

Leading Solutions for Cancer Care



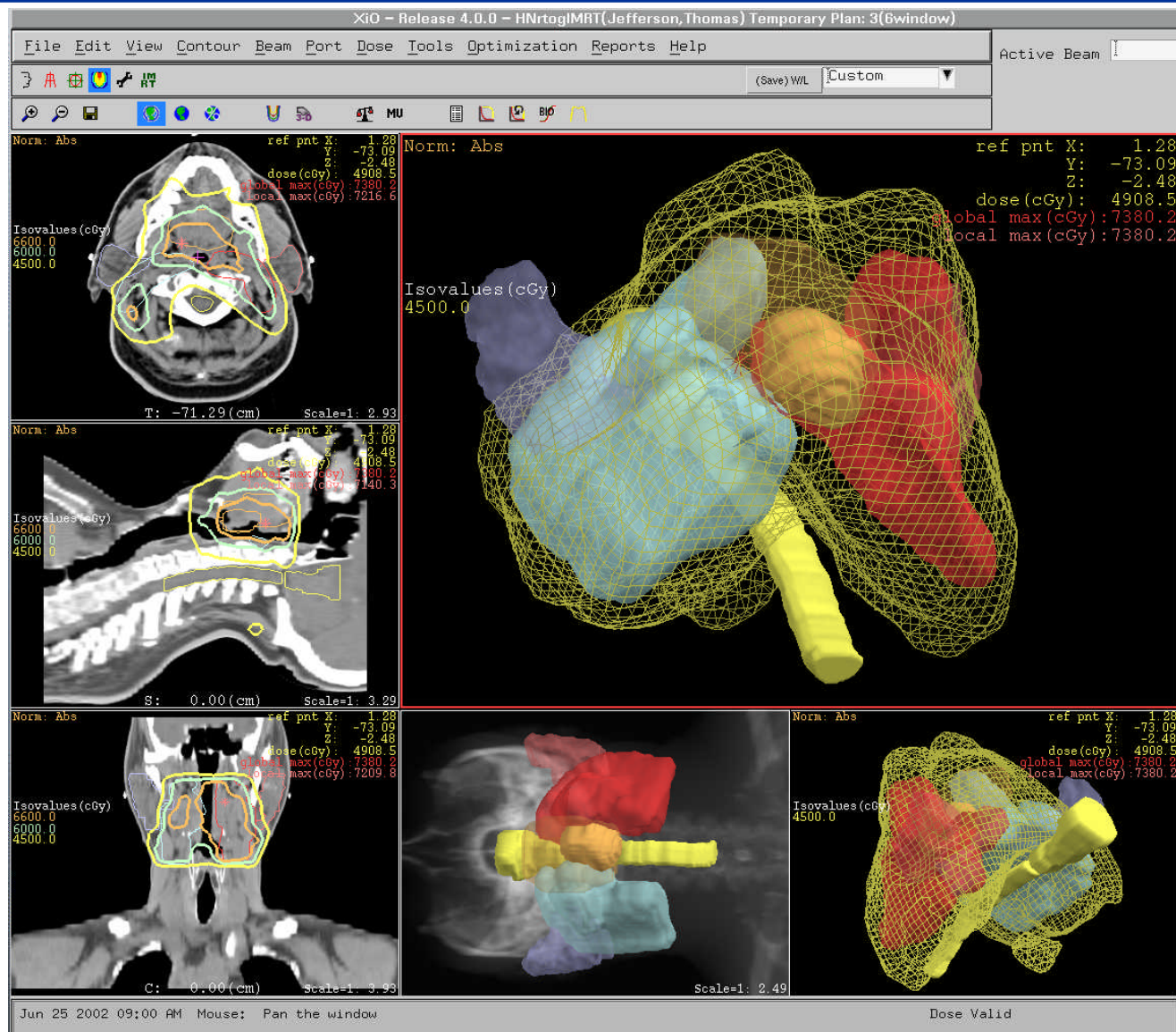
Monaco

2nd generation IMRT planning

Dr. Gustav Meedt

Würzburg 30. März 2005

IMRT mit XiO



USA

Europe

China

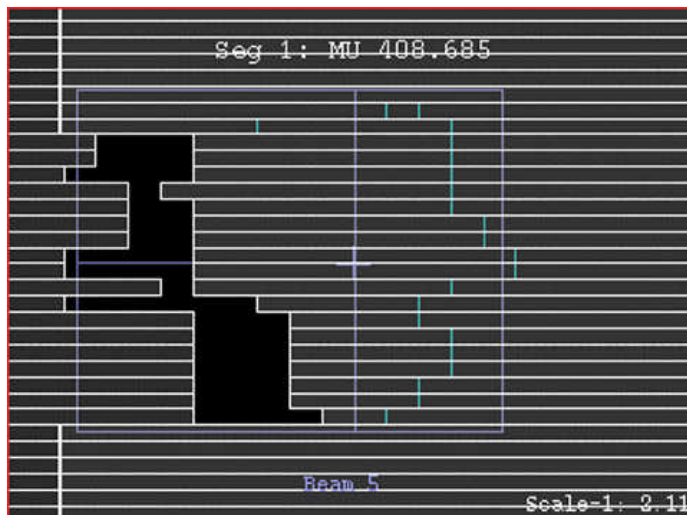
Japan

Australia

www.cmsrtp.com

IMRT mit Multilamellen-Kollimatoren

- **Step & Shoot:** Fluenz eines Strahls wird moduliert durch die Bestrahlung eines Satzes von offenen irregulären (MUs, Feldform) Feldern, die mit MLCs geformt werden.



- Dynamische Applikation mit MLCs:
Feldform wird während der Bestrahlung geändert.



IMRT-Planung mittels Step & Shoot – Optimierung?

- Trial and Error

