

Leading Solutions for Cancer Care



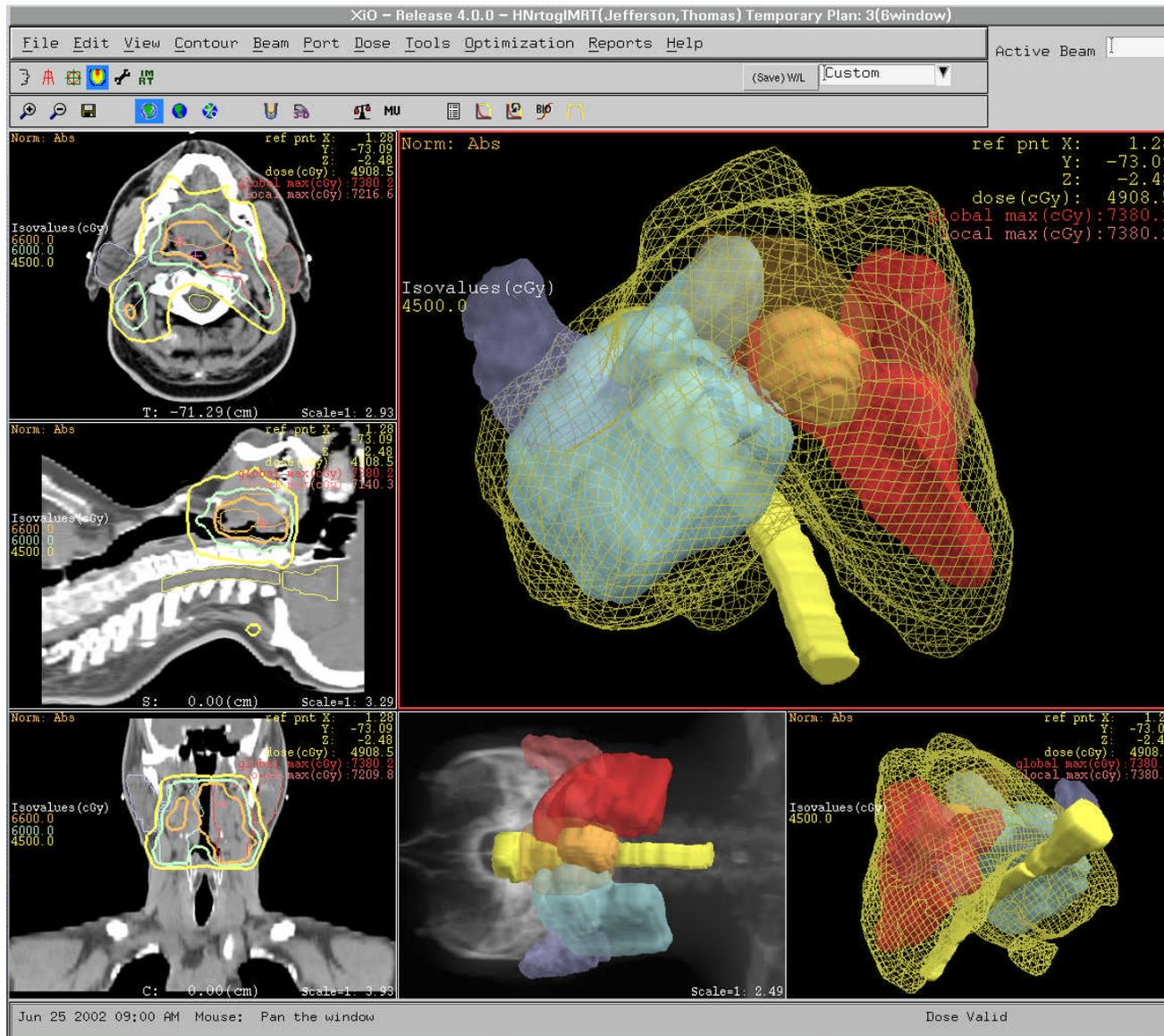
Monaco

2nd generation IMRT planning

Dr. Gustav Meedt

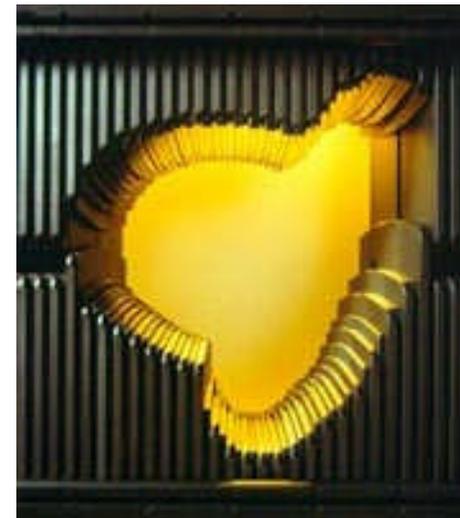
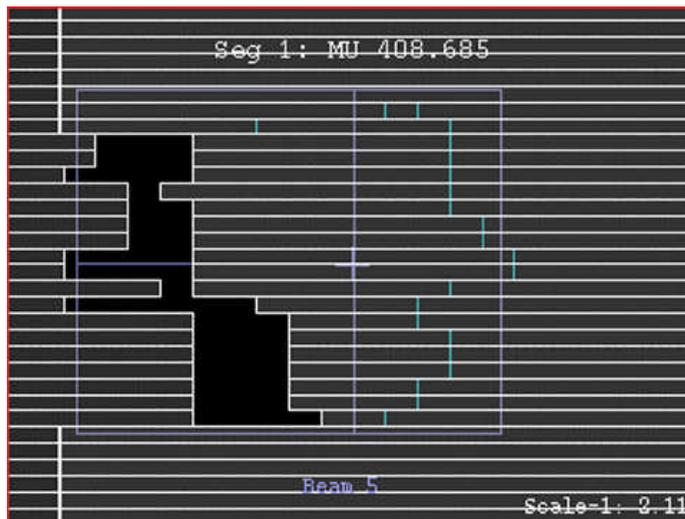
Würzburg 30. März 2005

IMRT mit XiO



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.

