



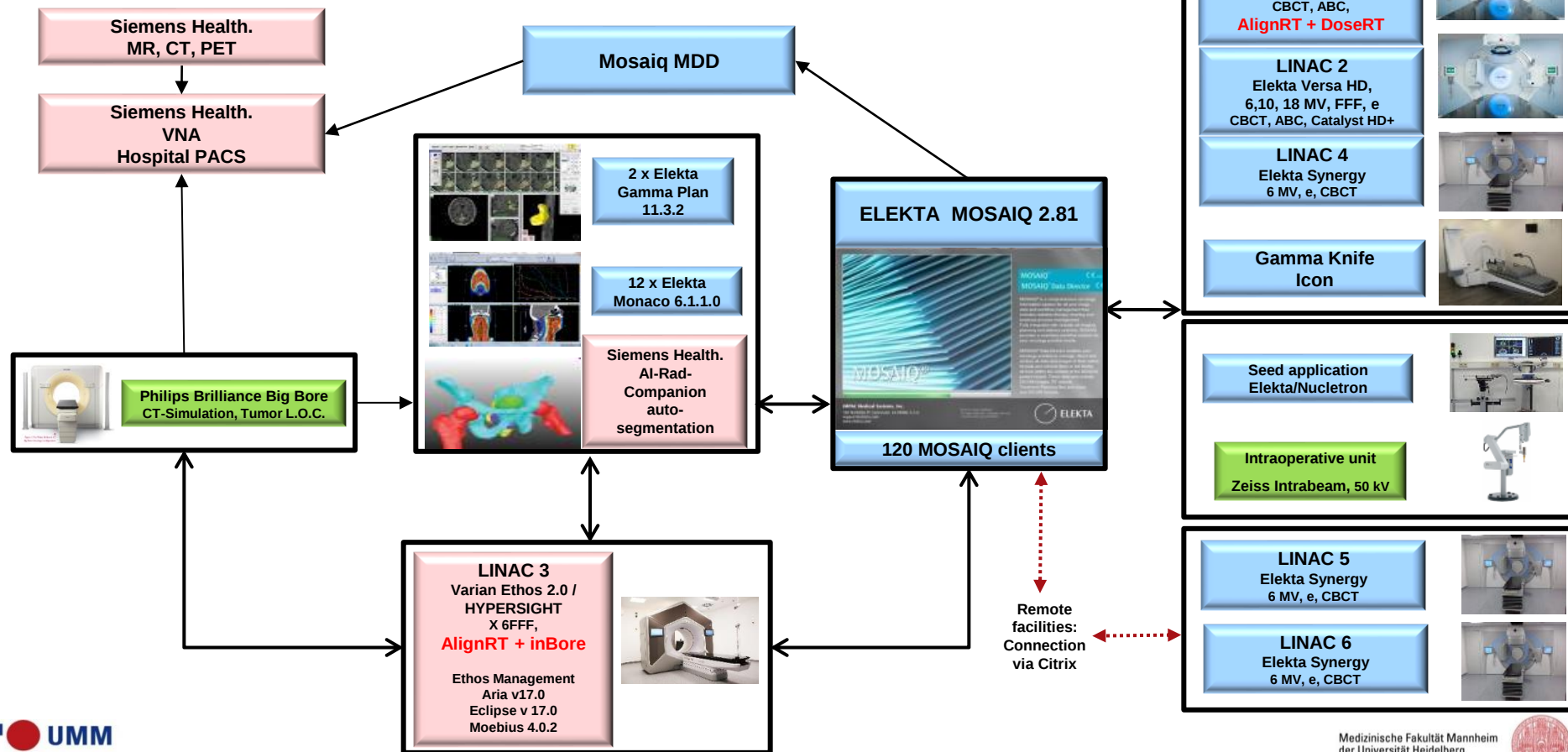
Klinischer Einsatz von Cherenkov-Bildgebung mit vision^{rt} DoseRT in Mannheim

Jens Fleckenstein

Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie

Universitätsmedizin Mannheim

Universitätsmedizin Mannheim – Klinik für Strahlentherapie



Inhalt

- Grundlagen von DoseRT
- Klinische Erfahrungen
- Zusammenfassung und Ausblick

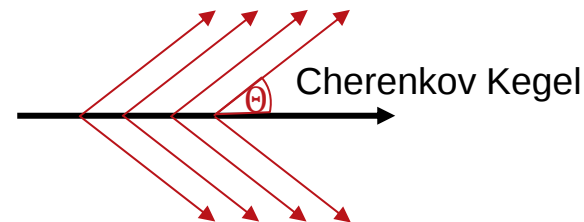


Grundlagen - Cherenkov Strahlung in der Strahlentherapie

Die Grenzenergie zur Erzeugung von Cherenkov Strahlung in Wasser ist

$$v=c/n= 75\% c, n=1.33$$

Für Elektronen in Wasser ergibt sich hieraus eine Energie von
260 keV.



In Wasser ist der Winkel für hochenergetische Elektronen gegeben durch:

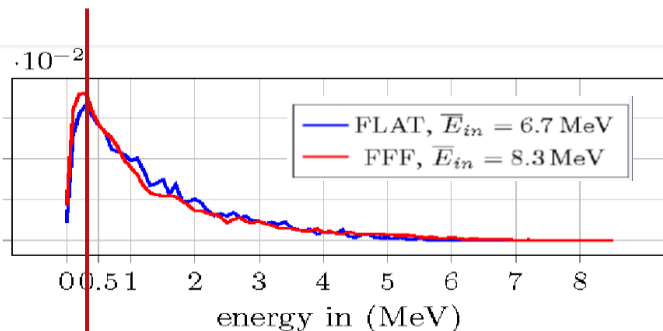
$$\Theta = \cos^{-1} \frac{1}{n} = 41.2^\circ$$

