

## IMRT in der Charité

Klinik für Strahlentherapie  
Charité Campus Mitte, Berlin



*Charité*

## Einleitung

- ♦ Varian IMRT-System
  - ♦ Erstmals installiert im Nov. 1998
  - ♦ Stabiler Betrieb seit Sommer 1999
  - ♦ Erste Patientenbestrahlung: Nov. 1999
  - ♦ Routinebetrieb seit Juli 2000: ~ 60 Patienten
- ♦ Planungsbeispiele
  - ♦ Prostatakarzinom → 40 Patienten
  - ♦ Mammakarzinome → 2 Patienten
  - ♦ HNO-Tumore → 13 Patienten

*Charité*

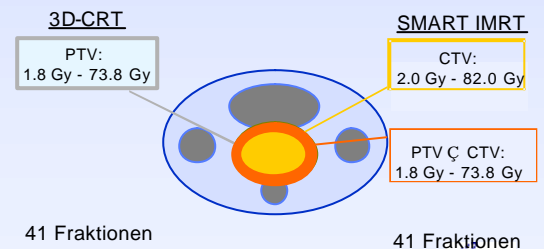
## Inhalt

- ♦ Einleitung
- ♦ Das Varian IMRT-System
  - ♦ Cadplan / Helios - Inverse Planung
  - ♦ Dynamische MLC
  - ♦ Cadplan / LMC
- ♦ Qualitätssicherung
  - ♦ Kommissionierung
  - ♦ Messungen an Phantomen
  - ♦ Routine- QA

*Charité*

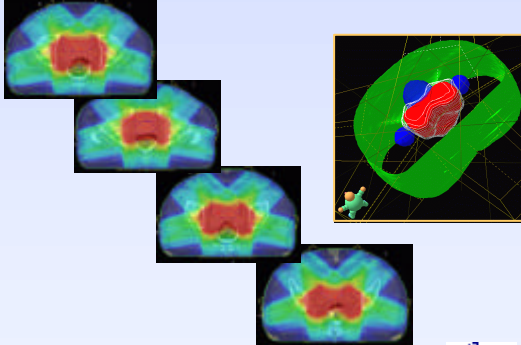
## 1. Prostatakarzinom

- ♦ **S**imultaneous **m**odulated **a**ccelerated **r**adiotherapy

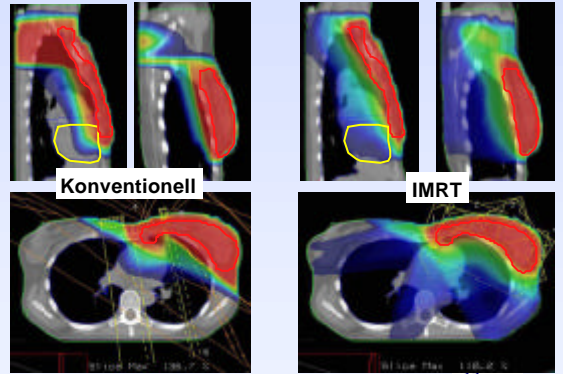


*Charité*

## 1. Prostatakarzinom



Quinti



Quinti

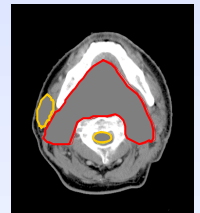
## 2. Mammakarzinom

- ◆ Problem:
  - ◆ komplexes Targetvolumen (IMMS-Lymphknotenkette)
  - ◆ Risikoorgane: Lungen, Herz, kontralaterale Mamma
  - ◆ konventionelle Technik oft unbefriedigend

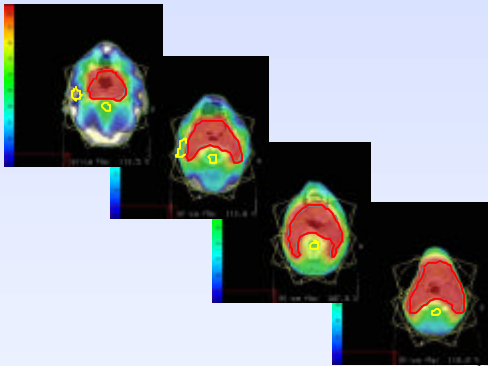
Quinti

## 3. HNO-Karzinome

- ◆ Patienten
  - ◆ kleine HNO Tumore
  - ◆ Postoperativ
- ◆ Ziel
  - ◆ konformale Erfassung des Zielvolumens
  - ◆ Schonung der Parotis
  - ◆ keine Elektronenfelder
  - ◆ SMART boost