Vorwärtsplanung:

Für jede Strahlrichtung: Anzahl der Segmente wie Form und Fluenz der individuellen Segmente werden vom Nutzer gesetzt.

- Automatische Entwicklung der Feldparameter

Inverse Planung:

Form, Fluenz der Segmente werden automatisch bestimmt gemäß einer verschriebenen Dosisverteilung

- Präzise Definition von Strukturen (Organe).
- Verschreibung der Dosis, möglicherweise Nebenbedingungen.
- Eigenschaften des Beschleunigers, Apertur.

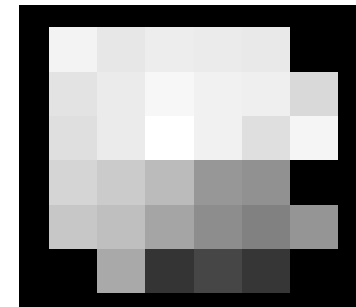
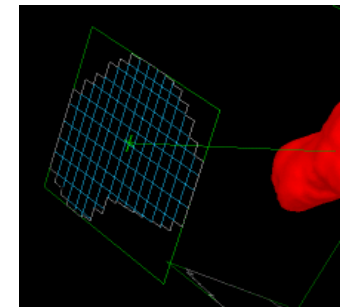
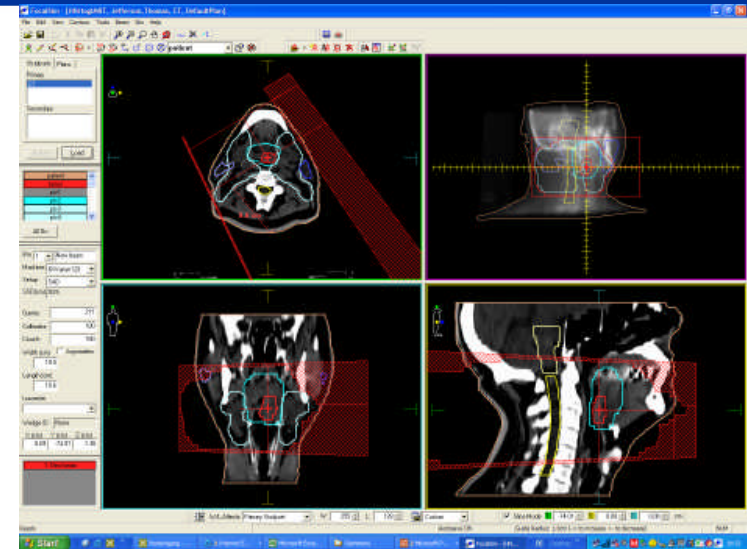
Große Anzahl der Freiheitsgrade **erfordert Optimierung**.



