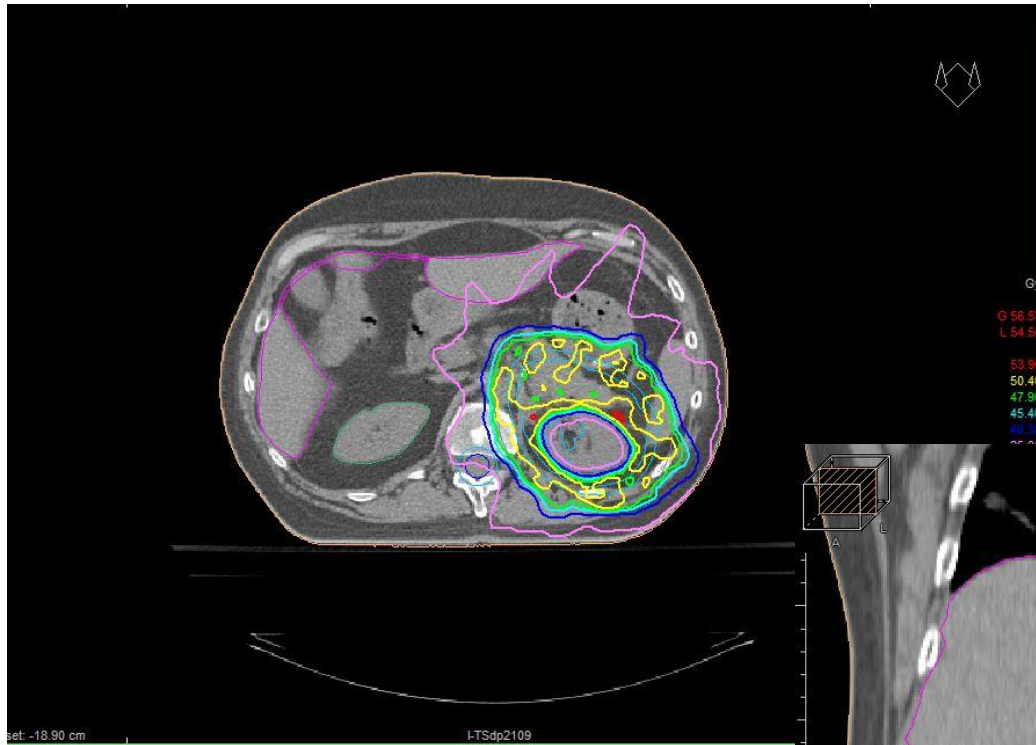
Weitere Bestrahlungspläne - VMAT



Anal Ca mit LAG

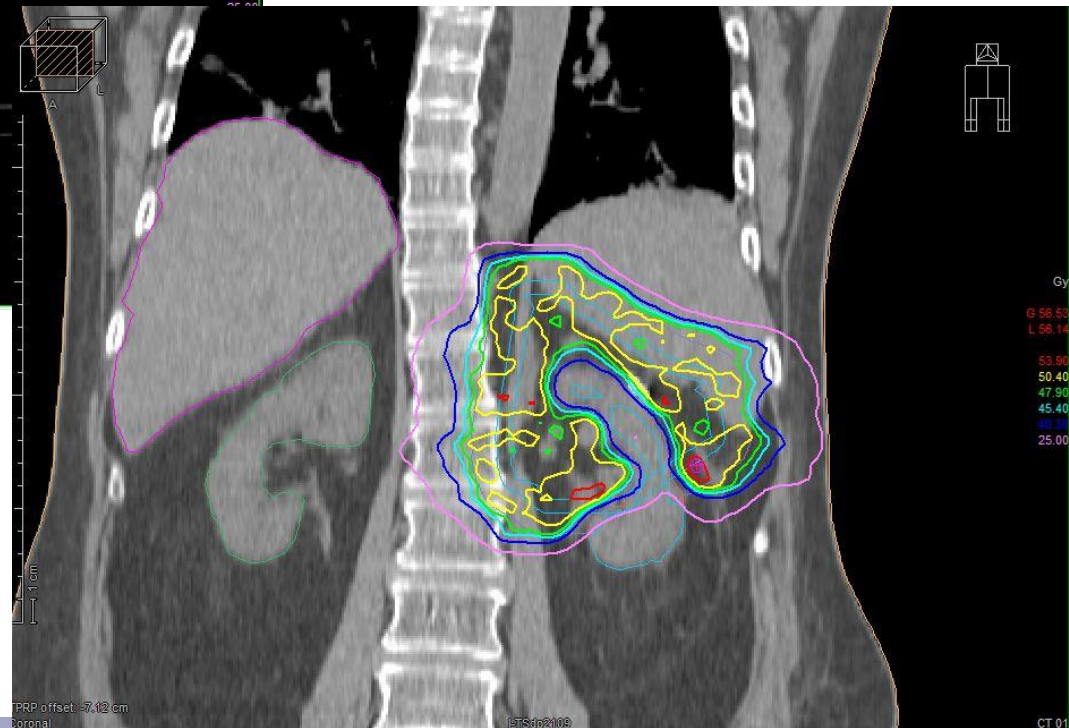
Plan mit 2 Gantryumdrehungen

Weitere Bestrahlungspläne - VMAT



Nierenneben Ca

Plan mit 2 Gantryumdrehungen



Wie kann man nun sicherstellen dass der Patient auch wirklich so gelagert ist wie im Planungs CT?

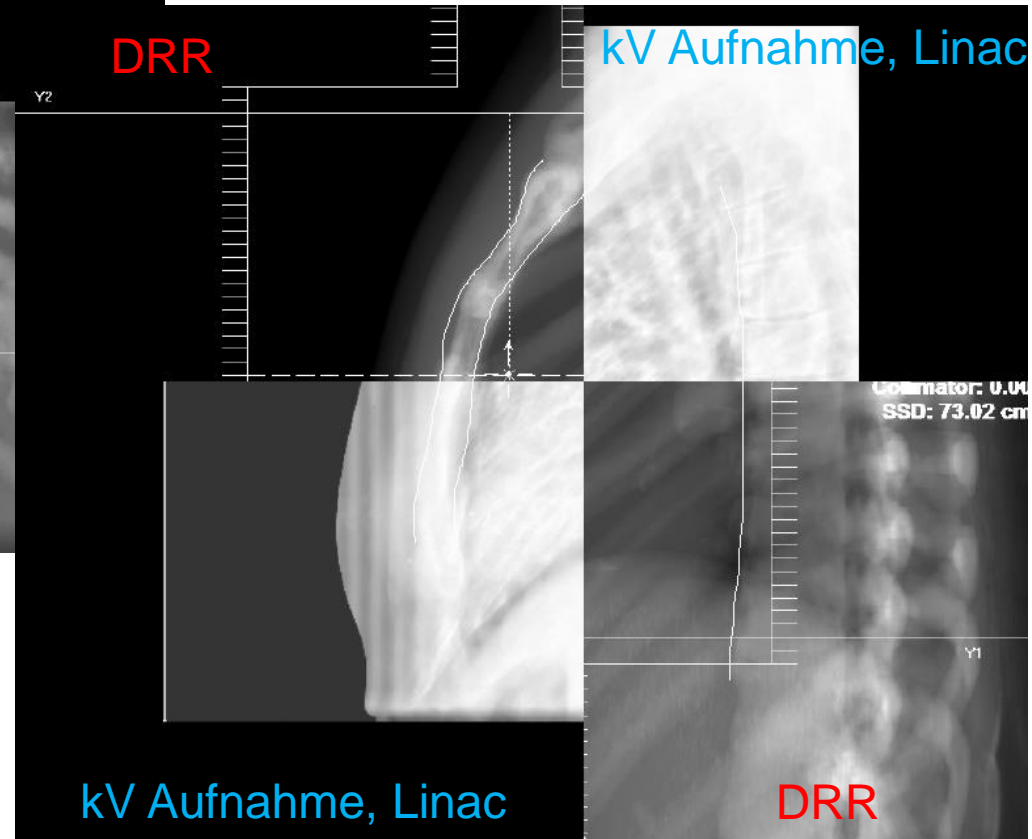
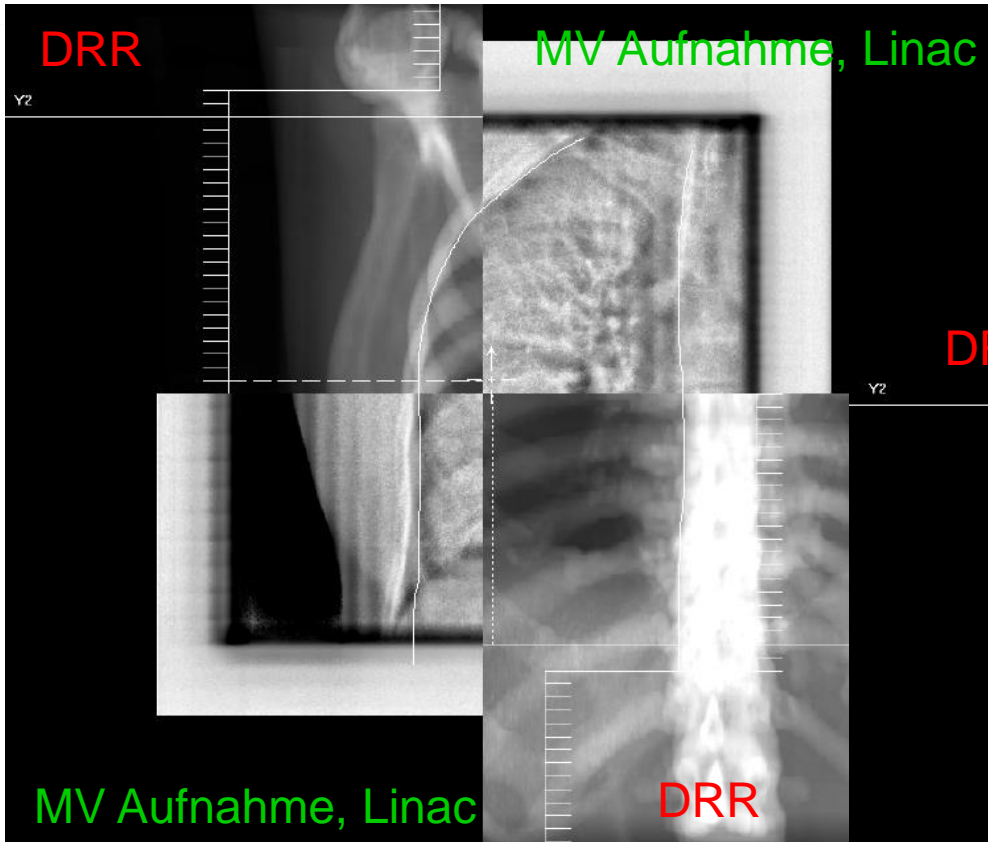
Lagerungskontrolle

