

Bestrahlungsplanung – Von der Strahlenart bis zur Applikationstechnik

Refresherkurs 14

Dr. Daniela Schmitt

Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie

Erklärung zu möglichen Interessenskonflikten:

Berater- und Gutachtertätigkeiten

Nein.

Honorare

Nein.

Forschungsfinanzierung

Nein.

Eigentümerinteressen (Patent, Urheberrecht, Verkaufslizenz)

Nein.

Geschäftsanteile, Aktien, Fonds

Nein.

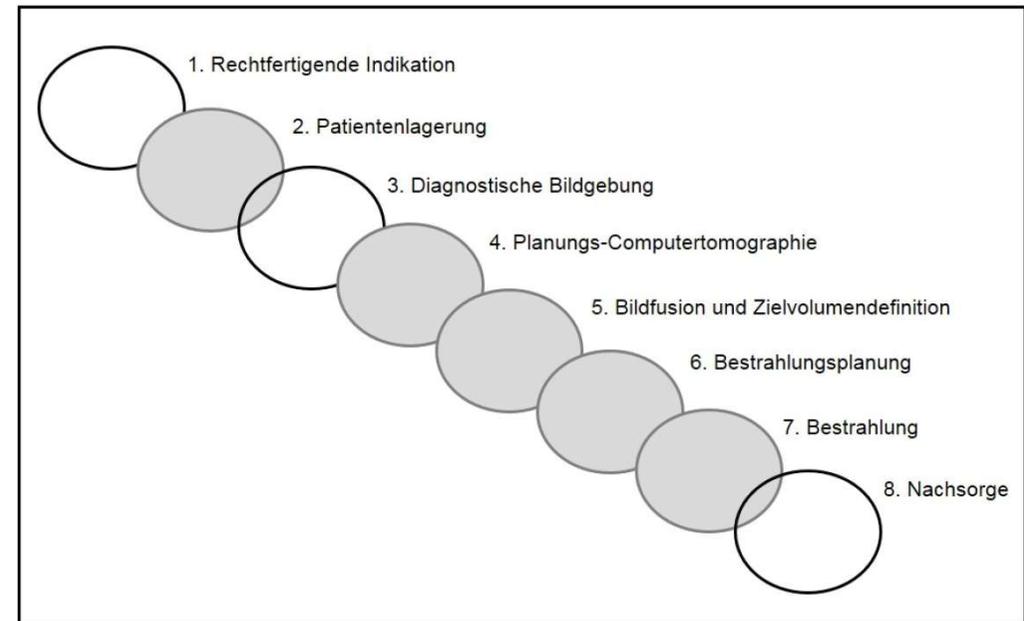
Gliederung

- Einführung
- Strahlenarten und Eigenschaften
- Bestrahlungsgeräte und -techniken
- Planungs-Bildgebung und Lagerung
- Auswirkung von IGRT und intrafraktioneller Überwachung
- Zusammenfassung

Einführung

- Weite Fassung des Begriffs „Bestrahlungsplanung“
- **Strahlentherapeutische Kette**
- Eine bestimmte Dosis soll das Zielvolumen abdecken, während Grenzen in Risikostrukturen nicht überschritten werden

➔ Was muss dafür vorher beachtet werden?



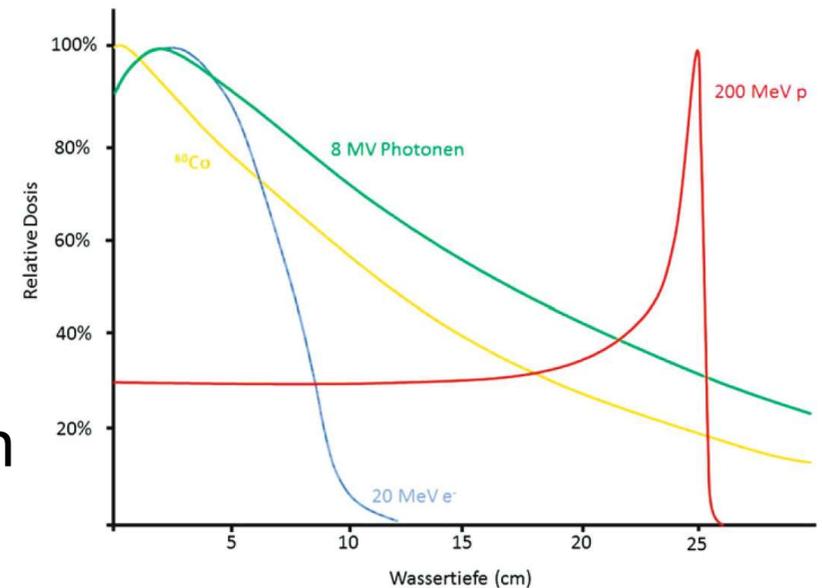
SSK, Festlegung von Reaktionsschwellen und Toleranzgrenzen für die Prüfung des Gesamtsystems bei der perkutanen Strahlentherapie mit Photonen und Elektronen. 2018

