

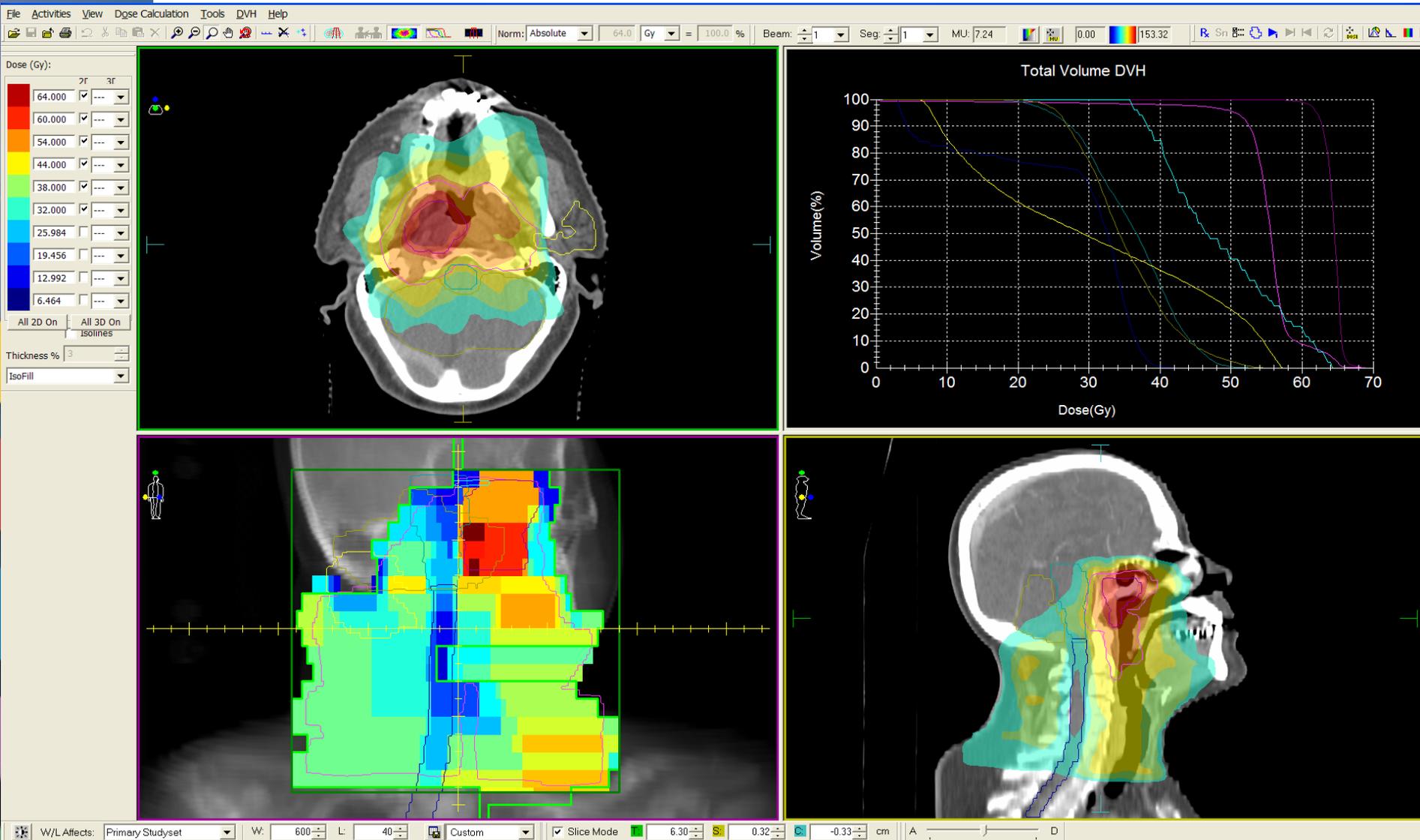
Monaco – Kontrollierbare IMRT-Planung

Dr. Gustav Meedt

Neuruppin, 27.3.2008



Monaco – Integriertes IMRT Planungssystem



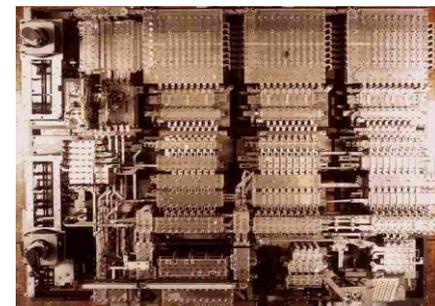
Monaco



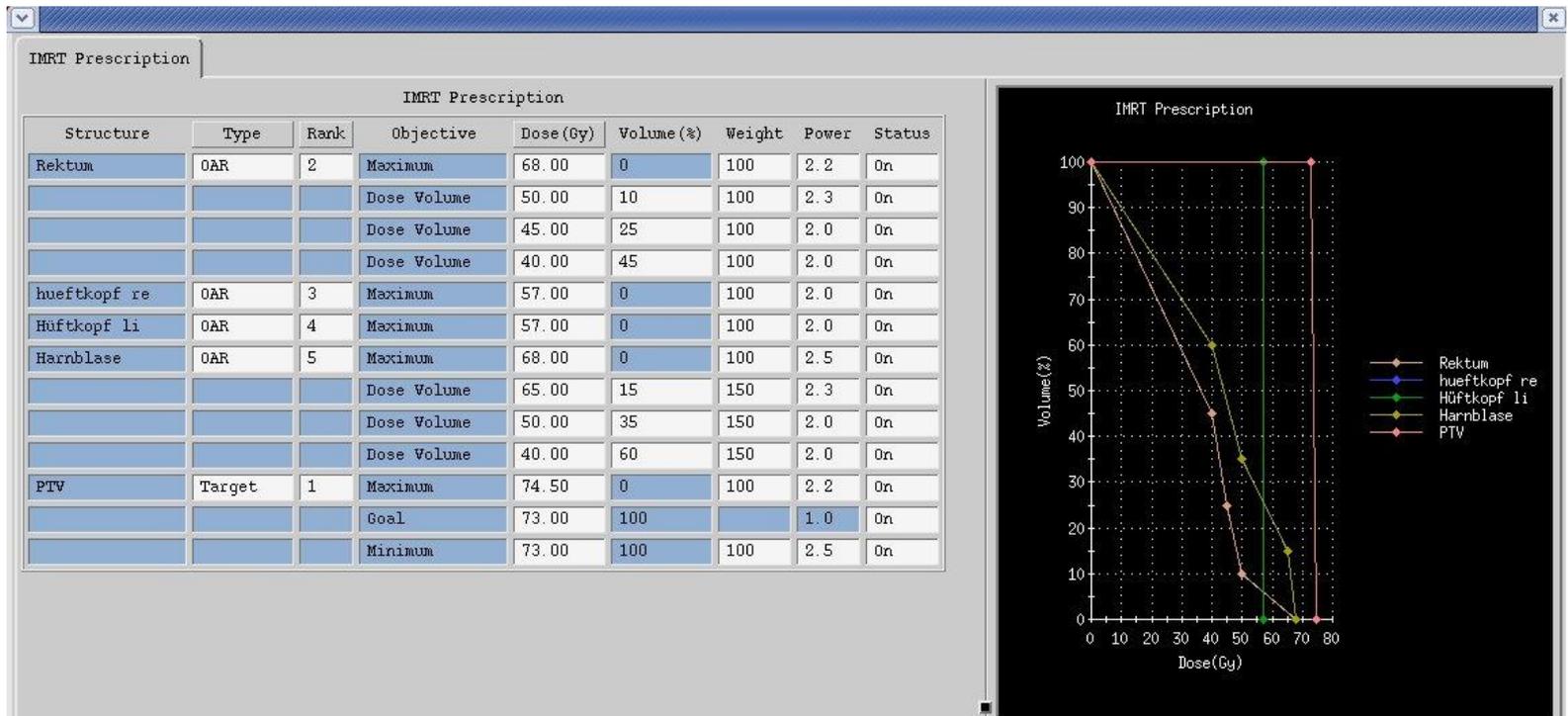
Kontrolle in IMRT?