Quinti



Quinti

## Inhalt

- ◆ Einleitung
- ◆ Das Varian IMRT-System
  - ◆ Cadplan / Helios - Inverse Planung
  - ◆ Dynamische MLCs
  - ◆ Cadplan / LMC
- ◆ Qualitätssicherung
  - ◆ Kommissionierung
  - ◆ Messungen an Phantomen
  - ◆ Routine- QA

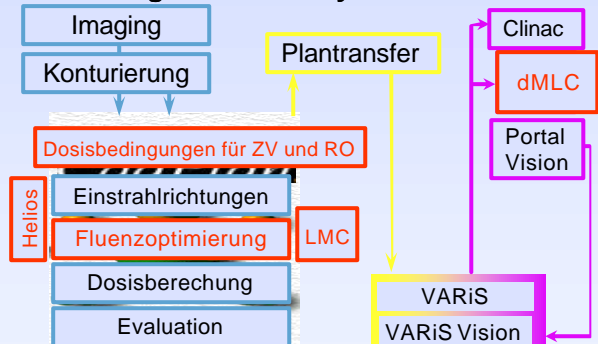
Quinti

## 3. HNO-Karzinome

- ◆ Projekt mit der Uniklinik Leuven
- ◆ Suche nach einer allg. Lösung:
  - Konturierung
  - Dosisrandbedingungen
  - Feldanordnung
- ◆ hat gezeigt, daß die größten Probleme bei der Konturierung auftreten - Mehraufwand für Ärzte
- ◆ für Physik nach Implementierung der IMRT in den Routinebetrieb weniger problematisch

Quinti

## Das integrierte IMRT-System



Quinti

## Die IMRT-Komponenten

- ◆ Das Optimierungsmodul HELIOS
  - ◆ Berechnung der Fluenzmatrizen aus vorgegebenen Dosisrandbedingungen
- ◆ Das Modul LMC (leaf motion calculator)
  - ◆ Berechnung der Lamellenbewegung des DMLC
- ◆ Der Dynamische Multileafkollimator DMLC
  - ◆ Realisierung des intensitätsmodellierten Felder

Helios

## Helios

- ◆ Modul für IMRT-Planung in Cadplan-Umgebung
  - ◆ optimiert Feldfluenzen nach den vorgegebenen Dosisrandbedingungen - bis zu 10 Konturen
  - ◆ Inverse Planungsmethode
  - ◆ Änderung der Randbedingungen während der Optimierung

Helios

## Inhalt

- ◆ Einleitung
- ◆ Das Varian IMRT-System
  - ◆ **Cadplan / Helios - Inverse Planung**
  - ◆ Dynamische MLCs
  - ◆ Cadplan / LMC
- ◆ Qualitätssicherung
  - ◆ Kommissionierung
  - ◆ Messungen an Phantomen
  - ◆ Routine- QA

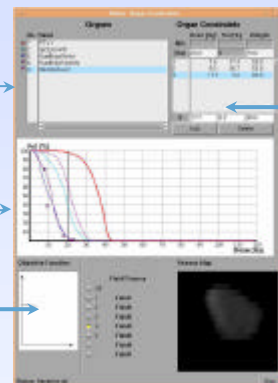
Helios

## Helios

ZV und RO

DVH

Optimierungsfkt.



Dosisbedingungen

Helios

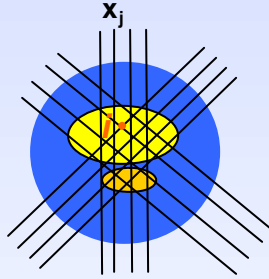
# Helios

Dosis am Punkt  $i$

$$d_i(x) = a_i \cdot x = a_{i1}x_1 + \dots + a_{iN}x_N$$

$x_j$  = Gewicht des  $j$ -ten Strahls (Fluenzen)

$a_{ij}$  = Dosis am Punkt  $i$  vom Strahl  $j$



*Heidi*

# Helios

## Optimierungsparameter

- Physikalische Dosisrandbedingungen
- zwei Arten von Randbedingungen

Soft constraints  $\begin{cases} D \leq D_c & : \text{kein Effekt} \\ D > D_c & : \text{Strafterm } w \cdot (D - D_c)^2 \end{cases}$