Und einer Wellenlänge von

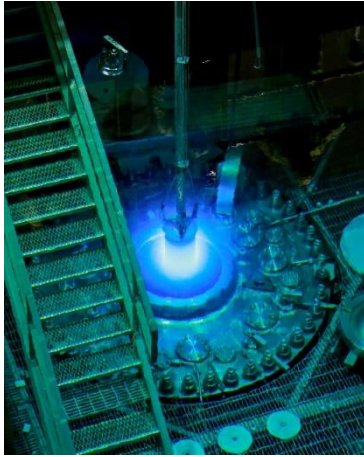
$$\lambda = 300 - 500 \text{ nm}$$

v = Geschwindigkeit der Elektronen

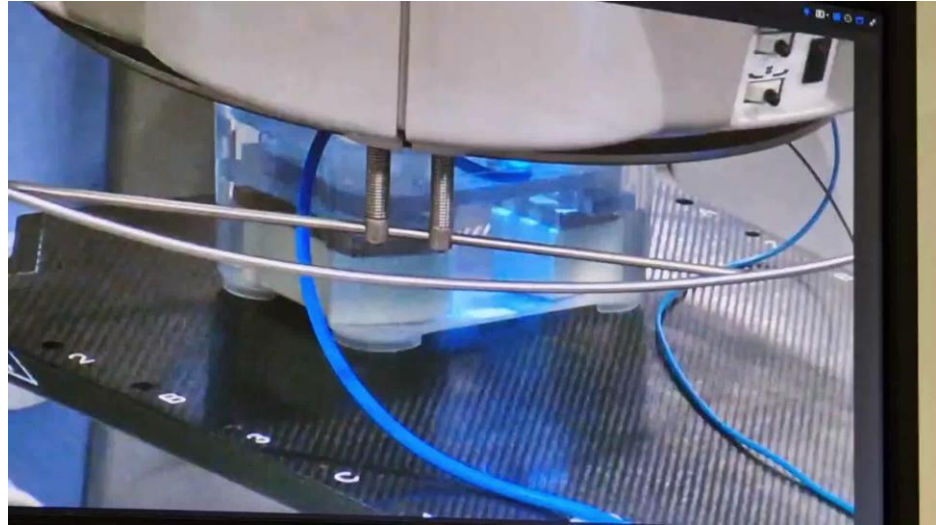
n = Brechungsindex des Mediums



Entsteht an einem medizinischen Linearbeschleuniger wirklich Cherenkov Strahlung?

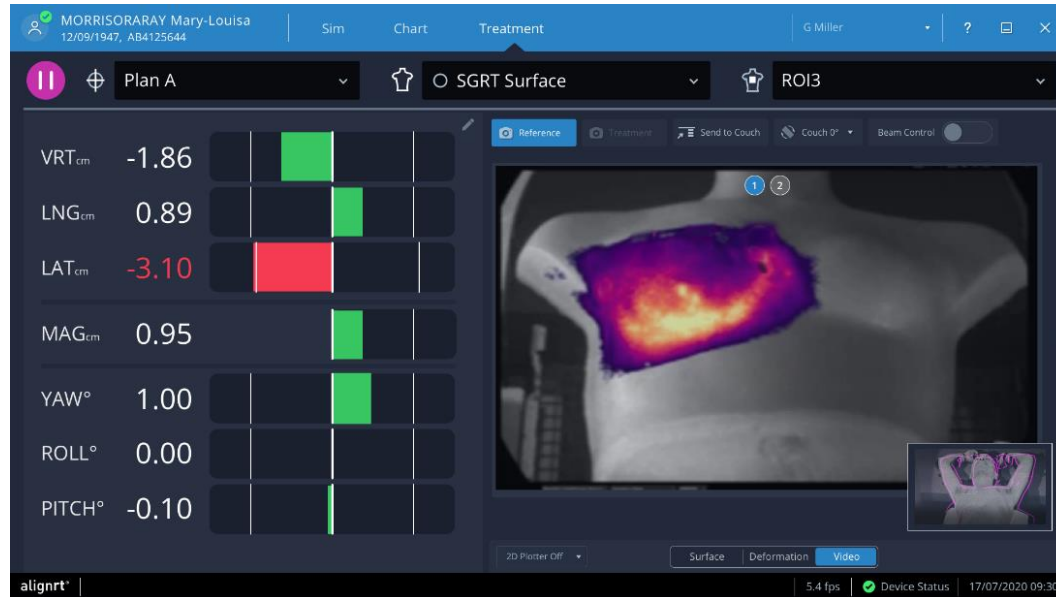


Oak Ridge National
Laboratory



Grundlagen - DoseRT

- Während der Dosisverabreichung entsteht Cherenkov Strahlung an der Körperoberfläche des Patienten beim Ein- und Austritt.
- Idee: Diese Cherenkov Strahlung wird – gemeinsam mit den AlignRT-Oberflächendaten (SGRT) zur Verifikation des Therapiestrahls verwendet.



Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)
§ 126 Risikobeurteilung vor Strahlenbehandlungen

(1) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass vor dem erstmaligen Einsatz oder einer wesentlichen Änderung eines Behandlungsverfahrens mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung eine Risikobeurteilung zur Identifikation und Bewertung der Gefahr unbeabsichtigter Expositionen der behandelten Person durchgeführt wird.

(1a) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass die Risikobeurteilung mindestens alle drei Jahre wiederholt wird

(2) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass die Ergebnisse der Risikobeurteilung

1. aufgezeichnet werden,
2. zehn Jahre lang aufbewahrt werden und
3. der zuständigen Behörde auf Verlangen vorgelegt werden

**Empfehlungen von BfS, DEGRO, DGMP und DGN
zur Risikoanalyse bei therapeutischen Strahlenanwendungen
nach Artikel 63 Buchstabe b der EU-Direktive 2013/59/Euratom**

Dezember 2015

- S = Schweregrad der Fehlerfolge
- A = Auftrittswahrscheinlichkeit des Fehlers
- E = Entdeckungswahrscheinlichkeit des Fehlers

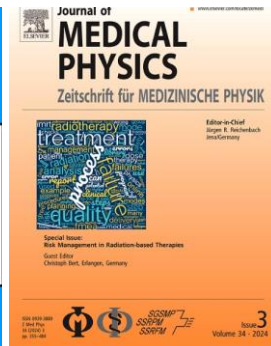
Wie hilft uns AlignRT/DoseRT hierbei?