Strahlenarten

Eigenschaften und Anwendungsgebiete

Strahlenarten

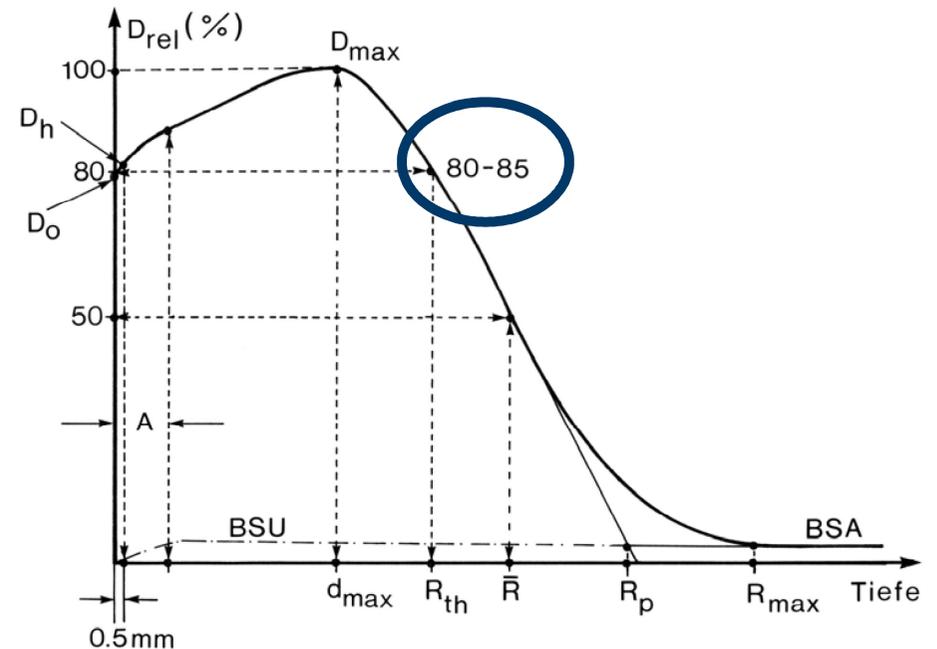
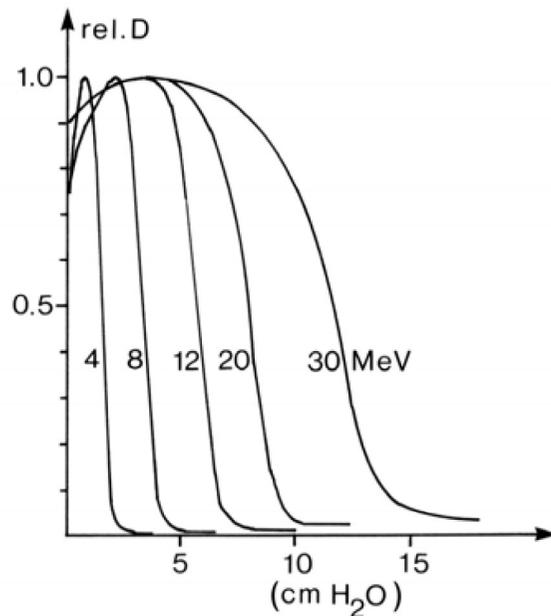
- Elektronen aus Linearbeschleuniger, Energien meist 6 bis 20 MeV
- Photonen aus Bremsstrahlung an Linearbeschleunigern, Maximalenergie meist 6 bis 20 MeV (Spektren)
- Positive Ionen aus Kreisbeschleunigern (Protonen, $^{12}\text{C}^{6+}$) 50-400 MeV/u
- Photonen (γ -Strahlung) aus radioaktivem Zerfall: Brachytherapie (^{125}I , ^{192}Ir)
Gamma Knife (^{60}Co), Energie 35 keV bis 1,3 MeV



W. Schlegel. Bestrahlungsgeräte der Teletherapie. In: Medizinische Physik. W. Schlegel, C. P. Karger, O. Jäkel (Hrsg.), Berlin 2018, Springer Spektrum

Elektronen I

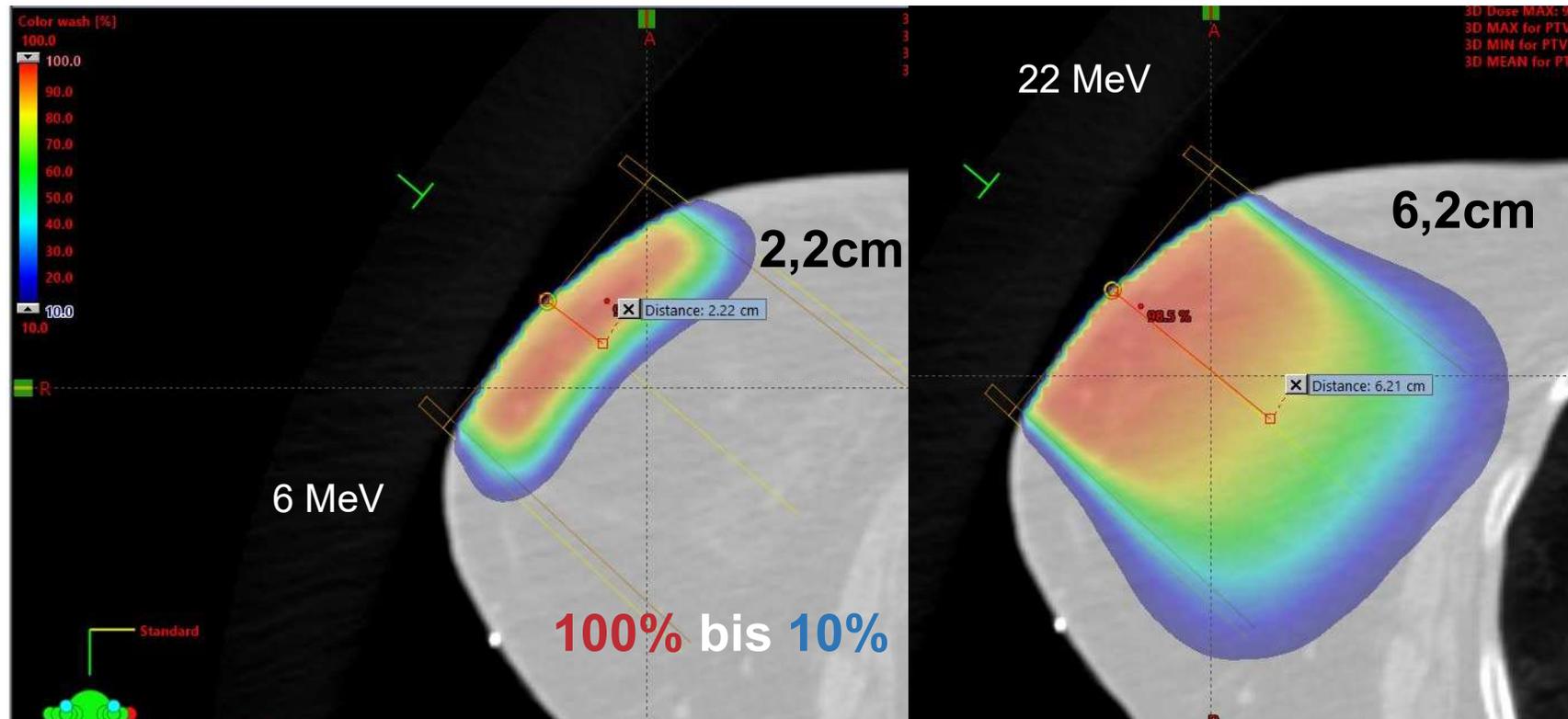
- Energie ➡ Therapeutische Reichweite
- Faustformel: $R_{Th}[cm] \approx E[MeV]/3$