1. Am Beschleuniger können mit der Beschleunigerstrahlung oder mit extern angebrachten Röntgenröhren planare Aufnahmen des Patienten aufgenommen werden. Diese Aufnahmen können dann mit DRR aus dem Planungs CT verglichen werden

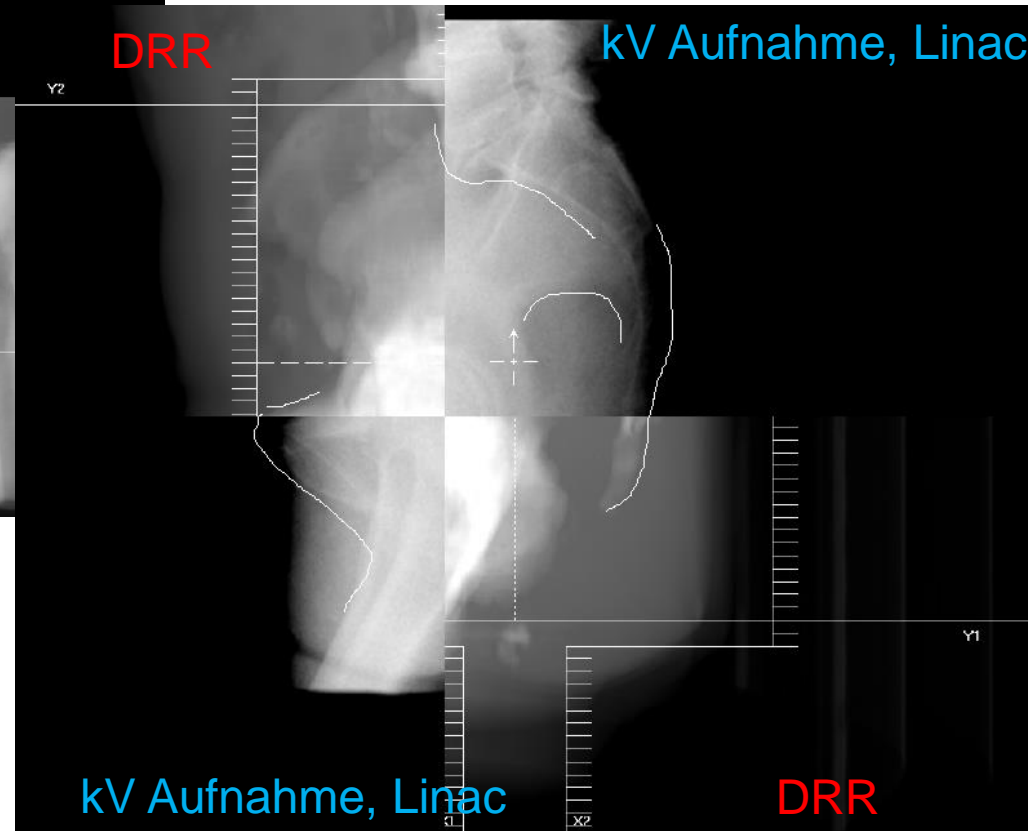
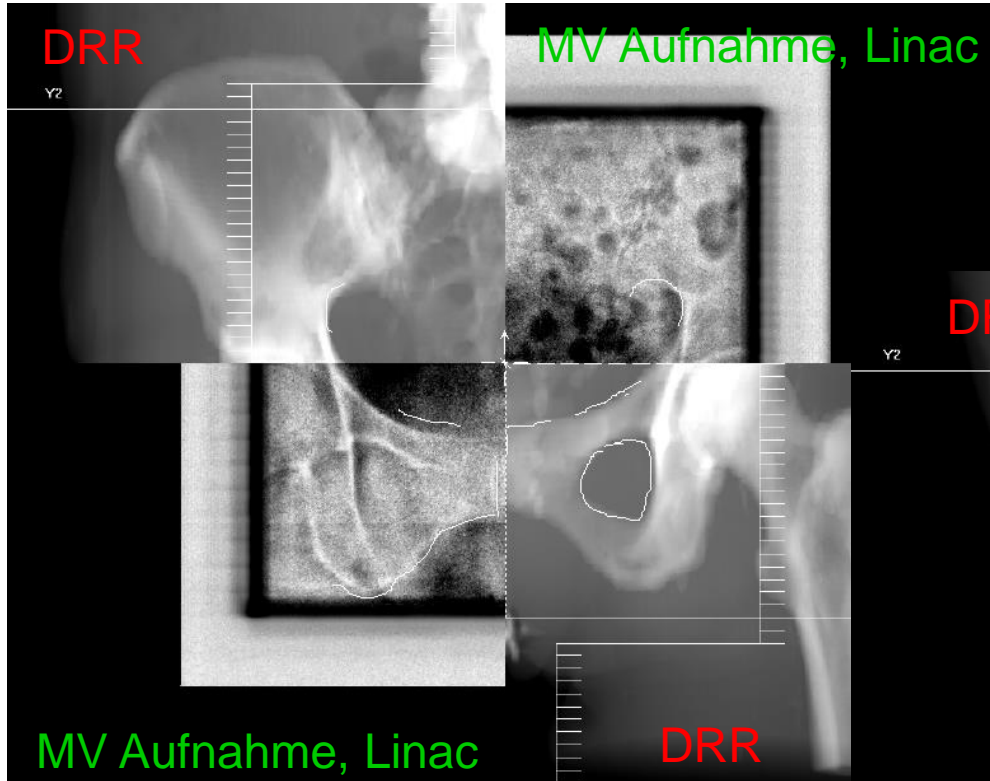
oder

2. Mit einer extern angebrachten Röntgenröhre kann ein CT des Patienten aufgenommen und dieses mit dem Planungs CT verglichen werden.

Lagerungskontrolle - planar



Lagerungskontrolle - planar



Lagerungskontrolle - CT

Coronal

Planungs CT

CT am Linac

Correction reference point = isocenter

Slice 135 of 270

Sagittal

Planungs CT

CT am Linac

Slice 153 of 270

Transverse

Planungs CT

CT am Linac

Slice 129 of 264

Reference Preset

Cor Ref Point...

Scan

Alignment Clipbox

Structures...

Alignment

Automatic | Grey value

Reset

Convert To Correction

Position Error

Translation (cm)		Rotation (dg)	
X	0.03	X	1.0
Y	0.16	Y	360.0
Z	-0.01	Z	1.8

Table Correction (cm)

Lateral

Longitudinal

Vertical

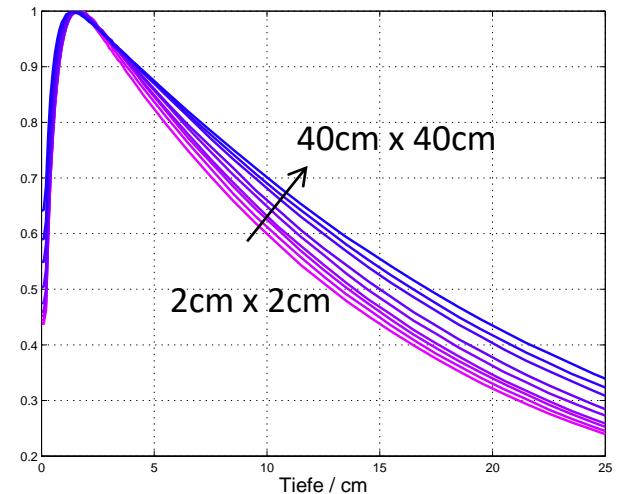
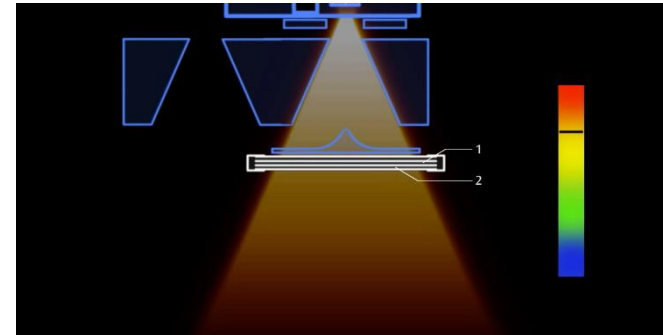
Dismiss | Accept

Pause!

Dann geht's weiter mit: Wir rechnen ein bisschen mit Stift und Papier.. So sind alle mal angefangen :-) !

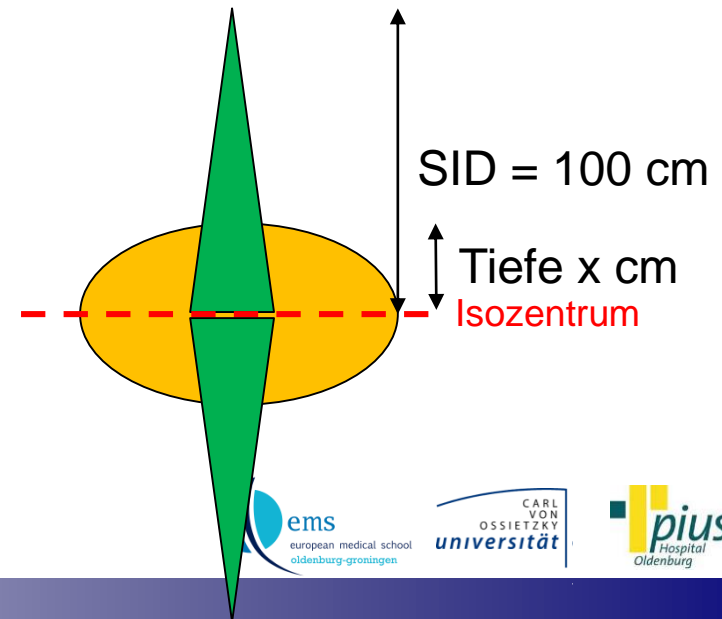
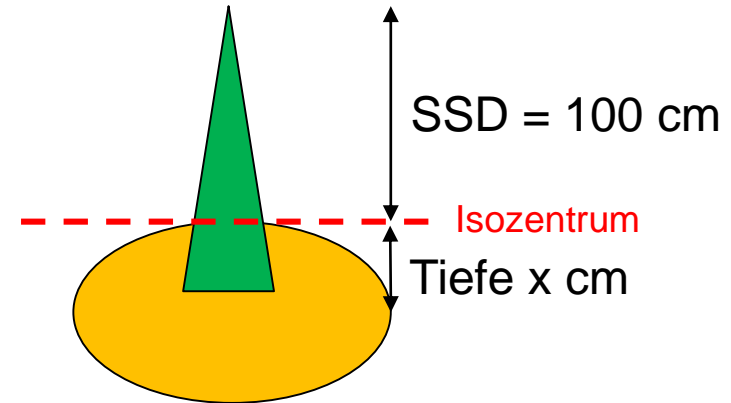
MU Tabellen

- Erinnern wir uns an das Video.. Die Strahlung wird mit Monitorkammern gemessen, **bevor** sie mit den MLC geformt wird
- Die Anzahl Monitoreinheiten (MU) ist also ein Maß für die Strahlung die appliziert wird.
- Die Anzahl Monitoreinheiten für eine bestimmte Strahlendosis an einem Punkt ist abhängig von
 - der Tiefe des Punkts im Patienten
 - der Feldgröße
 - Des Abstands des Patienten vom Beschleuniger
 - Der Energie der Strahlung
- Für definierte quadratische Feldgrößen und diskrete Wassertiefen werden MU Tabellen erstellt, die die MU Zahl für 1 Gy Strahlendosis enthalten...