Inverse Planung – Nutzer \leftrightarrow System

- Definition von Strukturen, Verschreibung
 - Äußere Kontur
 - Zielvolumina
 - Risikoorgane
- Festsetzung der Einstrahlrichtungen.

- Zerlegung eines Strahlenfeldes in „Elementarstrahlen“
- Berechnung der Dosisverteilung für jeden Elementarstrahl.
- Optimierung der Gewichte (Fluenz) jedes Elementarstrahls – **Fluenzprofil**.



- Übersetzung von Fluenzprofilen in S&S Felder:
→ **Verschlechterung der optimierten Dosisverteilung**

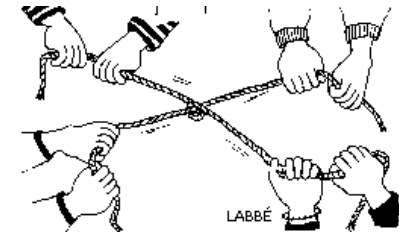


Unbeschränkte versus beschränkte Optimierung

Unbeschränkte Optimierung: XiO und Andere

Minimiere Zielfunktion, die alle Verschreibungen enthält.

- *Target*: Verschreibung-> Quadratische Abweichung der Dosis
 - *OARs*: Verschreibung-> Quadratische Abweichung der Dosis.
- > **Kompromiss** zwischen allen Verschreibungen.

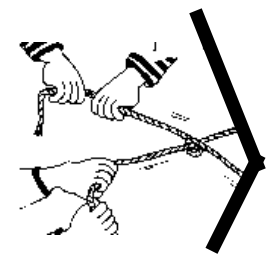


Beschränkte Optimierung: Monaco

Minimiere Zielfunktion unter **stringenter Berücksichtigung von NB**

- *Target*: Zielvorgabe mit Verschreibung.
- *OARs*: Hard constraints (Nebenbedingung)
z.B. Effekt der Dosis.

-> Nebenbedingungen **limitieren** Vorgaben



“Wunschliste” der Optimierung zur IMRT

- Die Optimierung ist **schnell und stabil**.
- Es gibt in den Verschreibungen mehr Informationen als „nur“ physikalische Dosis.
- Nutzer hat **maximale Kontrolle** über Optimierung.
- Nach der Optimierung bekommt der Nutzer **bestrahlbare S&S Felder**
- Dosisberechnungsalgorithmus ist **präzise** (nahe an Wirklichkeit).



IMRT mit Monaco



EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN



- Integriert in FocalSim WS
- Beschränkte Optimierung
- Sensibilitätsanalyse
- Große Anzahl von Nebenbedingungen
- Beschränkte Optimierung der Apertur
-> *Alber et al.*



- In die Optimierung integrierte
Monte Carlo Dosisberechnung -> *XVMC Fippel et al.*



Nebenbedingungen und Zielvorgaben

Ein weites Spektrum an kombinierbaren Nebenbedingungen und Zielvorgaben

- Poisson Statistik Zell-Kill Model
- Quadratischer Überdosierung
- Serielle Komplikations Model
- Parallele Komplikations Model
- Maximaler Dosis NB
- Überdosierungs-Volumen NB
- Unterdosierungs-Volumen NB
- Zweiseitige quadratischer Penalty
- Quadratischer Unterdosierungs Penalty
- Dosisvarianz Penalty