H. Krieger. Strahlungsmessung und Dosimetrie. 2. Aufl. Berlin 2013, Springer Spektrum

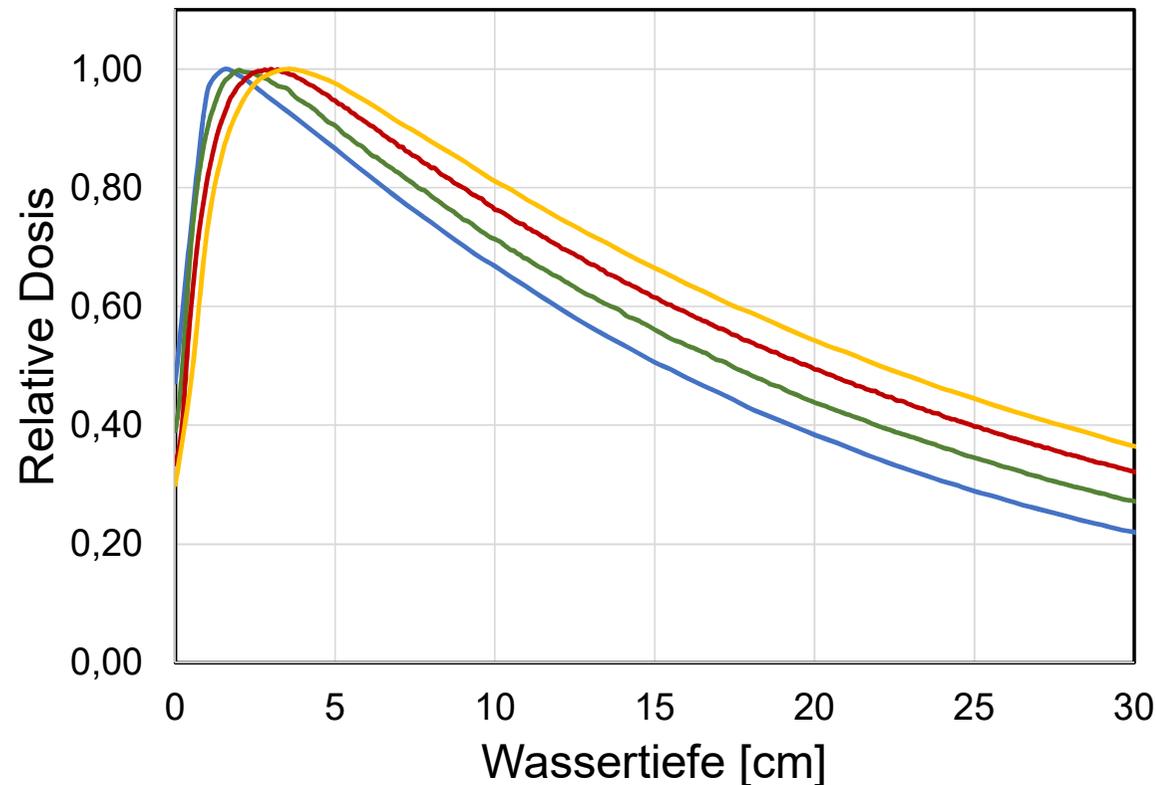
Elektronen II

- Tubus, Feldformung (z.B. gegossene Blende) patientennah wegen Aufstreuung, Isozentrum auf Oberfläche



Photonen I

- Dosismaximum tiefer bei höherer Energie, deutlich flacherer Dosisabfall als bei Elektronen

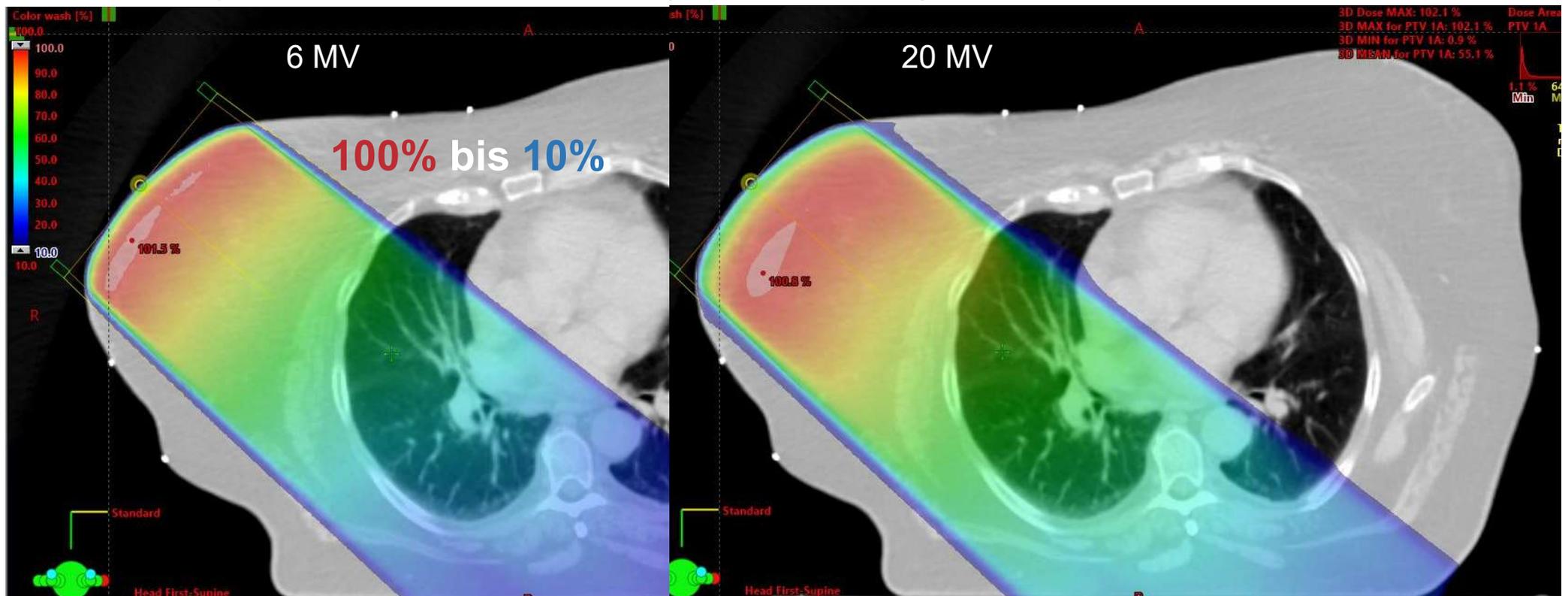


10 cm Tiefe:
 20 MV Photonen: 80 %
 20 MeV Elektronen: <5%

— 6 MV
 — 10 MV
 — 18 MV
 — 20 MV

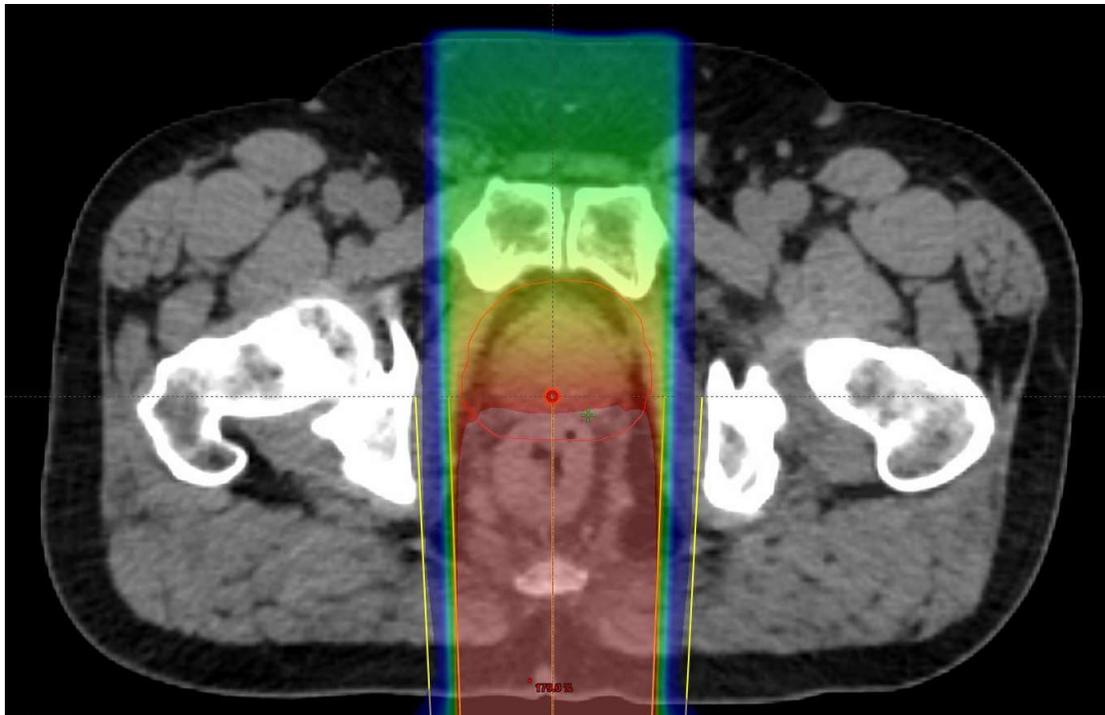
Photonen II

- Nicht für oberflächliche Bestrahlungen geeignet (ggfs. Brachytherapie, bzw. Röntgentherapie)



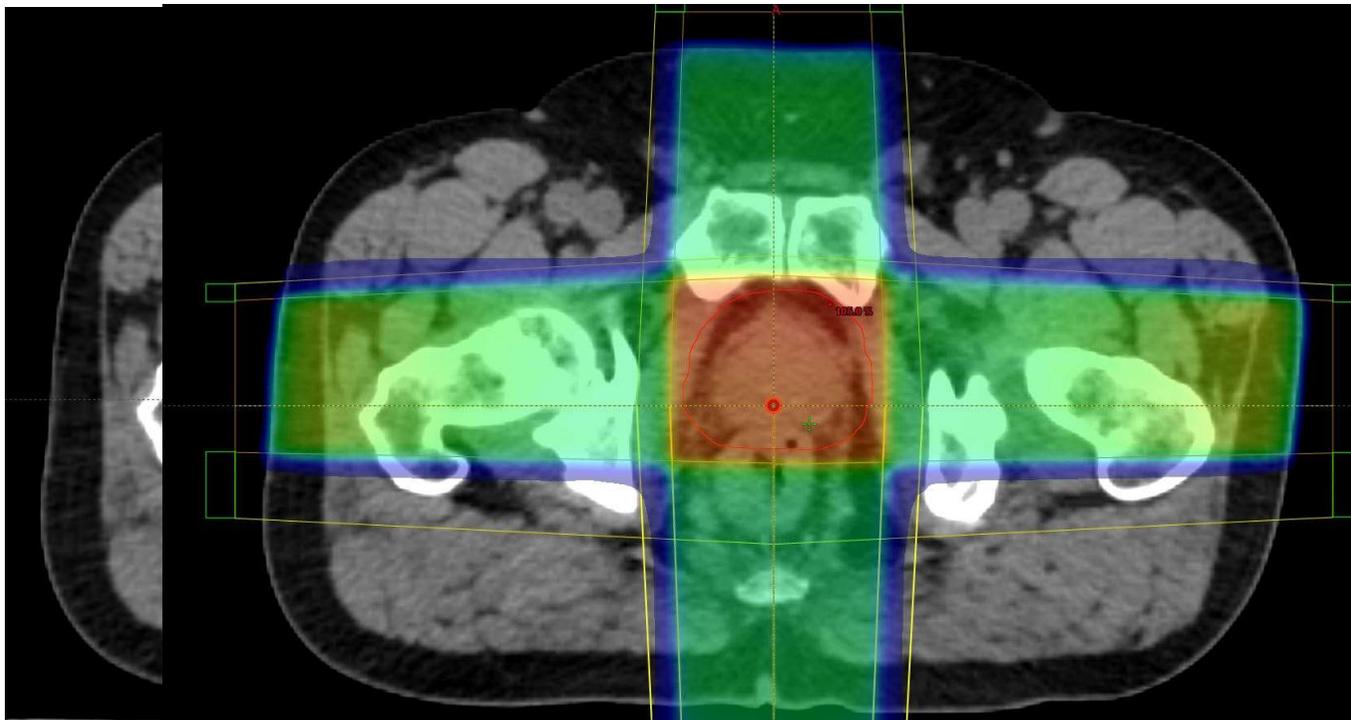
Photonen III

- Überlagerung mehrerer Photonenfelder für Hochdosis in der Tiefe **107%** bis **10%**



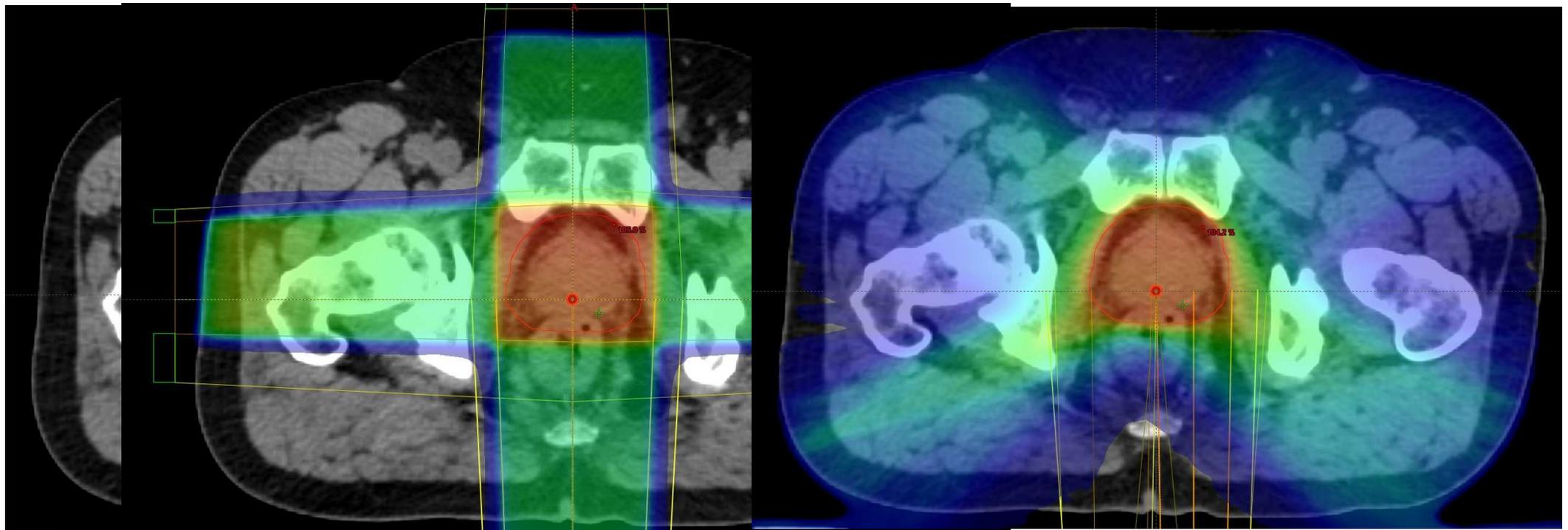
Photonen III

- Überlagerung mehrerer Photonenfelder für Hochdosis in der Tiefe
107% bis 10%



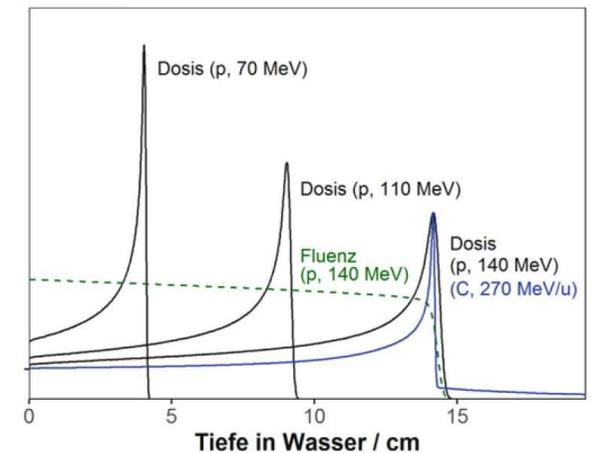
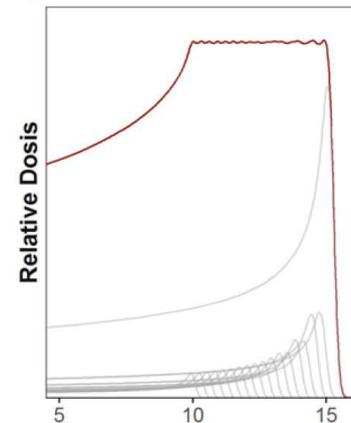
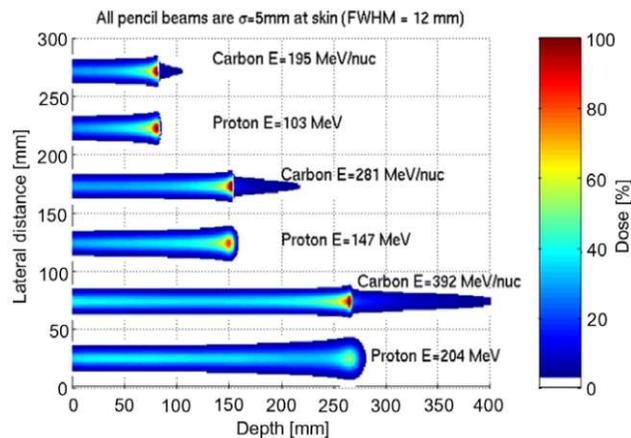
Photonen III

- Überlagerung mehrerer Photonenfelder für Hochdosis in der Tiefe **107% bis 10%**



Ionen I

- Schwerere geladene Teilchen zeigen einen Bragg-Peak
- Tiefe des Bragg-Peaks steigt mit der Energie
- Überlagerung von Energien, um Tiefe des Tumors abzudecken (SOBP)