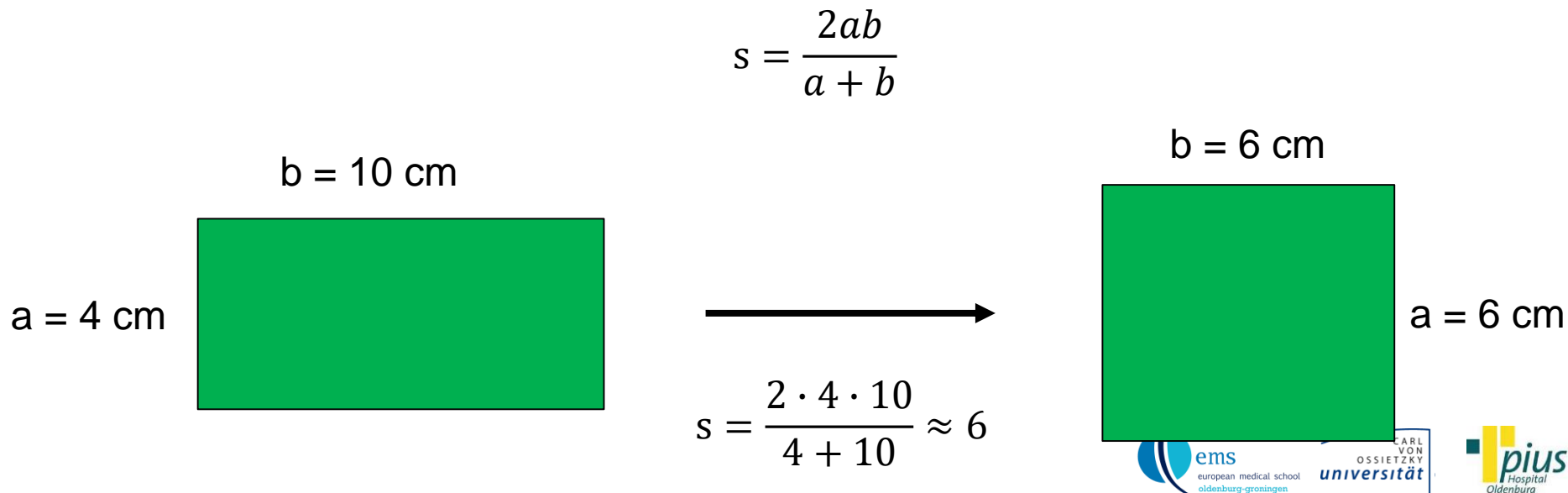
MU Tabellen

- Es wird unterschieden zwischen
 - Bestrahlung mit Abstand Hautoberfläche / Quelle = 100 cm (source to surface distance, **SSD** = 100 cm) und dem zu bestrahlenden Punkt in einer Tiefe x cm im Körper
 - Bestrahlung bei dem der zu bestrahlende Punkt im Körper einen Abstand von 100 cm zur Quelle hat, also das Isozentrum im zu bestrahlenden Punkt liegt (source to isocenter distance = 100 cm). Auch isozentrische Bestrahlung genannt.



MU Tabellen

- Es ist unrealistisch MU Werte für alle möglichen rechteckigen Felder auszurechnen, es werden daher nur MU Werte für quadratische Felder errechnet
- Rechteckige Felder werden zu **äquivalenten quadratischen Feldern** umgerechnet



MU Tabellen - Feldklassen

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40								
5	5			6				7									8																											
6		6		7				8								9										10																		
7			7																					11	-	12																		
8				8																																								
9					9																																	15						
10						10																																						
11							11																																					
12								12																																				
13									13																															20				
14										14																																		
15											15																																	
16												16																																
17													17																															
18															18																													
19																19																												
20																	20																											
21																		21																										
22																			22																									
23																					23																							
24																						24																						
25																							25																					
26																								26																				
27																										27																		
28																																												
29																																												
30																																												
31																																												
32																																												
33																																												
34																																												
35																																												
36																																												
37																																												
38																																												
39																																												
40																																												

$$s = \frac{2ab}{a + b}$$

QMPrimqfeldprim.xls V150506

MU Tabellen

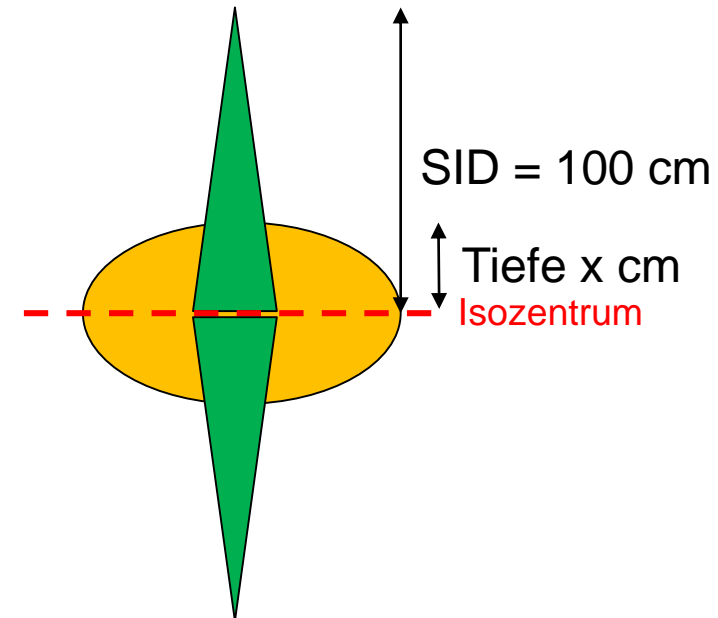
pi0hela

Pius Hospital, Oldenburg

SID

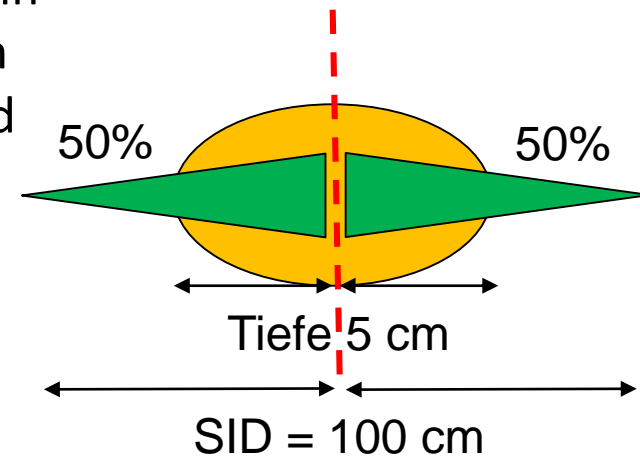
Primus 6 MV, SID=100cm, Monitorvorwahl für 1 Gy pro Feld im Isozentrum

Quadrat	5	6	7	8	9	10	11/12	13/14	15	16/17	18/19	20	21/22	23/24	25	26/28	29-31	32-37	38-40	
Tiefe [cm]																				
2	102.7	101.3	100.0	98.9	97.7	96.7	95.6	94.2	93.5	92.8	92.1	91.5	91.3	90.6	90.3	89.9	89.3	88.6	88.0	
3	105.7	104.1	102.6	101.3	100.1	99.0	97.5	96.1	95.3	94.5	93.6	93.1	92.8	92.1	91.8	91.3	90.8	90.0	89.4	
4	109.4	107.5	105.9	104.3	102.9	101.7	100.1	98.3	97.3	96.6	95.5	95.1	94.7	93.9	93.5	93.3	92.4	91.7	91.1	
5	113.5	111.3	109.4	107.7	106.1	104.6	102.9	101.1	100.0	99.1	97.8	97.3	96.8	96.3	95.8	95.2	94.6	93.9	93.2	
6	118.0	115.5	113.3	111.3	109.5	108.0	106.1	103.9	102.6	101.6	100.5	99.5	99.0	98.4	97.8	97.2	96.5	95.7	95.4	
7	122.8	120.0	117.6	115.2	113.4	111.5	109.3	107.2	105.8	104.6	103.4	102.3	101.7	101.0	100.3	99.6	98.9	98.0	97.3	
8	128.0	124.9	122.1	119.7	117.4	115.6	112.9	110.6	109.0	107.7	106.3	105.1	104.5	103.7	103.0	102.2	101.4	100.5	99.6	
9	133.3	130.0	126.9	124.0	121.8	119.5	116.9	114.1	112.3	110.9	109.4	108.7	107.3	106.5	105.7	105.5	104.6	103.0	102.7	
10	139.1	135.4	132.0	129.1	126.4	124.0	121.2	118.2	116.3	114.8	112.6	111.8	111.0	109.5	109.3	108.4	107.4	106.4	105.4	
11	144.8	140.9	137.1	134.0	131.2	128.6	125.6	121.9	119.8	118.2	116.5	115.0	114.1	113.2	112.3	111.3	110.2	109.1	108.0	
12	151.5	147.2	143.0	139.4	136.4	133.6	130.5	126.5	124.3	122.6	120.1	119.2	118.3	116.5	115.5	114.5	113.3	112.1	111.0	
13	158.2	153.5	149.1	145.3	142.1	139.2	135.4	131.3	128.9	126.4	124.6	122.8	121.8	120.8	119.7	118.6	117.4	115.2	114.0	
14	165.2	160.2	155.6	151.2	147.8	144.7	140.7	136.3	133.8	131.2	128.4	127.4	126.4	124.4	123.3	122.1	120.8	118.5	117.2	
15	172.7	167.1	162.2	157.6	154.0	150.3	146.1	141.5	138.9	136.2	133.3	131.3	130.2	129.0	127.9	125.6	124.3	122.8	121.4	
16	180.7	174.7	169.2	164.4	160.1	156.8	151.8	146.9	144.3	141.4	138.4	136.4	135.3	133.0	131.8	130.4	129.0	126.4	124.9	
17	188.6	182.2	176.4	171.4	167.0	162.9	157.7	152.6	149.0	146.9	143.7	141.6	139.4	138.1	135.7	134.3	132.8	130.0	128.4	
18	197.3	190.3	184.2	178.9	174.3	170.1	164.6	158.7	154.9	151.7	148.4	146.2	144.9	142.4	141.1	139.7	136.8	135.1	132.2	
19	205.9	199.0	192.5	186.5	181.2	176.8	171.0	164.8	160.9	157.7	154.2	151.9	149.5	148.0	146.6	143.9	142.2	139.1	137.4	
20	215.3	207.6	200.4	194.6	189.0	184.5	178.5	171.3	167.3	163.9	160.3	157.9	155.4	152.7	151.2	149.6	146.6	143.3	141.4	