Structure	Cost Function	Is On	Status	Required Dose (Gy)	MultiCriterial	IsoConstraint	IsoEffect
ptv1	Poisson Statistics Cell Kill Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00	<input type="checkbox"/>	66,00	0,00
ptv1	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	68,00	<input type="checkbox"/>	1,00	0,00
ptv2	Poisson Statistics Cell Kill Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00	<input type="checkbox"/>	60,00	0,00
ptv2	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	62,00	<input type="checkbox"/>	1,00	0,00
ptv3	Poisson Statistics Cell Kill Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00	<input type="checkbox"/>	54,00	0,00
ptv3	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	57,00	<input type="checkbox"/>	0,60	0,00
ptv4	Poisson Statistics Cell Kill Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00	<input type="checkbox"/>	54,00	0,00
ptv4	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	57,00	<input type="checkbox"/>	0,10	0,00
cord	Serial Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	45,00	<input type="checkbox"/>	25,00	0,00
cord	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	40,00	<input type="checkbox"/>	0,20	0,00
brainstem	Serial Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	45,00	<input type="checkbox"/>	38,00	0,00
rtpar	Parallel Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	26,00	<input type="checkbox"/>	50,00	0,00
rtpar	Overdose-Volume Constraint	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30,00	<input type="checkbox"/>	40,00	0,00
ltpar	Parallel Complication Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	26,00	<input type="checkbox"/>	50,00	0,00
ltpar	Overdose-Volume Constraint	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30,00	<input type="checkbox"/>	40,00	0,00
pt 1	Quadratic Overdose Penalty	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	55,00	<input type="checkbox"/>	0,02	0,00

Nebenbedingungen sind **kombinierbar** und können **multikriteriell** sein!



1. Stufe der Optimierung:

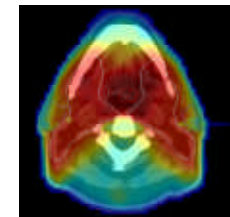
Abstimmung der Optimierungsparameter:

Nutzer: legt fest...

- Verschreibung: NB und Zielvorgaben
- Strahlparameter

Optimizer:

- welche Dosis ist möglich, unter den geg. Parametern?

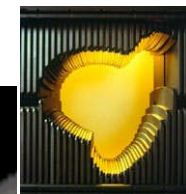
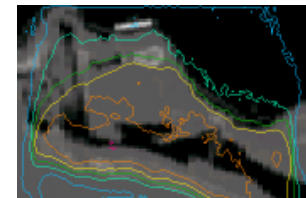
[illegible]

2. Stufe der Optimierung:

Bestimmung der Maschinenparameter:

Optimierer

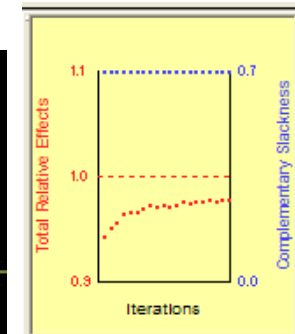
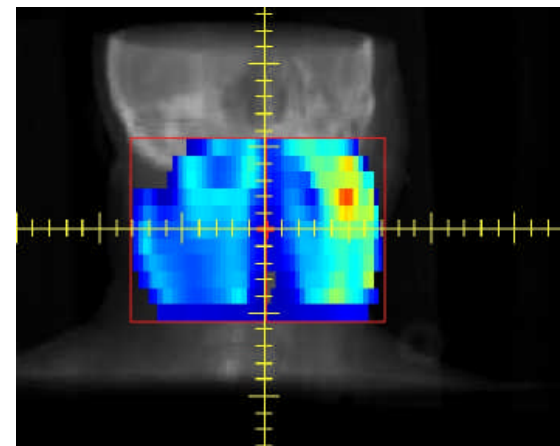
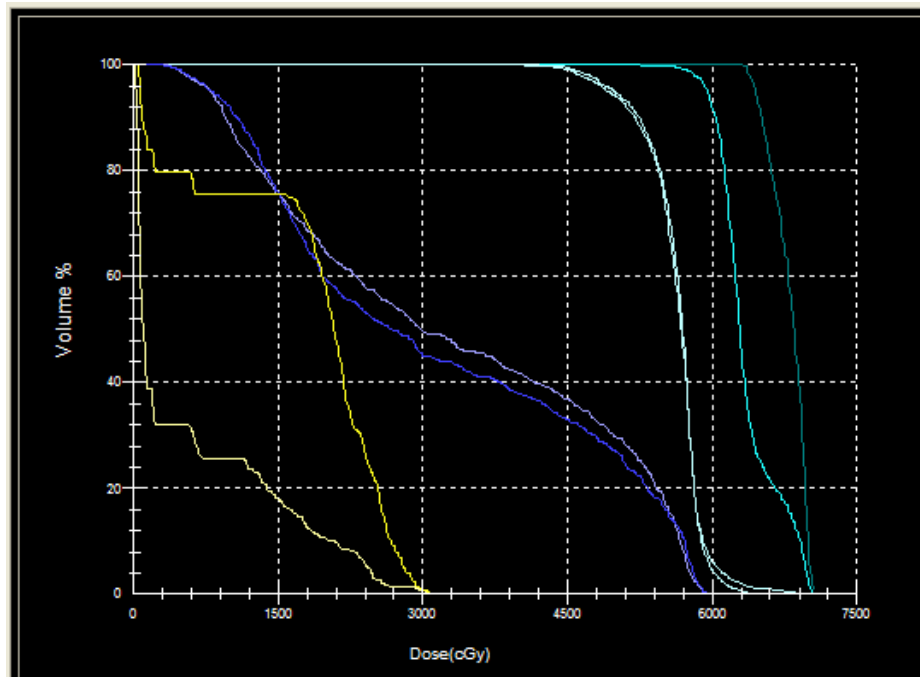
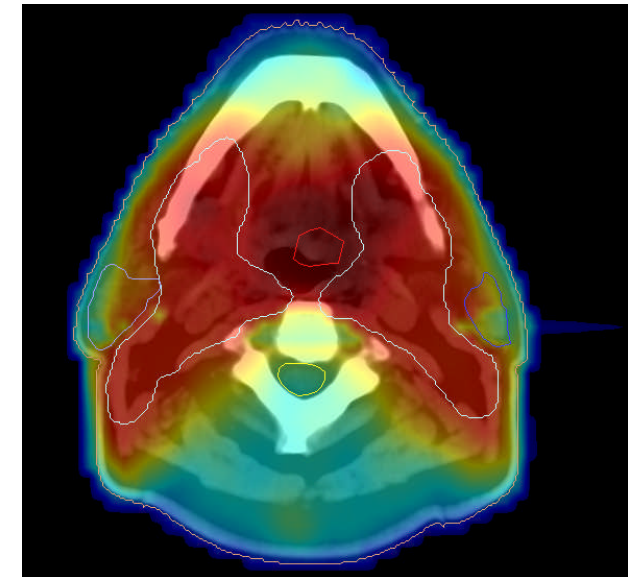
- optimiert S&S-Felder.
- berechnet “echte“ Dosis (Monte Carlo)



Fluenzoptimierung mit Nadelstrahlen

1. Stufe der Optimierung

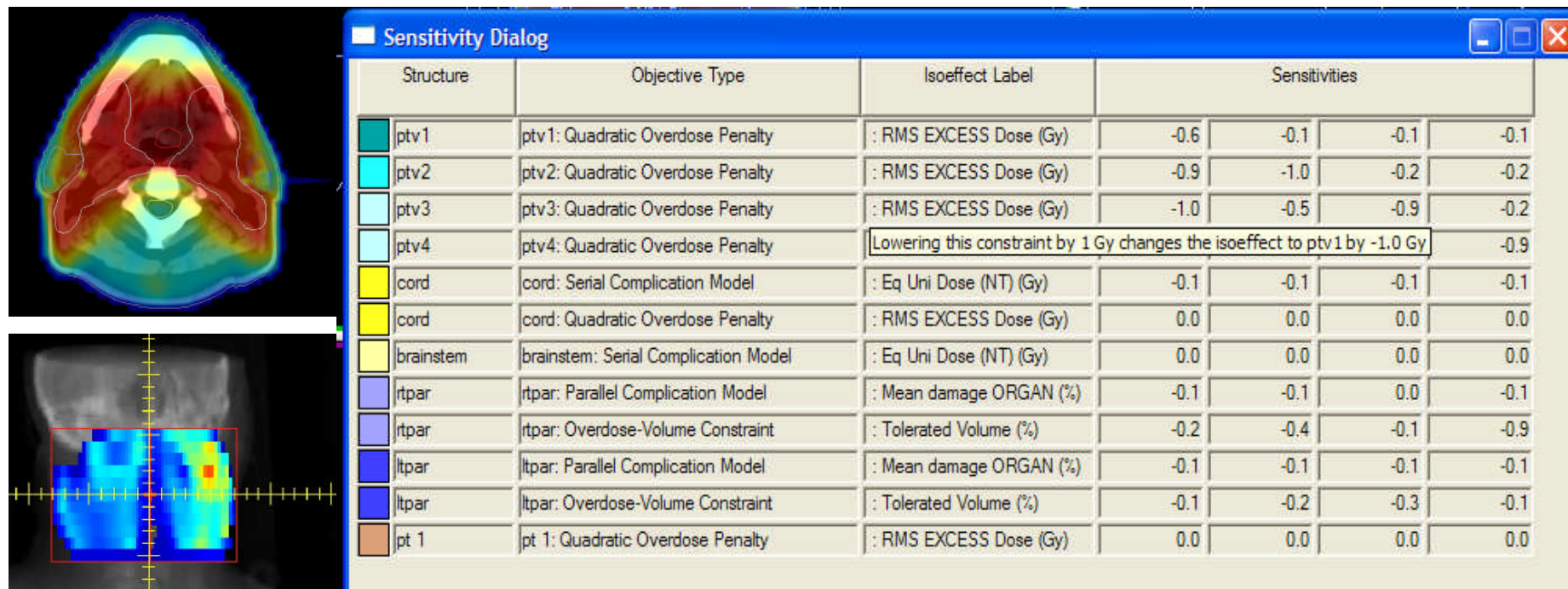
- Berechnung der Nadelstrahlen
- Optimierung aller Gewichte bis NB erfüllt sind während Dosis in Targets maximiert wird.



1. Stufe: Sensibilitäts- oder Abhängigkeitsanalyse

Nach der Optimierung:

- Welche NB beschränkt die Zielvorgabe am Meisten?
- Wie sensibel ist die Lösung hinsichtlich Änderungen der NBs?



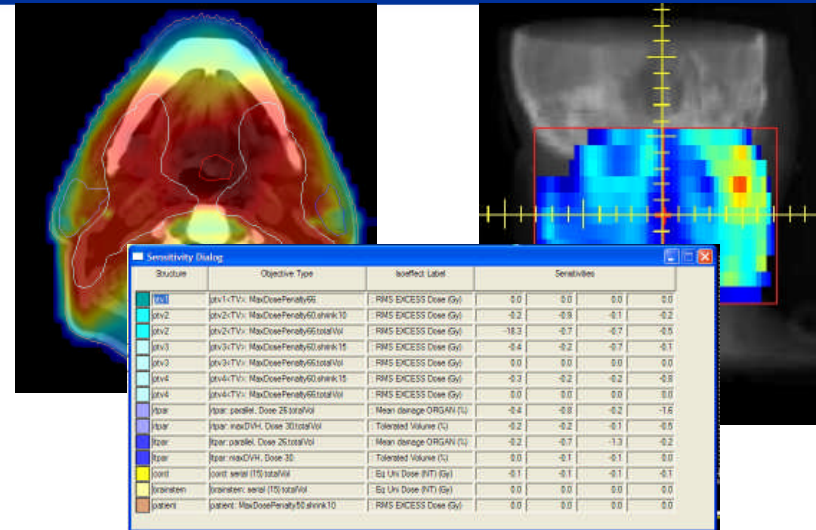
Optimierungsprozess – Abstimmung der Verschreibung

1. Stufe: Optimierung des Fluenzprofils

- MC-Sim. Der Veri.-Felder

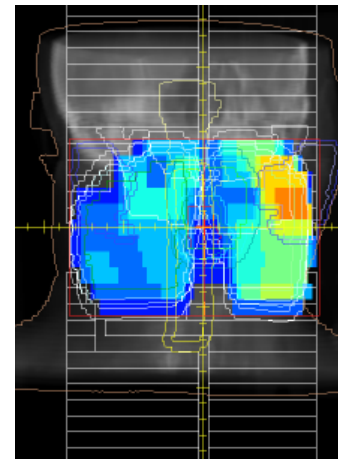


1. Stufe: Abhängigkeitsanalyse



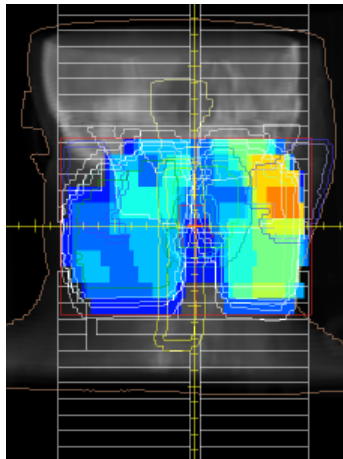
2. Stufe: Segmentierung

— Verlust an Qualität der Dosisverteilung



Optimierungsprozess - Maschinenparameter

2. Stufe: Segment Gewicht/Form - Optimierung



Falls Gewicht < min- Gewicht / Segment
Zerlege Segment in Nadelstrahlen
verbinde mit anderen Segmenten

Monte Carlo Dosis-Berechnung (XVMC)...

berechne für jedes Segment

... fahre fort bis alle NB erfüllt sind

Fertig: Alle NB erfüllt / Dosis berechnet mittels XVMC



Monaco gegen Wunschliste

- Es gibt in den Verschreibungen mehr Informationen als „nur“ physikalische Dosis.
Ein plan wird hinsichtlich
Physikalischer Dosis UND (biologischem) Effekt der Dosis optimiert.
- Am Ende des Optimierungsprozesses wird kein Fluenzprofil alleine herausgegeben sondern abstrahlbare S&S Felder.
Der Optimierer formt und gewichtet step&shoot segmente.
- Der Nutzer hat maximale Kontrolle über die Optimierung
Ein Werkzeug zur Untersuchung der Interdependenz von NB und Zielvorgaben wird angeboten:
Sensitivity Table - Abhängigkeitsanalyse
- Dose-Berechnungsalgorithmus sollte so präzise wie möglich sein.
Monte Carlo Simulation der Dosisverteilung innerhalb der Optimierungsschleife.
- Die Optimierung ist schnell und stabil.
Die erste Stufe der Optimierung zur Bestimmung der Optimierungsparameter kann innerhalb von Minuten durchgeführt werden.
Der Optimierer verwendet den derzeitig schnellsten MC-Code: XVMC
Berechnungszeit für einen “Standard” plan: 30 to 45 min.



Weitergehende Features: Templates

IMRT Template - Select Template Page

Template / Machine
Select Template: HN

Number of Beams: 8

Machine: 6XVarian120

Algorithm: Pencil Beam
Pencil Beam
Monte Carlo

Isocenter
Select Isocenter: Center of ptv1

X (cm): -0.01 Y (cm): -72.65 Z (cm): 0.01

Calculation Parameters

Grid Spacing (cm): 0.4

Num of Calc Points: 451773

Monte Carlo Variance (%): 6.0

Number of Fractions: 30

Initial Prescription: 40.00

IMRT Template - Structure Layering and Properties Page

Layering Order

- ptv1
- ptv2
- ptv3
- ptv4
- rtpar
- cord
- brainstem
- mandible
- patient

Global Parameters

Minimum Electron Density: 0.80
Use with Fill option to set minimum ED in VOI.
Use with ED option to set entire VOI to this value.