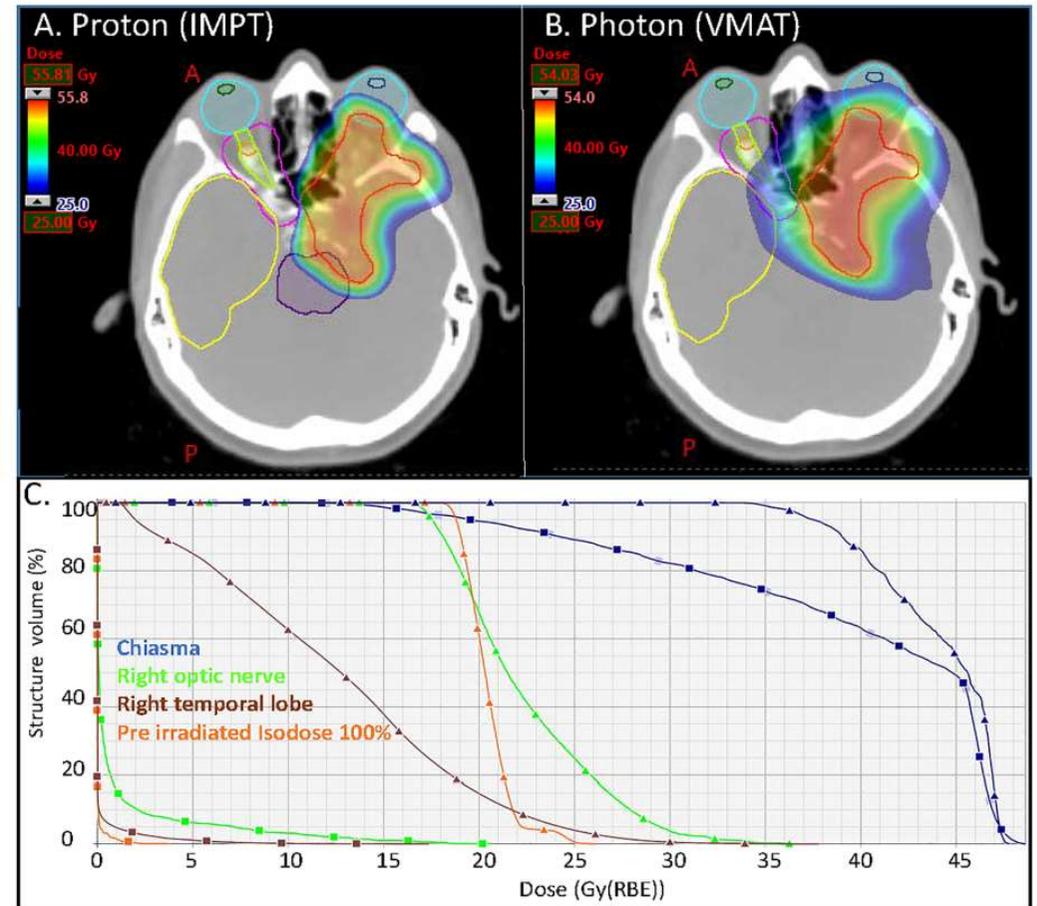
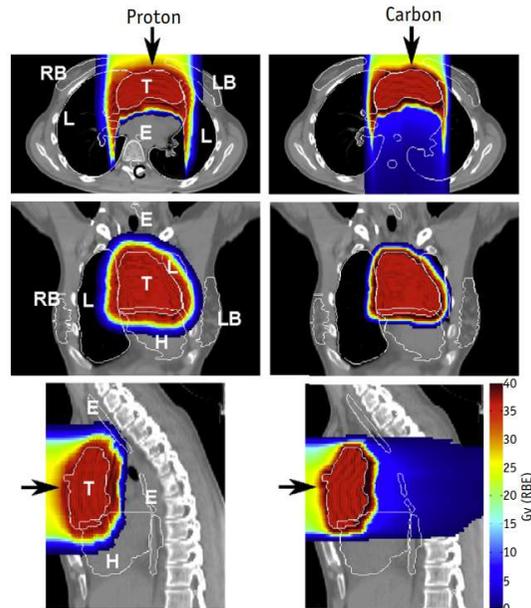


S. Greulich und J.-M. Osinga-Blättermann. Strahlenphysik. In: Medizinische Physik. W. Schlegel, C. P. Karger, O. Jäkel (Hrsg.), Berlin 2018, Springer Spektrum

Ionen II

- Wenige Beamrichtungen (ca. 1-3)
- RBE-gewichtete Dosis

Eley et al. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2016 May 1;95(1):279-286



Weber et al. Front Oncol. 2020 Dec 14;10:558845

Bestrahlungsgeräte und -techniken

Was sind Besonderheiten?

Konventionelle C-Arm-Beschleuniger I

Besonderheiten:

- Elektronen und Photonen unterschiedlicher Energie verfügbar
- Photonen mit und ohne Ausgleichsfilter
- 6-Achsen-Tisch möglich
- Durch Tischdrehung non-koplanare Beams möglich
- Patient zugänglich für externe Systeme (Oberfläche, Röntgen, Ultraschall, EM-Marker,...)



www.varian.com

Konventionelle C-Arm-Beschleuniger II

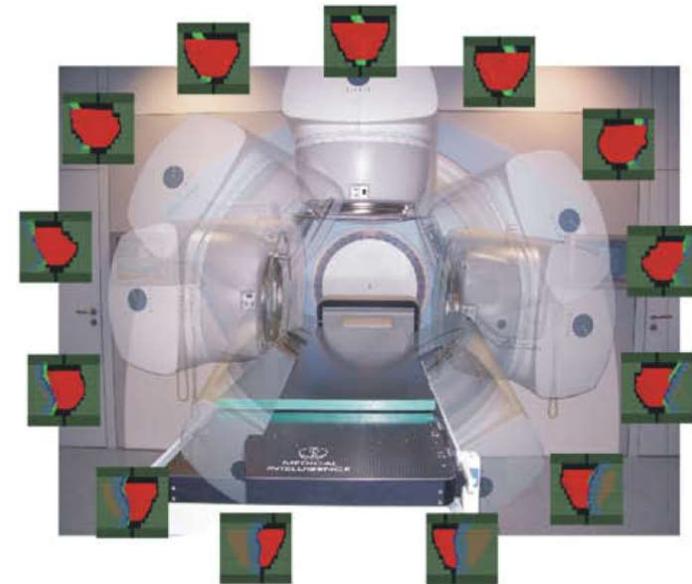
Elektronentechniken:

- Individuell gegossene oder Standardblenden in Tubus

Photonentechniken

- 3D-CRT
- IMRT/VMAT
- DCA
- Max. 40x40 cm²-Feld möglich

Mehrere Isozentren kombinierbar und mehrere Volumina gleichzeitig bestrahlbar



Wolff et al. Radiother Oncol. 2009 Nov;93(2):226-33.

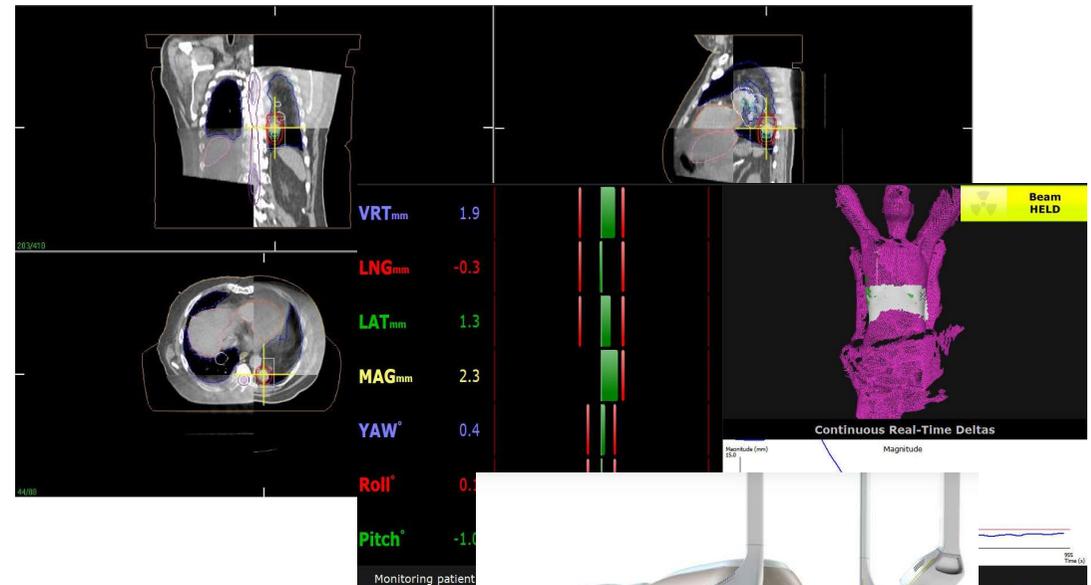
Konventionelle C-Arm-Beschleuniger II

Bildgebung am Gerät (IGRT)

- MV / kV planar
- (4D)-kV-CBCT

Zusätzliche Ausstattung z.B.:

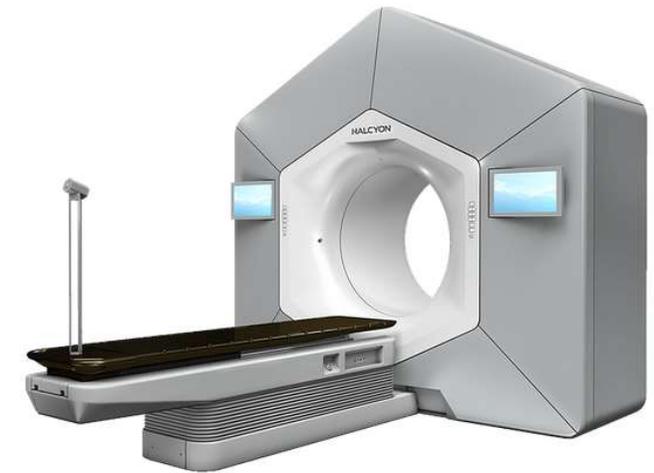
- Oberflächenscanner
- Stereoskopisches Röntgen
- Ermöglicht präzisere Techniken: DIBH, Gating, insges. Stereotaxie



Spezielle Photonengeräte I

Halcyon / Ethos (Varian)

- 6 MV Photonen ohne Ausgleichsfilter
- Ringgantry:
 - Schnelle Applikation und Bildgebung
 - Nur koplanar, kein 6D-Tisch
- kV-CBCT
- Feldgröße 28 x 28 cm², mehrere Isozentren kombinierbar
- Ethos: Möglichkeit der täglichen Planadaption an CBCT-Anatomie
- Oberflächen-Überwachung verfügbar



www.varian.com

Spezielle Photonengeräte II

Tomotherapy / Radixact (Accuray)

- 6 MV Photonen ohne Ausgleichsfilter
- Ringgantry:
 - Spiralförmige Bestrahlungsgeometrie (wie CT)
 - Nur koplanar, kein 6D-Tisch
- Sehr lange Zielvolumina möglich: 135 cm
- MV-CT, Oberflächen-Überwachung verfügbar
- Radixact: kV-CT, während RT planares kV (90° versetzt) und Oberflächen-LEDs zum Tracking von z.B. Lungenbewegung



Spezielle Photonengeräte III

CyberKnife (Accuray)

- 6 MV Photonen ohne Ausgleichsfilter
- Linac an robotischem Arm:
 - Sehr viele non-koplanare Strahlrichtungen
 - Kontinuierliche Anpassung an ZV-Position
 - Kleine Feldgrößen: 5mm bis 11.5x10.1cm²
- 6D-Tisch möglich
- Intrafraktionelles stereoskopisches Röntgen
- Röntgen und Oberflächen-LEDs zum Tracking von z.B. Lungentumoren



Spezielle Photonengeräte IV

MR-Linacs

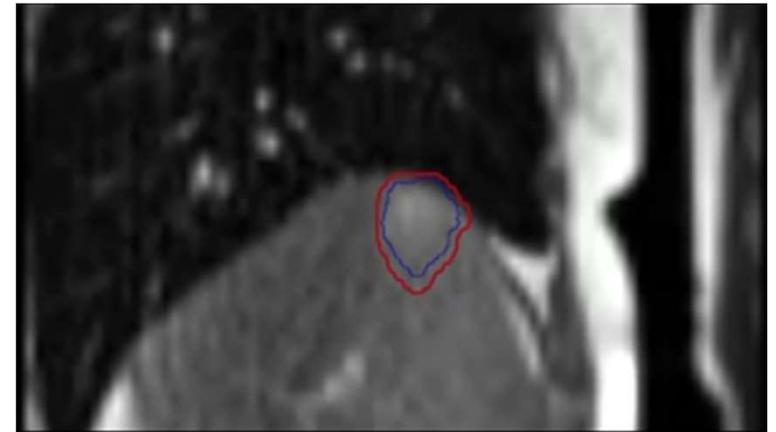
- 6 bzw. 7 MV Photonen ohne Ausgleichsfilter
- Max. Feldgröße: 27,4 x 24,1 cm² bzw. 57,4 x 22 cm²
- Ringgantry: Nur koplanar, kein 6D-Tisch
- VMAT noch nicht in der klinischen Routine
- 0,35 bzw. 1,5 T MRT