Visualisierung der deponierten Dosis des Patienten in Echtzeit:

- Korrekte Positionierung des Patienten
- Korrekte Lokalisierung der deponierten Dosis
- Korrekte Strahlgeometrie

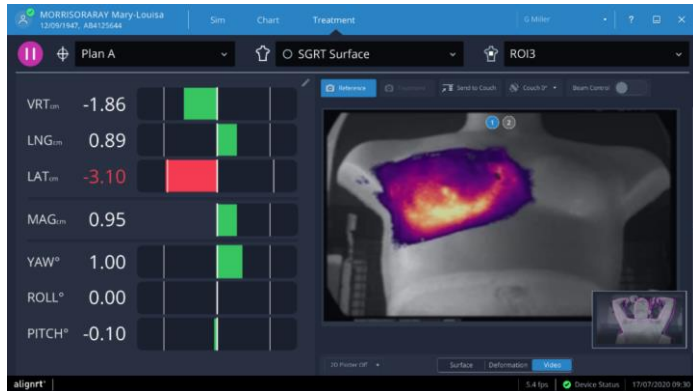
Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund und Zielsetzung dieser Empfehlungen	2
2. Allgemeine Konzepte der Risikoanalyse.....	3
3. Hinweise zu Umsetzung und Dokumentation der Risikoanalyse im klinischen Umfeld.....	5
3.1 Beteiligte Personen, Durchführung, Dokumentation, regelmäßige Aktualisierung	5
3.2 Beispiel einer an das FMEA-Verfahren angelehnten Methodik zur Risikoanalyse im klinischen Umfeld.....	7
4. Fachspezifische Vorschläge zu untersuchender Prozesskategorien.....	10
5. Quellen	13
Anhang	14

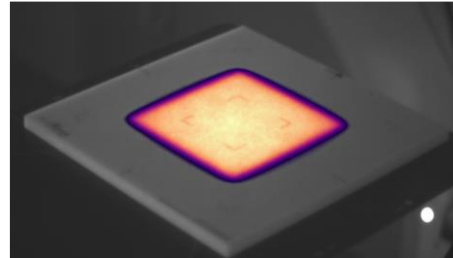


Grundlagen - DoseRT

- 2 zusätzliche Kameras im Behandlungsraum.
- Aktuell: Integration von DoseRT in AlignRT version 7.3 (510k und CE)
- Spezielle Phantom-Platte zur Detektion der Cherenkov Strahlung



AlignRT v7.3



Cherenkov Signal auf Platten-Phantom



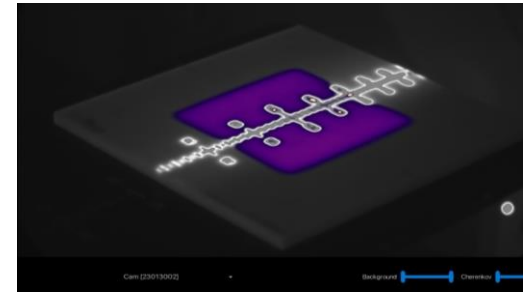
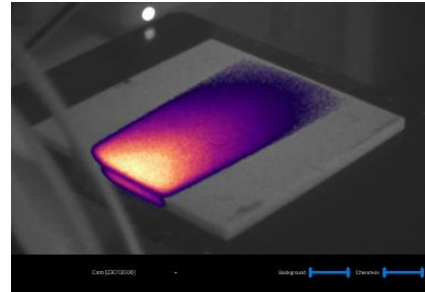
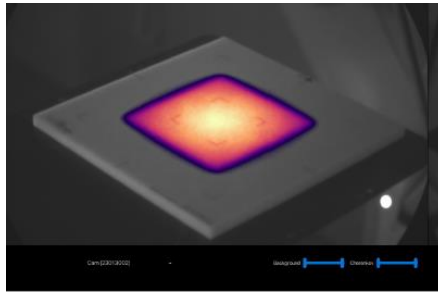
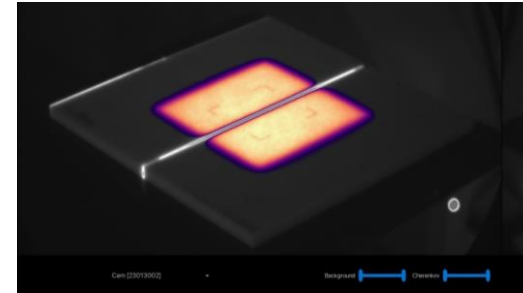
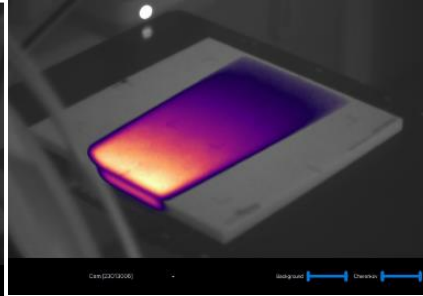
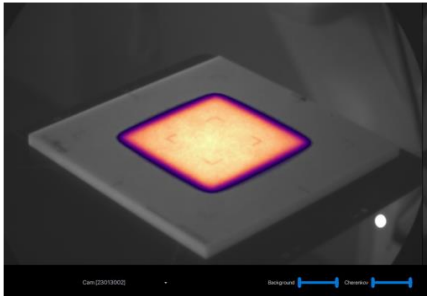
Dose RT Kamera in Mannheim



Horizon and DoseRT Kameras in Mannheim

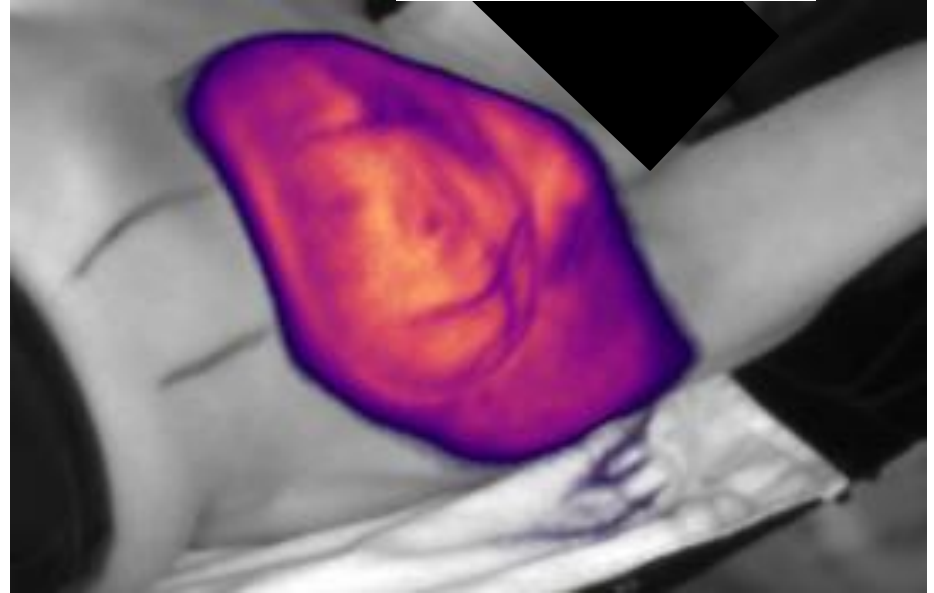
Systemeigenschaften – quadratische Strahlenfelder

