IGRT (Image Guided Radiotherapy)

Bildgeführte Strahlentherapie

Dipl.-phys. Andrea Flühs - Universitätsklinikum Essen

Behandlungsziel

- **vollständige Tumorkontrolle**
- **keine / geringe Nebenwirkungen**

Tumorkontrolle

Tumorkontrolle wird erreicht durch hohe Dosierung, genaue Lokalisation und Immobilisation.

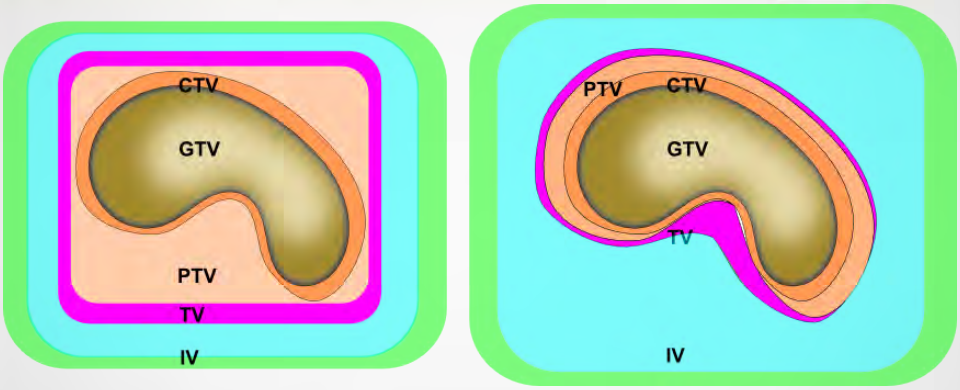
- **Dosierung:** Je höher die Dosis desto besser die Tumorzerstörung
- **Lokalisation:** genaue Bestimmung der Position und Form des Zielvolumens im Körper
- **Immobilisation:** Beibehaltung der Patientenposition während der Therapie – Kontrolle oder Vermeideung innerer Bewegungen

Nebenwirkungen

Nebenwirkungen entstehen durch Bestrahlung gesunden Gewebes, insbesondere von strahlensensiblen Organen.

- Die Bestrahlung des umliegenden Gewebes kann durch **konformale, dynamische Bestrahlungstechniken** minimiert werden. Dabei werden strahlenempfindliche Risikoorgane bestmöglich geschont.
- **Sicherheitssäume verkleinern** durch Verringerung zufälliger Positionsfehler: Die Körperposition wird durch Lagerungshilfen stabilisiert und reproduzierbar. Innere Bewegungen werden durch Training (Atemkontrolle, Gating) und andere Maßnahmen (Blasenfüllung, Darmfüllung) reduziert bzw. kontrolliert.
- Zur **Positionierung** werden orthogonale **Lokalisierungsfelder** eingeführt; mit Markern kann die Tumorregion gekennzeichnet werden. Köperinnere Bewegungen können mit geeigneten Bildgebungsverfahren am Behandlungsplatz bewertet werden.

Zielvolumen nach ICRU

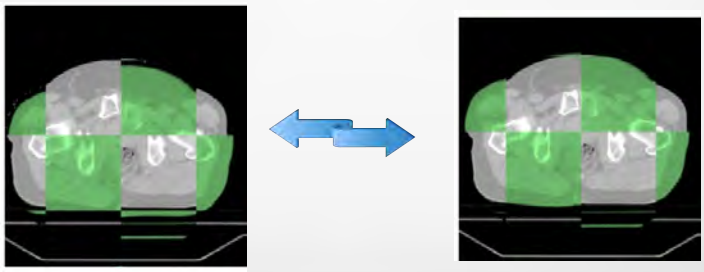


Robuste Technik **Konformale Technik**

GTV: Tumorvolumen (gross tumour volume)
CTV: GTV + „klinischer“ Sicherheitssaum (clinical target volume)
PTV: CTV + „technischer“ Sicherheitssaum (planning target volume)
TV : Behandlungsvolumen mit hoher Dosis (target volume)
IV : mit signifikanter Dosis bestrahltes Volumen (irradiated volume)
grün: Volumen mit geringer Dosis; Stochastisches Risikovolumen

Zusammenfassung

- Bildgeführte Strahlentherapie ermöglicht eine präzise tägliche Lokalisation. Dadurch werden hochkonformale Bestrahlungstechniken und Dosiseskalation ermöglicht.
- Aber: Durch Bildgebung am Behandlungsplatz wird zusätzliche Dosis appliziert.