MU Tabelle – Beispiel 1

- Ein Patient soll isozentrisch mit einem 6 MV Feld der Größe 4 cm x 10 cm bestrahlt werden. Die Dosierung soll 30 Gy aufgeteilt auf 10 Fraktionen betragen. Der Tumor liegt mittig im Patienten in 5 cm Tiefe. Die Bestrahlung soll mit zwei gleich gewichteten Bestrahlungsrichtungen (links und rechts) erfolgen.



- Schritt 1:** Einzeldosis berechnen. 30 Gy in 10 Fraktionen entspricht einer **Einzeldosis von 3 Gy**.

- Schritt 2:** Äquivalente Feldklasse berechnen

$$s = \frac{2 \cdot 4 \cdot 10}{4 + 10} \approx 6$$

MU Tabelle – Beispiel 1

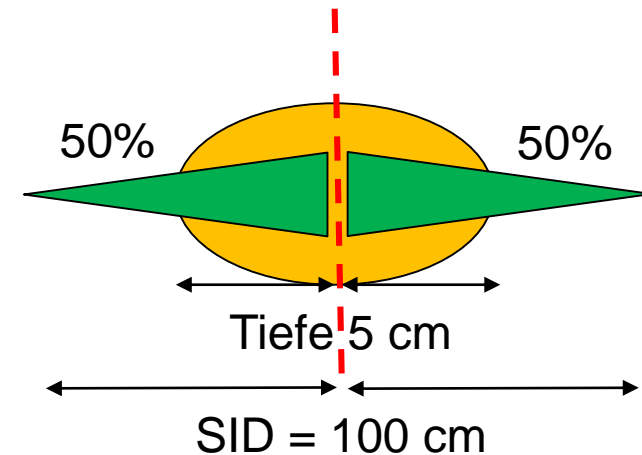
- **Schritt 3:** MU Anzahl für 1 Gy ablesen
1 Gy = 111,3 MU

piühela

Pius Hospital, Oldenburg SID

Primus 6 MV, SID=100cm, Monitorvorwahl für 1 Gy pro Feld im Isozentrum

Quadrat	5	6	7	8	9	10	11/12	13/14	15	16/17	18/19	20	21/22	23/24	25	26/28	29-31	32-37	38-40	
Tiefe [cm]																				
2	102.7	101.3	100.0	98.9	97.7	96.7	95.6	94.2	93.5	92.8	92.1	91.5	91.3	90.6	90.3	89.9	89.3	88.6	88.0	
3	105.7	104.1	102.6	101.3	100.1	99.0	97.5	96.1	95.3	94.5	93.6	93.1	92.8	92.1	91.8	91.3	90.8	90.0	89.4	
4	109.4	107.5	105.9	104.3	102.9	101.7	100.1	98.3	97.3	96.6	95.5	95.1	94.7	93.9	93.5	93.3	92.4	91.7	91.1	
5	113.2	111.3	109.4	107.7	106.1	104.6	102.9	101.1	100.0	99.1	97.8	97.3	96.8	96.3	95.8	95.2	94.6	93.9	93.2	
6	118.0	115.5	113.3	111.3	109.5	108.0	106.1	103.9	102.6	101.6	100.5	99.5	99.0	98.4	97.8	97.2	96.5	95.7	95.4	
7	122.8	120.0	117.6	115.2	113.4	111.5	109.3	107.2	105.8	104.6	103.4	102.3	101.7	101.0	100.3	99.6	98.9	98.0	97.3	
8	128.0	124.9	122.1	119.7	117.4	115.6	112.9	110.6	109.0	107.7	106.3	105.1	104.5	103.7	103.0	102.2	101.4	100.5	99.6	
9	133.3	130.0	126.9	124.0	121.8	119.5	116.9	114.1	112.3	110.9	109.4	108.7	107.3	106.5	105.7	105.5	104.6	103.0	102.7	
10	139.1	135.4	132.0	129.1	126.4	124.0	121.2	118.2	116.3	114.8	112.6	111.8	111.0	109.5	109.3	108.4	107.4	106.4	105.4	
11	144.8	140.9	137.1	134.0	131.2	128.6	125.6	121.9	119.8	118.2	116.5	115.0	114.1	113.2	112.3	111.3	110.2	109.1	108.0	
12	151.5	147.2	143.0	139.4	136.4	133.6	130.5	126.5	124.3	122.6	120.1	119.2	118.3	116.5	115.5	114.5	113.3	112.1	111.0	
13	158.2	153.5	149.1	145.3	142.1	139.2	135.4	131.3	128.9	126.4	124.6	122.8	121.8	120.8	119.7	118.6	117.4	115.2	114.0	
14	165.2	160.2	155.6	151.2	147.8	144.7	140.7	136.3	133.8	131.2	128.4	127.4	126.4	124.4	123.3	122.1	120.8	118.5	117.2	
15	172.7	167.1	162.2	157.6	154.0	150.3	146.1	141.5	138.9	136.2	133.3	131.3	130.2	129.0	127.9	125.6	124.3	122.8	121.4	
16	180.7	174.7	169.2	164.4	160.1	156.8	151.8	146.9	144.3	141.4	138.4	136.4	135.3	133.0	131.8	130.4	129.0	126.4	124.9	
17	188.6	182.2	176.4	171.4	167.0	162.9	157.7	152.6	149.0	146.9	143.7	141.6	139.4	138.1	135.7	134.3	132.8	130.0	128.4	
18	197.3	190.3	184.2	178.9	174.3	170.1	164.6	158.7	154.9	151.7	148.4	146.2	144.9	142.4	141.1	139.7	136.8	135.1	132.2	
19	205.9	199.0	192.5	186.5	181.2	176.8	171.0	164.8	160.9	157.7	154.2	151.9	149.5	148.0	146.6	143.9	142.2	139.1	137.4	
20	215.3	207.6	200.4	194.6	189.0	184.5	178.5	171.3	167.3	163.9	160.3	157.9	155.4	152.7	151.2	149.6	146.6	143.3	141.4	



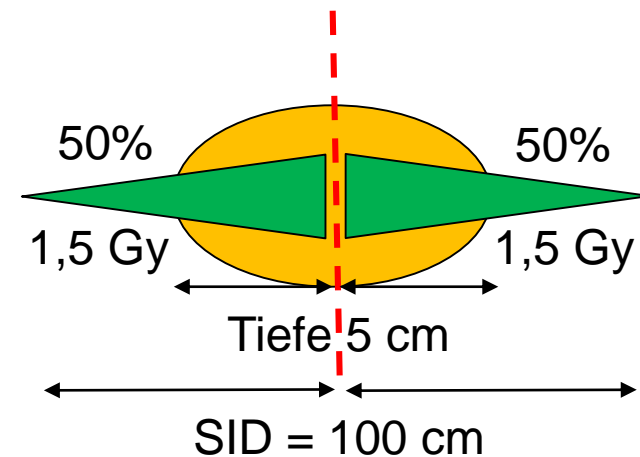
MU Tabelle – Beispiel 1

- **Schritt 3:** MU Anzahl für 1 Gy ablesen
1 Gy = 111,3 MU

- **Schritt 4:** MU Anzahl pro Einstrahlrichtung errechnen. Bei 2 Einstrahlrichtungen werden 1,5 Gy pro Einstrahlrichtung bestrahlt. Das ergibt:

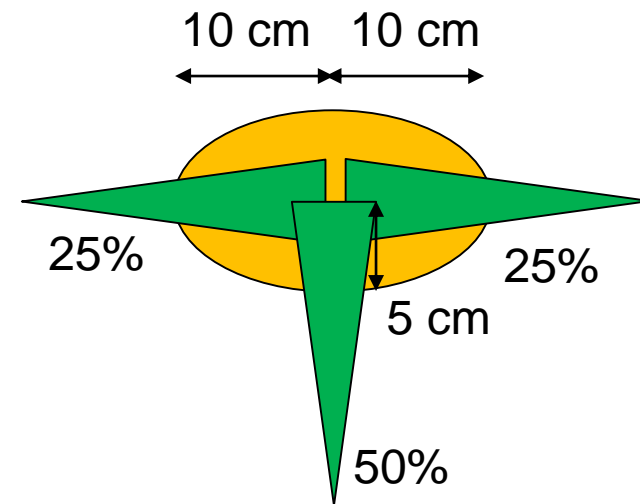
$$\begin{array}{rcl} & 1 \text{ Gy} & = 111,3 \text{ MU} \\ \times 1,5 & \curvearrowright & \\ & 1,5 \text{ Gy} & = \mathbf{166,95 \text{ MU}} \end{array} \quad \begin{array}{l} \curvearrowleft \\ \times 1,5 \end{array}$$

- **Ergebnis:** Es werden pro Einstrahlwinkel 167 MU benötigt!