Minimum CT Number:
Use with Clear option to remove all voxels below this value.

AutoFlash Margin (cm):
Use with AutoFlash to set the margin.

Flash Extension (cm):
For target volumes that extends to the patient surface, enter the distance from the patient surface you want target cost function to extend.

Properties

Structure: ptv1

- ☐ Subtract
- ☒ Fill Structure with Minimum ED
- ☐ Display Total Volume DVH
- ☒ Clear all voxels below the Minimum CT number
- ☐ Auto Flash
- ☐ Electron Density

IMRT Template - Prescription Page

Structure	Cost Function	Required Dose (Gy)	Iso Constraint	Total Volume	Multi-Criterial
ptv1	Poisson Statistics Cell Kill Model	1.00	66.00		
	Quadratic Overdose Penalty	68.00	1.00		
ptv2	Poisson Statistics Cell Kill Model	1.00	60.00		
	Quadratic Overdose Penalty	62.00	1.00		
ptv3	Poisson Statistics Cell Kill Model	1.00	54.00		
	Quadratic Overdose Penalty	57.00	0.60		
ptv4	Poisson Statistics Cell Kill Model	1.00	54.00		
	Quadratic Overdose Penalty	57.00	0.10		
cord	Serial Complication Model	45.00	35.00		
	Quadratic Overdose Penalty	40.00	1.00		
brainstem	Serial Complication Model	45.00	35.00		
	Parallel Complication Model	26.00	50.00		
rtpar	Overdose-Volume Constraint	30.00	40.00		
	Parallel Complication Model	26.00	50.00		
ltpar	Overdose-Volume Constraint	30.00	40.00		
	Quadratic Overdose Penalty	50.00	0.20		
patient					

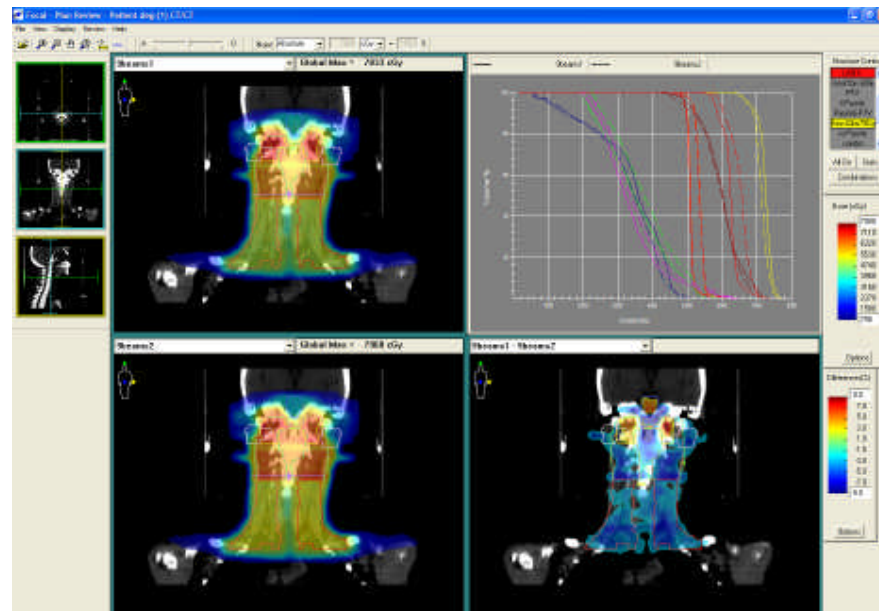
< Zurück Fertig stellen Abbrechen



Weitergehende Features

- Möglichkeit basierend auf gegebenen Dosisverteilungen zu optimieren

- Planvergleich



- Dicom-Anschlussfähigkeit
- Export der Fluenzmatrizen, Profile, Dosisflächen.