Dose-volume constraints  $\begin{cases} V(D_c) \leq V_c & : \text{kein Effekt} \\ V(D_c) > V_c & : \text{Strafterm } w \cdot (D_i - D_c)^2 \end{cases}$

*Heidi*

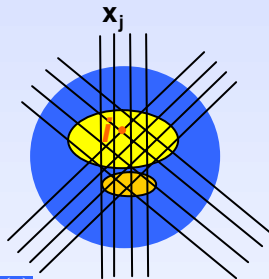
# Helios

Zielfunktion

$$F_{obj}(x) = \sum_i (d_i - p)^2$$

↓  
Minimierung

$$F_{obj}(\bar{x}) = C_T(\bar{x}) + C_{Soft}(\bar{x}) + C_{DVH}(\bar{x})$$

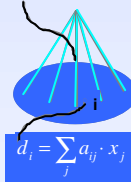


*Heidi*

# Helios

## Algorithmus

Strahl  $j$ , Intensität  $x_j$



Definiere Dosis-Randbedingungen

Berechnet dose-deposition coefficients  $a_{ij}$

Berechnet Fluenzmatrix durch Minimierung der Zielfunktion  $F_{obj}(x)$ :  
 $F_{obj}(\bar{x}) = C_T(\bar{x}) + C_{Soft}(\bar{x}) + C_{DVH}(\bar{x})$

*Heidi*

## Inhalt

- ◆ Einleitung
- ◆ Das Varian IMRT-System
  - ◆ Cadplan / Helios - Inverse Planung
  - ◆ **Dynamische MLCs**
  - ◆ Cadplan / LMC
- ◆ Qualitätssicherung
  - ◆ Kommissionierung
  - ◆ Messungen an Phantomen
  - ◆ Routine- QA

*Quint*

## Der Dynamische MLC

- ◆ hohe Zuverlässigkeit
  - ◆ mechanische Präzision höher als 0.1 mm
  - ◆ stabiler Betrieb
  - ◆ schneller und einfacher Routinecheck
- ◆ **Nachteil**
  - ◆ höherer Motorenverschleiß

*Quint*

## Der Dynamische MLC

- ◆ Multileafkollimator, der während der Bestrahlung seine Leafs bewegen kann
- ◆ Dosis wird durch Gapbreite bestimmt
- ◆ Autom. Anpassung von Dosisrate und Leafgeschwindigkeit
- ◆ dMLC-Parameter: Geometrie, Transmission, Geschwindigkeit, ...



*Quint*

## Der Dynamische MLC

- ◆ **Eigenschaften**
  - ◆ Geometrie: z.B. abgerundete Kanten
  - ◆ Transmission: z.B. in der Charité 1.9 % bei allen Energien
  - ◆ maximale Geschwindigkeit
  - ◆ minimaler Leafgap

*Quint*

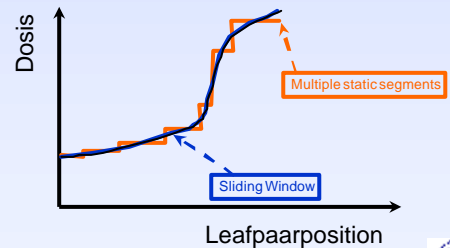
## Inhalt

- ◆ Einleitung
- ◆ Das Varian IMRT-System
  - ◆ Cadplan / Helios - Inverse Planung
  - ◆ Dynamische MLC
  - ◆ Cadplan / LMC
- ◆ Qualitätssicherung
  - ◆ Kommissionierung
  - ◆ Messungen an Phantomen
  - ◆ Routine- QA

Helios

## Sliding Window

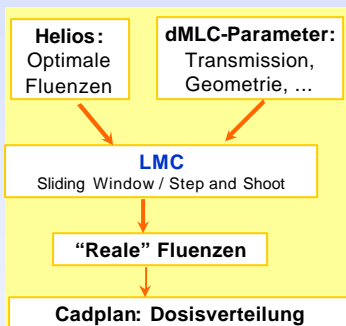
- ◆ Vergleich "Step and Shoot" mit SW



Helios

## Der LMC

- ◆ Leaf Motion Calculator
- ◆ Bestandteil von Cadplan
- ◆ Umwandlung von optimalen in "reale" Fluenzen