MU Tabelle – Beispiel 2

- Ein Patient soll isozentrisch mit einem 6 MV Feld der Größe 8 cm x 10 cm bestrahlt werden. Die Dosierung soll 30 Gy aufgeteilt auf 10 Fraktionen betragen. Die Bestrahlung soll mit drei Bestrahlungsrichtungen (links, rechts, dorsal) erfolgen, wobei dorsal 50% und rechts und links jeweils zu 25% gewichtet sind. Die Tiefe beträgt seitlich 10 cm und dorsal 5 cm.



- Schritt 1:** Einzeldosis berechnen. 30 Gy in 10 Fraktionen entspricht einer **Einzeldosis von 3 Gy**.

- Schritt 2:** Äquivalente Feldklasse berechnen

$$s = \frac{2 \cdot 8 \cdot 10}{8 + 10} \approx 9$$

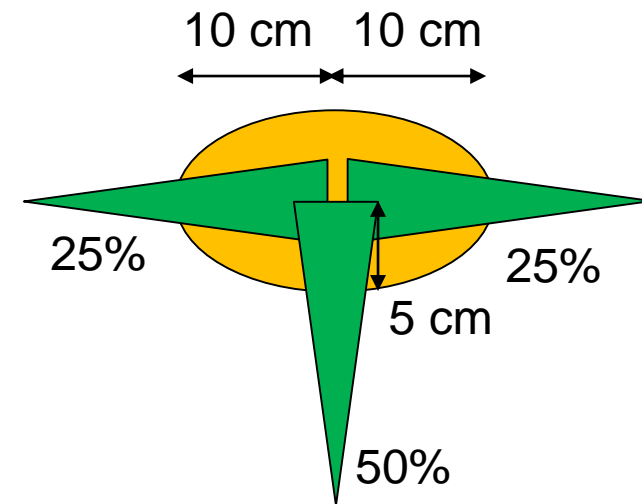
MU Tabelle – Beispiel 2

- Schritt 3:** MU Anzahl für 1 Gy ablesen
1 Gy = 106,1 MU (dorsal)
1 Gy = 126,4 MU (links / rechts)

pius
Pius Hospital, Oldenburg
SID

Primus 6 MV, SID=100cm, Monitorvorwahl für 1 Gy pro Feld im Isozentrum

Quadrat	5	6	7	8	9	10	11/12	13/14	15	16/17	18/19	20	21/22	23/24	25	26/28	29-31	32-37	38-40	
Tiefe [cm]																				
2	102.7	101.3	100.0	98.9	97.7	96.7	95.6	94.2	93.5	92.8	92.1	91.5	91.3	90.6	90.3	89.9	89.3	88.6	88.0	
3	105.7	104.1	102.6	101.3	100.1	99.0	97.5	96.1	95.3	94.5	93.6	93.1	92.8	92.1	91.8	91.3	90.8	90.0	89.4	
4	109.4	107.5	105.9	104.3	102.9	101.7	100.1	98.3	97.3	96.6	95.5	95.1	94.7	93.9	93.5	93.3	92.4	91.7	91.1	
5	113.3	111.5	109.4	107.7	106.1	104.6	102.9	101.1	100.0	99.1	97.8	97.3	96.8	96.3	95.8	95.2	94.6	93.9	93.2	
6	118.0	115.5	113.3	111.3	109.5	108.0	106.1	103.9	102.6	101.6	100.5	99.5	99.0	98.4	97.8	97.2	96.5	95.7	95.4	
7	122.8	120.0	117.6	115.2	113.4	111.5	109.3	107.2	105.8	104.6	103.4	102.3	101.7	101.0	100.3	99.6	98.9	98.0	97.3	
8	128.0	124.9	122.1	119.7	117.4	115.6	112.9	110.6	109.0	107.7	106.3	105.1	104.5	103.7	103.0	102.2	101.4	100.5	99.6	
9	133.3	130.0	126.9	124.0	121.8	119.5	116.9	114.1	112.3	110.9	109.4	108.7	107.3	106.5	105.7	105.5	104.6	103.0	102.7	
10	139.1	135.4	132.0	128.7	126.4	124.0	121.2	118.2	116.3	114.8	112.6	111.8	111.0	109.5	109.3	108.4	107.4	106.4	105.4	
11	144.8	140.9	137.1	134.0	131.2	128.6	125.6	121.9	119.8	118.2	116.5	115.0	114.1	113.2	112.3	111.3	110.2	109.1	108.0	
12	151.5	147.2	143.0	139.4	136.4	133.6	130.5	126.5	124.3	122.6	120.1	119.2	118.3	116.5	115.5	114.5	113.3	112.1	111.0	
13	158.2	153.5	149.1	145.3	142.1	139.2	135.4	131.3	128.9	126.4	124.6	122.8	121.8	120.8	119.7	118.6	117.4	115.2	114.0	
14	165.2	160.2	155.6	151.2	147.8	144.7	140.7	136.3	133.8	131.2	128.4	127.4	126.4	124.4	123.3	122.1	120.8	118.5	117.2	
15	172.7	167.1	162.2	157.6	154.0	150.3	146.1	141.5	138.9	136.2	133.3	131.3	130.2	129.0	127.9	125.6	124.3	122.8	121.4	
16	180.7	174.7	169.2	164.4	160.1	156.8	151.8	146.9	144.3	141.4	138.4	136.4	135.3	133.0	131.8	130.4	129.0	126.4	124.9	
17	188.6	182.2	176.4	171.4	167.0	162.9	157.7	152.6	149.0	146.9	143.7	141.6	139.4	138.1	135.7	134.3	132.8	130.0	128.4	
18	197.3	190.3	184.2	178.9	174.3	170.1	164.6	158.7	154.9	151.7	148.4	146.2	144.9	142.4	141.1	139.7	136.8	135.1	132.2	
19	205.9	199.0	192.5	186.5	181.2	176.8	171.0	164.8	160.9	157.7	154.2	151.9	149.5	148.0	146.6	143.9	142.2	139.1	137.4	
20	215.3	207.6	200.4	194.6	189.0	184.5	178.5	171.3	167.3	163.9	160.3	157.9	155.4	152.7	151.2	149.6	146.6	143.3	141.4	



MU Tabelle – Beispiel 2

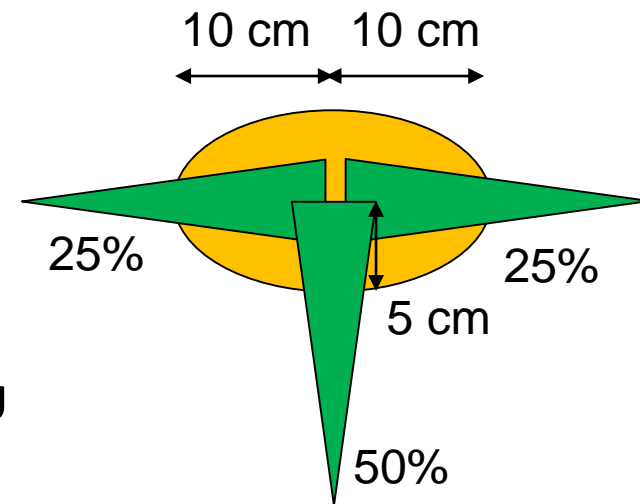
- **Schritt 3:** MU Anzahl für 1 Gy ablesen
1 Gy = 106,1 MU (dorsal)
1 Gy = 126,4 MU (links / rechts)

- **Schritt 4:** MU Anzahl pro Einstrahlrichtung errechnen. Für links / rechts ergeben sich $0,25 \times 3 \text{ Gy} = 0,75 \text{ Gy}$ und für dorsal $0,5 \times 3 \text{ Gy} = 1,5 \text{ Gy}$. Ergibt damit

links/rechts: $126,4 \text{ MU/Gy} \times 0,75 \text{ Gy} = \mathbf{95 \text{ MU}}$

dorsal: $106,1 \text{ MU/Gy} \times 1,5 \text{ Gy} = \mathbf{159 \text{ MU}}$

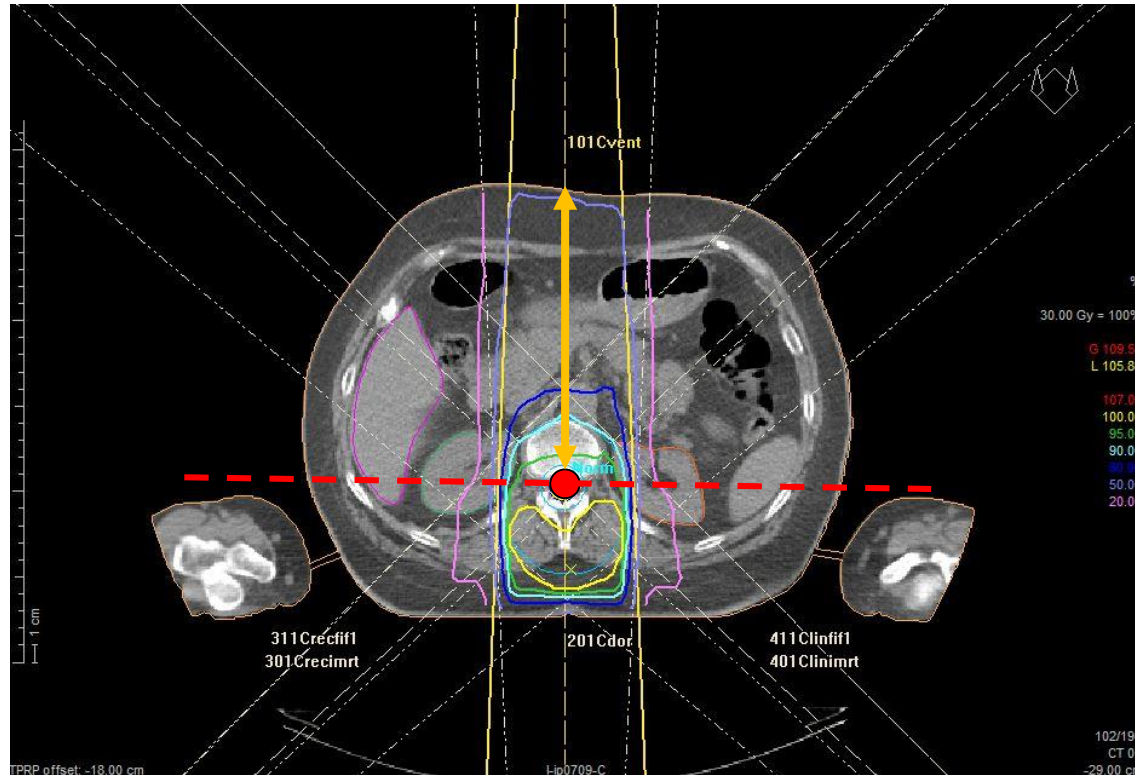
- **Ergebnis:** Es werden 95 MU bzw. 159 MU benötigt!