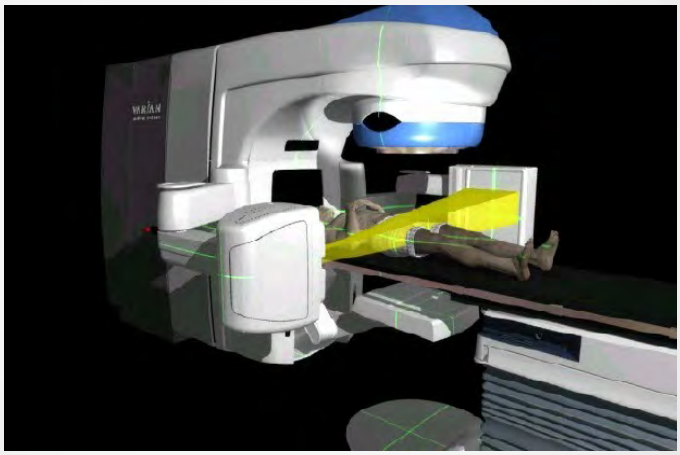
- Film

Copyright© 2014, Varian Medical Systems, Inc. All rights reserved.

- Film

Copyright© 2014, Varian Medical Systems, Inc. All rights reserved.

- Film 1
- Film 2



Copyright© 2014, Varian Medical Systems, Inc. All rights reserved.

Anforderungen an Bildgebung

- *richtige* Lokalisierung
- *geringe* zusätzliche *Dosisbelastung*

- **Sichtbarkeit des Zielvolumens**: Kontrast erhöhen durch Verwendung niedriger Energie: Röntgenstrahlung einsetzen; Verwendung von Markern.
- **Bildeigenschaften**: Geometrisch korrekte Darstellung; richtige Bildposition.
- **Bilddetektoren**: Hohe Empfindlichkeit zur Dosisreduktion.
- **Funktionalität:** Durch **CBCT** kann auch die Position von Weichgewebe bewertet werden.
- **Dokumentation** und Bewertung der zusätzlichen **Dosis**.

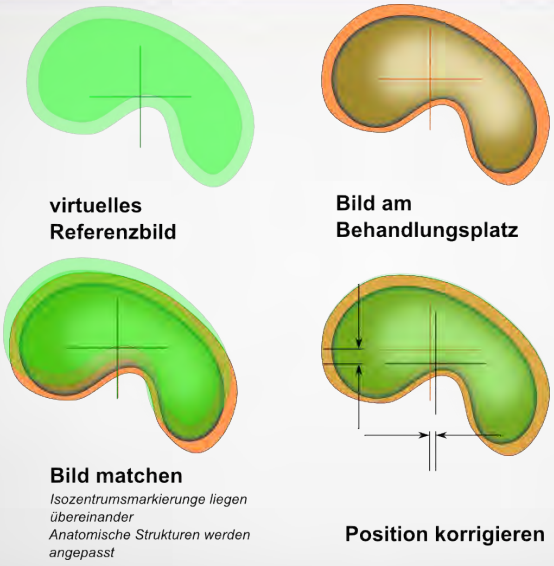
Durchführung der Lokalisation

- Softwareunterstützter Vergleich der aktuellen planaren MV- oder kV-Bildern oder CBCT-Scans mit Referenzaufnahmen vom Simulator, digital rekonstruierten Röntgenbildern (DRR) oder mit dem Planungs-CT
- Computerunterstützte Verschiebung des Patiententisches (bei manchen Therapiegeräten sind auch Drehungen möglich)