- $20 \times 20 \text{ cm}^2$ Strahlenfeld mit 100 Monitor Einheiten (MU)
- 6 MV FLAT/FFF Strahl



Patientenbeispiel: Mamma Ca.

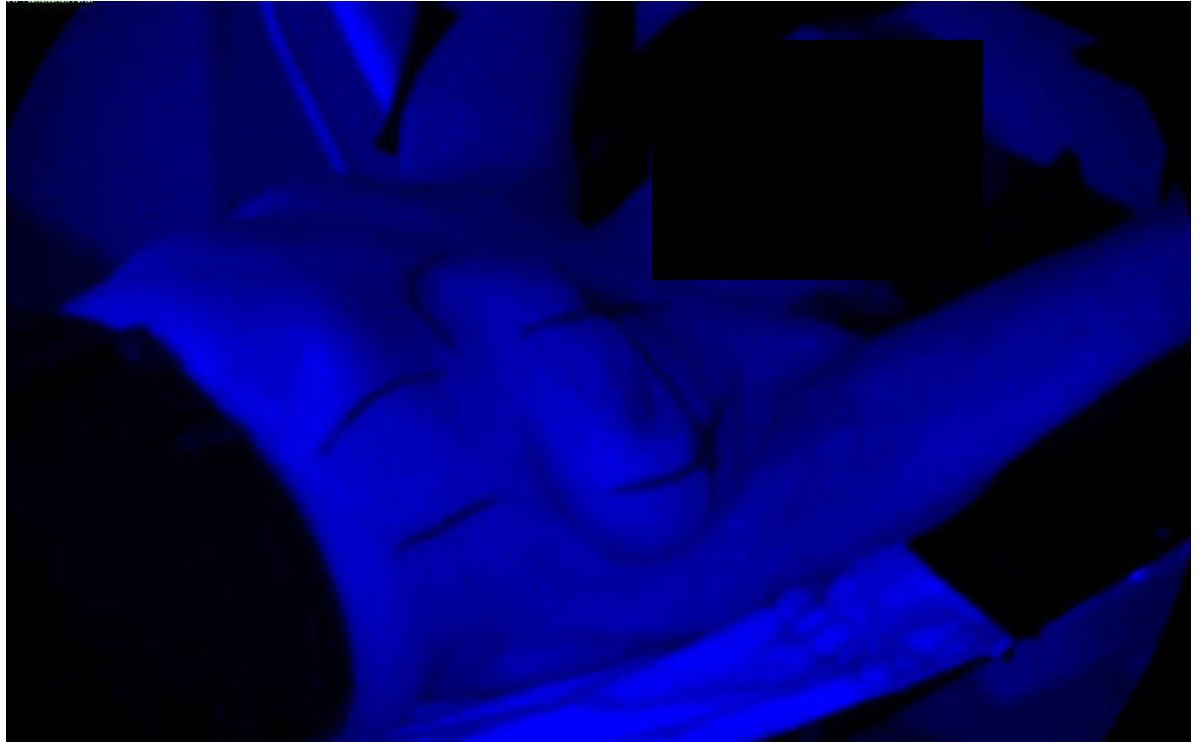
- S&S IMRT bei Mamma links
- Keine blockierte Sicht/Artefakte
- Keine Bestrahlung der Gegenbrust
- Keine Fehlsegmente
- Keine Dosis-“Hotspots“
- Einzeichnungen erkennbar
- Work-in-progress: Markierungen weglassen



Kumuliertes Cherenkov-Bild

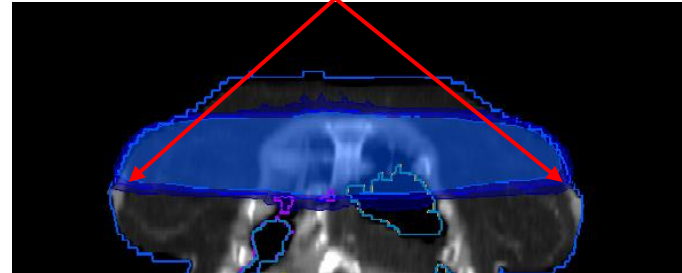
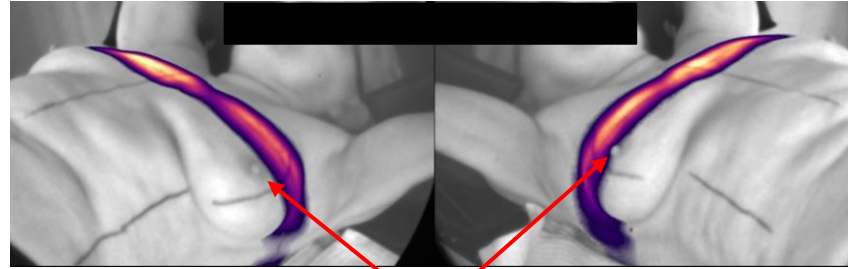
Patientenbeispiel: Brust links

- S&S IMRT bei Mamma links
- Freie Atmung
- 6 MV
- Roh-Data video der ersten tangentialen Einstrahlrichtung