Kontrolle in IMRT – Verschreibung – Optimierung – Applikation

- 1. Art der Verschreibung**
- 2. Kontrolle über Strukturen – Konturen**
- 3. Kontrolle über Optimierung:**
 - 1. Was ist das Optimum?**
 - 2. Wie sensibel hinsichtlich Veränderung?**
- 4. Kontrolle über Dosisverteilung:**
 - 1. Segmentierung?**
 - 2. Dosisberechnung?**



XiO and andere: Dosis-Volumen basierte Planung

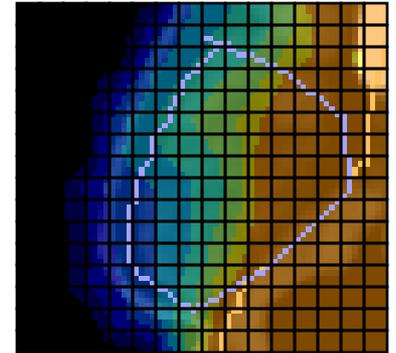


- „Klinische Anwendung“
- Nehmen Bezug auf klinische Erfahrung
- Klinische Relevanz? Signifikanz?

-> Maß für Güte eines Planes?

Biologische Zielfunktionen:

ISOEFFEKTE (z.B. EUD, Volumen) als Maß für inhomogene Dosisverteilung



Seriell strukturierte Organe

Equivalent Uniform Dose



Parallel strukturierte Organe:

Equivalent (effective) Volume



Zielvolumen: Linear quadratisches Gesetz zur Zelinaktivierung
Equivalent Uniform Dose

Biologische Zielfunktionen

➤ Vorteil?

- Evidenzbasiertes Planen–
reproduzierbar, Bedeutung
- Isoeffekte als **relevantes Maß** für TCP und NTCP
- **Intuitive** Planung (EUD in Gy)

➤ Welche biologischen Parameter?

- **Publikationen**
- CMS liefert **Beispiele**
- Letztendlich:
individuell für jede Klinik

➤ *Dosis Volumen* basierte Verschreibung

- **Limitierung** von **hotspots** oder **coldspots** im **Zielvolumen**
- Nicht alle Dosisreaktionen können modelliert werden.

Organ:Complication	Type	k	σ	D_0	EUD	critVol
Rectum:Bleeding	gEUD	12	N/A	N/A	65	N/A
Rectum:Bleeding	sRU	N/A	0.13	N/A	65	N/A
Bladder	gEUD	8	N/A	N/A	56	N/A
Liver	pEUD	4.5	N/A	30	N/A	< 40%
Liver	pRU	N/A	0.15	30	N/A	40%
Lung:Pneumonitis ¹	pEUD	3	N/A	20	N/A	< 60%
Lung:Pneumonitis	pRU	N/A	0.15	20	N/A	< 60%
Kidney ¹	pEUD	2.5	N/A	16	N/A	< 50%
Small bowel	gEUD	4.0	N/A	N/A	40	N/A
Heart	gEUD	5.5	N/A	N/A	32	N/A
Esophagus	gEUD	8.0	N/A	N/A	50	N/A
Spinal cord	gEUD	12.0	N/A	N/A	45	N/A
Brain Stem	gEUD	14.0	N/A	N/A	45	N/A
Optical Nerves	gEUD	14.0	N/A	N/A	48	N/A
Optical Chiasm	gEUD	14.0	N/A	N/A	48	N/A
Eyes	gEUD	4.0	N/A	N/A	30	N/A
Parotids	gEUD	1.0	N/A	N/A	30	N/A
Parotids	pEUD	3	N/A	26	N/A	< 50%
Brain	gEUD	6	N/A	N/A	24	N/A

Applikation

Structure	Cost Function	Is On	Status	Reference Dose (cGy)	Multicriterial	Isoconstraint	Isoeffect	Relative Impact
ptv1	Poisson Statistics Cell Kill Model	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF		<input type="checkbox"/>	5900.0	0.0	
	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	5900.0	<input type="checkbox"/>	23.0	0.0	
	Quadratic Underdosage Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	2500.0	<input type="checkbox"/>	25.0	0.0	
	Underdose-Volume Constraint	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	3000.0	<input type="checkbox"/>	10.0	0.0	
ptv2	Poisson Statistics Cell Kill Model	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF		<input type="checkbox"/>	5000.0	0.0	
	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	5112.0	<input type="checkbox"/>	20.0	0.0	
	Quadratic Underdosage Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	3100.0	<input type="checkbox"/>	31.0	0.0	
	Underdose-Volume Constraint	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	3000.0	<input type="checkbox"/>	10.0	0.0	
cord	Serial Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF		<input checked="" type="checkbox"/>	3500.0	0.0	
	Maximum Dose Constraint	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF		<input type="checkbox"/>	4000.0	0.0	
brainstem	Serial Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF		<input type="checkbox"/>	3200.0	0.0	
	Maximum Dose Constraint	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF		<input type="checkbox"/>	4500.0	0.0	
ltpar	Parallel Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	2500.0	<input checked="" type="checkbox"/>	49.0	0.0	
	Overdose-Volume Constraint	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	3100.0	<input checked="" type="checkbox"/>	52.0	0.0	
rtpar	Parallel Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	2323.0	<input type="checkbox"/>	2.2	0.0	
	Overdose-Volume Constraint	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	3500.0	<input type="checkbox"/>	5.0	0.0	
skin	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	6000.0	<input type="checkbox"/>	100.0	0.0	

Dosisvolumen – Verschreibung

- Quadratische Über- / Unterdosierung
- DVH, uDVH
- Maximaldosis

Eigenschaften von Strukturen / Verschreibungen

Oftmals – Kontrolle über Optimierung mittels Hilfs-Konturen:

- Technical PTV – “Nur zur Optimierung”
- “Transition – Volumes” – Dosisgradienten
- Extra-Säume um OARs
- Vereinigung aller Zielvolumen
-

-> Zeitintensiver Prozess

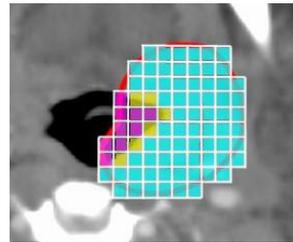
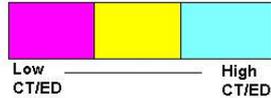
Es fehlt:

Intrinsische Eigenschaften:

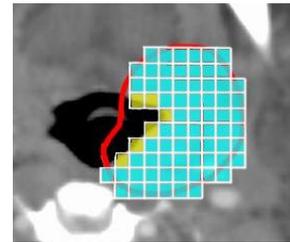
- Gebiete niedriger Elektronendichte (Kavitäten)
- “Adaptives” Überschreiben von Elektronendichte
- Berücksichtigung von Dosis-buildup

Eigenschaften von Strukturen / Verschreibungen

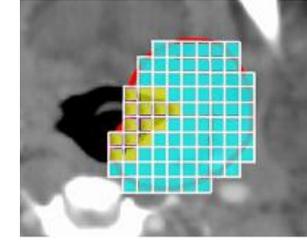
• Clear and Fill



Voxelized Structure

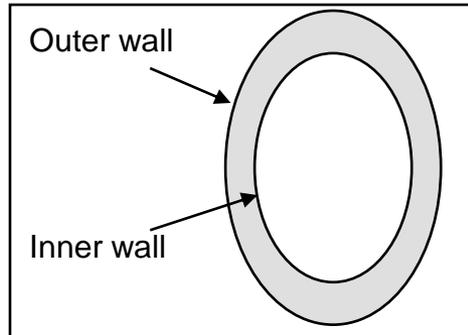


Application of Clear

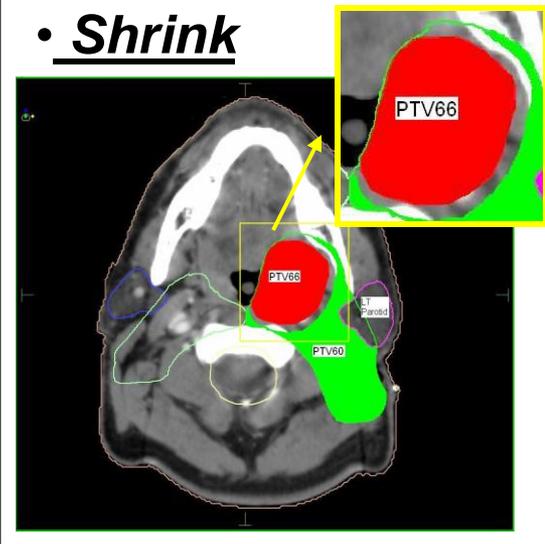


Application of Fill

• Subtract



• Shrink

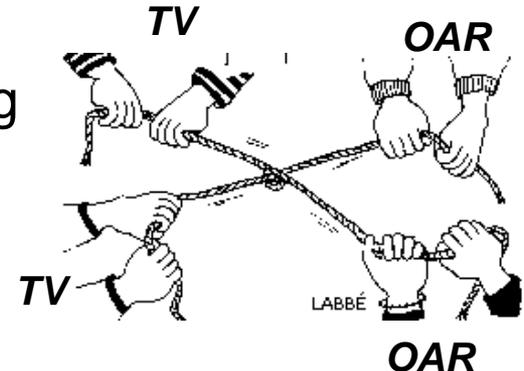


- Autoflash
- Surface margin (-> build up region)
- Overwrite ranking

Optimierungstechniken

Unbeschränkte Optimierung:

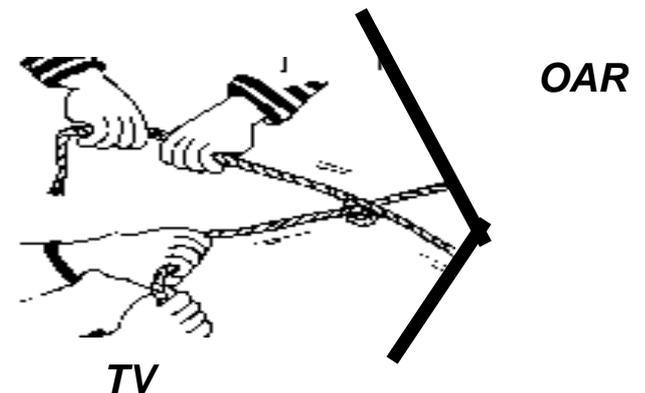
Dosisvorgaben, für Zielvolumina und Risikoorgane, die während der Optimierung miteinander im Wettstreit stehen.



Kompromiss.

Beschränkte Optimierung: Monaco

Dosisverschreibung auf Zielvolumina wird angestrebt unter der stringenten Einhaltung von Nebenbedingungen – *(hard) constraints*.

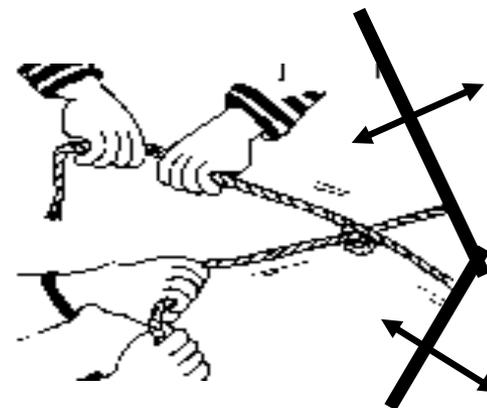
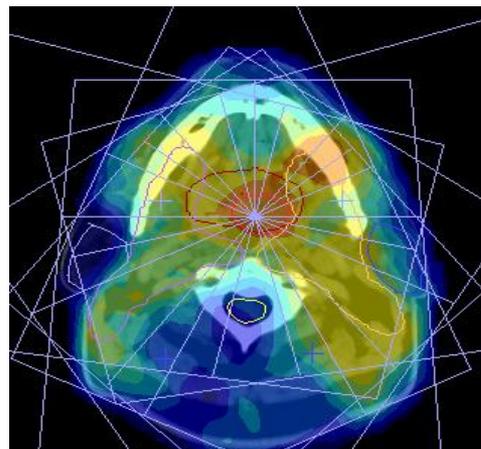


Kontrolle.

Beschränkte Optimierung: Evaluierungswerkzeuge – Sensitivity Analysis

Welche Verschreibung steht im Konflikt mit welcher Zielvorgabe?