Helios

## Sliding Window

- ◆ **Step and shoot**
  - ◆ Standard MLC
  - ◆ jedes Strahlungsfeld kann **im Prinzip** überprüft werden
  - ◆ längere Behandlungszeit
- ◆ **Sliding window**
  - ◆ Dynamischer MLC
  - ◆ nur die Enddosis kann überprüft werden
  - ◆ **glattere Anpassung der Dosisverteilung**
  - ◆ **Behandlungszeit wird verkürzt**
  - ◆ **Vermeidung von Einschalt-Problemen, des Beschleunigers**

Helios

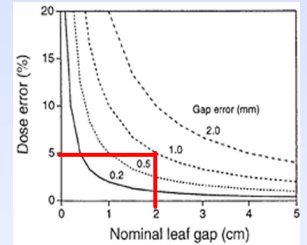
## Inhalt

- ◆ Einleitung
- ◆ Das Varian IMRT-System
  - ◆ Cadplan / Helios - Inverse Planung
  - ◆ Dynamische MLCs
  - ◆ Cadplan / LMC
- ◆ Qualitätssicherung
  - ◆ Kommissionierung
  - ◆ Messungen an Phantomen
  - ◆ Routine- QA

*Quiti*

## Kommissionierung

- ◆ DMLC
  - ◆ Einfluß von Positionsfehlern auf die Dosis
  - ◆ LoSasso et al., Med.Phys. 25, 1998



*Quiti*

## IMRT und Qualitätssicherung

- ◆ Kommissionierung
  - ◆ Planungssystem - wie vorher
  - ◆ LMC - Anpassung der Modellparameter
  - ◆ Dynamischer MLC - Justage, Stabilität

*Quiti*

## Kommissionierung

- ◆ DMLC Justage
  - ◆ Standard Varian Prozedur
- ◆ DMLC Stabilität (Chui et al., Med.Phys. 23,1996)
  - ◆ Stabilität der Leafgeschwindigkeit
  - ◆ Beam-On/Beam-Off Stabilität
  - ◆ Überprüfung der Leafposition (Routine-Check)

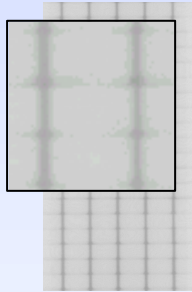
*Quiti*



## Routinecheck DMLC

### ♦ Gartenzauntest

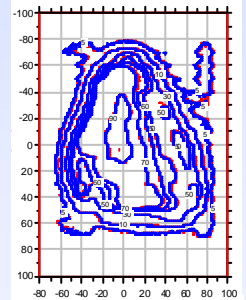
- alle Leafs mit konst. Geschwindigkeit und 1 mm Gap
- an bestimmten Positionen halten die Leafs kurz an
- visuelle Kontrolle des Films
- ± 0.5 mm Genauigkeit



*Quinti*

## Routinecheck: Stabilitätstest

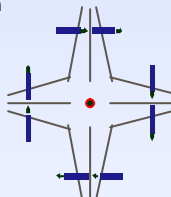
- ♦ DMLC ist sehr stabil
  - ♦ mech. Genauigkeit besser als 0.2mm
  - ♦ stabil
  - ♦ schnelle und einfache Routinechecks



*Quinti*

## Routinecheck: Gravitationstest

- ♦ Leafgap von 0.4cm
- ♦ IC frei in der Luft in ISZ
- ♦ Output bei versch. Gantrywinkeln
- ♦ 0.1mm pos. Veränderung  
↓  
2.5% Output Differenz



*Quinti*

## Routinechecks

QA Test	Description	Acceptance
1. MLC adjustment	Standard MLC adjustment procedure.	Better than 0.1mm.
2. Leaf speed stability	Sweeping leaf pairs with gaps of constant but different size creates stripes of homogeneous but different dose levels on a dosimetric film which can be compared to the corresponding open field doses.	Dose difference < 2%
3. Beam on/off Stability	Test2 is repeated, but beam is switched off and on intentionally at predefined leaf positions. Resulting dose patterns are compared to the results of test 2.	No measurable influence.
4. Gravity Test	The output of a sweeping leaf gap field (gap=0.4cm) is measured by an ion chamber placed at the central axis free in air and normalized to the corresponding output of an open field. This is repeated for 0°, 90° and 270° gantry angles. A measured difference of 1% corresponds to a positional difference of 0.04mm.	Positional variation better than 0.2mm.
5. Garden Fence Test	All leaf pairs move closed to equidistant positions, where they are opened to a gap of 1mm. On a dosimetric film this results in a garden fence like pattern of dark equidistant lines of constant width. Positional errors of single leaves of 0.5mm can be visually detected.	Dark lines at the film are straight, no varying line width visible.