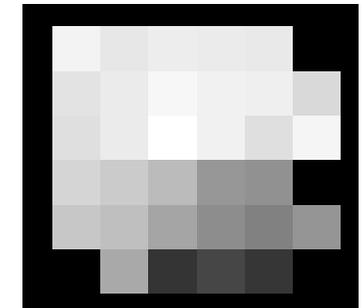
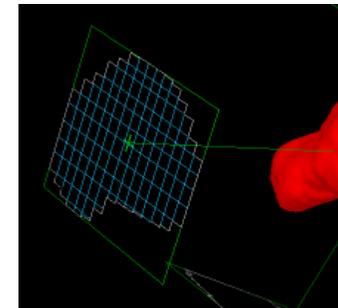
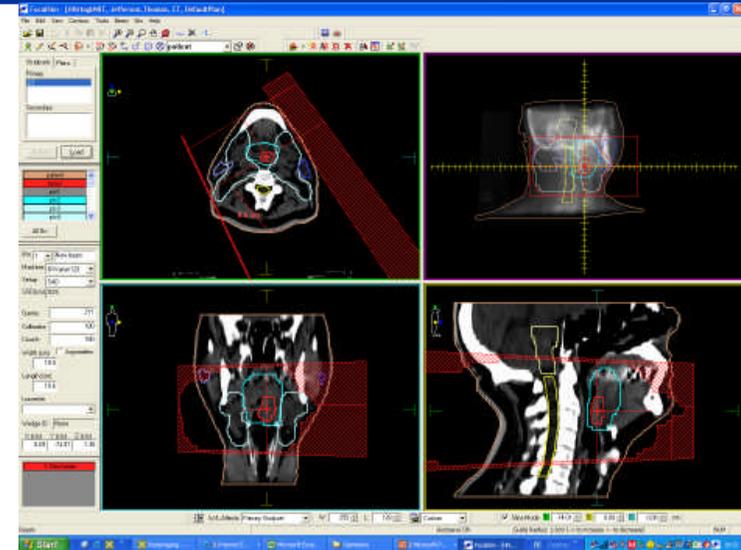
Große Anzahl der Freiheitsgrade **erfordert Optimierung.**



Inverse Planung – Nutzer ↔ 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.