Structure	Cost Function Type	Isoeffect Label	Sensitivities			
			ptv1	ptv2	ptv3	ptv4
ptv1	ptv1: Quadratic Overdose Penalty	: RMS EXCESS Dose (Gy)	0.166	0.100	0.100	0.100
ptv2	ptv2: Quadratic Overdose Penalty	: RMS EXCESS Dose (Gy)	0.797	0.513	0.178	0.153
ptv3	ptv3: Quadratic Overdose Penalty	: RMS EXCESS Dose (Gy)	0.157	0.107	0.210	0.100
ptv4	ptv2: Quadratic Overdose Penalty	: RMS EXCESS Dose (Gy)	0.401	0.386	0.172	0.679
brainstem	brainstem: Serial Complication Model	: Eq Uni Dose (NT) (Gy)	0.000	0.000	0.000	0.000
cord	cord: Serial Complication Model	: Eq Uni Dose (NT) (Gy)	0.000	0.000	0.000	0.000
rtpar	rtpar: Parallel Complication Model	: Mean damage ORGAN (%)	1.031	1.032	0.603	2.000
ltpar	ltpar: Parallel Complication Model	: Mean damage ORGAN (%)	0.100	0.100	0.133	0.100
skin	skin: Quadratic Overdose Penalty	: RMS EXCESS Dose (Gy)	0.000	0.000	0.000	0.000



Multikriterielle Optimierung

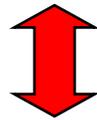
Verschärfe Nebenbedingungen solange Zielvorgaben nicht kompromittiert werden

Structure	Cost Function	Is On	Status	Reference Dose (Gy)	Multicriterial	Isoconstraint	Isoeffect	Relative Impact
PTV66	Poisson Statistics Cell Kill Model	<input checked="" type="checkbox"/>	ON		<input type="checkbox"/>	66.000	66.735	
	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	ON	67.000	<input type="checkbox"/>	0.500	0.495	++++
PTV54	Poisson Statistics Cell Kill Model	<input checked="" type="checkbox"/>	ON		<input type="checkbox"/>	54.000	55.741	
	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	ON	55.000	<input type="checkbox"/>	1.800	1.026	++++
CORD+5	Serial Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	ON		<input checked="" type="checkbox"/>	25.101	25.101	++++
PAROTID_RT	Parallel Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	26.000	<input type="checkbox"/>	35.0	28.0	
PAROTID_LT	Parallel Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	OFF	26.000	<input type="checkbox"/>	50.0	45.1	
SKIN	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	ON	35.000	<input type="checkbox"/>	1.000	1.008	++++

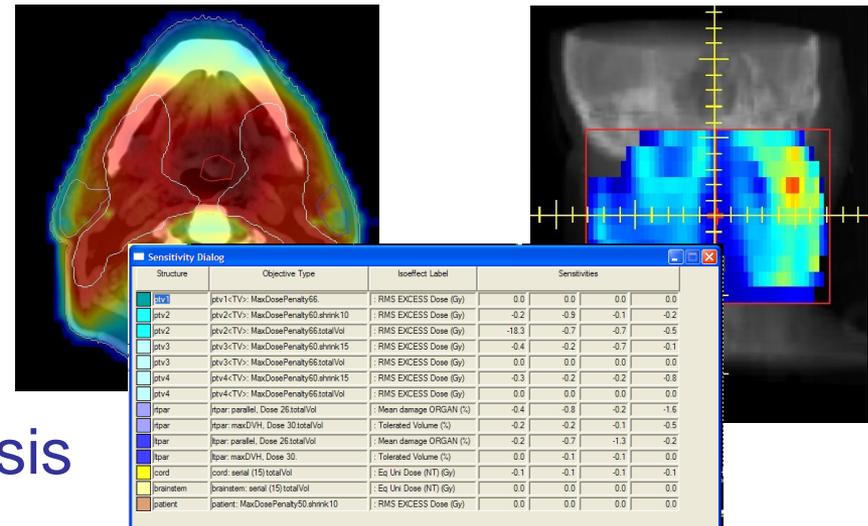
OK Cancel Apply Print

Optimierungsprozess

1. Stufe: Optimierung von Fluenzprofilen

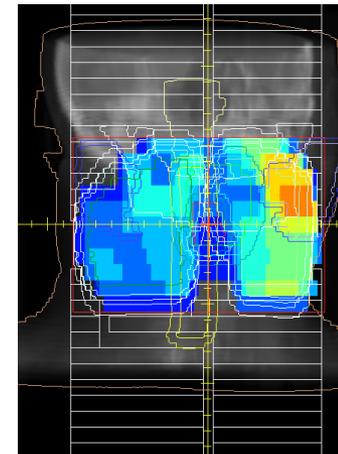


1. Stufe: Sensitivity analysis



2. Stufe: Segmentierung

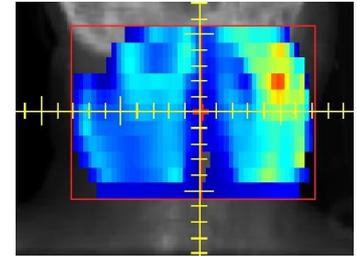
– Qualitätsverlust der Dosisverteilung



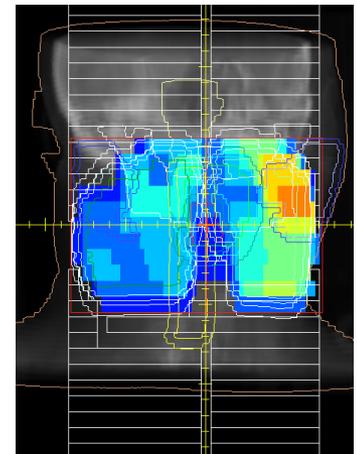
Beschränkte Optimierung der Segment-Fluenz und -Form

Monaco:

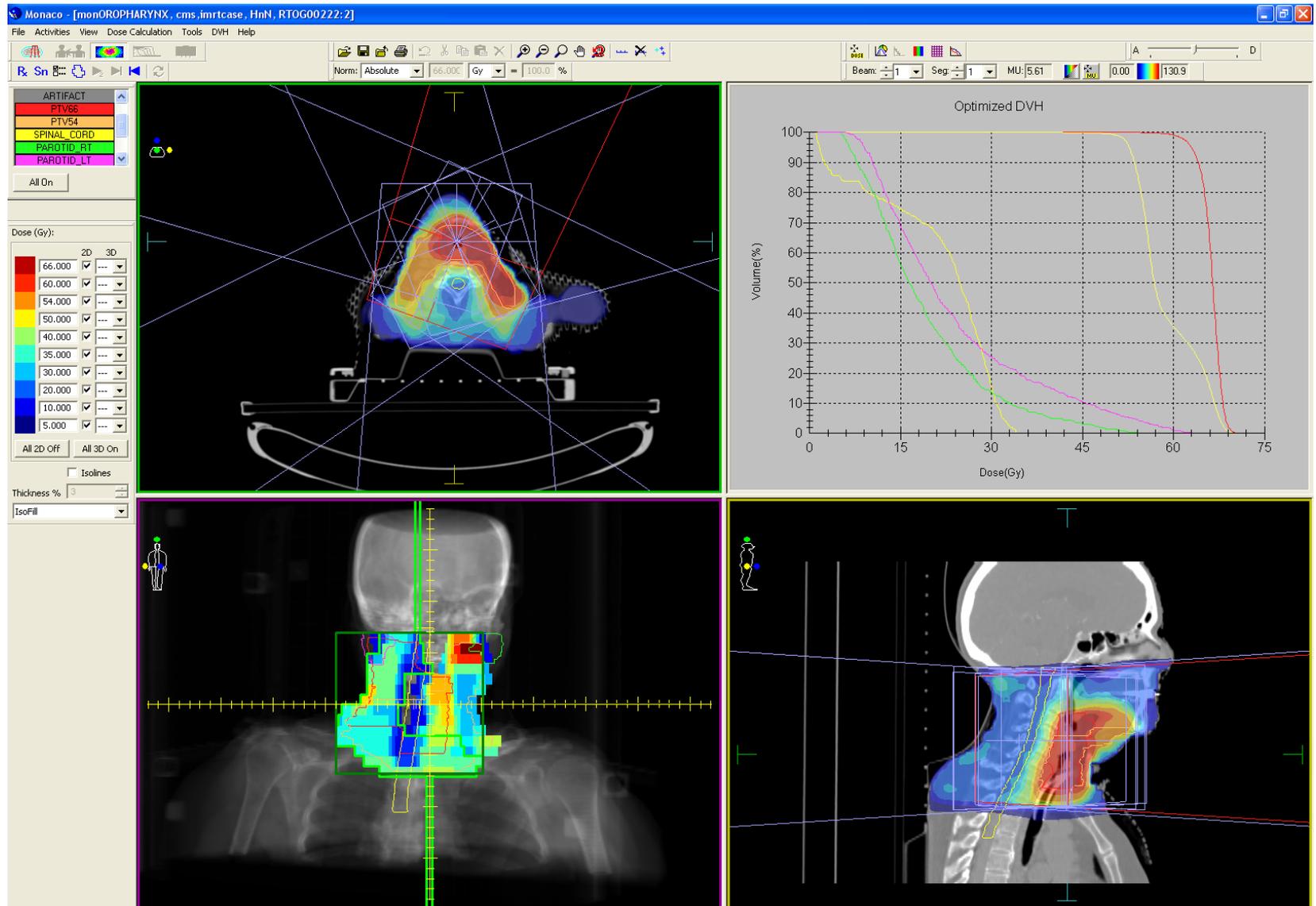
- **Glätte** Fluenzprofile während Optimierung
- ***Segment Form- und Fluenz-Optimierung***



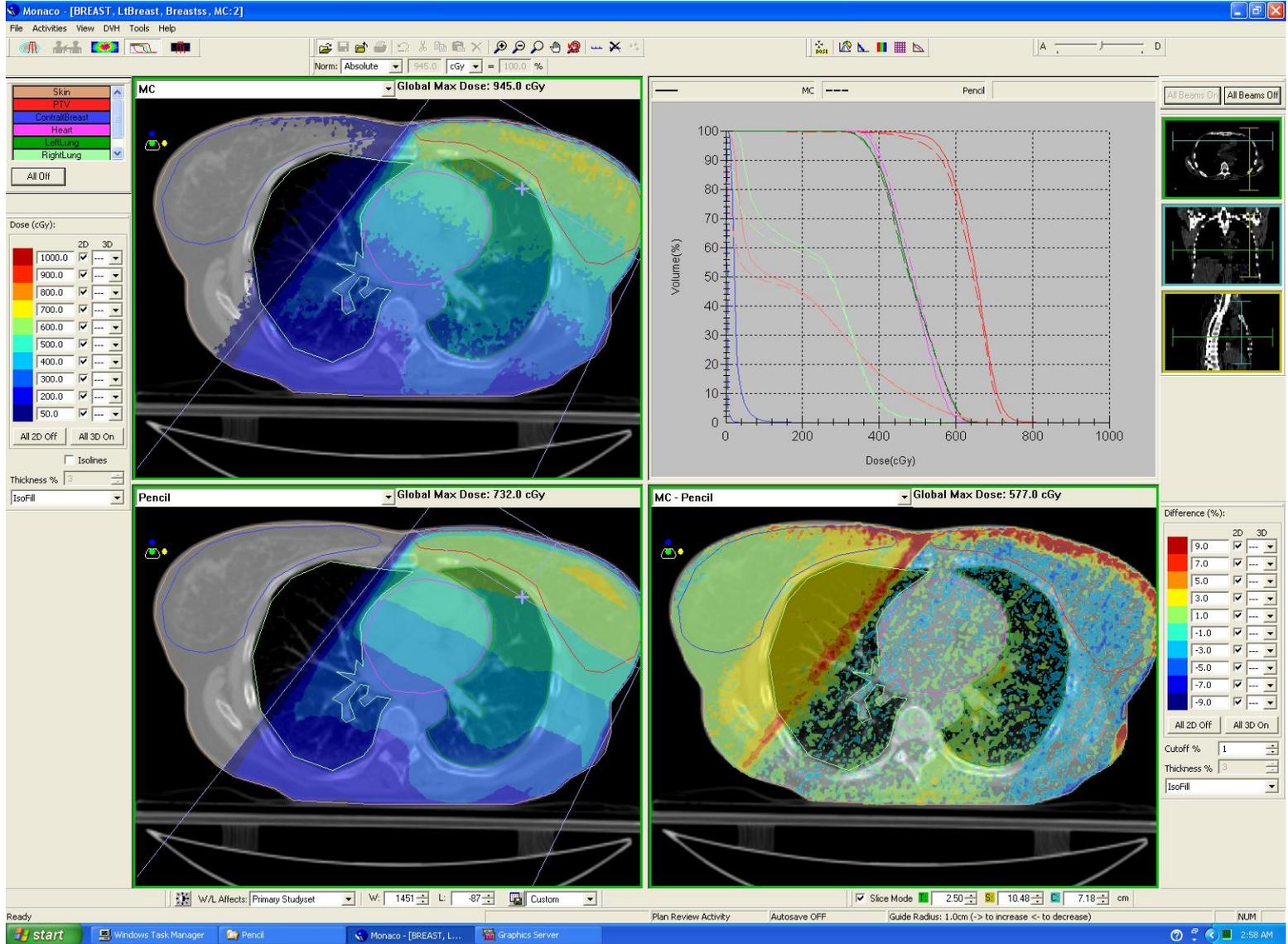
- **Segmentierung** – Minimale Feldgröße
- **Optimierung der MUs** aller Segmente
 - hinsichtlich der ursprünglichen Verschreibung
 - Nebenbedingung – Minimal-Fluenz
- **Vereinigung, Separierung, Verfeinerung des Ränder** von Segmenten