*Quinti*

## DMLC-Tests

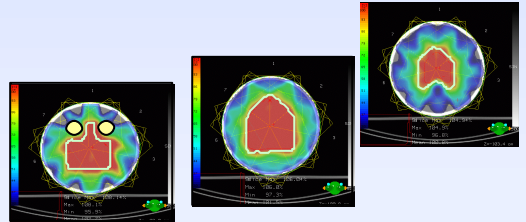
Welche Tests?	Wie oft?	Dauer?
Justage	nach PMI	60 min
Geschwindigkeit	nach PMI	30 min
Beam On / Off	nach PMI	30 min
Gravitationstest	nach PMI	20 min
Gartenzauntest	wöchentlich	5 min

*Quiti*

## Messungen an Phantomen



- ◆ Gel-Dosimetrie (M.Pfänder, G. Grebe et al.)
  - ◆ Simulation eines HNO-Falles



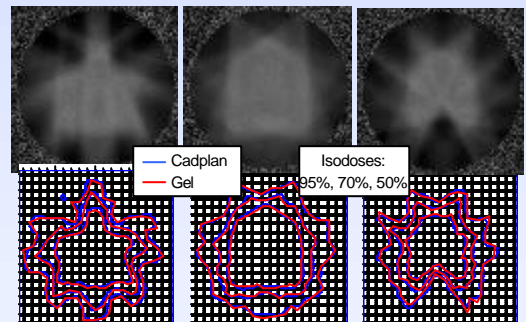
*Quiti*

## Inhalt

- ◆ Einleitung
- ◆ Das Varian IMRT-System
  - ◆ Cadplan / Helios - Inverse Planung
  - ◆ Dynamische MLCs
  - ◆ Cadplan / LMC
- ◆ Qualitätssicherung
  - ◆ Kommissionierung
  - ◆ Messungen an Phantomen
  - ◆ Routine- QA

*Quiti*

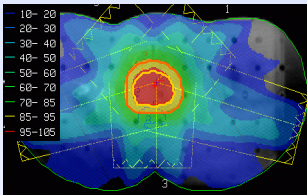
## Messungen an Phantomen: Gel



*Quiti*

## Messungen an Phantomen

- ◆ Messungen am Alderson-Phantom
  - ◆ Film dosimetrie



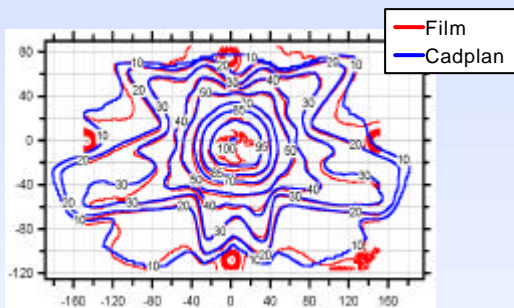
Quinti

## Inhalt

- ◆ Einleitung
- ◆ Das Varian IMRT-System
  - ◆ Cadplan / Helios - Inverse Planung
  - ◆ Dynamische MLCs
  - ◆ Cadplan / LMC
- ◆ Qualitätssicherung
  - ◆ Kommissionierung
  - ◆ Messungen an Phantomen
  - ◆ Routine- QA