Spezielle Photonengeräte IV

MR-Linacs

- Prinzip IGRT mit MRT wegen besseren Weichteilkontrasts
- Adaption des Plans an tägliches MRT möglich
- Intrafraktionelle Überwachung in 2D-Ebene, z.B. DIBH



C. Renkamp, Heidelberg

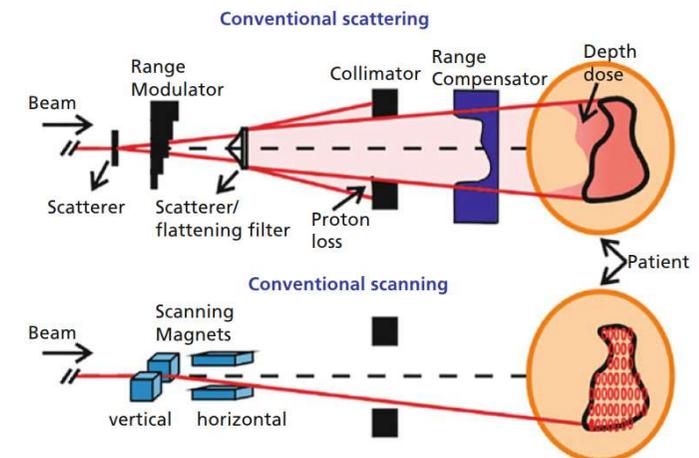
Ionen-Techniken I

- Protonen oder ^{12}C , andere experimentell
- Einstrahlwinkel üblicherweise horizontal
- Gantry verfügbar, um 2 oder 3 optimale Winkel zu nutzen



Ionen-Techniken II

- IGRT 2D oder 3D röntgenbasiert
- Abdeckung des Tumors durch passive (Kompensator) oder aktive (Scanning) Verfahren
- Probleme mit ungenauer Lagerung, Reichweitenunsicherheit
- Applikationsmethode entscheidet über Unsicherheitsberücksichtigung bei der Planung



O. Jäkel. Ionentherapie. In: Medizinische Physik. W. Schlegel, C. P. Karger, O. Jäkel (Hrsg.), Berlin 2018, Springer Spektrum

Planungs-Bildgebung und Lagerung

Was muss vorher schon entschieden werden? Welche Bewegungen sind wichtig?

Entscheidungen vor dem Planungs-CT I

Bestrahlungstechnik und -gerät:

- Größe und Lage des Zielvolumens
- Analyse der primären Risikoorgane
- Beweglichkeit der Zielvolumenregion
- ZV sichtbar im Röntgen, bzw. CT? Evtl. Marker nötig?
- Hypofraktionierung, Dosisescalation gewünscht?

Entscheidungen vor dem Planungs-CT II

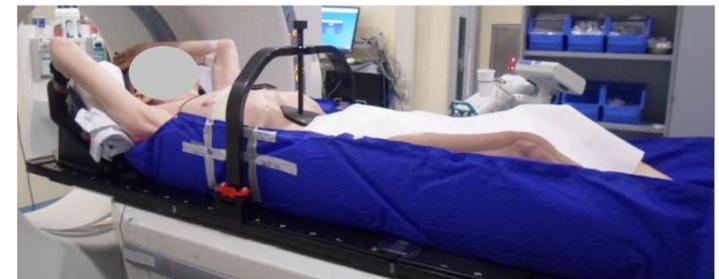
- Patientenlagerung: Stabil, reproduzierbar, möglichst bequem und vorteilhaft für die Einstrahlung

➔ (z.B. Maske, Vakuummatte, definierte Kissen, Arme nach oben)



- Atembewegung in Zielvolumen-Region

➔ Atemgetriggertes CT, 4D-CT, ggfs. Bewegungsminderung



Entscheidungen vor dem Planungs-CT III

- Sekundäre Bildgebung (KM-CT, PET, MRT) nötig?
➡ Lagerung, Zeitpunkt, welche Sequenzen?
- Oberflächliche Lage ➡ Bolus vorteilhaft?
- Größe des Zielvolumens, Genauigkeitsanforderung
➡ Schichtdicke (Hirnstereotaxie bis Ganzkörper)
- Einstrahlrichtungen (z.B. non-koplanar vs. koplanar),
Risikoorgane, Positionierung (z.B. Wirbelkörper)
➡ Scanbereich
- Spezielle Vorkehrungen nötig?
 - Z.B. Dummypulen für MR-Linac

Auswirkungen von IGRT und intrafraktioneller Überwachung auf die Bestrahlungsplanung

Was kann ich sehen und wie oft?

PTV-Margins

Generell: PTV-Margins müssen angepasst sein an die gesamte strahlentherapeutische Kette, im Besonderen

- Geometrische Genauigkeit des Beschleunigers
- Beweglichkeit des ZV und genutztes Bewegungsmanagement
- Qualität und Häufigkeit IGRT
- Intrafraktionelle Bewegungsüberwachung möglich (Zielvolumen oder Surrogat)?

Beispiel Lungentumor

- Bewegungsmanagement: ITV, DIBH, Gating, Tracking
- CT-Möglichkeit: 4D-CT, Atemphasen-CTs (Inhale, Exhale), DIBH-CT, Frei-Atmungs-CT, Bewegungseinschränkung?
- Setup: (4D-)CBCT, stereoskopisches Röntgen, MRT
- Bewegung wie überwacht? Nicht, Oberfläche, Lungenvolumen, interne Strukturen (ZV oder Marker) durch Röntgen oder MRT
- Vorbereitung: Geeignete Region für die intrafraktionelle Überwachung suchen: Oberfläche, Ebene in MR-Linac, Konturierung des dichten Anteils eines Lungentumors
- Mögliche Spanne 3 mm bis 1cm

Zusammenfassung

- Alle Glieder der Strahlentherapeutischen Kette tragen zur Bestrahlungsqualität bei
- Welche Strahlenarten wofür? Warum?
- Bestrahlungsplanungsprozess am besten vom Ende her denken:
 - ➔ Mit welchem Bestrahlungsgerät mit welcher IGRT und ggfs. Überwachung kann die gewünschte Dosisverteilung appliziert werden
 - ➔ Was bedeutet das für alle Prozesse ab Bildgebung