3. Beschränkte Optimierung der Segment-Fluenz und -Form



Monte Carlo Simulationen und IMRT – Planung

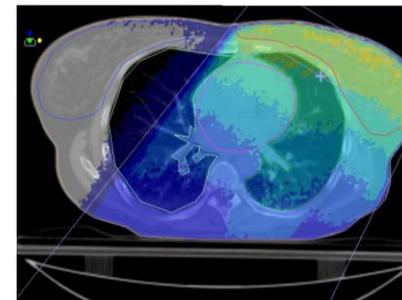
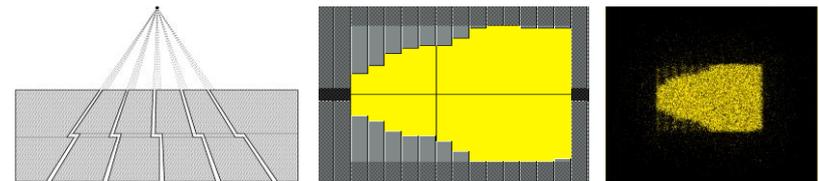
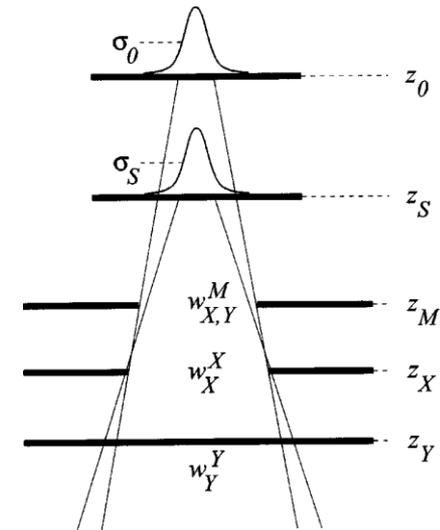


Matthias Fippel,^{a)} Freddy Haryanto, Oliver Dohm, and Fridtjof Nüsslin
Abteilung für Medizinische Physik, Universitätsklinikum Tübingen, Hoppe-Seyler-Strasse 3, 72076 Tübingen, Germany

Stephan Kriesen
Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie, Universität Rostock, Südring 75, 18059 Rostock, Germany
(Received 30 May 2002; accepted for publication 11 December 2002; published 5 February 2003)

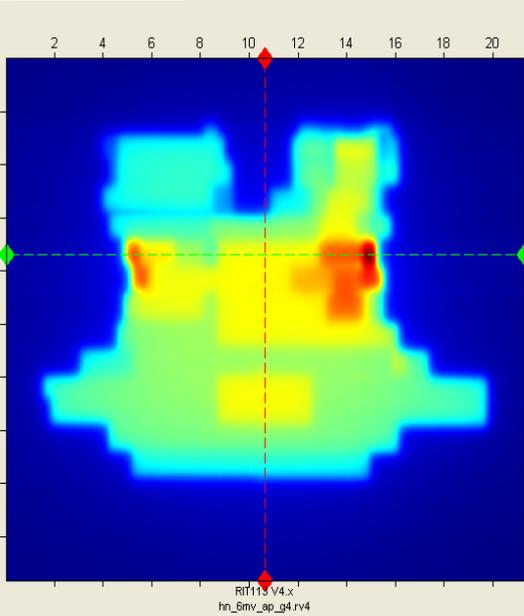
Virtual Energy Fluence model

- Gaussförmige Quellen: target and flattening filter
- Elektronen – Kontaminierungsquelle
- Horn – effekt
- Energiespektrum (auch off-axis softening)
- Transmissionsfilter (MLC) *Alber et. Al.*
- Patient (XVMC)

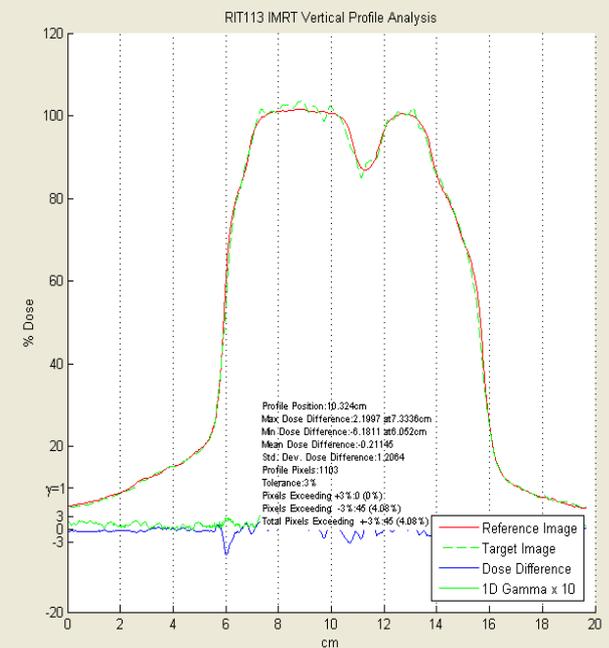
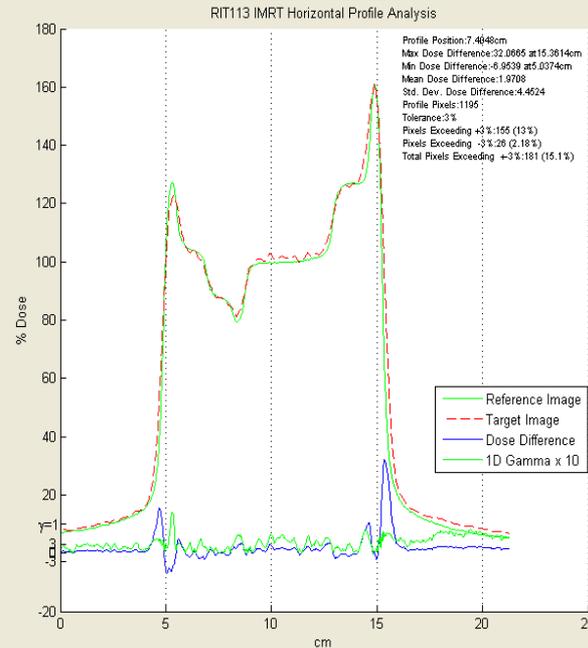


QA Results :