MU Tabelle – Beispiel 3

1. Feld: 30 % gewichtet
Tiefe 14 cm

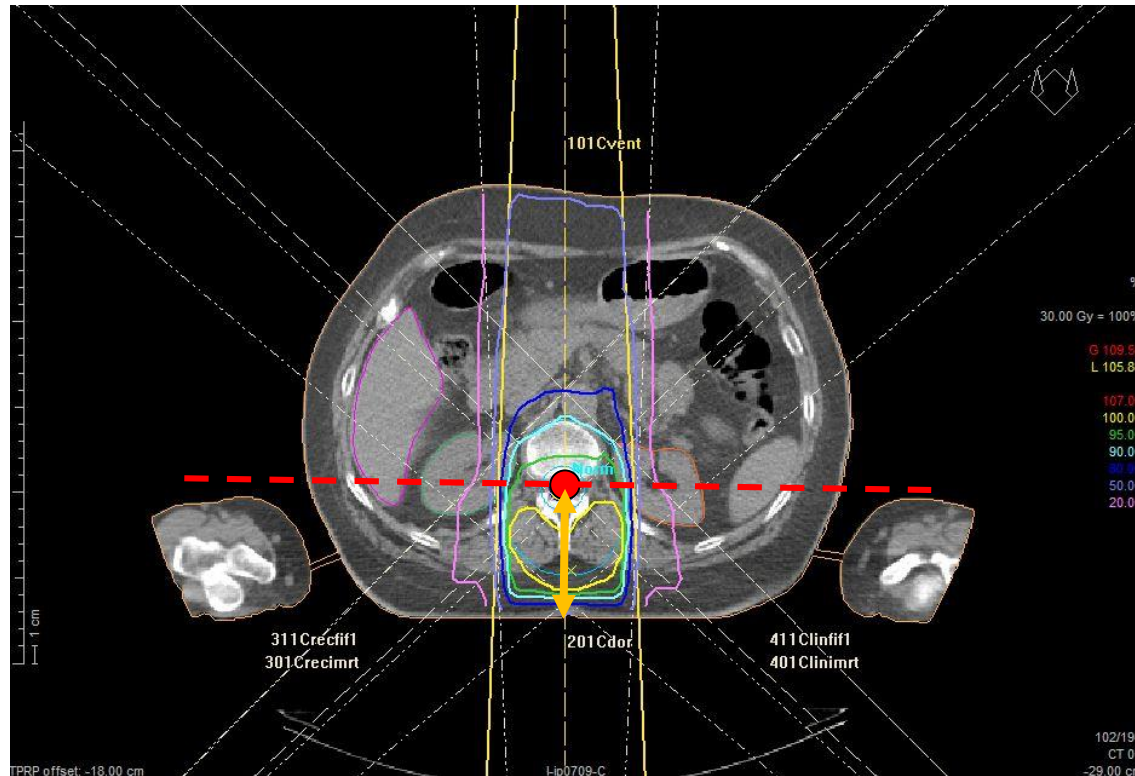
LWS, 10 x 3 Gy



MU Tabelle – Beispiel 3

1. Feld: 30 % gewichtet
Tiefe 14 cm

LWS, 10 x 3 Gy

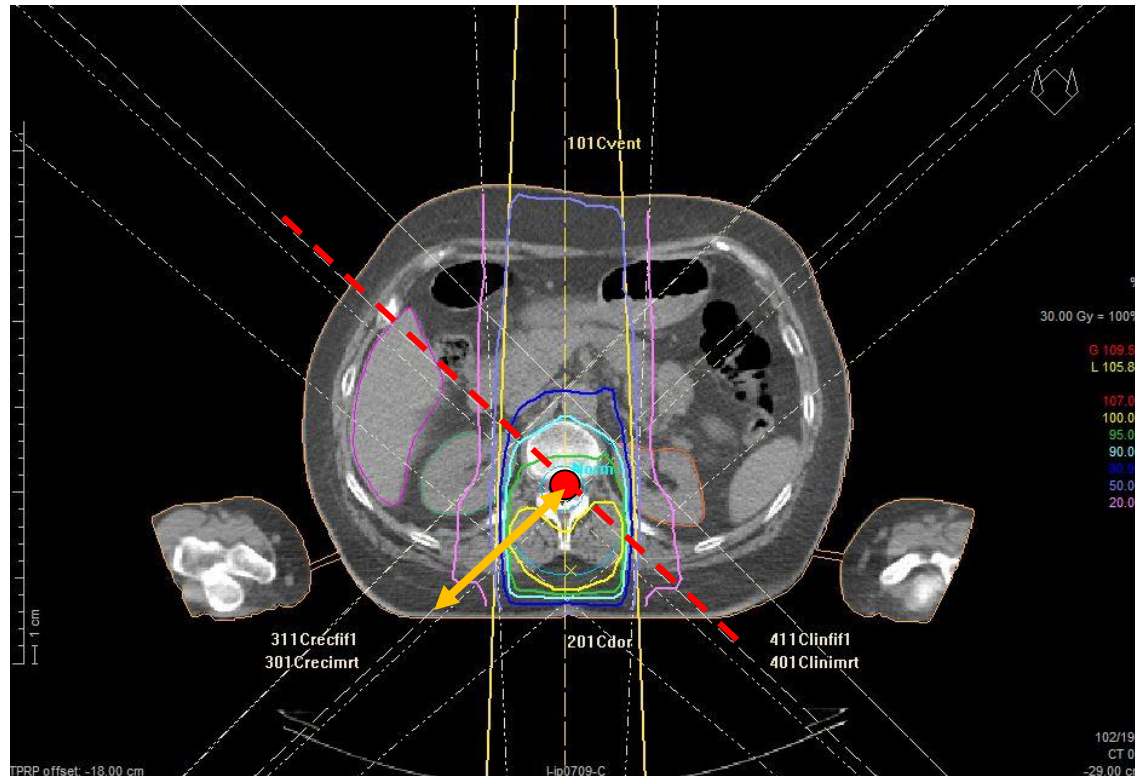


2. Feld:
40 % gewichtet
Tiefe 5 cm

MU Tabelle – Beispiel 3

1. Feld: 30 % gewichtet
Tiefe 14 cm

LWS, 10 x 3 Gy



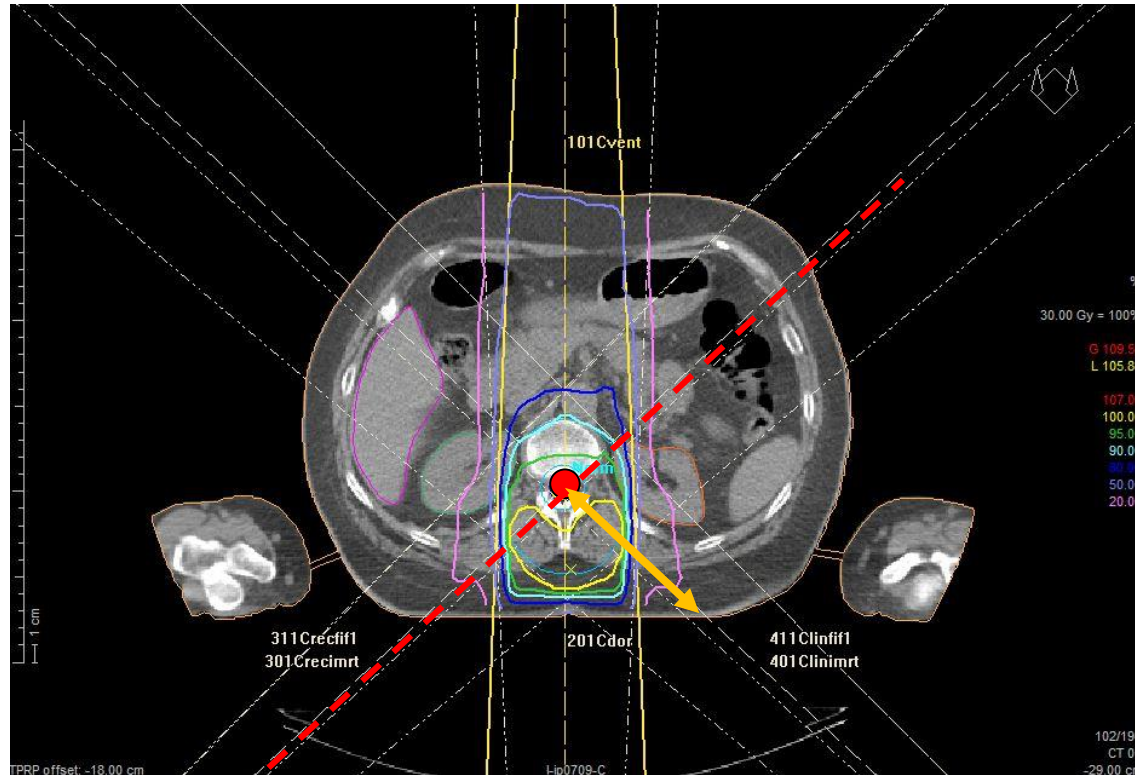
3. Feld:
15 % gewichtet
Tiefe 8 cm

2. Feld:
40 % gewichtet
Tiefe 5 cm

MU Tabelle – Beispiel 3

1. Feld: 30 % gewichtet
Tiefe 14 cm

LWS, 10 x 3 Gy



3. Feld:
15 % gewichtet
Tiefe 8 cm

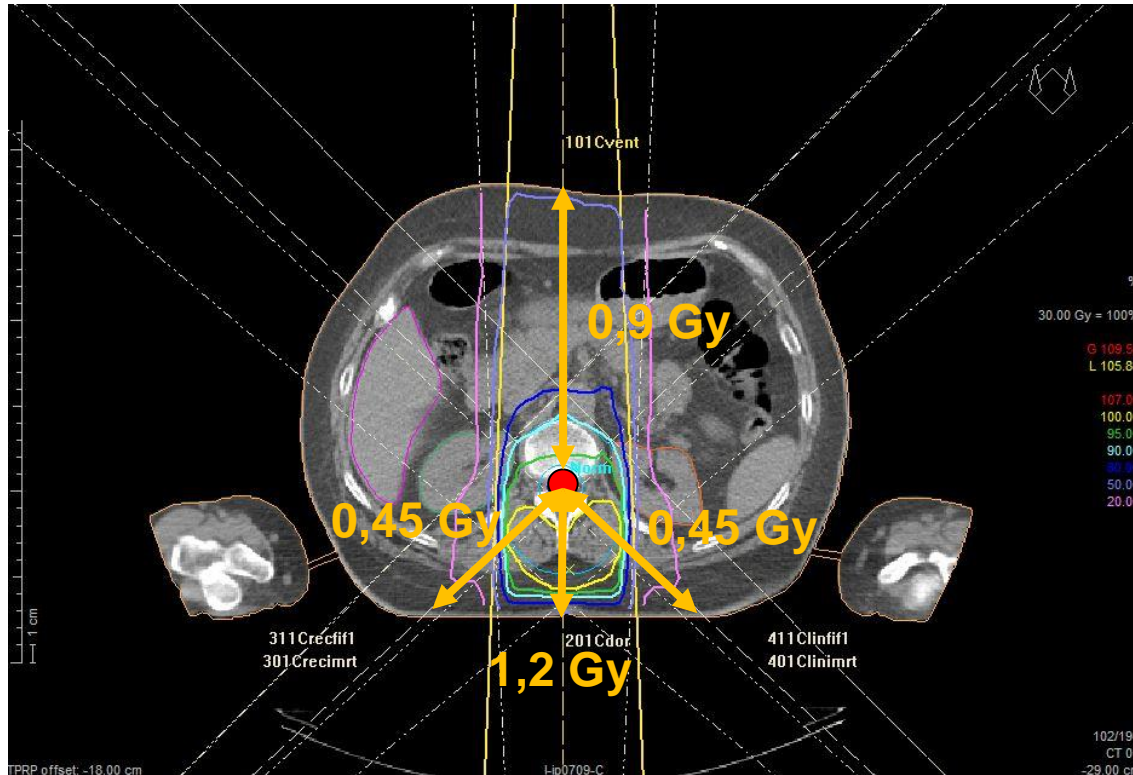
2. Feld:
40 % gewichtet
Tiefe 5 cm

4. Feld:
15 % gewichtet
Tiefe 8 cm

MU Tabelle – Beispiel 3

1. Feld: 30 % gewichtet
Tiefe 14 cm

LWS, 10 x 3 Gy



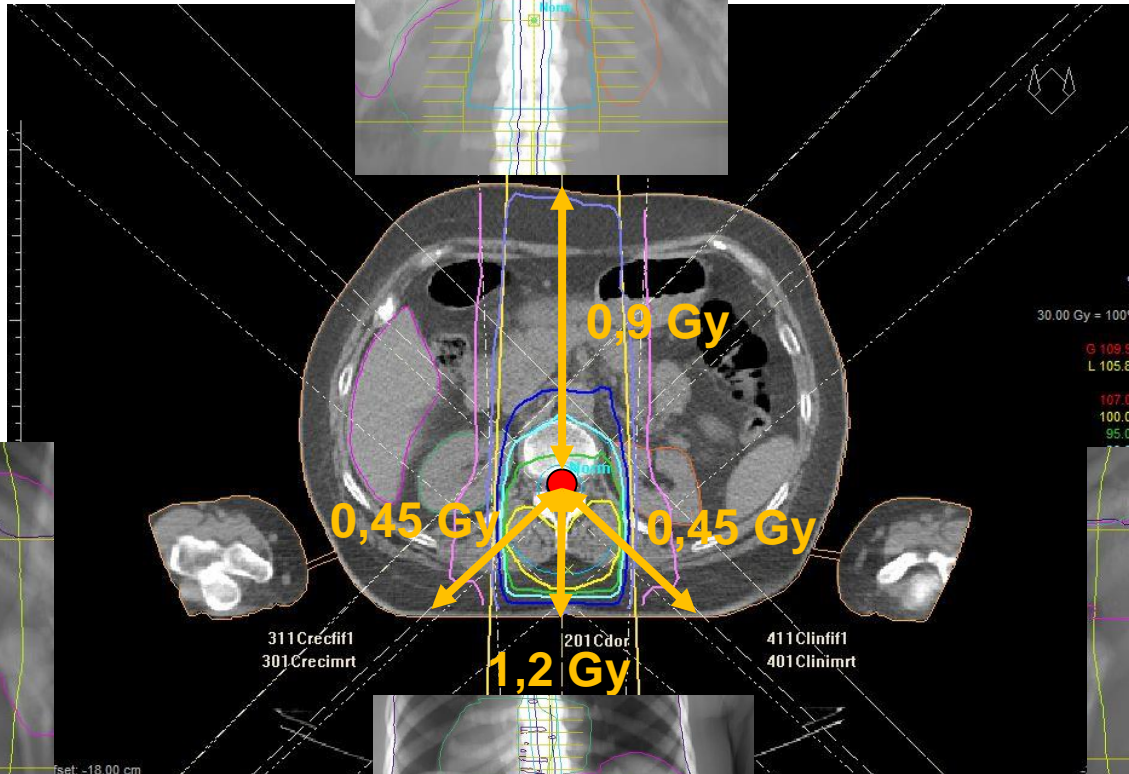
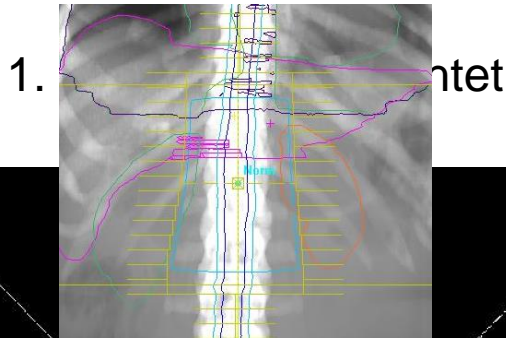