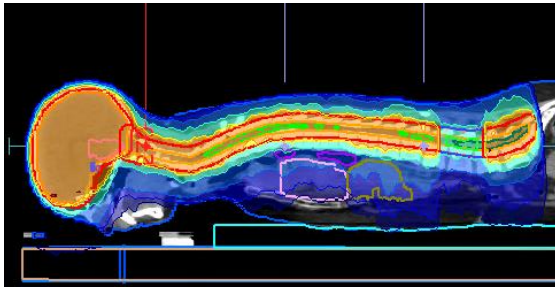
Patientenbeispiel: Mediastinum

- VMAT Mediastinum (6FFF)
- 35 Gy in 5 Fraktionen
- Täglich CBCT
- Sehr gute geometrische
Übereinstimmung zum TPS
bei Mamillen

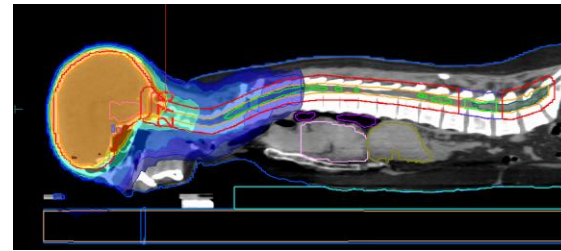


Patientenbeispiel: Neuroachse

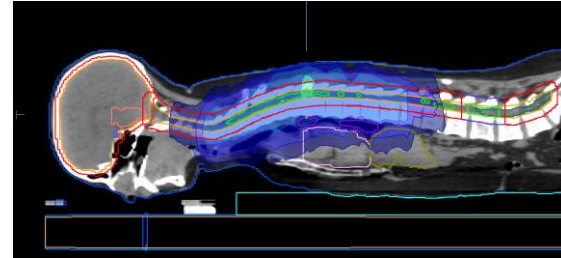
- Neuroachse inkl. Dosisreduktion wegen Vorbestrahlung
- 36 Gy in 20 fx
- Tägliches CBCT des Kopf Isozentrum und lineare Tischverschiebungen
- Bauchlage
- VMAT mit 3 Isozentren
 - Posteriore und überlappende Rotationen



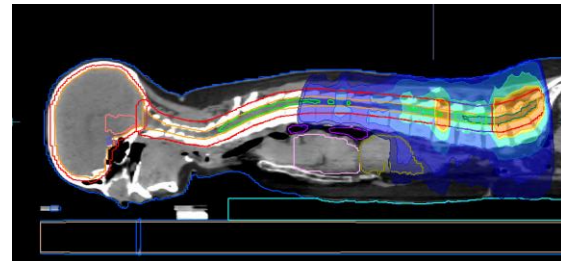
Gesamte Dosisverteilung



Dosisverteilung für das Kopf Isozentrum



Dosisverteilung für das mittlere Isozentrum



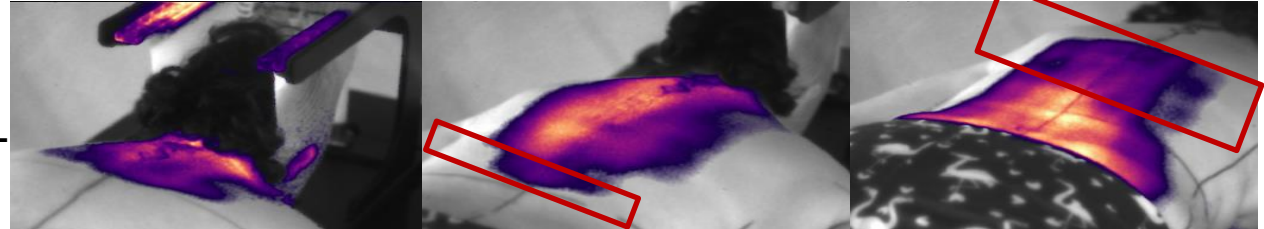
Dosisverteilung für das untere Isozentrum

Patientenbeispiel: Neuroachse

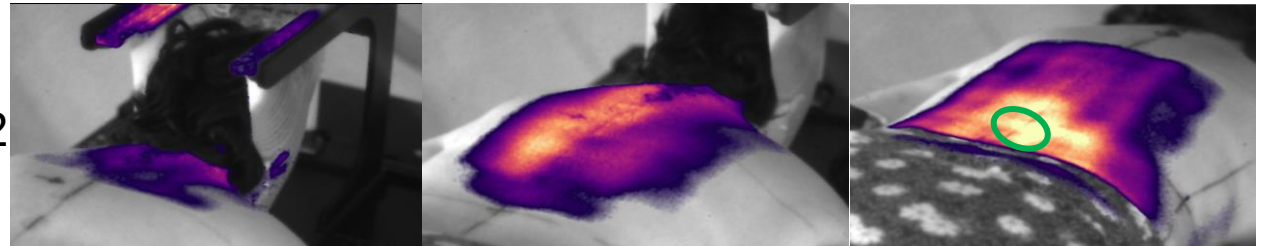
- VMAT-Überschneidungen erkennbar (reduzierte Intensitäten)
- Bereich der Vorbestrahlung nicht erkennbar, da die Oberflächendosis vergleichbar zum restlichen Volumen ist.



Fx 1

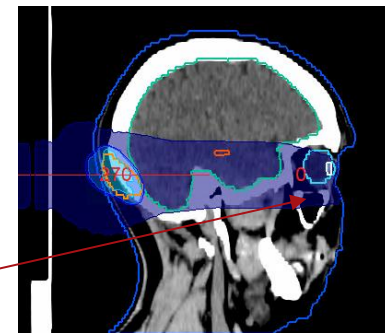
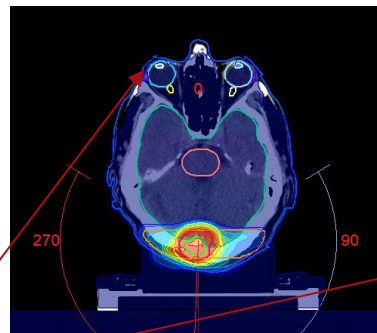