Siemens Primus 6x, MC calculations, EDR2 film

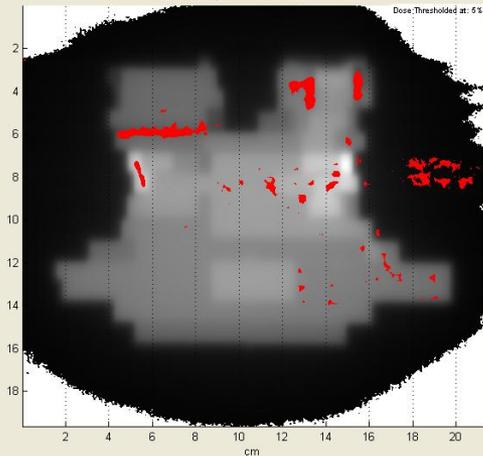


RIT113.v4.x
hn_6mv_ap_g4.rv4



Gamma Index exceeding: 1 is red. Reference Dose < 5 is white

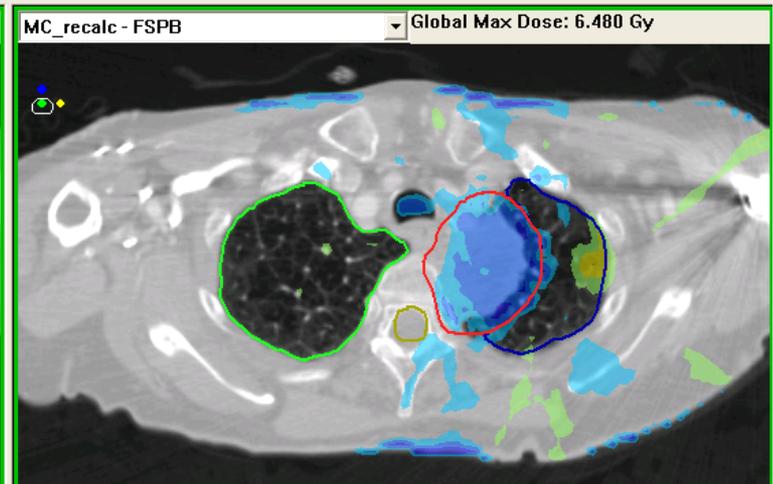
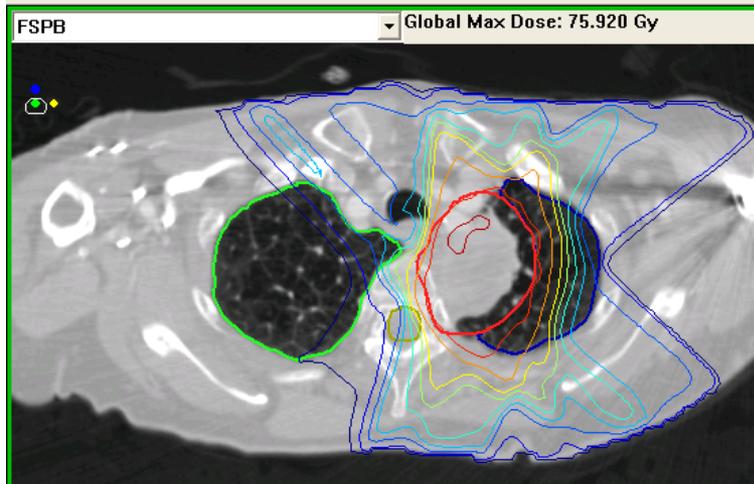
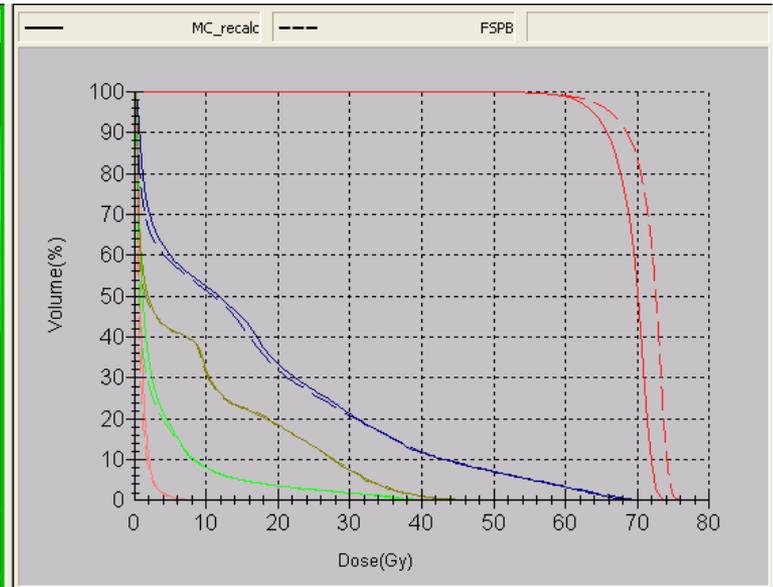
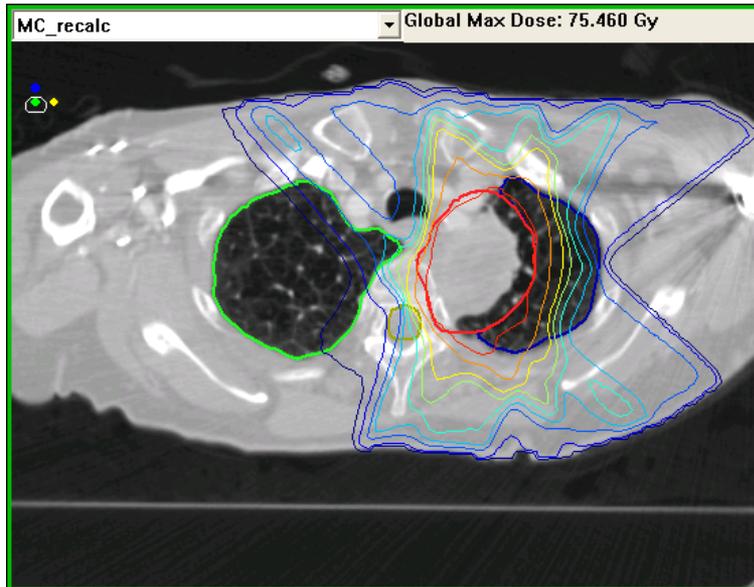
Dose Threshold: at: 5%



98.4 % points passing 2%-2mm

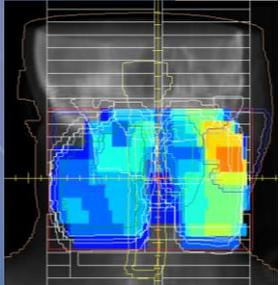
99.8 % passing 3%-3mm

Monte Carlo Simulationen und IMRT – Planung



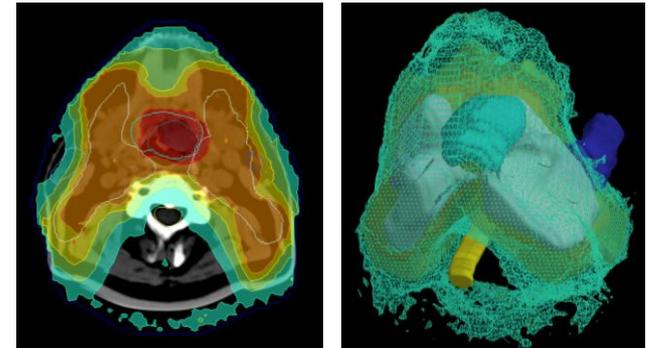
Monte Carlo Simulation innerhalb der Optimierung

2. Stufe: Segment Fluenz/Form - Optimierung



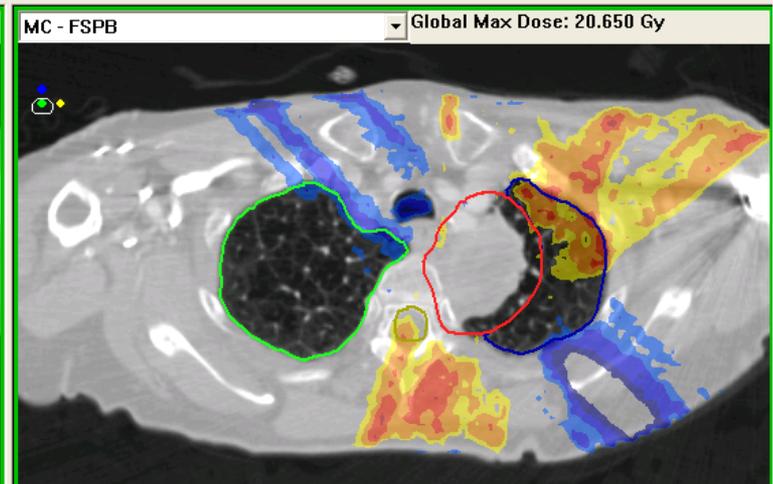
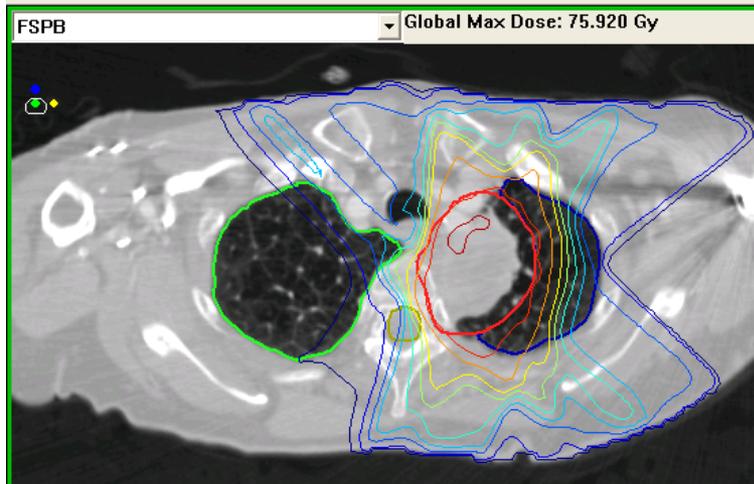
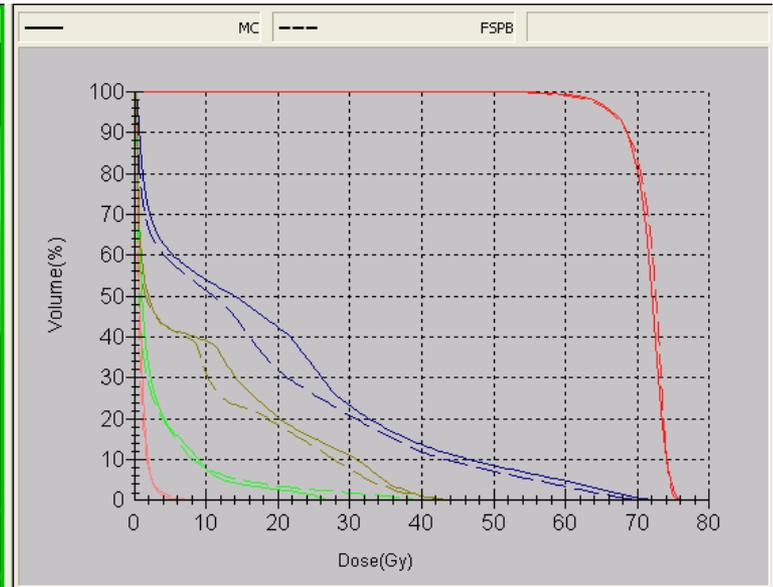
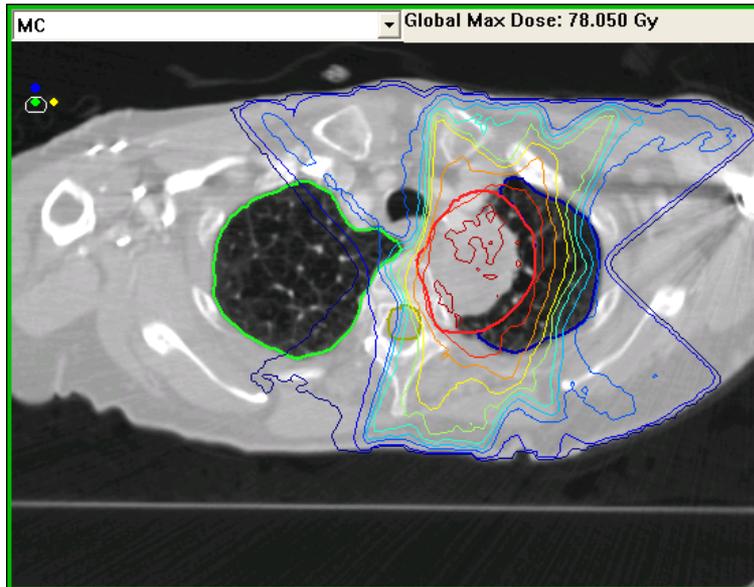
Monte Carlo Dosisberechnung (XVMC)...

für jedes Segment



... bis alle Nebenbedingungen
(hard Constraints) erfüllt sind!

Monte Carlo Simulationen und IMRT – Planung



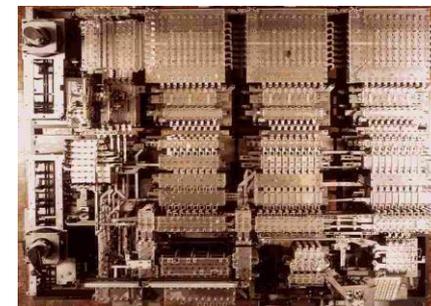
Kontrollierbare IMRT-planung – Zusammenfassung



EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN



- 1. *Biologische und Dosisvolumen-basierte Zielfunktionen***
- 2. *Erweiterte Kontrolle über Strukturen***
- 3. *Beschränkte Optimierung der MLC-Felder***
- 4. *Multikriterielle Optimierung***
- 5. *Sensitivity Analysis zur Planevaluierung***
- 6. *Monte Carlo Dosis-Berechnung in die Optimierung integriert.***





FDA 510(k) clearance seit November 2007