Quinti

## Messungen an Phantomen: Film



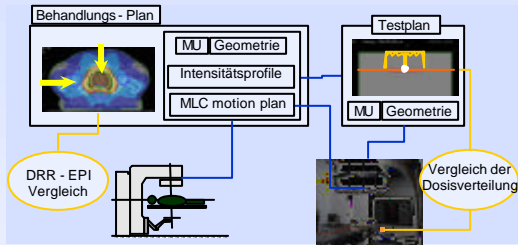
Quinti

## Routine QA -Patientenbestrahlung

- ◆ Positionierung
- ◆ Dosisverteilung

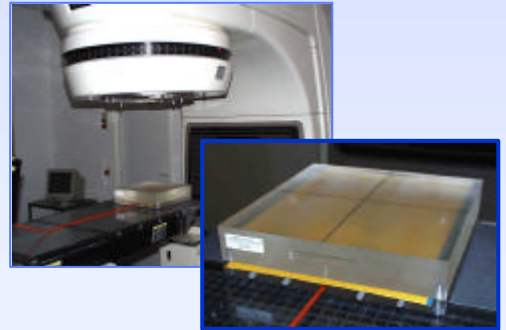
Quinti

## Patienten - QA



*Quint*

## Routine-QA: Bestrahlungsfelder

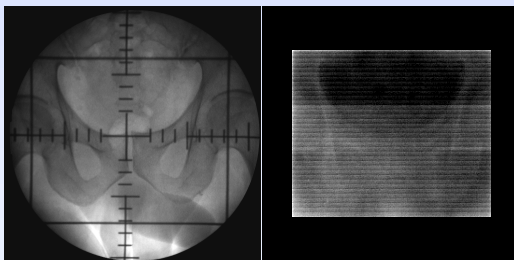


*Quint*

## Routine QA: Positionskontrolle

Simulatorbild

EPI-Bild



*Quint*

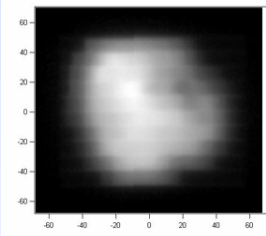
## Routine-QA: Bestrahlungsfelder

- ◆ Phantom: PTW IMRT
- ◆ Dosismessung: PTW 0.125ccm Ionenkammer
- ◆ Film: XOMAT V ready pack
- ◆ Scanner: PTW FIPS plus
- ◆ Automatische Analyse - Gammawert-Berechnung

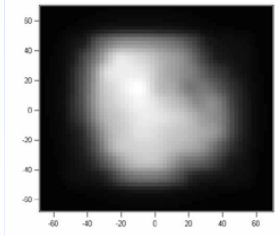
*Quint*

## Routine-QA: Bestrahlungsfelder

Filmdaten



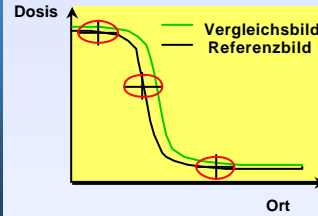
Cadplan-Daten



*Quinti*

## Patienten-QA: Gammawert

→ D.A. Low et al. Med. Phys. 25, 656-661 (1998)



**Kriterien:**

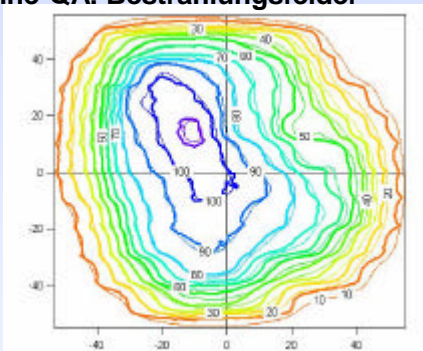
**DD = 3 %**

**Dd = 2 mm**

$$\min \left\{ \sqrt{\frac{\Delta D^2}{\Delta D_{\max}^2} + \frac{\Delta r^2}{\Delta d^2}} \right\} \equiv g$$

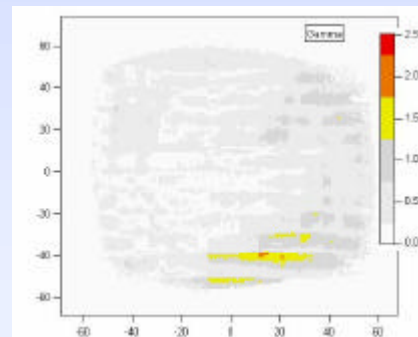
*Quinti*

## Routine-QA: Bestrahlungsfelder



*Quinti*

## Patienten-QA: Gammawert



*Quinti*

## Inhalt

- ◆ Einleitung
- ◆ Das Varian IMRT-System
  - ◆ Cadplan / Helios - Inverse Planung
  - ◆ Dynamische MLCs
  - ◆ Cadplan / LMC
- ◆ Qualitätssicherung
  - ◆ Kommissionierung
  - ◆ Messungen an Phantomen
  - ◆ Routine- QA

*Quint*

## Ausblick

- ◆ b-Test von Eclipse
- ◆ Optimierung der Routineabläufe
- ◆ Schwerpunktverlagerung
  - physikalische - medizinische Aspekte
- ◆ Leuven-Projekt

*Quint*