Fx 2

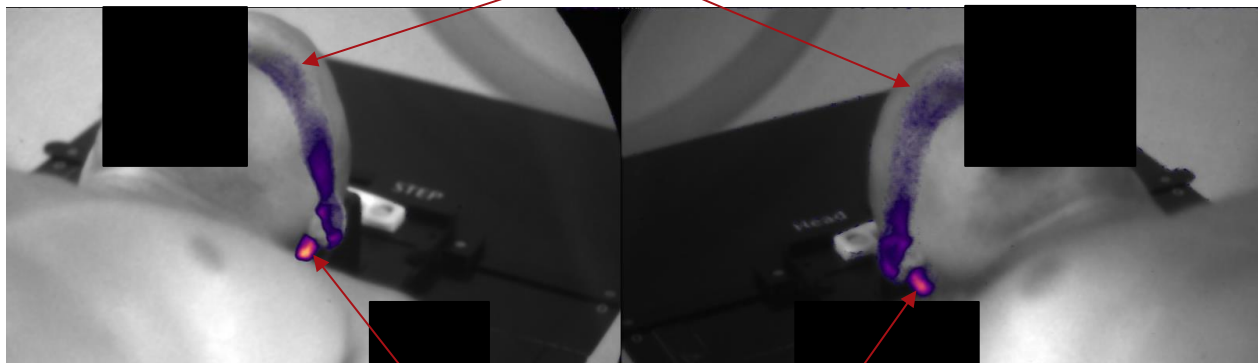


Beispiel: Knochenmetastase

- Knochenmetastase mit 35 Gy in 7fx
- Posteriore Teil-VMAT Rotation
- Ohne Maske
- (Exit) Dosis in Augen < 0.7 Gy



Exit Cherenkov Signal

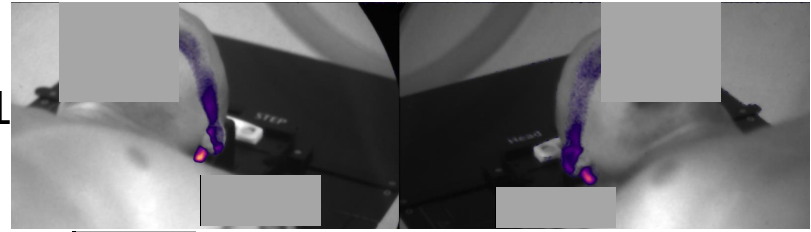


Eingangs Cherenkov
Signal

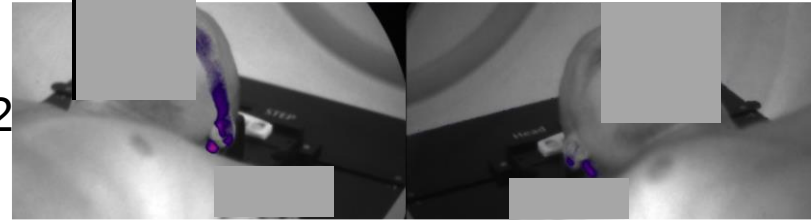
Klinische Erfahrungen

- Sehr gute geometrische Übereinstimmung
- Keine relevanten SGRT Bewegungen erkannt
- In einzelnen Fraktionen: keine Eingangs-Cherenkov-Strahlung aufgrund unterschiedlichen Schulterpositionen (irrelevant für RT)

Fx 1



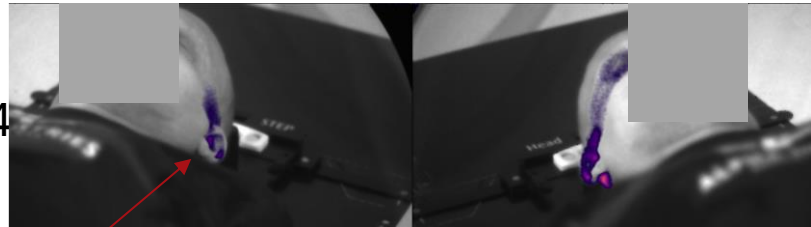
Fx 2



Fx 3

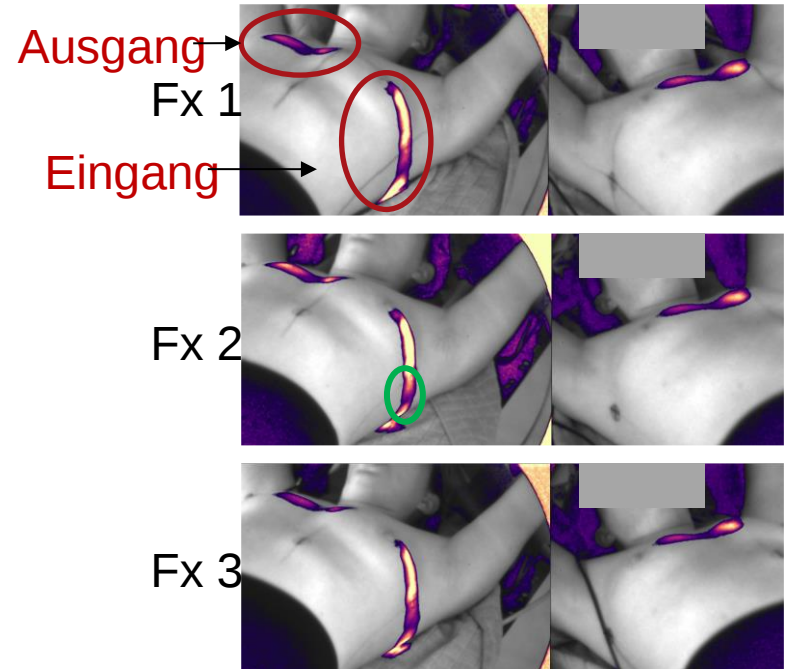
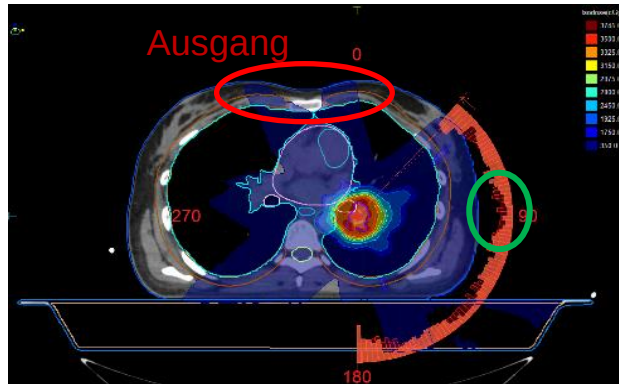