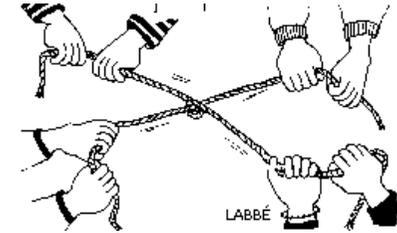
- Übersetzung von Fluenzprofilen in S&S Felder:
→ **Verschlechterung der optimierten Dosisverteilung**



Unbeschränkte versus beschränkte Optimierung

Unbeschränkte Optimierung: XiO und Andere

Minimiere Zielfunktion, die alle Verschreibungen enthält.

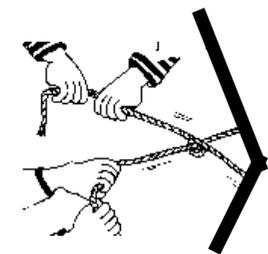


- *Target:* Verschreibung-> Quadratische Abweichung der Dosis
 - *OARs:* Verschreibung-> Quadratische Abweichung der Dosis.
- > **Kompromiss** zwischen allen Verschreibungen.

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!



Optimierung in Monaco - 2 Stufen

1- Stufe der Optimierung:

Abstimmung der Optimierungsparameter:

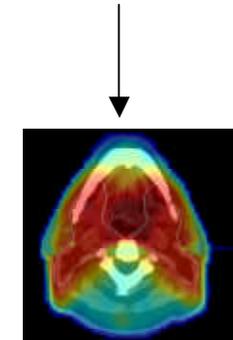
Nutzer: legt fest...

- Verschreibung: NB und Zielvorgaben
- Strahlparameter

Optimierer:

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

Parameter	Value	Unit
Beam Energy	6.0	MeV
Beam Spot Size	1.0	mm
Beam Divergence	0.0	rad
Beam Current	1.0	nA
Beam Pulse Length	1.0	ns
Beam Repetition Rate	1.0	Hz
Beam Spot Position	0.0	mm
Beam Spot Size	1.0	mm
Beam Spot Divergence	0.0	rad
Beam Spot Current	1.0	nA
Beam Spot Pulse Length	1.0	ns
Beam Spot Repetition Rate	1.0	Hz
Beam Spot Position	0.0	mm
Beam Spot Size	1.0	mm
Beam Spot Divergence	0.0	rad
Beam Spot Current	1.0	nA
Beam Spot Pulse Length	1.0	ns
Beam Spot Repetition Rate	1.0	Hz

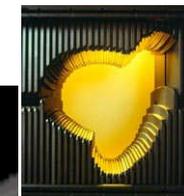
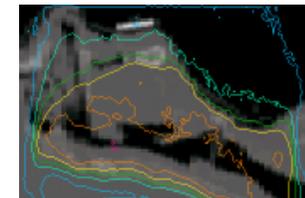


2- Stufe der Optimierung:

Bestimmung der Maschinenparameter:

Optimierer

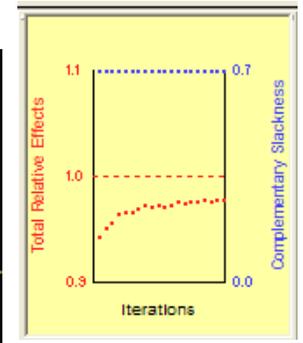
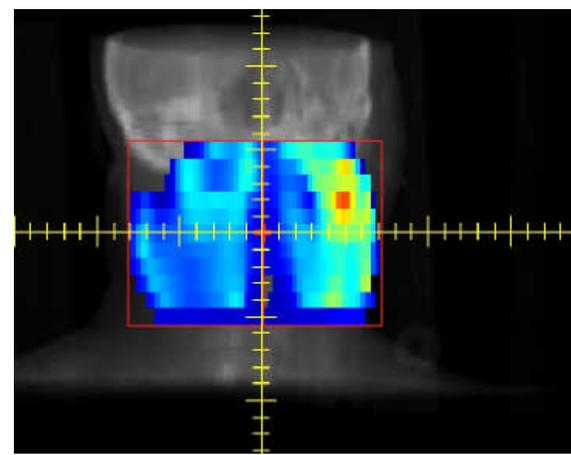
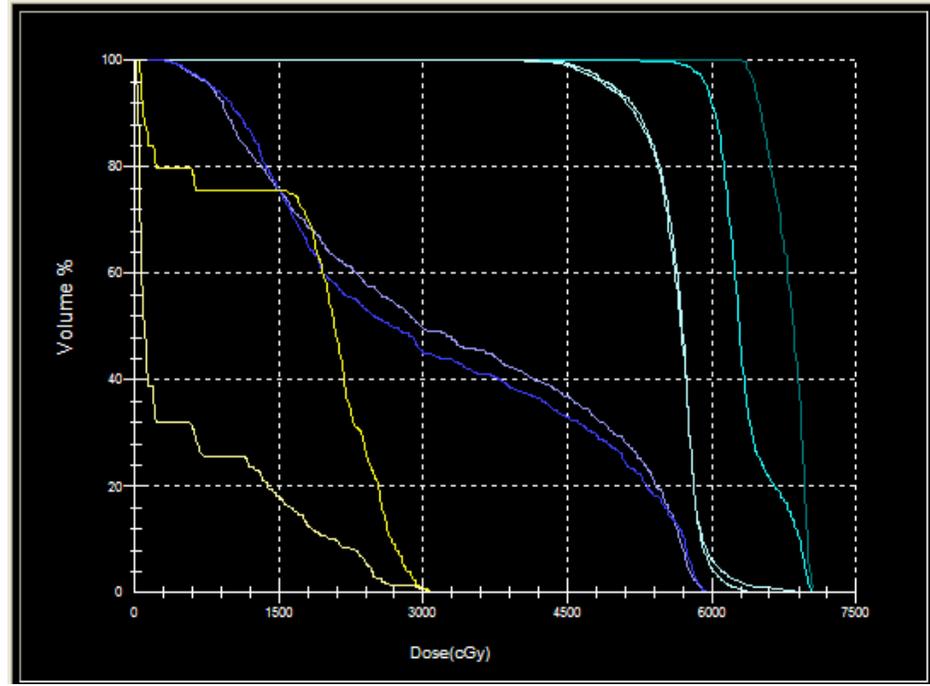
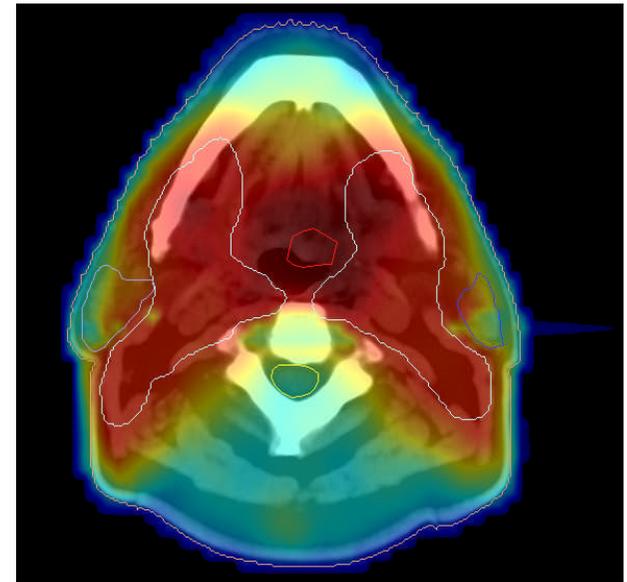
- optimiert S&S-Felder.
- berechnet "echte" Dosis (Monte Carlo)