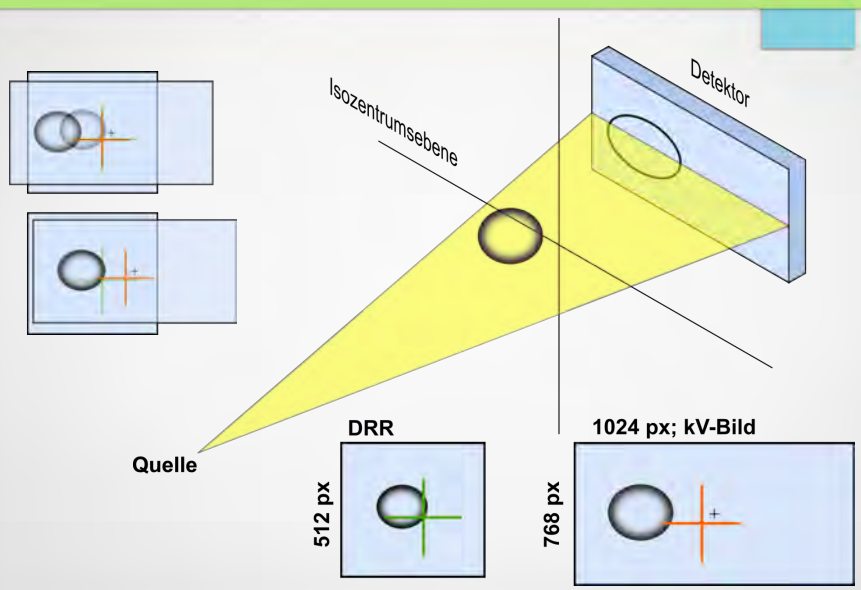
Fehlerquellen:

- unerkannte Fehler der tatsächlichen Bildposition führen zu falschen Korrekturen
- falsche Skalierung der Verschiebung bei nicht orthogonalen Projektionen

Durchführung der Lokalisation

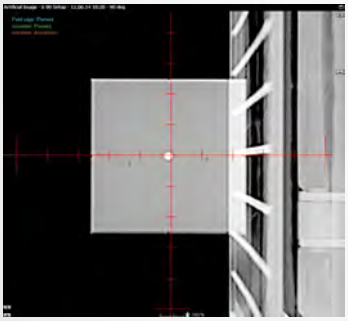


Bildpositionsfehler kV

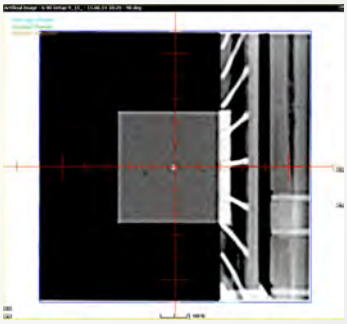


Qualitätssicherung I

kV-Aufnahme



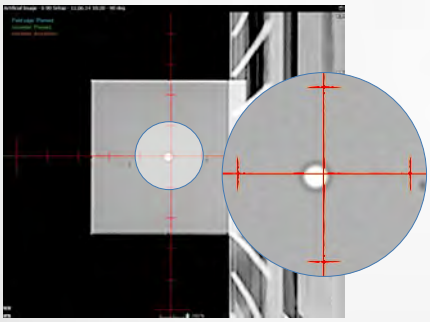
MV-Aufnahme



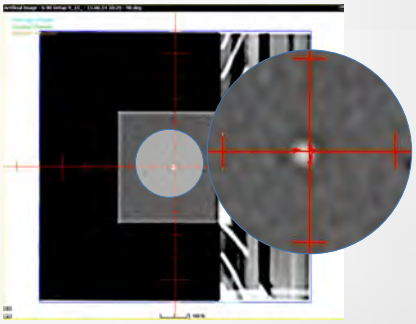
Erfassung der mechanischen Genauigkeit, der Unsicherheit bei der Registrierung und der Unsicherheit der Verschiebung.