Fx 4



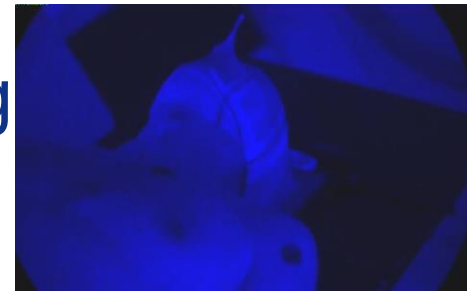
Patientenbeispiel: Lungenmetastase

- Lungenmetastase 35 Gy in 7fx
- Teil-VMAT Rotation, 6 FFF
- DIBH mit ABC
- Separates Eingangs- und Ausgangs-Cherenkov Signal
 - Eingangs-Cherenkov Signal stimmt mit Strahlintensität des Planungssystems überein.
- Sehr gute geometrische Übereinstimmung

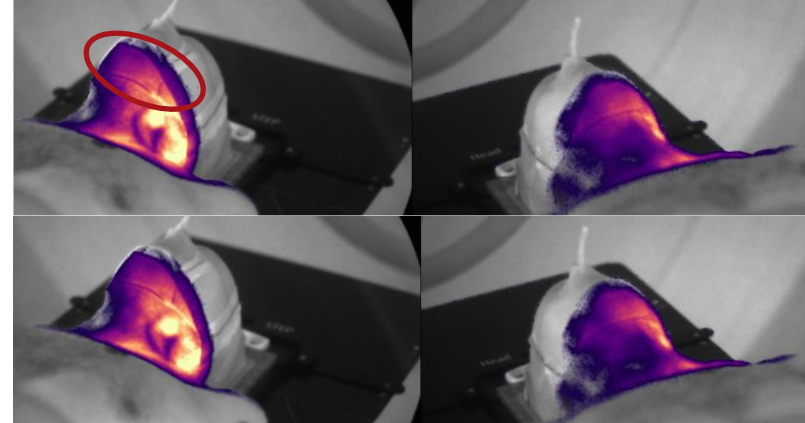


Patientenbeispiel: Kopf-Hals Bestrahlung

- Kopf-Hals Bestrahlung (Lymphknoten links)
- 39 Gy in 13fx, Teil-VMAT Rotation mit 6 MV
- Sehr gute geometrische Übereinstimmung
- Limitationen im Bereich der Maske aufgrund von Leukosilk, Maske selbst kein Problem.



Fx 1



Fx 2

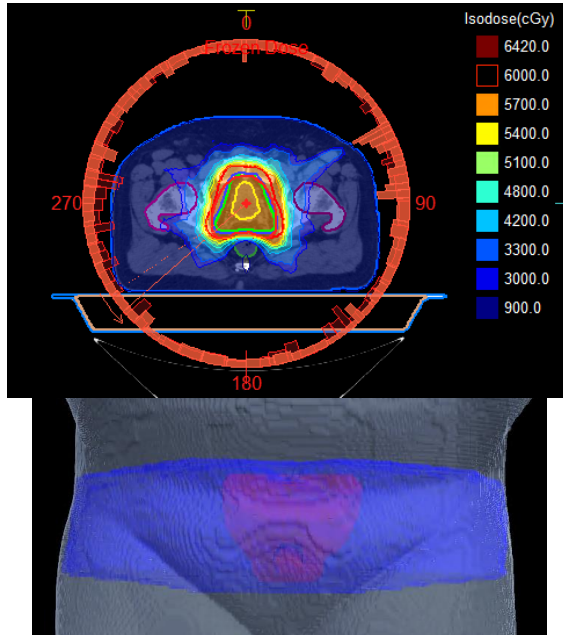


Fx 3

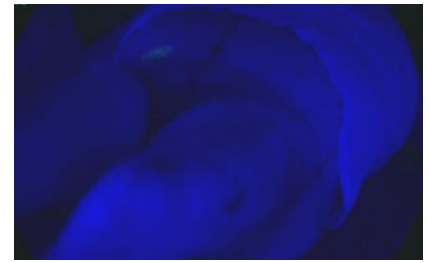


Patientenbeispiel: Prostata Ca.

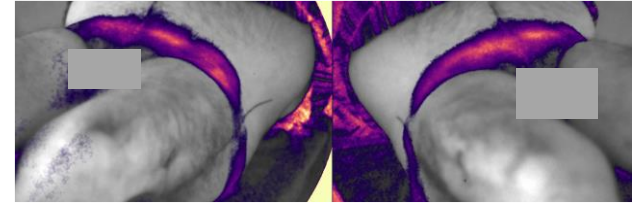
- Prostata Bestrahlung
- 60 Gy in 30fx, 2 VMAT Rotationen mit 10MV



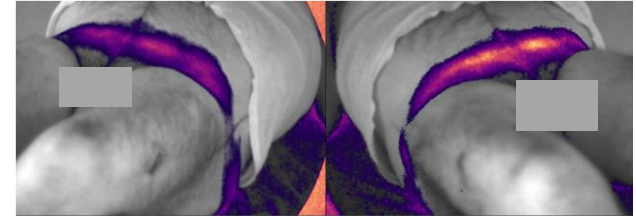
15% der Verschreibungsdosis



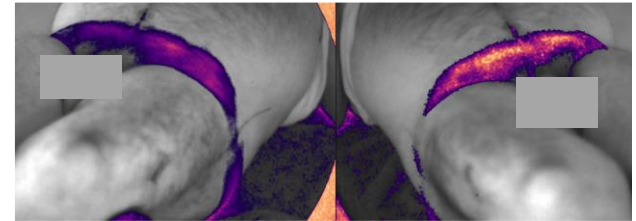
Fx 1



Fx 2

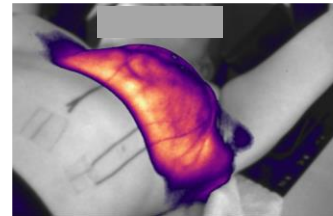
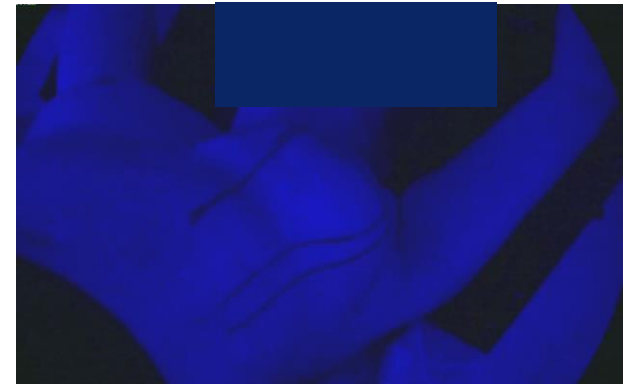


Fx 3

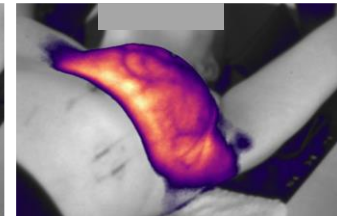


Patientenbeispiel: Mamma Ca.

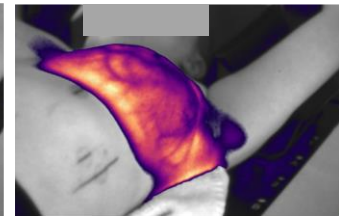
- Brust Bestrahlung inkl. LAW und IMA
- 50.4 Gy in 28fx, 2 Teil-VMAT Rotationen
- DIBH mit Real time Coach
- Sehr gute geometrische Übereinstimmung (DIBH)
- Erwartet Dosis/Cherenkov Signal in kontra-lateraler Brust und Axilla.



Fx 1



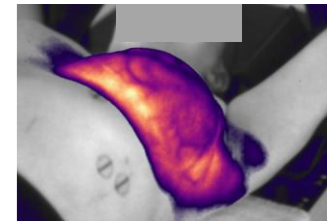
Fx 2



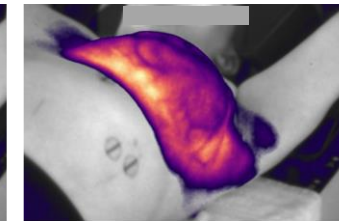
Fx 3



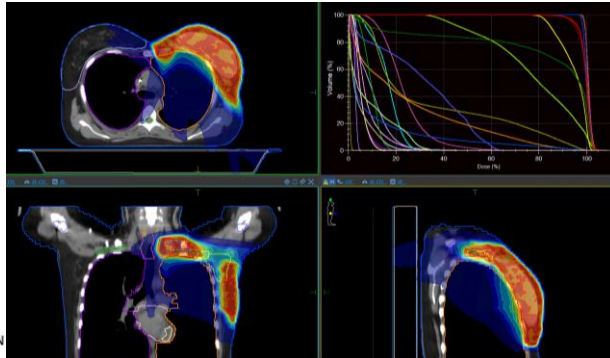
Fx 4



Fx 5

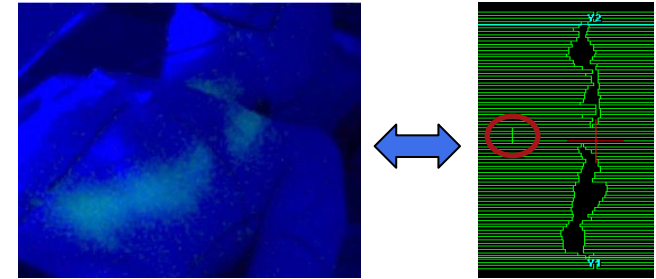


Fx 6

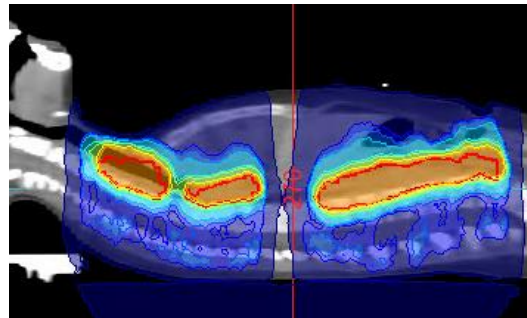


Klinische Erfahrungen: Überprüfung der Bestrahlungsplanung

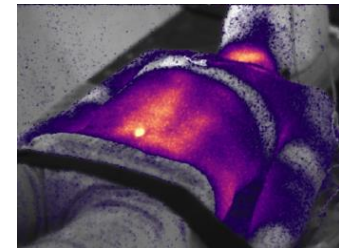
- VMAT Boost der Wirbelsäule bei einem Kind (2 Zielvolumen)
- Normaler Vorgang: 1te Rotation auf kran. ZV + 2te Rotation auf caud. ZV wegen Vermeidung des dosimetrischen Leaf-Gap.
- In diesem Fall: 2 Rotationen auf beiden ZV.
- Die Überprüfung im Planungssystem und der Cherenkov-Bildgebung zeigte keine signifikante Dosis oder C-Signal im Bereich des Leaf-Gap.



Cherenkov-Signal und entsprechendes Segment mit Leaf-Gap



Dosisverteilung



Kumuliertes Cherenkov-Bild

Zusammenfassung

- DoseRT ermöglicht die Überwachung und Erfassung der verabreichten Dosis auf der Patientenoberfläche in Echtzeit
- MT-R können Probleme bei der Bestrahlung in Echtzeit erkennen und die Bestrahlung unterbrechen.
- Überprüfbare Qualität: Radioonkologen und MPE können jede applizierte Fraktion retrospektiv überprüfen.



Ausblick

- Risikomanagement (Cherenkov Behandlungsprotokoll jeder Fraktion)
 - Erkennung von potenziellen, künftigen Hautreaktionen
- Visualisierung von intra-fraktionellen Unterschieden (MLC-Positionen der RT-Pläne vs. Echtzeit Cherenkov Strahlung) und intra-fraktionelle Patientenbewegung
- Visualisierung von inter-fraktionellen Unterschieden (→ mögliche Kompensation vor Ende der Strahlentherapie)
- Dosimetrie (Linac QA, IMRT QA, Klein-Feld-Dosimetrie)

A scenic view of a city at sunset. In the foreground, a brick building with a balcony is visible on the left. A tall, slender tower with a circular observation deck stands prominently in the mid-ground. The background features a body of water reflecting the vibrant orange and pink hues of the sky. Bare trees line the shore, and distant city buildings are visible on the horizon. The overall atmosphere is peaceful and picturesque.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!