Fluenzoptimierung mit Nadelstrahlen

1. Stufe der Optimierung

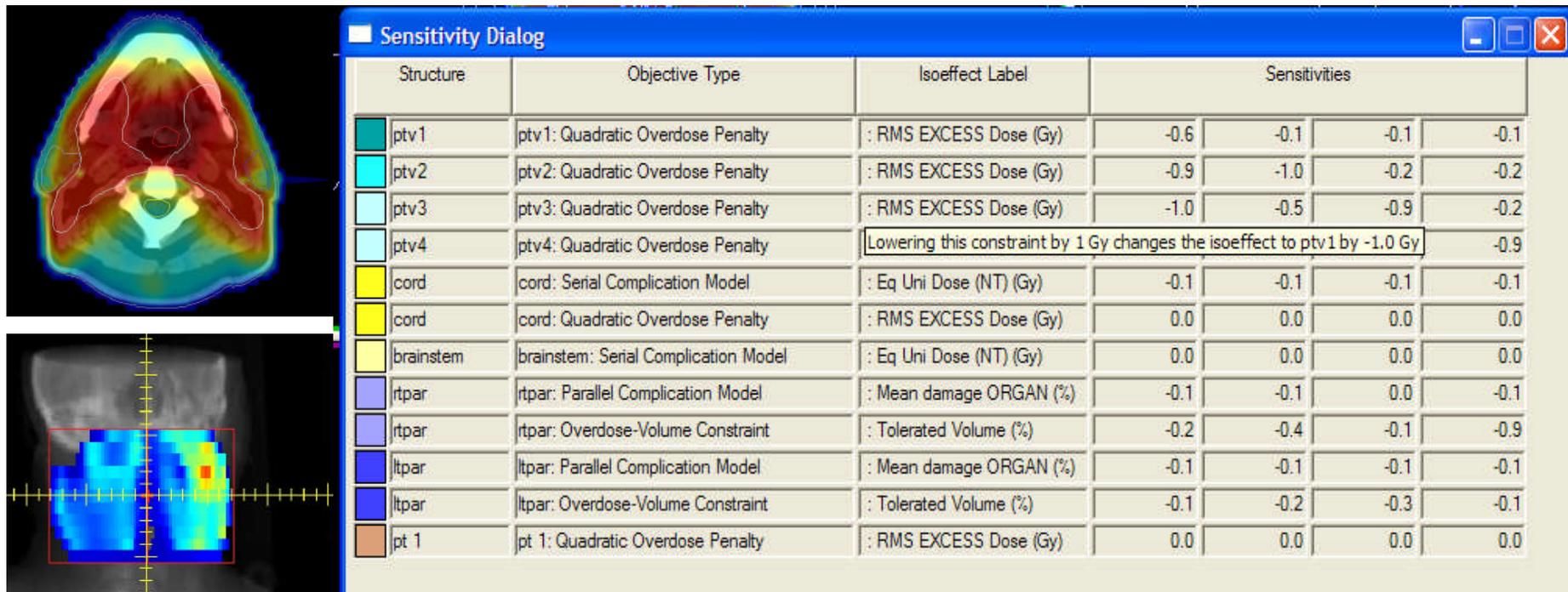
- Berechnung der Nadelstrahlen
- Optimierung aller Gewichte bis NB erfüllt sind während Dosis in Targets maximiert wird.



1. Stufe: Sensibilitäts- oder Abhängigkeitsanalyse

Nach der Optimierung:

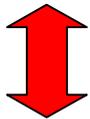
- Welche NB beschränkt die Zielvorgabe am Meisten?
- Wie sensibel ist die Lösung hinsichtlich Änderungen der NBs?



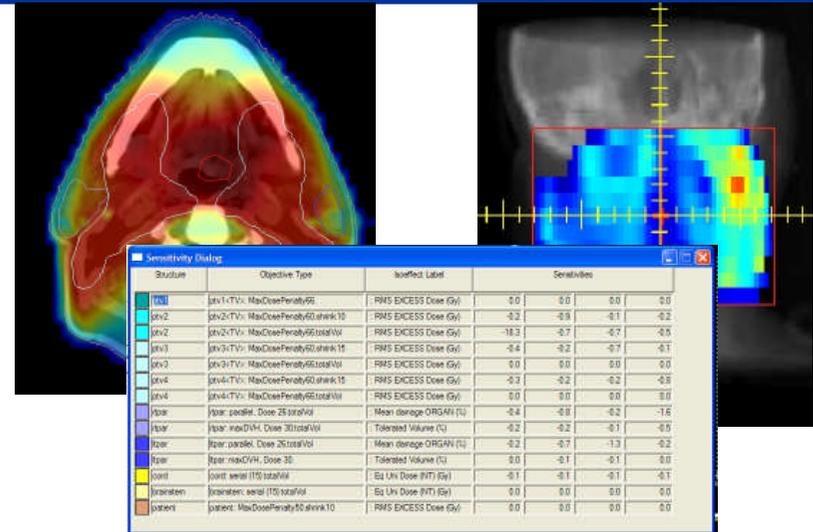
Optimierungsprozess – Abstimmung der Verschreibung

1. Stufe: Optimierung des Fluenzprofils

- MC-Sim. Der Veri.-Felder

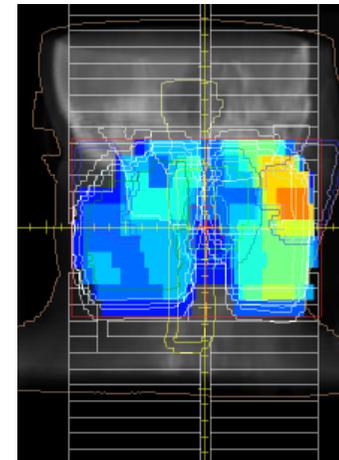


1. Stufe: Abhängigkeitsanalyse



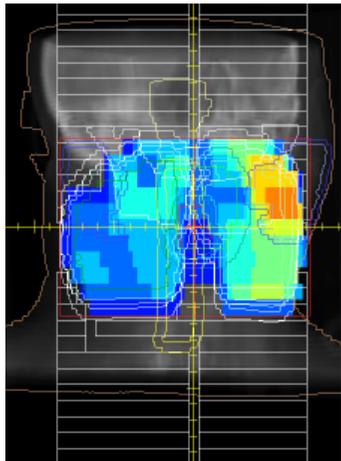
2. Stufe: Segmentierung

– 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 derzeitigen 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
 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
 ltpar
 cord
 brainstem
 mandible
 patient

Global Parameters
 Minimum Electron Density: 0.80
 Minimum CT Number:
 AutoFlash Margin (cm):
 Flash Extension (cm):

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

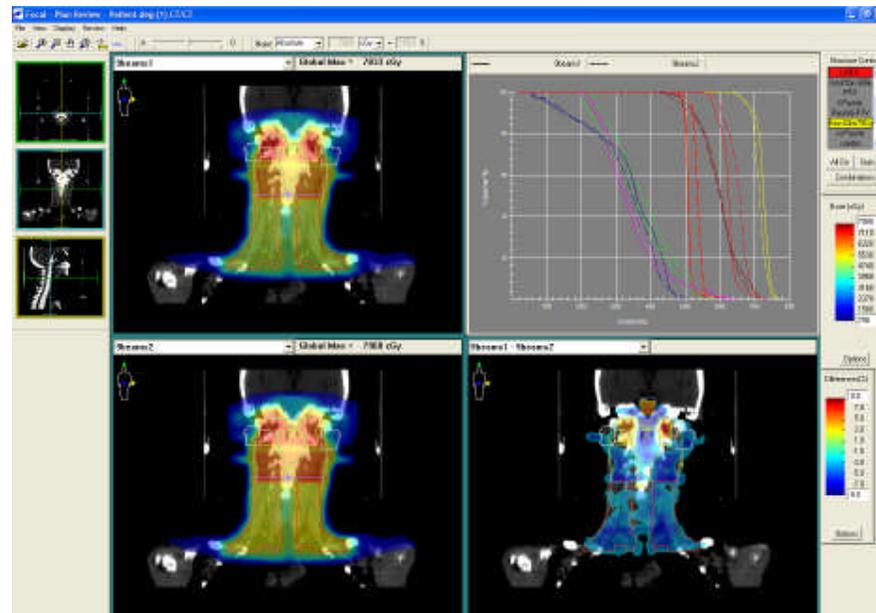
IMRT Template - Prescription Page

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		



Weitergehende Features

- Möglichkeit basierend auf gegebenen Dosisverteilungen zu optimieren
- Planvergleich



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