3. Feld:
15 % gewichtet
Tiefe 8 cm

2. Feld:
40 % gewichtet
Tiefe 5 cm

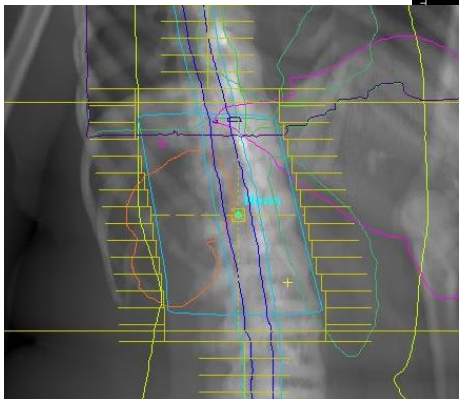
4. Feld:
15 % gewichtet
Tiefe 8 cm

MU Tabelle – Beispiel 3

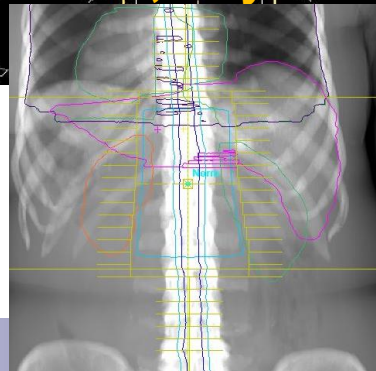
LWS, 10 x 3 Gy



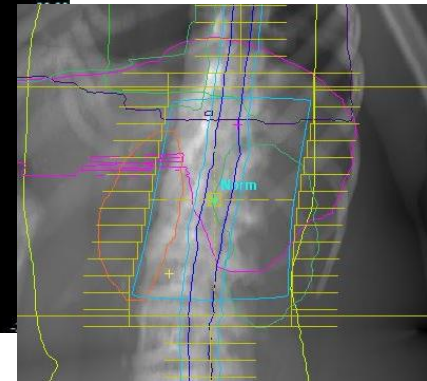
%
30.00 Gy = 100%
G 109.68
L 105.84
107.68
100.00
95.00



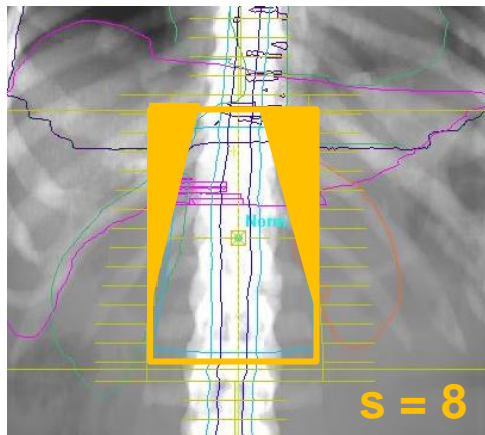
3. Feld:
15 % gewichtet
Tiefe 8 cm



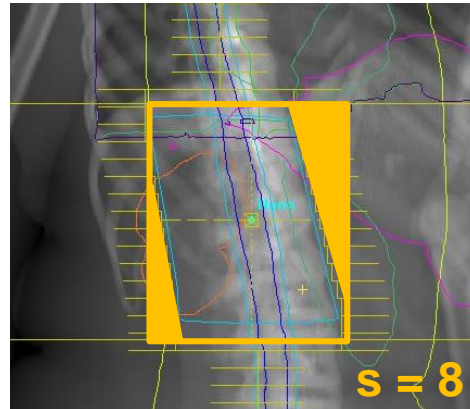
4. Feld:
15 % gewichtet
Tiefe 8 cm



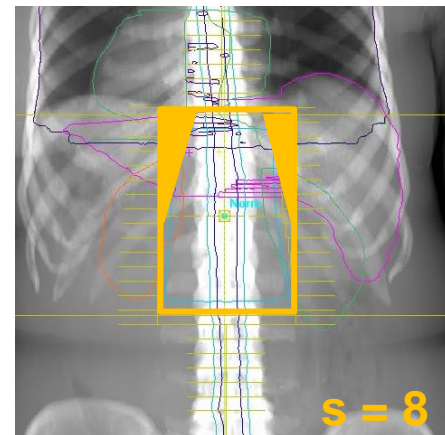
MU Tabelle – Beispiel 3



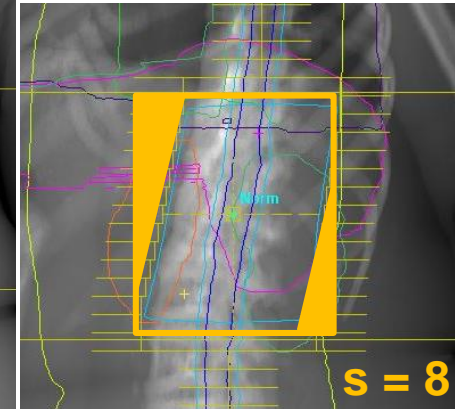
1. Feld:
30 % gewichtet
Tiefe 14 cm



3. Feld:
15 % gewichtet
Tiefe 8 cm



2. Feld:
40 % gewichtet
Tiefe 5 cm



4. Feld:
15 % gewichtet
Tiefe 8 cm

.. echte Bestrahlungsfelder sind meistens weder rechteckig, noch quadratisch ..