Qualitätssicherung I

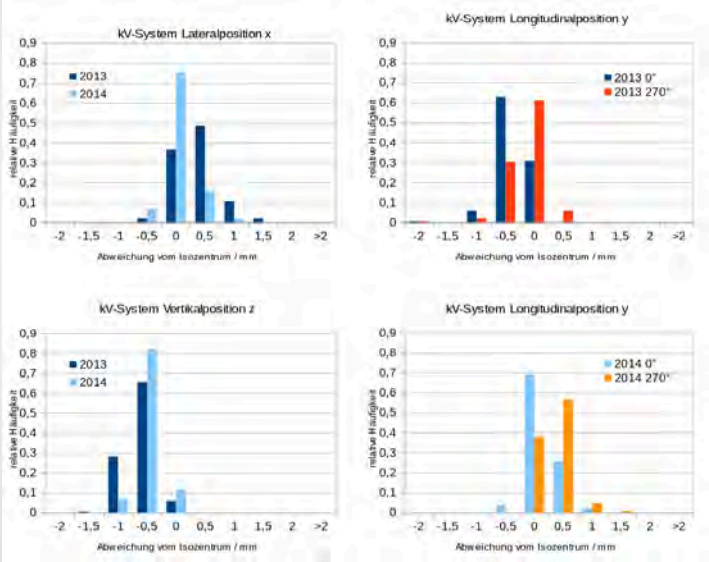
kV-Aufnahme



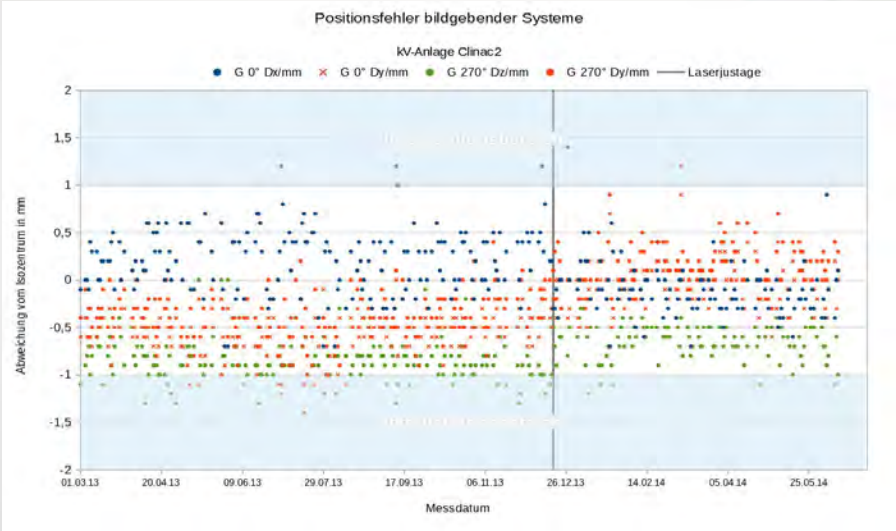
MV-Aufnahme



Bildpositionsfehler kV II

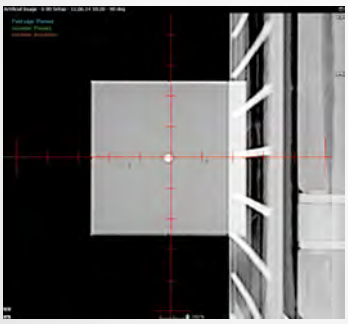


Bildpositionsfehler kV III

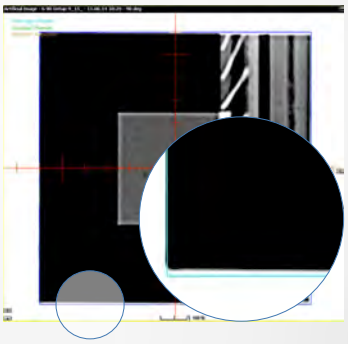


Qualitätssicherung I

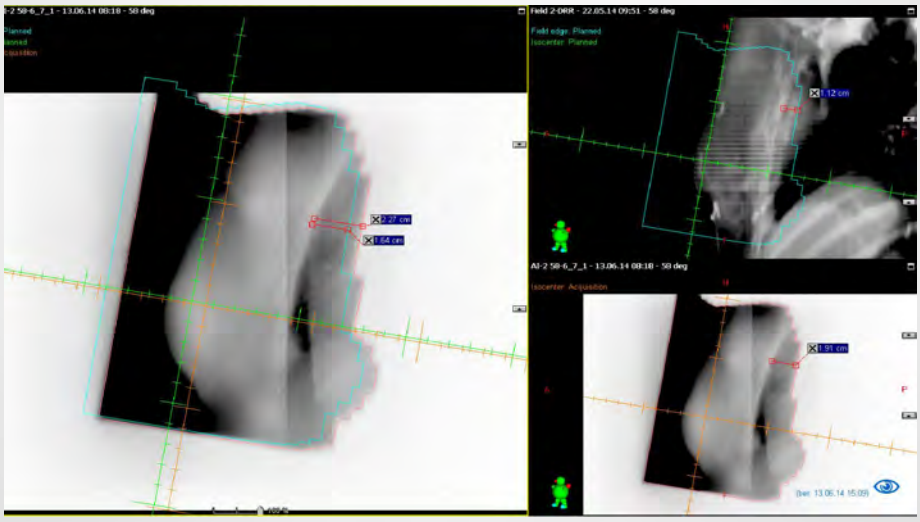
kV-Aufnahme