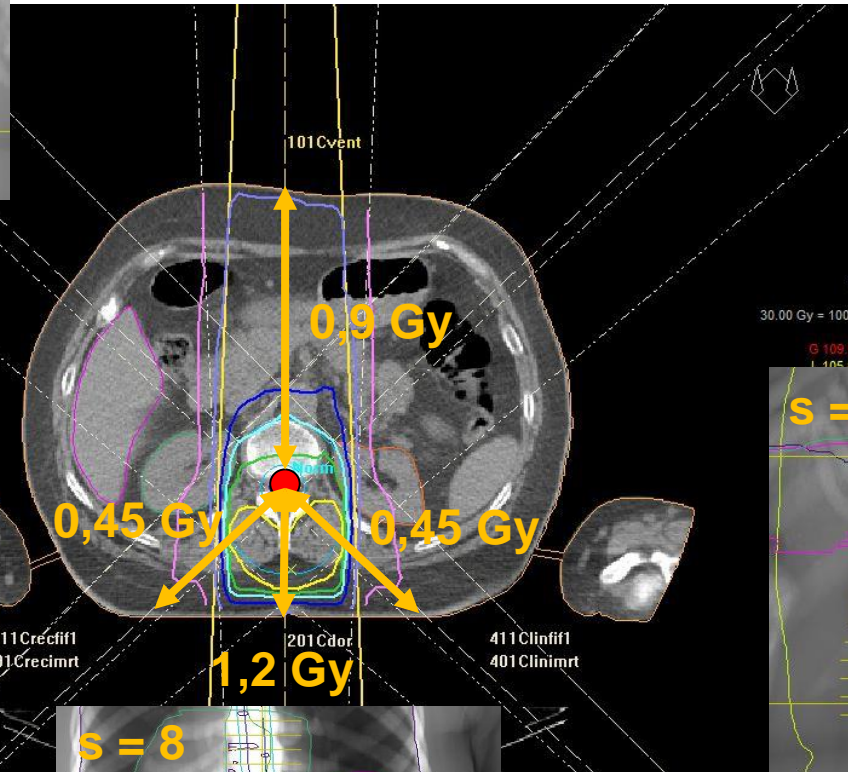
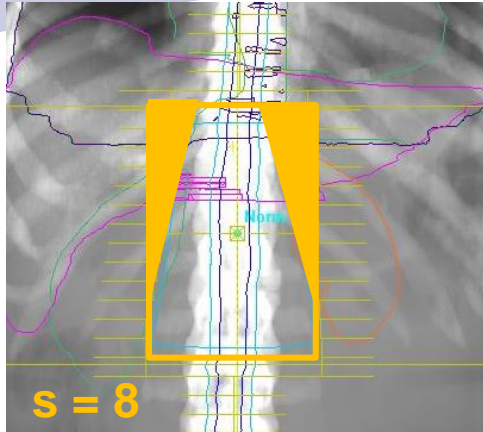
.. die ausgeblockte Fläche muss daher berücksichtigt werden

$$s = \sqrt{\left(\frac{2ab}{a+b}\right)^2 - A_{\text{ausgeblockt}}}$$

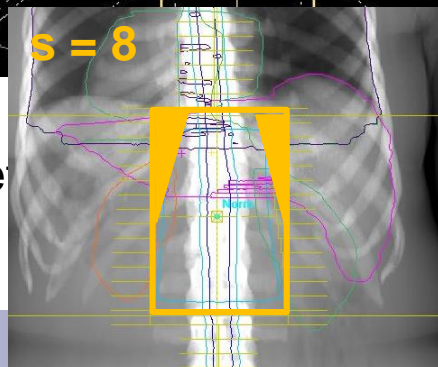
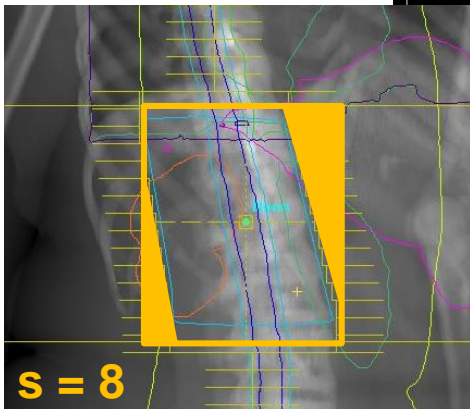
.. oder falls die ausgeblockte Fläche nicht exakt berechnet werden kann
kann die errechnete Feldgröße pro ausgeblockter Fläche näherungsweise
um 1 korrigiert werden

MU Tabelle – Beispiel 3

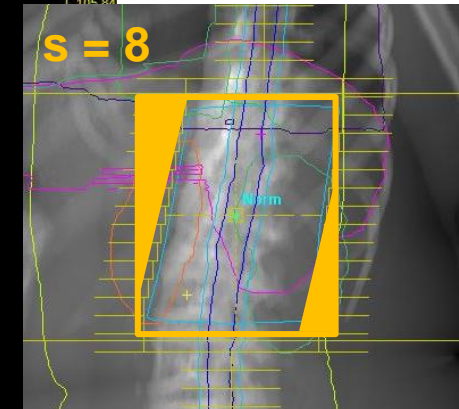
1. Feld: 30 % gewichtet
Tiefe 14 cm



3. Feld:
15 % gewichtet
Tiefe 8 cm



4. Feld:
5 % gewichtet
Tiefe 8 cm

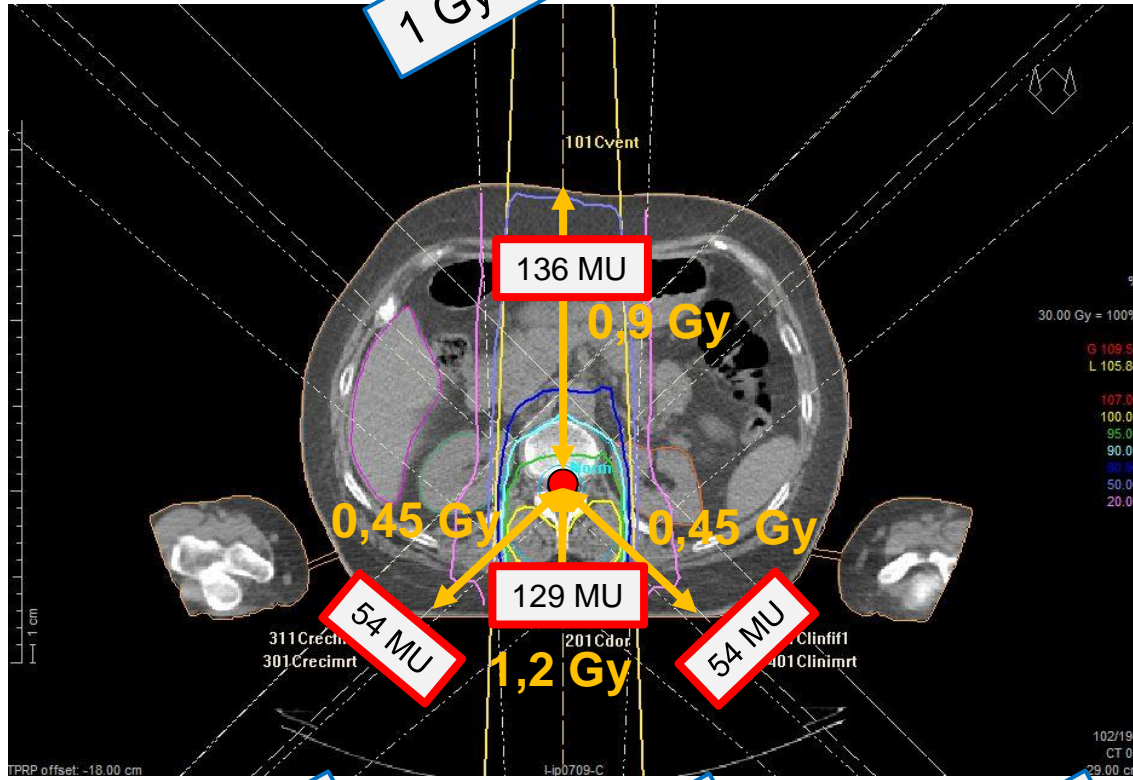


MU Tabelle – Beispiel 3

1. Feld: 30% gewichtet
Tiefe: 100 cm, s = 8
1 Gy = 151,2 MU

Primus 6 MV, SID=100cm

Quadrat	5	6	7	8
Tiefe [cm]				
2	102.7	101.3	100.0	98.9
3	105.7	104.1	102.6	101.3
4	109.4	107.5	105.9	104.3
5	113.5	111.3	109.4	107.7
6	118.0	115.5	113.3	111.3
7	122.8	120.0	117.6	115.2
8	128.0	124.9	122.1	119.7
9	133.3	130.0	126.9	124.0
10	139.1	135.4	132.0	129.1
11	144.8	140.9	137.1	134.0
12	151.5	147.2	143.0	139.4
13	158.2	153.5	149.1	145.3
14	165.2	160.2	155.6	151.2
15	172.7	167.1	162.2	157.6
16	180.7	174.7	169.2	164.4
17	188.6	182.2	176.4	171.4
18	197.3	190.3	184.2	178.9
19	205.9	199.0	192.5	186.5
20	215.3	207.6	200.4	194.6



3. Feld: 15% gewichtet
Tiefe: 100 cm, s = 8
1 Gy = 119,7 MU

2. Feld: 40% gewichtet
Tiefe: 100 cm, s = 8
1 Gy = 107,7 MU

4. Feld: 15% gewichtet
Tiefe: 100 cm, s = 8
1 Gy = 119,7 MU