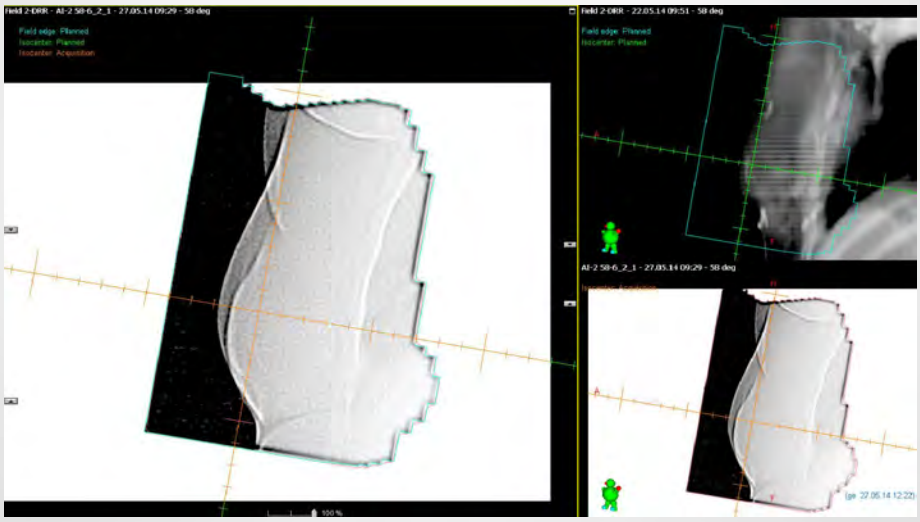
MV-Aufnahme



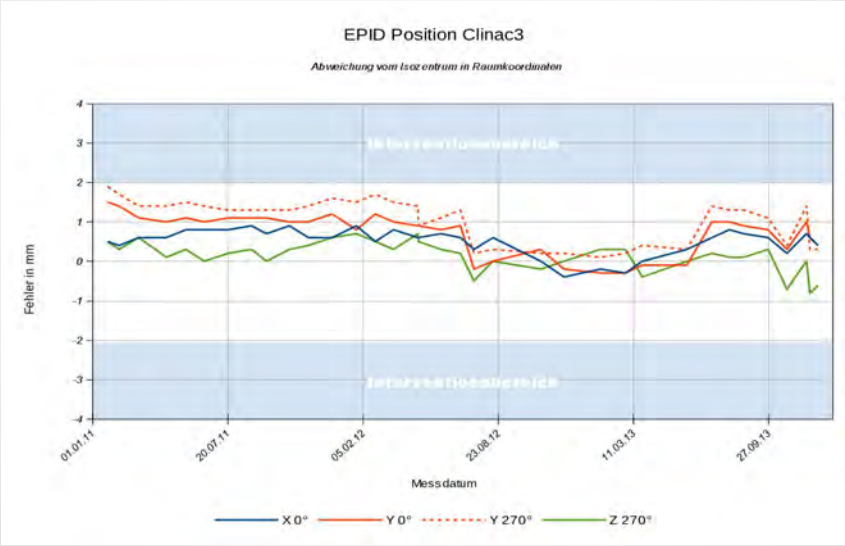
Bildpositionsfehler MV



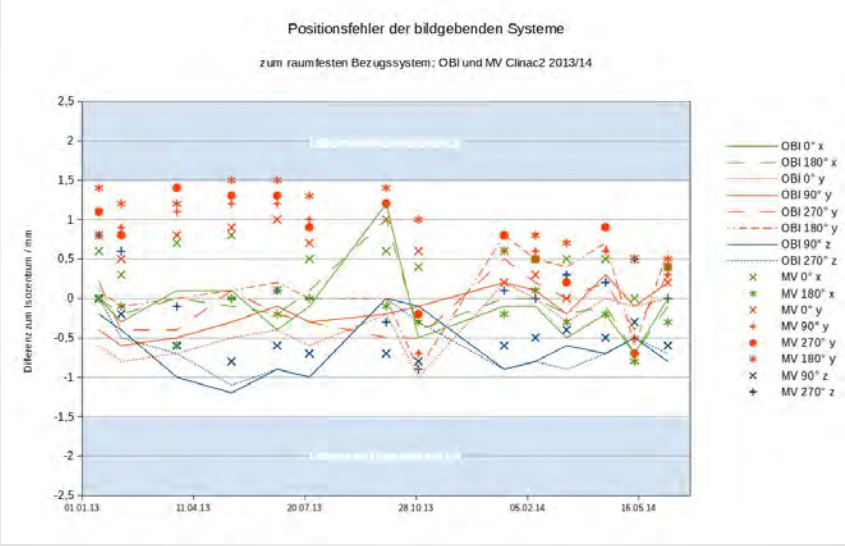
Bildpositionsfehler MV II



Bildpositionsfehler MV III

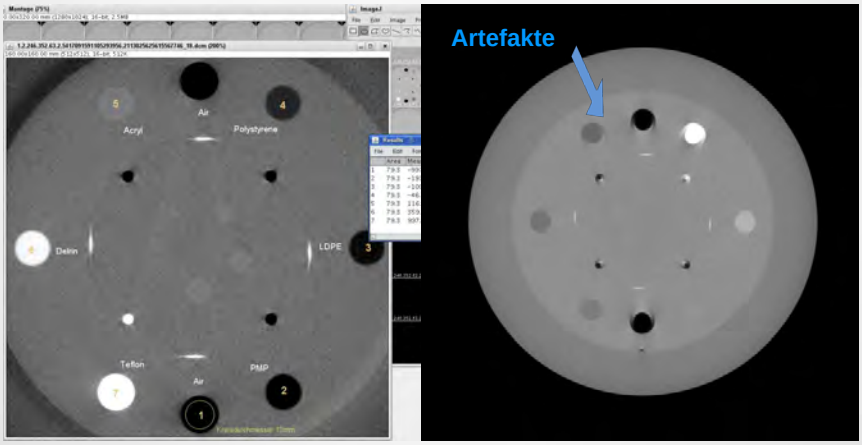


Bildpositionsfehler OBI



Qualitätssicherung CBCT

CBCT



Qualitätssicherung IV

Geometrische Systemeigenschaften

Justierbare Größen	erreichbare Genauigkeit	Toleranz
Isozentrumsgröße	≤ 1 mm	1-2 mm
Isozentrumsanzeige (Laser)	0,3 – 0,5 mm	1 mm
Roboterarme	≤ 1 mm	2 mm
MLC, Feldblenden	0,1 mm – 1 mm	2 mm

Festgelegte Größen	
Auflösung CT transversal	≤ 1 mm
Auflösung CT longitudinal	2 – 5 mm
Auflösung Detektor	0,3 – 0,6 mm/px
Software Bildverarbeitung	1 – 2 px

Interventionsschwellen	klinisch
MV-Pos. Warnung	5 mm
Sicherheitssaum CTV – PTV	5 – 10 mm
Sensitivitätslevel Fraktion	3 – 6 mm
- Einzelkoordinate	2 – 4,5 mm

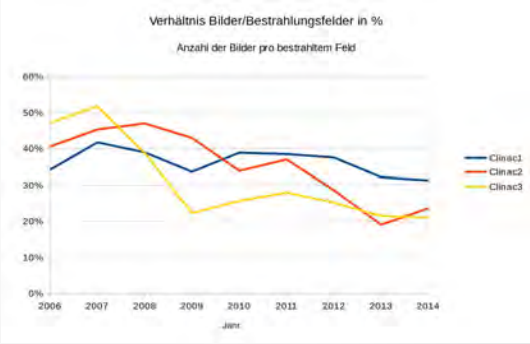
Qualitätssicherung

- Genaue Kenntnis der Lage des Isozentrums
- richtige Position des Detektors bei kV-Anlagen prüfen; Positionsfehler sind meist systematische Fehler.
- bei MV- Anlagen kann die Position des Bestrahlungsfeldes mit der Verschiebung des Koordinatenkreuzes abgeglichen werden : Warnung bei Diskrepanzen über einem Schwellenwert.
- Prüfung, ob die gewollte Positionskorrektur richtig ausgeführt wird.
- Überwachung der pro Bild benötigten Dosis.
- Dokumentation der Dosisbelastung durch Bilder/CBCTs.

Dosisbetrachtung

Durch Bildgebung zusätzlich applizierte Dosis hängt ab von:

- Anzahl der Bilder
- Dosis pro Bild
- Bildgröße
- Strahlqualität
- Bestrahlungstechnik
- Lagerung



Dosisbetrachtung

R.A. Hälg, J. Besserer und U. Schneider ETH Zürich; KIRO Projekt; 2012

Führt die vermehrte Bildgebung zu einem zusätzlichen Risiko?

- planare kV-Bilder: weniger als 0,5% Gesamtdosis außerhalb des Bestrahlungsfeldes
- CBCT: bis zu 30% zusätzliche Dosis durch Bildgebung außerhalb des Bestrahlungsfeldes
- TomoTherapy MV CT: weniger als 2% zusätzliche Dosis durch Bildgebung außerhalb des Bestrahlungsfeldes

Bewertung

SSK Empfehlungen „Strahlenhygienische Anforderungen an IGRT 01./02.Juli 2010:

- Positionierungsfehler „können sich dramatisch auf die klinischen Ergebnisse auswirken“.
- „Das Volumen von Risikoorganen, welches mit der therapeutischen Dosis exponiert wird, ist … assoziiert mit der Rate der induzierten deterministischen Nebenwirkungen.“
- „Die IGRT-Dosis … ist im Vergleich zur therapeutischen Dosis klein.“ Die periphere Dosis … bei IGRT mit CBCT erhöht schätzungsweise das Risiko von Sekundärtumoren um < 2%.
- MV-Bildgebung verbindet eingeschränkte Bildqualität mit höheren Strahlendosen als kV-Bildgebung.

IGRT

- Eine hohe Gesamtdosis oder hohe Einzeldosis erfordern eine sichere **tägliche Lokalisation**.
- Wenn Risikoorgane in unmittelbarer Nachbarschaft des CTV liegen, sind kleinere Sicherheitssäume wichtig. (Lungen- und Prostata-Ca).
- Durch hoch konformale Bestrahlungstechniken (dyn. Mehrfelder-Techniken, Rotationen) und häufige Bildgebung wird ein größeres Volumen gesunden Gewebes mit **kleiner Dosis** belastet.
- **Fazit:** Moderne Strahlentherapien basieren auf guter Lokalisation durch häufige Bildgebung; die zusätzliche Dosis mit den verbundenen Risiken wird in Kauf genommen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !