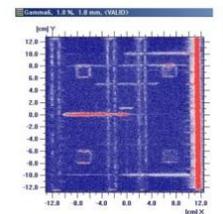
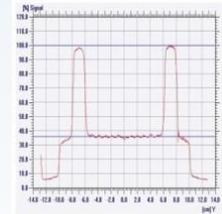
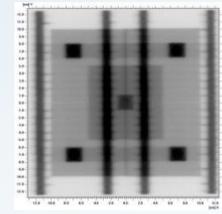
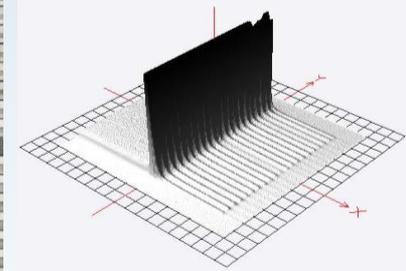
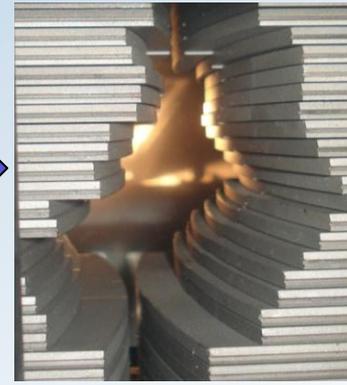
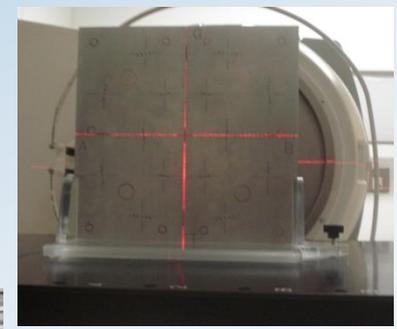
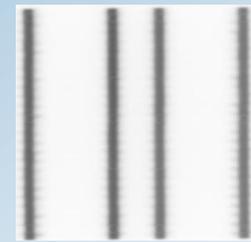
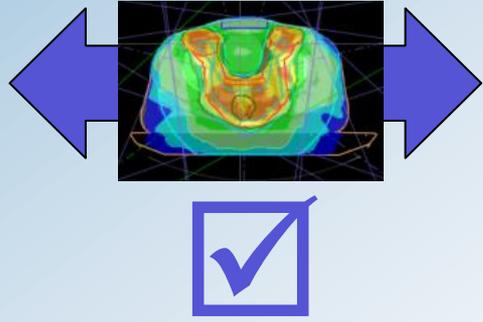
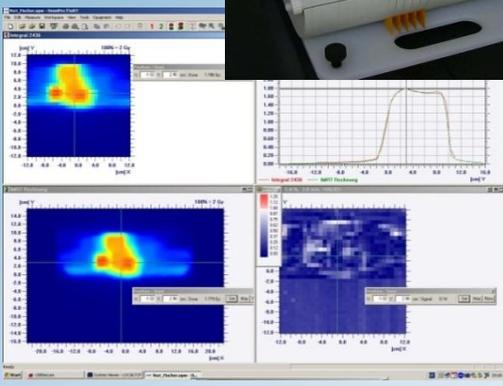
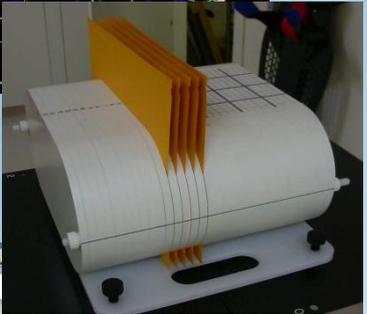
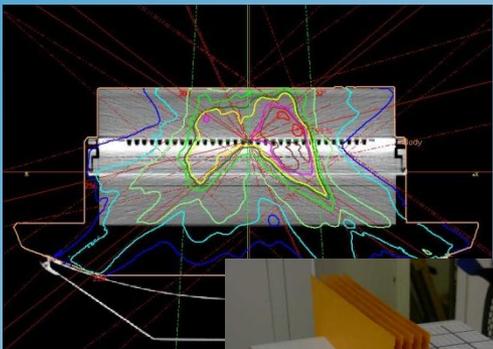


patientenplanbezogene vs. maschinenbezogene
Qualitätssicherungskonzepte für die IMRT

von Daniel Hummel





patientenplanbezogene vs. maschinenbezogene QS

Ist es nach der Einführungsphase der IMRT und der Erfahrung mit einigen 100 IMRT-Planverifikationen immer noch notwendig, jeden einzelnen Patientenplan dosimetrisch zu verifizieren?

Oder kann ein Maschinenbezogenes Qualitätssicherungskonzept die selbe (oder höhere) Patientensicherheit bieten und dabei vielleicht sogar effizienter sein?



Wie muss ein solches maschinenbezogenes QS-Konzept aussehen?



Welche zusätzlichen QS-Maßnahmen sind notwendig?



Welche Toleranzen sind zulässig, um dieselbe Dosisgenauigkeit zu erreichen?



Ab welchen Patientenzahlen ist ein solches QS-Konzept effizienter?



Empfehlungen der DIN 6875-3

7 Patientenbezogene Qualitätssicherung

7.1 Allgemeines

Der patientenbezogenen Qualitätssicherung kommt bei Einsatz der FLUENZMODULIERTEN STRAHLENTHERAPIE aufgrund der Komplexität des Verfahrens und dem hohen Konformationsgrad eine große Bedeutung zu. Alle nachfolgend beschriebenen Qualitätssicherungsverfahren sind deshalb im Rahmen eines klinikinternen QUALITÄTSMANAGEMENTSYSTEMS nach DIN 6870-1 im Einzelnen einschließlich der Toleranzschwellen festzulegen. Das QUALITÄTSMANAGEMENTSYSTEM muss auch Angaben zur Erstellung des PATIENTEN-ANATOMIE-MODELLS enthalten, z. B. die Festlegung der Schichtdicke des Planungs-CTs.

Abhängig von der Art der Prüfung eines individuellen BESTRAHLUNGSPLANS (siehe 7.2 bzw. 7.3) müssen im QUALITÄTSMANAGEMENTSYSTEM auch Art und Umfang der KONSTANZPRÜFUNGEN der KENNMERKMALE der LAMELLENBLENDE bzw. der KENNMERKMALE der Kompensatorherstellung geregelt werden.

7.2 Dosimetrische Prüfung des BESTRAHLUNGSPLANS

7.2.1 Allgemeines

Aufgrund der Komplexität von FLUENZMODULIERTEN STRAHLENFELDERN kann die individuelle dosimetrische Prüfung von Bestrahlungsplänen notwendig sein, insbesondere auch deshalb, weil eine zu konventionellen Strahlentherapiemethoden vergleichbare Plausibilitätsprüfung der berechneten DOSISMONITORWERTE oft nicht möglich ist. Diese Entscheidung – auch über die anzuwendende Methode (siehe 7.2.2 bzw. 7.2.3) – ist im klinikinternen QUALITÄTSMANAGEMENTSYSTEM festzulegen.

Wird eine dosimetrische Prüfung des BESTRAHLUNGSPLANS nicht durchgeführt, so ist in jedem Fall eine vom BESTRAHLUNGSPLANUNGSSYSTEM unabhängige rechnerische Prüfung der DOSISMONITORWERTE jedes FLUENZMODULIERTEN STRAHLENFELDES nach 7.3 durchzuführen.

ANMERKUNG 1 Eine dosimetrische Prüfung wird empfohlen, wenn die FLUENZMODULIERTE STRAHLENTHERAPIE neu in die klinische Routine eingeführt wird, sowie bei einer Erweiterung ihres medizinischen Einsatzspektrums oder wesentlicher Änderungen der eingesetzten Hard- und Software.



Stand der IMRT-QS in Deutschland (Ergebnisse der Umfrage 2011)

Dosimetrische Planverifikation jedes Patientenplans ist üblich (10/13)

Verifikationsmethode: Gesamtplan unter echten Gantrywinkeln (7/13)

Gamma-Kriterien $\Delta D = 3\%$, $\Delta d = 3\text{mm}$ ist quasi Standard

Fast immer einige Messpunkte mit $\gamma > 1$ (0-3%: n=4, 3-5%: 3, 5-10%: 4)

Interventionsschwellen sehr heterogen (> 98% bis > 85%),

häufig subjektive Kriterien, selten schriftlich im QM-System definiert

Überschreitung der Interaktionsschwellen (Plan Fail-Quote): 1-10%

Zeitbedarf pro Planverifikation: 20-360 min (\emptyset 87 min)



Stand der IMRT-QS in Deutschland (Ergebnisse der Umfrage 2011)

Rechnerische Prüfung bisher nur von Wenigen verwendet (3/13)

Nur diese verzichten ganz oder teilweise auf Patientenplan-Verifikation

Zeitbedarf rechnerische Prüfung: 10-60 min

Prüfhäufigkeiten der Kennmerkmale DIN 6875-3 sehr unterschiedlich

Zeitbedarf konventionelle QS pro LINAC/Woche: \varnothing 108 min (25-430 min)

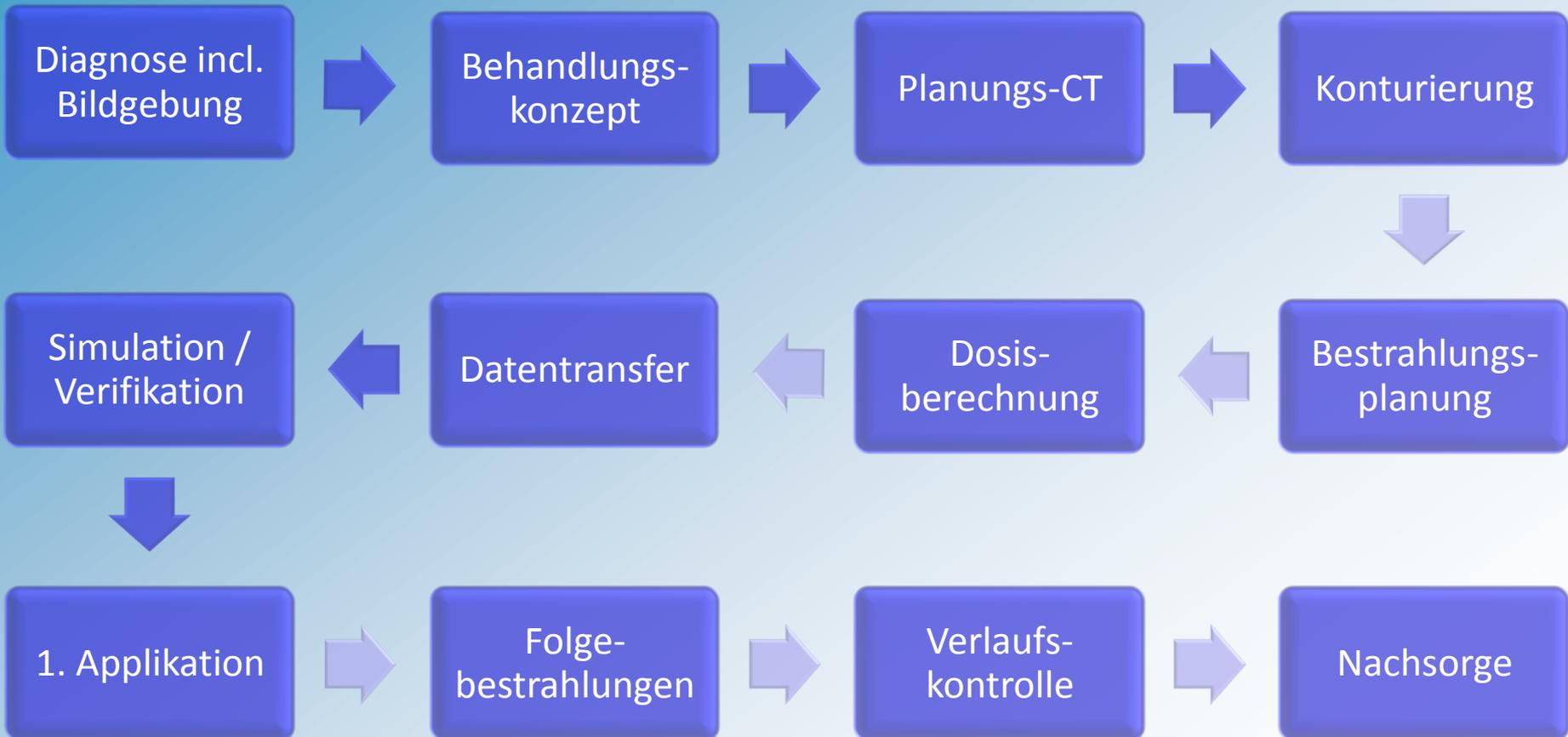
Zeitbedarf zusätzliche QS für IMRT \varnothing 51min (10-120 min)

DIN 6875-4 bisher kaum umgesetzt



Patientenplan-Verifikation

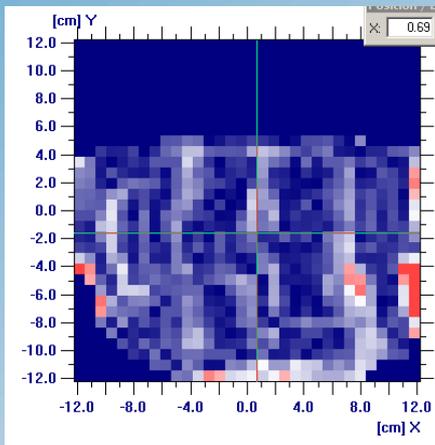
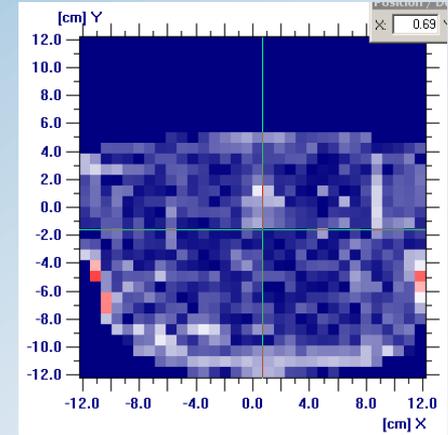
Was wird dabei geprüft?



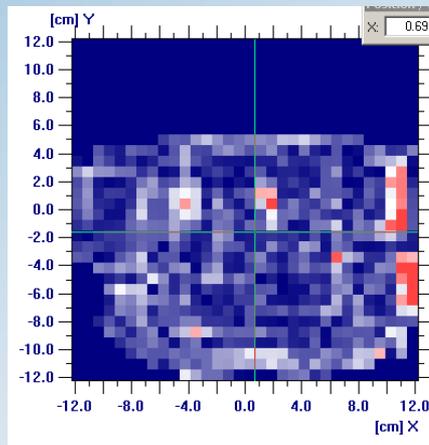


Erreichbare Genauigkeit

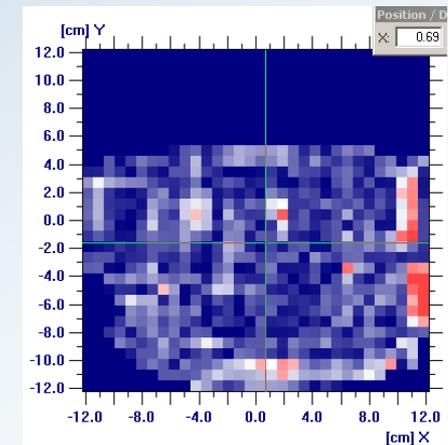
Bei der Gesamtplanverifikation mit MatriXX Evolution im RW3-Plattenphantom unter Korrektur der Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens für einen typischen IMRT-Plan mit 7 Einstrahlwinkeln und 60 Segmenten:



Blenden +2 mm



Leafs -2 mm



Blenden +2 mm,
Leafs -2 mm



Zusammenfassung Patientenplan-Verifikation



Die Gesamtdosisverteilung (im Phantom) wird direkt verifiziert



(Bestrahlungsplanung), Dosisberechnung, Datentransfer und Strahlungsapplikation in einer Messung überprüfbar



Gamma-Methode mit 3% und 3 mm sinnvoll, aber Kriterien nicht immer erfüllbar



MLC- und Blenden-Positionierungsungenauigkeiten erst ab ca. 2mm detektierbar



Sich gegenseitig kompensierende Fehler bleiben evtl. unentdeckt



Ursachenforschung im Falle von Abweichungen schwierig und aufwändig



Bei großen IMRT-Patientenzahlen sehr zeitintensiv



Maschinenbezogene QS

(Mindestens) folgende Komponenten der Behandlungskette müssen einzeln geprüft werden:



Bestrahlungsplanung (incl. Planungs-CT, Konturierung, physikalisch-technische Bestrahlungsplanung)



Dosisberechnung



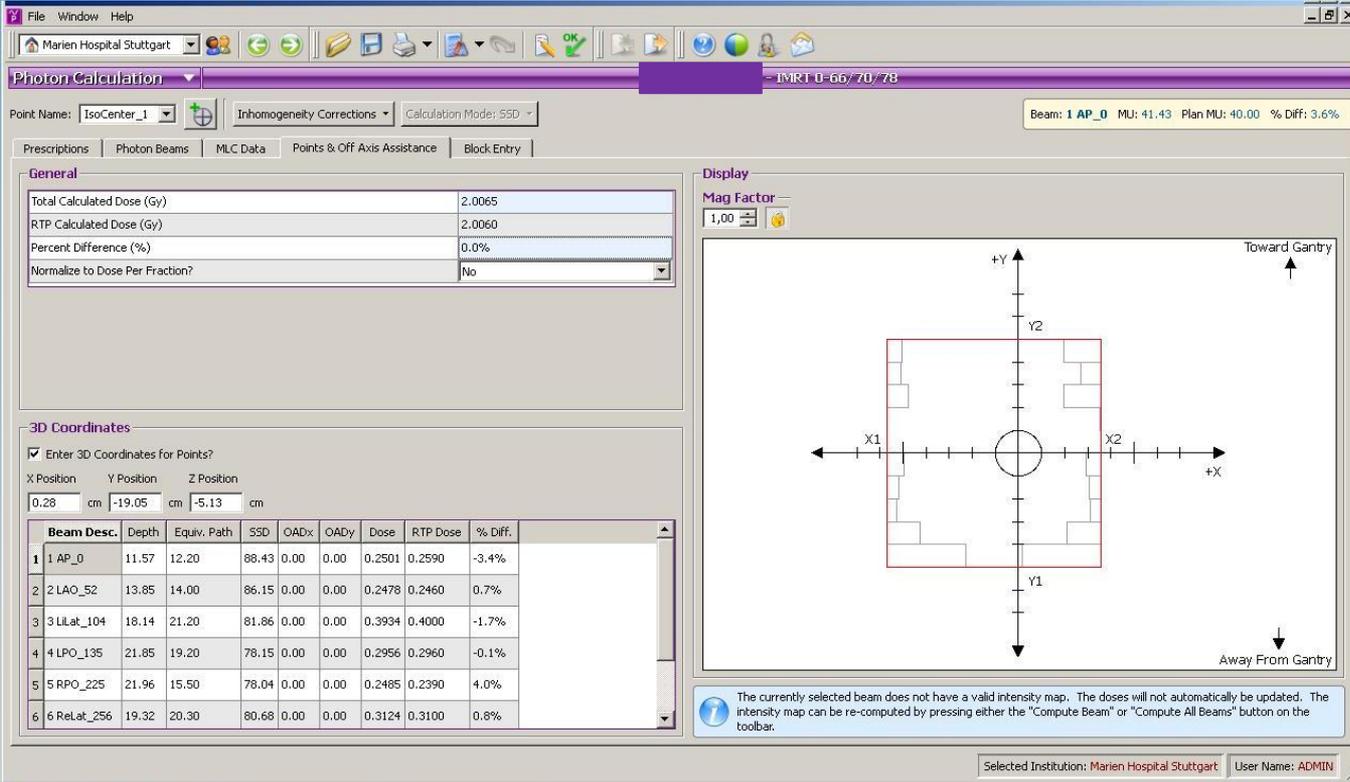
Datentransfer der Bestrahlungsparameter



Strahlungsapplikation (Maschinenparameter)



Rechnerische Verifikation der MU



Photon Calculation - IRT 0-66/70/78

Point Name: IsoCenter_1 Inhomogeneity Corrections Calculation Mode: SSD Beam: 1 AP_0 MU: 41.43 Plan MU: 40.00 % Diff: 3.6%

Prescriptions Photon Beams MLC Data Points & Off Axis Assistance Block Entry

General

Total Calculated Dose (Gy)	2.0065
RTP Calculated Dose (Gy)	2.0060
Percent Difference (%)	0.0%
Normalize to Dose Per Fraction?	No

3D Coordinates

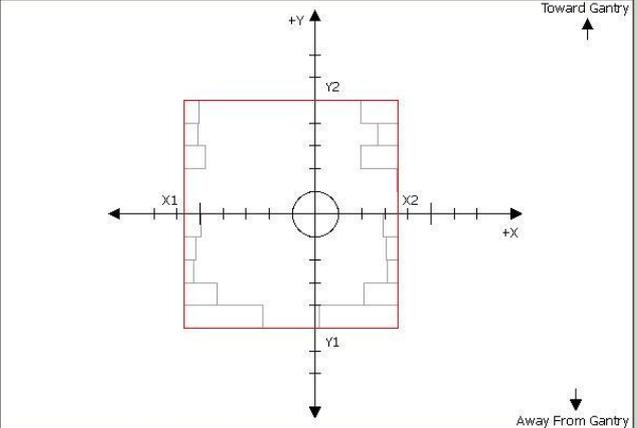
Enter 3D Coordinates for Points?

X Position: 0.28 cm Y Position: -19.05 cm Z Position: -5.13 cm

Beam Desc.	Depth	Equiv. Path	SSD	OADx	OADy	Dose	RTP Dose	% Diff.
1 AP_0	11.57	12.20	88.43	0.00	0.00	0.2501	0.2590	-3.4%
2 LAO_52	13.85	14.00	86.15	0.00	0.00	0.2478	0.2460	0.7%
3 LILat_104	18.14	21.20	81.86	0.00	0.00	0.3934	0.4000	-1.7%
4 LPO_135	21.85	19.20	78.15	0.00	0.00	0.2956	0.2960	-0.1%
5 RP0_225	21.96	15.50	78.04	0.00	0.00	0.2465	0.2390	4.0%
6 ReLat_256	19.32	20.30	80.68	0.00	0.00	0.3124	0.3100	0.8%

Display

Mag Factor: 1.00



The currently selected beam does not have a valid intensity map. The doses will not automatically be updated. The intensity map can be re-computed by pressing either the "Compute Beam" or "Compute All Beams" button on the toolbar.

Selected Institution: Marien Hospital Stuttgart User Name: ADMIN

RadCalc: kommerziell erhältliches, unabhängiges Dosisberechnungsprogramm mit eigenem Basisdatensatz. Import der Plandaten und Neuberechnung der Dosis ohne CT-basierte Elektronendichten, stattdessen Berücksichtigung von Dichteinhomogenitäten durch eine Korrektur unter Verwendung der wasseräquivalenten Tiefen aus dem Bestrahlungsplan



Datentransfer

Kontrolle schwierig, da eine Vielzahl von Parametern (MLC- und Blendenpositionen bzw. -geschwindigkeiten, Monitorwerte, Dosisleistungswerte usw.) übertragen werden. Folgende Möglichkeiten sind denkbar:



Manuelle Prüfung aller Parameter, z.B. durch visuelle Kontrolle aller Segmente bzw. Kontrollpunkte



Kontrolle der Fluenzen der Strahlungsfelder vor oder während der ersten Patientenbestrahlung mit EPID



Re-Export des an die LINAC-Steuerung übertragenen Datensatzes zurück in das TPS und Abgleich dort



oder hat jemand noch eine andere gute Idee???



Konstanzprüfung der LINAC/MLC- Kennmerkmale gem. DIN 6875-4

Kennmerkmal	Prüfhäufigkeit
Stabilität des Dosismonitorsystems kleiner Dosismonitorwerte	Monatlich
Konstanz der Dosisquerverteilung bei kleiner Dosismonitorvorwahl	Jährlich
Konstanz der Tiefendosisverteilung bei kleiner Dosismonitorvorwahl	Jährlich
Transmission	Jährlich
Lamellenpositioniergenauigkeit	Monatlich
Übereinstimmung der Nennfeldgröße mit der dosimetrischen Feldgröße	Halbjährlich
Geschwindigkeit der Lamellen	Monatlich bei 0° Gantrywinkel, Jährlich bei Gantrywinkel 90° und Kollimatorwinkeln 0° und 90° sowie bei Gantry- und Kollimatorwinkel 180°
Geschwindigkeitsänderung der Lamellen	Monatlich

Bei Verzicht auf komplette Patientenplan-Verifikation sind diese Prüfintervalle sicherlich zu groß!



Umsetzung maschinenbezogenes QS-Konzept

Erweiterte QS-Maßnahmen am LINAC:



Tägliche Prüfung der IMRT-relevanten geometrischen LINAC-Kennmerkmale (MLC, Blenden) mittels EPID



Erweiterte wöchentliche Absolutdosimetrie-QS
(Dosisproportionalität sowie Dosisquerprofile bei kleinen Dosismonitorwerten)



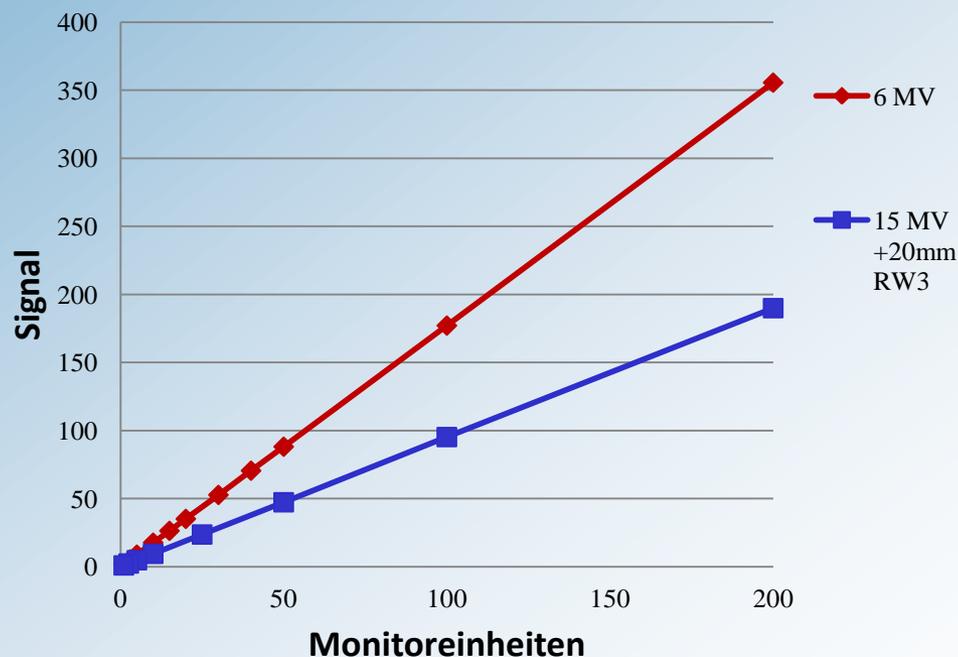
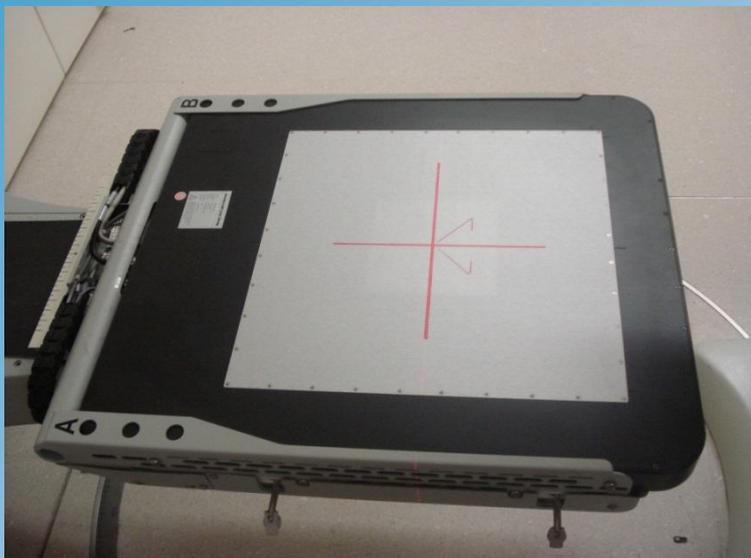
Wöchentliche dosimetrische Verifikation eines Standard-IMRT-Plans sowie eines Stichproben-Patientenplans



Regelmäßige (Re-) Kalibrierung von MLC und Blenden
(vierteljährlich oder bei Bedarf)



Elektronische Portal-Imaging-Systeme

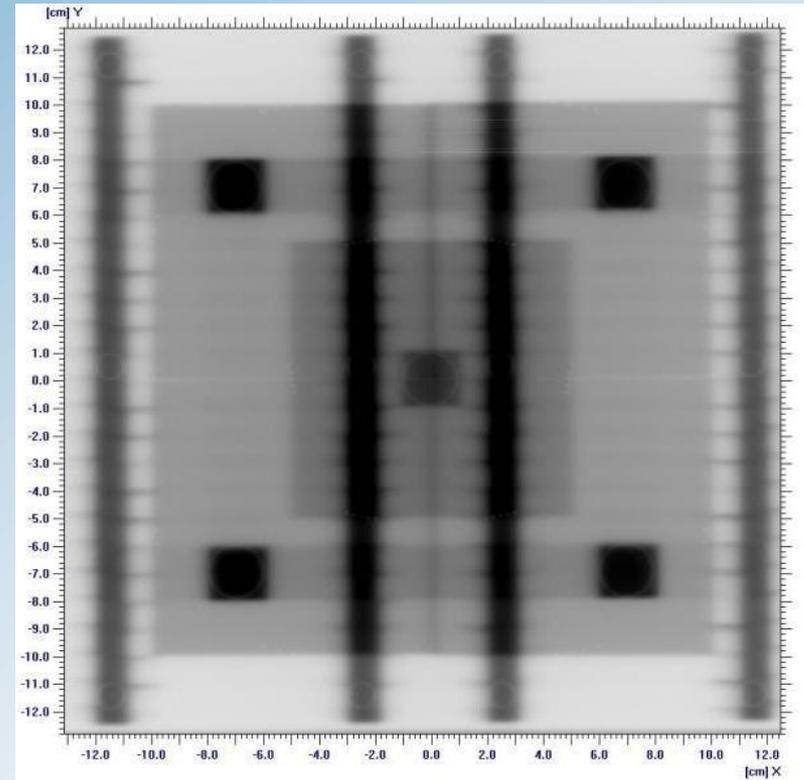
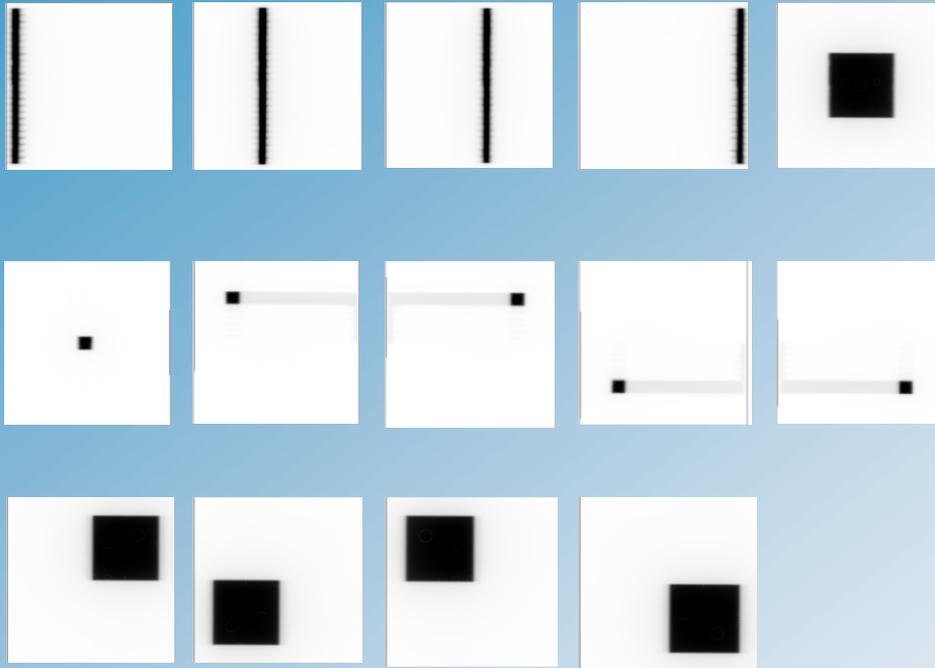


Zur **Absolutdosimetrie** müssen zahlreiche Effekte wie Feldgrößen- und Energieabhängigkeit, Ghosting, Temperatureinflüsse, Rückstreuung aus dem Tragarm usw. berücksichtigt werden.

Für **Relativedosimetrie** sind lediglich **Langzeitstabilität** und **Dosislinearität** erforderlich. Nach Multi-Level-Gain-Kalibrierung ist die Linearität zwischen Signal und Dosis bis in den Bereich von kleinsten Dosen (1MU) gegeben.



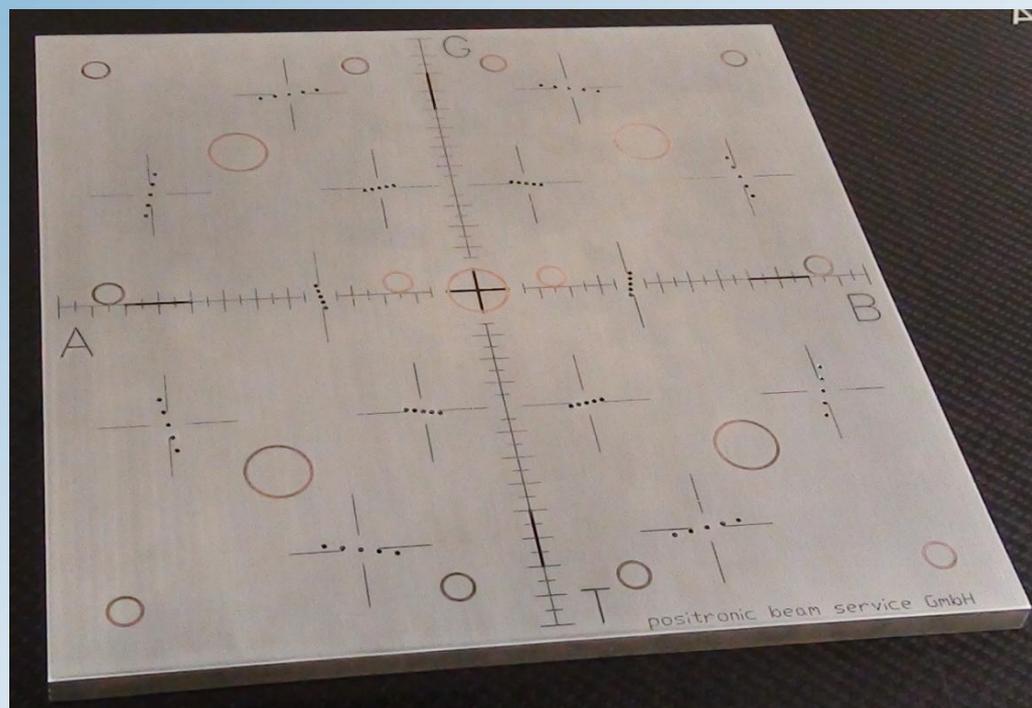
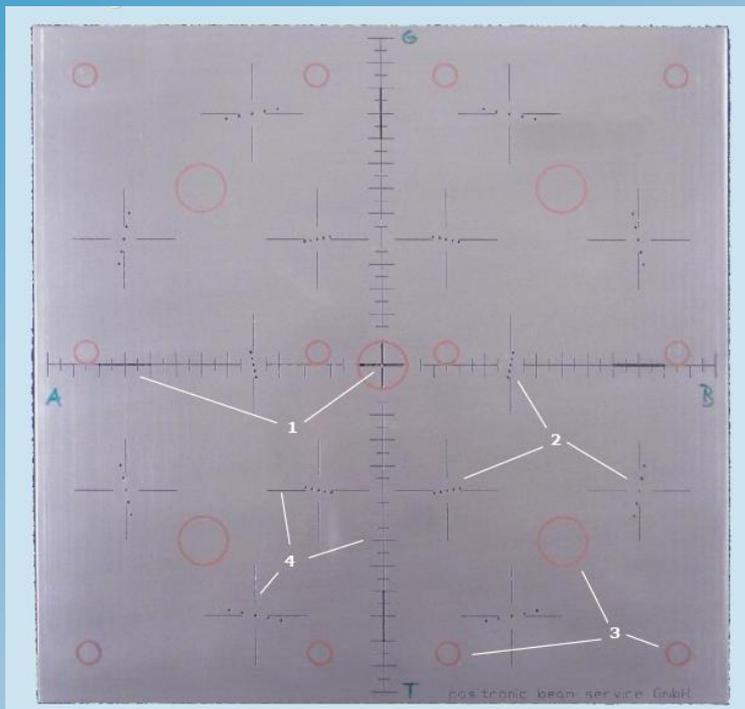
Tagescheck-Testsequenz



Step&Shoot-Sequenz mit 14 IMRT-Segmenten. Diese wird mit 6MV Photonenstrahlung innerhalb von 2:30 min abgestrahlt, die Fluenzverteilung mit einem EPID gemessen. Alle 14 Segmente werden in gemeinsam in einer einzigen Aufnahme dargestellt und ausgewertet.



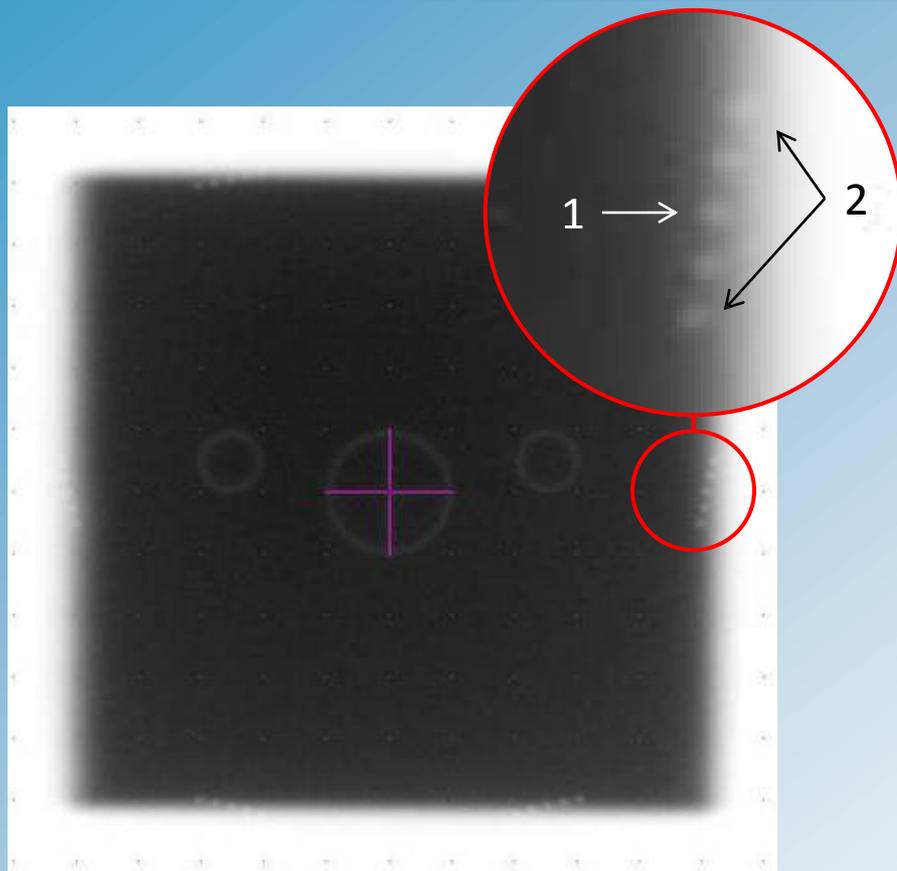
Tagescheck-Testplatte



Eine Testplatte mit eingesetzten Wolframstiften (1,2) und Kupferhülsen (3), welche in der MV-Aufnahme deutlich sichtbar sind, liefert die absolute geometrische Referenz. Eingefräste Markierungen (4) dienen zur Kontrolle des Lichtfeldes.



Tagescheck - visuelle Auswertung



Lichtfeld-Strahlfeld-Übereinstimmung

mittlerer Wolframstift (1) definiert die Sollposition, die äußeren Stifte (2) die zulässige Toleranz

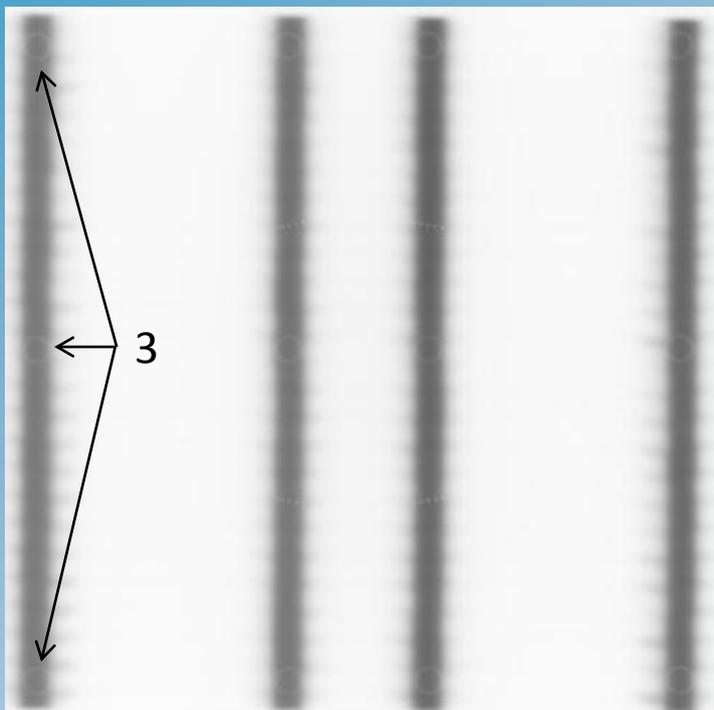


Blenden-Positioniergenauigkeit

angesetzte asymmetrische Viertelfelder zur Prüfung der zentralen und exzentrischen Blendenpositionen

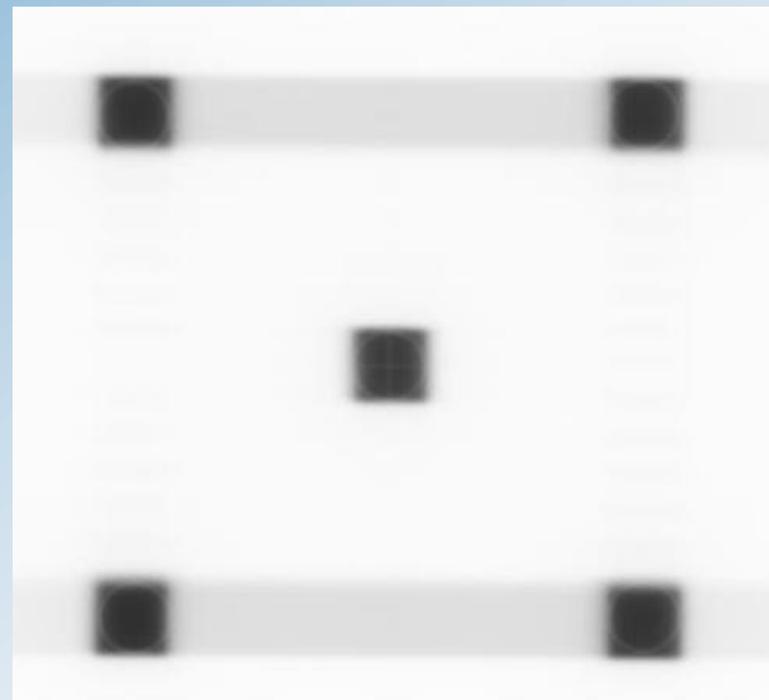


Tagescheck - visuelle Auswertung



Lamellen-Positioniergenauigkeit

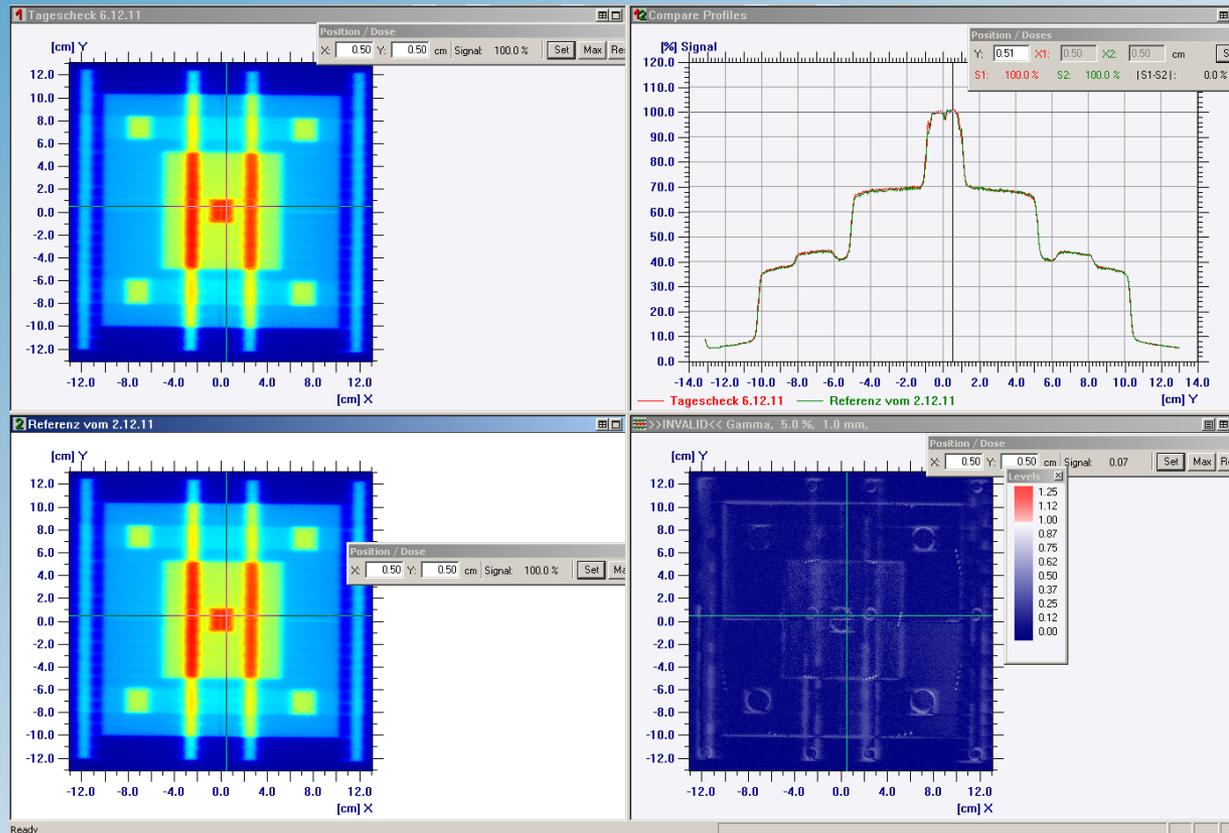
Kupferhülsen (3) definieren die Sollposition für Leafs Nr. 9, 20 und 32 an vier Positionen. Prüfung der Leafs 10-31 anhand gedachter Linien zwischen den Kupferhülsen.



Übereinstimmung der dosimetrischen Feldgröße mit der Nennfeldgröße für die kleinste verwendete Segmentgröße (2x2 cm²). Prüfung anhand von Kupferhülsen (4) mit \varnothing 2cm



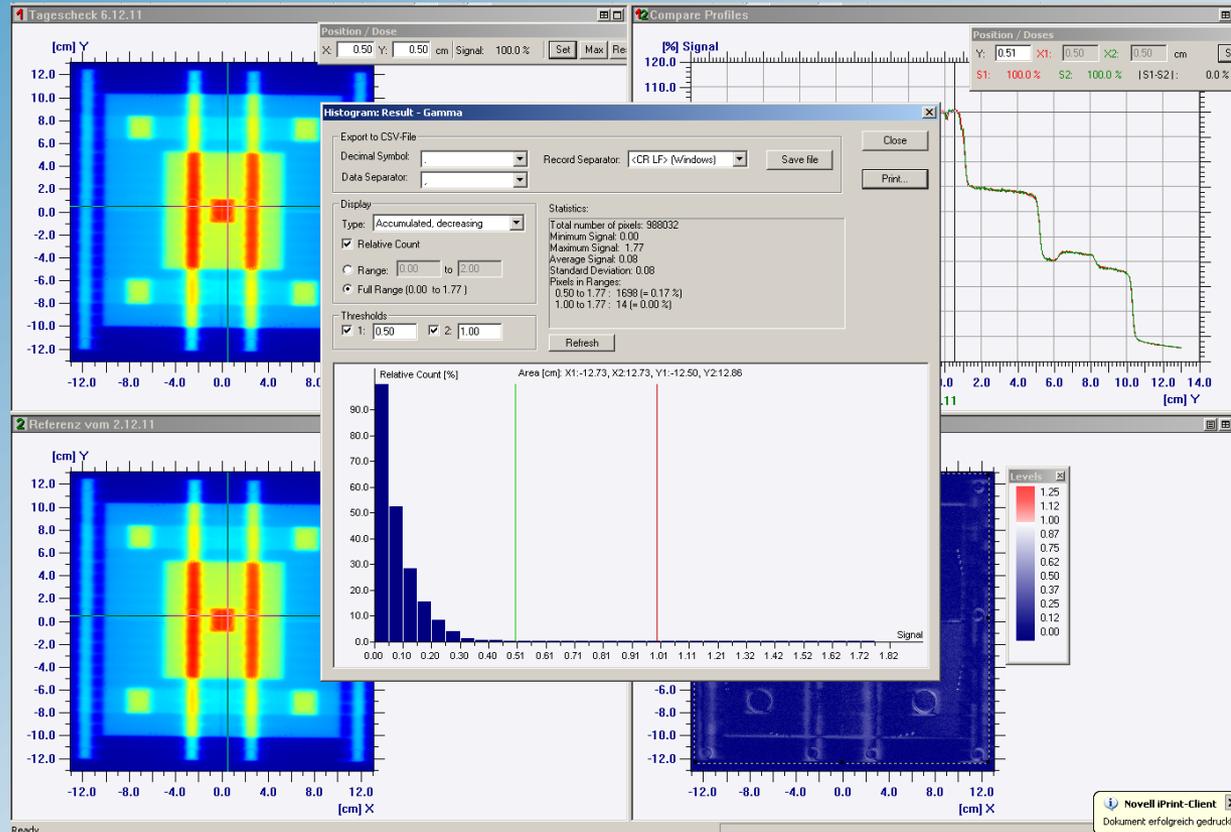
Tagescheck - dosimetrische Analyse



Vergleich einer EPID-Messung mit einer Referenzaufnahme,
Gamma-Index-Analyse mit $\Delta D=5\%$, $\Delta d=1\text{mm}$



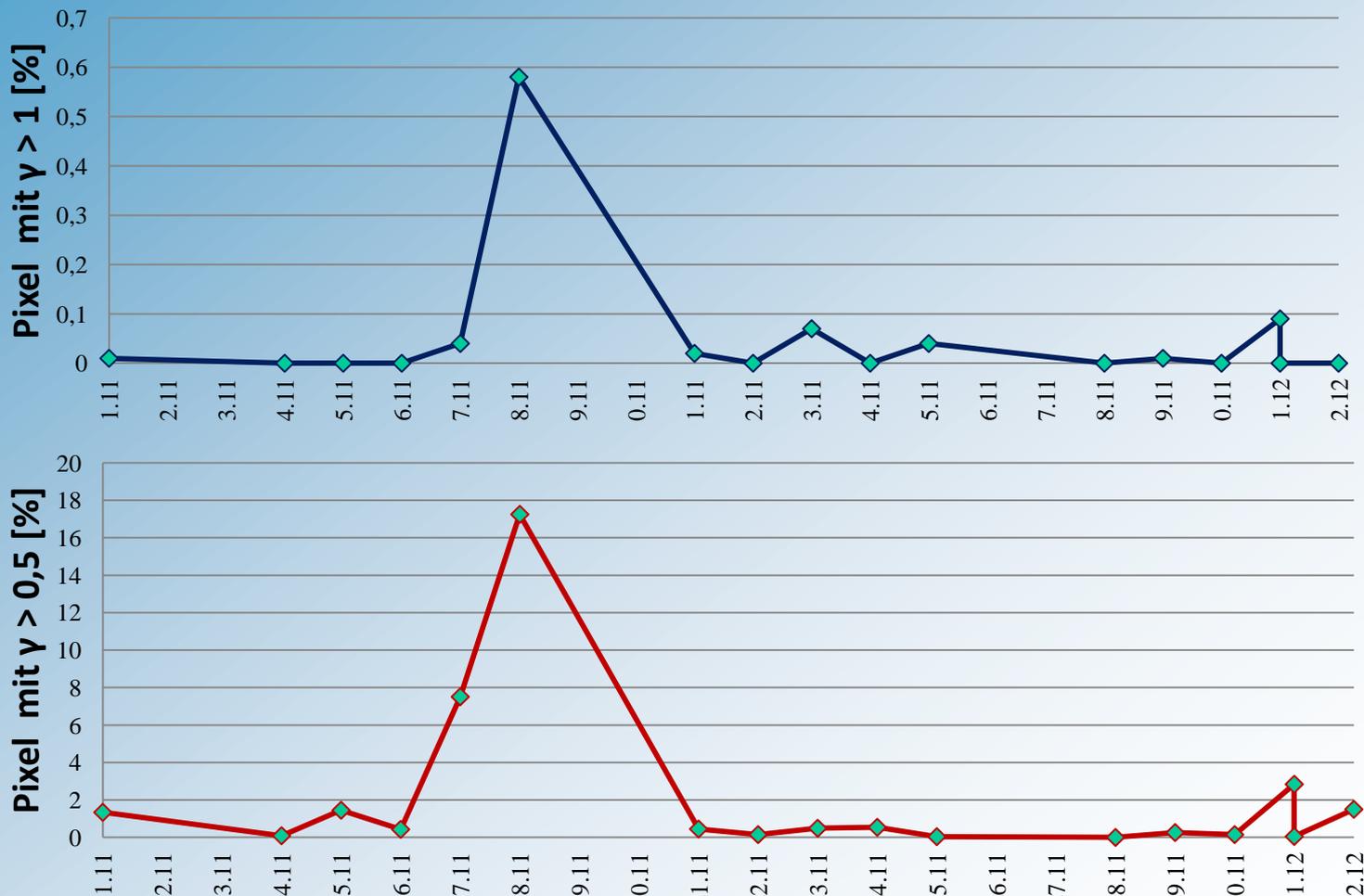
Tagescheck - dosimetrische Analyse



Histogramm mit Thresholds bei 0,5 und 1

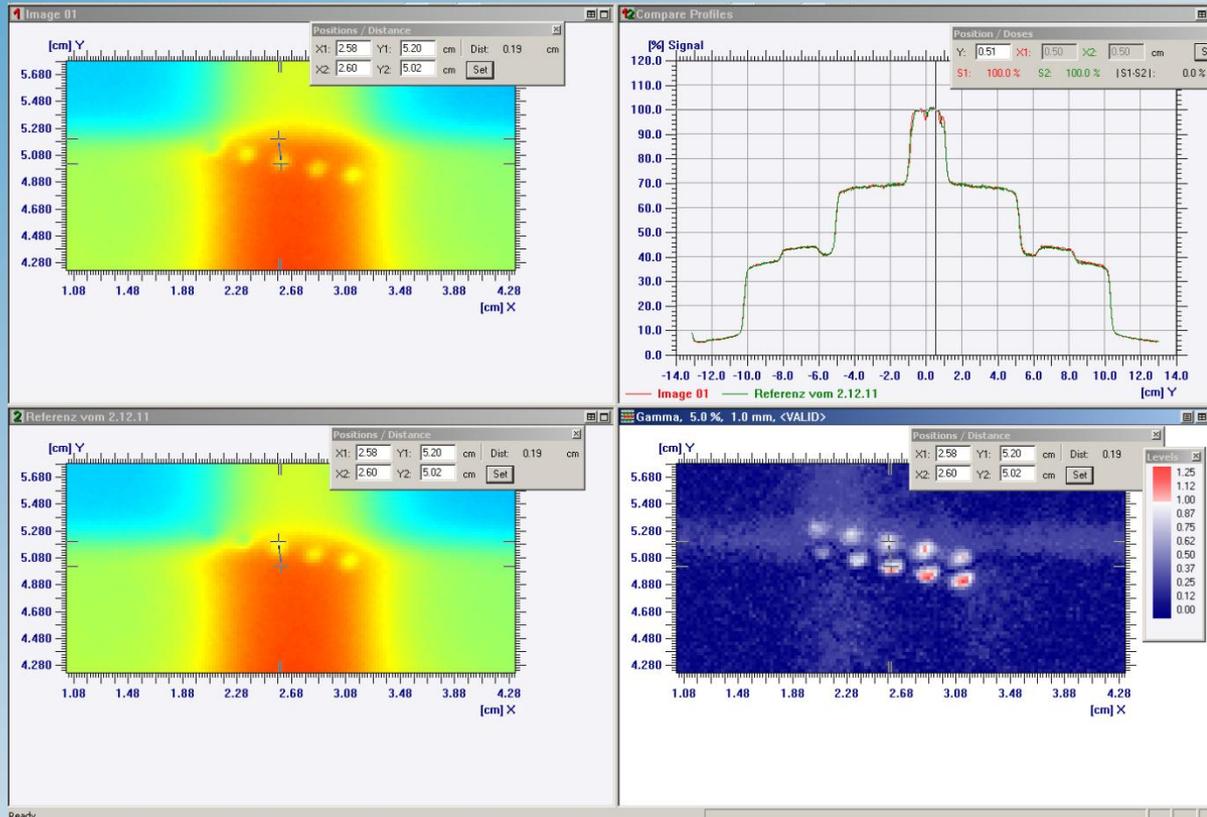


Tagescheck - dosimetrische Analyse





Tagescheck - dosimetrische Analyse



Einige wenige Pixel > 1 bei ungenauer Positionierung der Testplatte

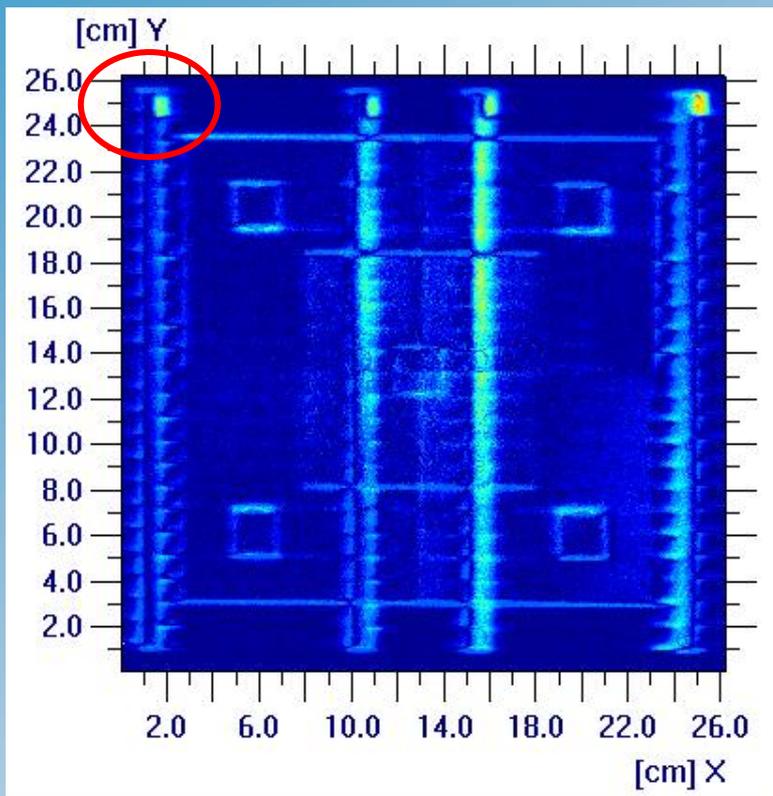


Tagescheck - dosimetrische Analyse

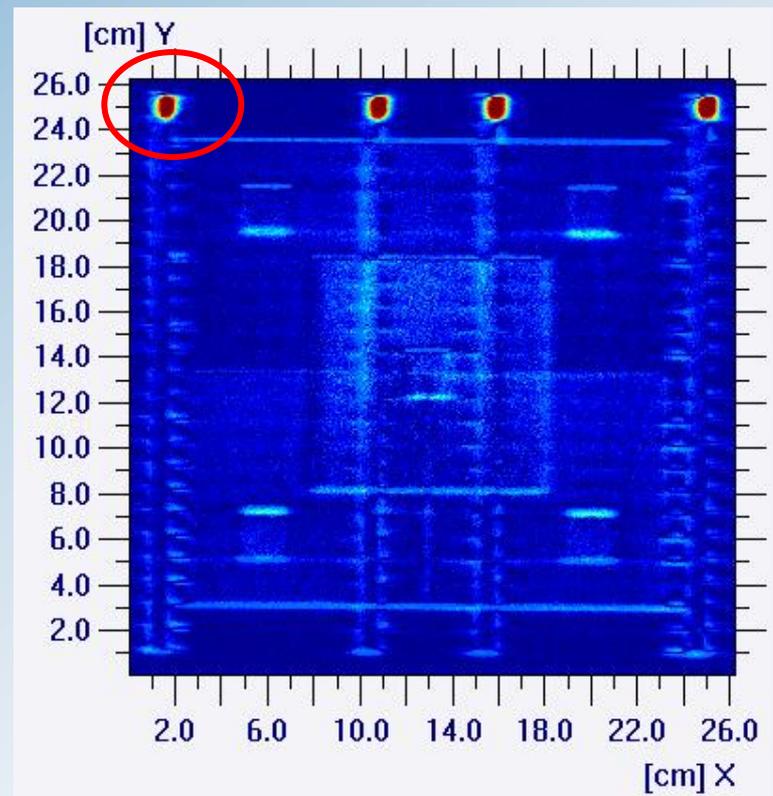




Tagescheck - dosimetrische Analyse



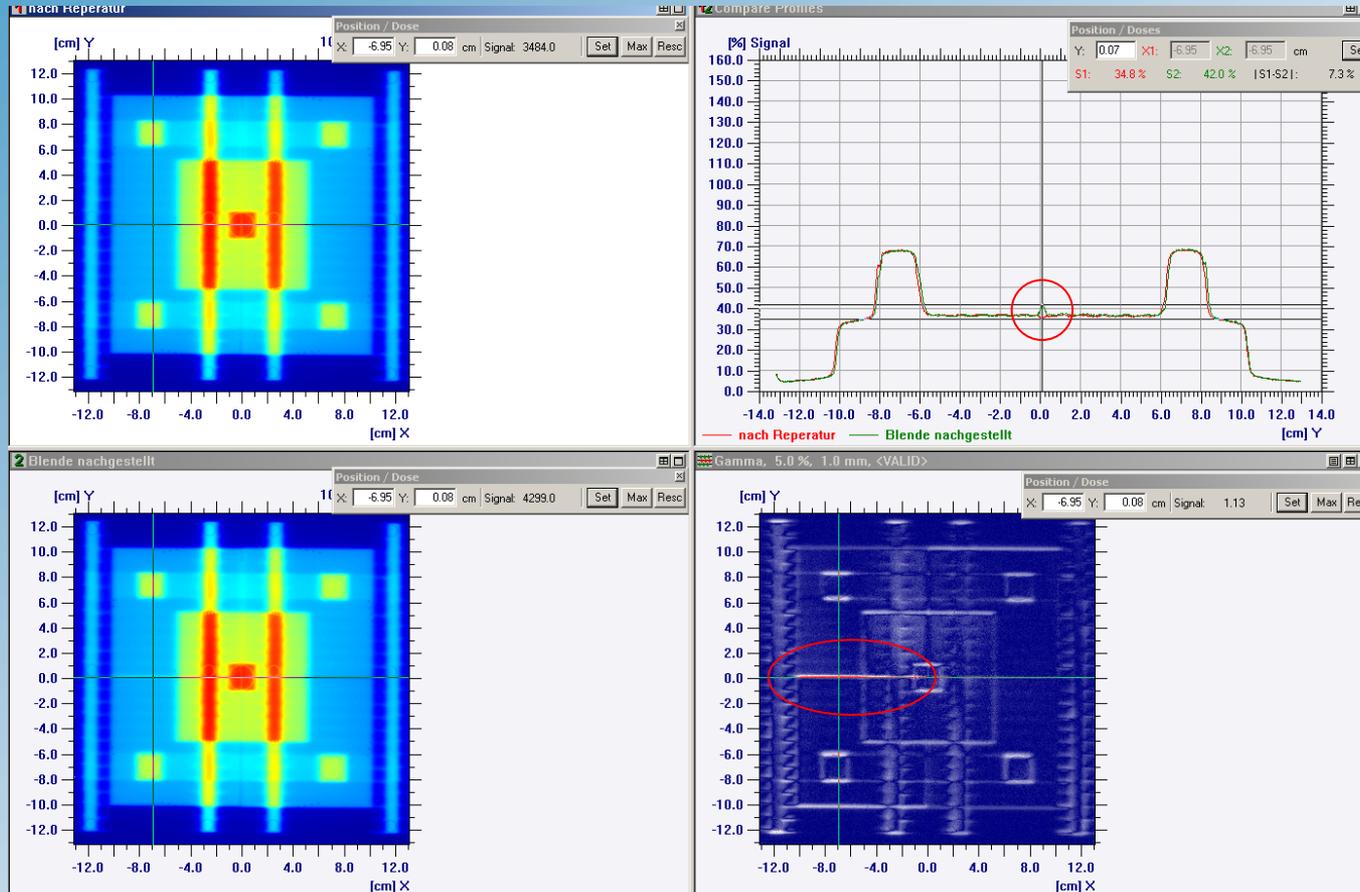
Leaf Nr. 9: Offset 1 mm



Leaf Nr. 9: Offset 2 mm



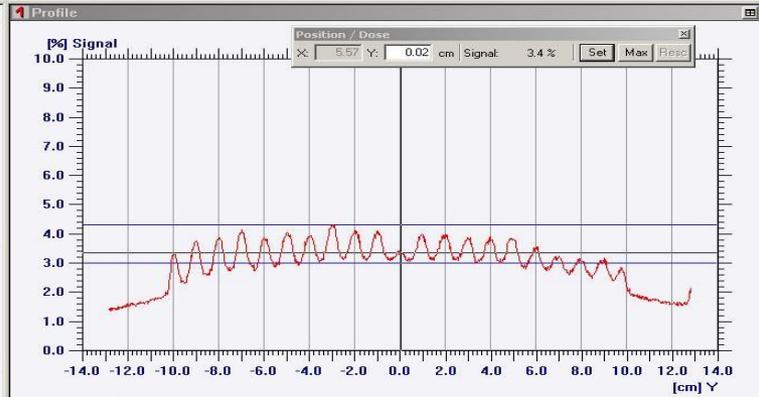
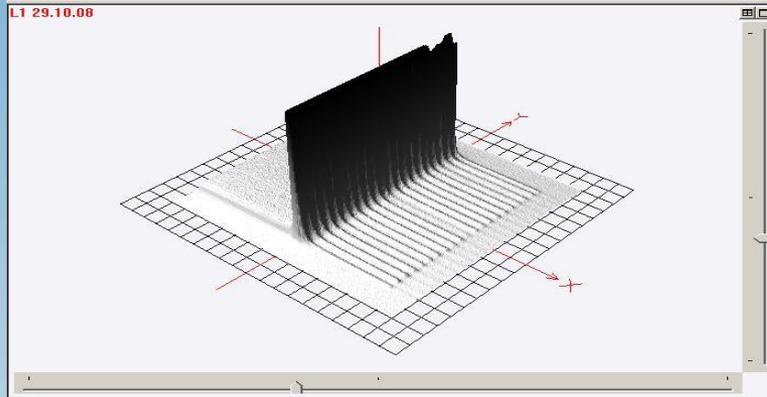
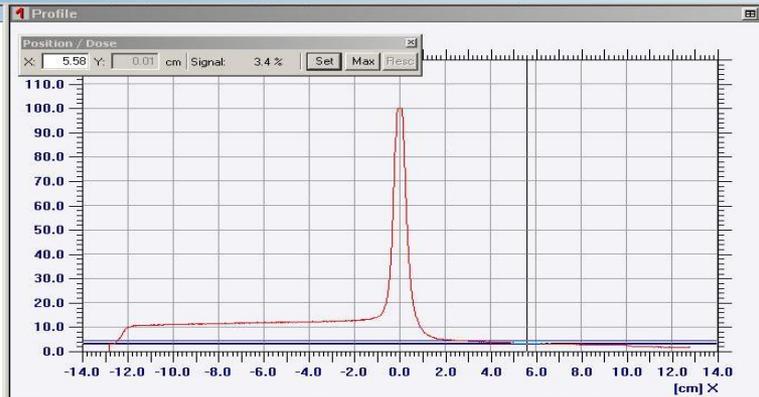
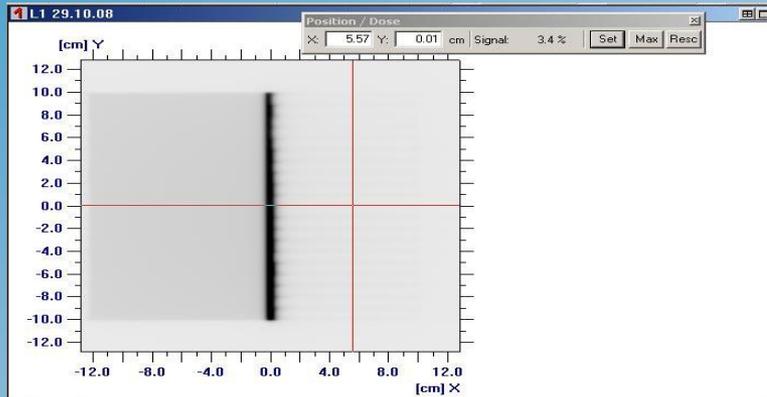
Tagescheck - dosimetrische Analyse



Blende X1 Offset 1mm



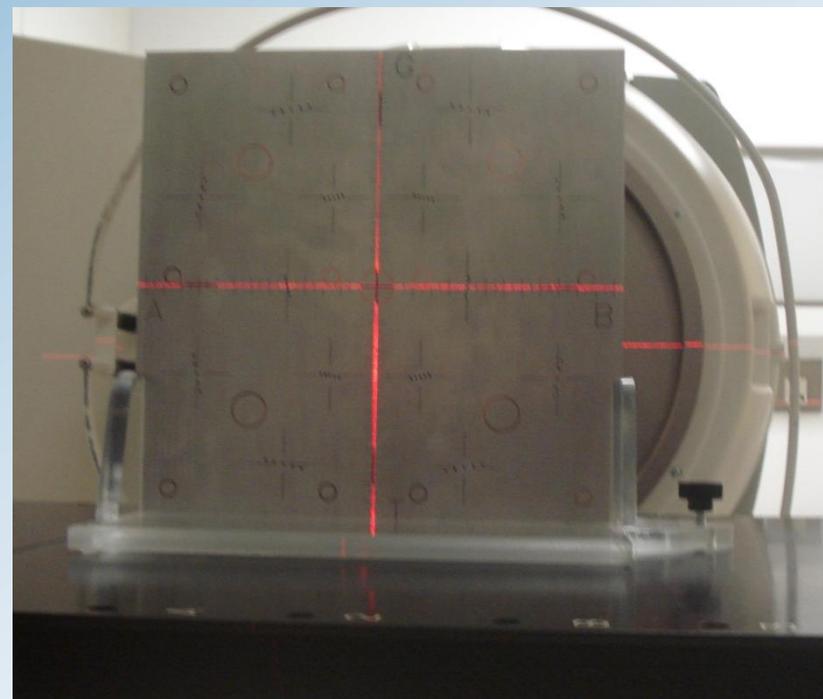
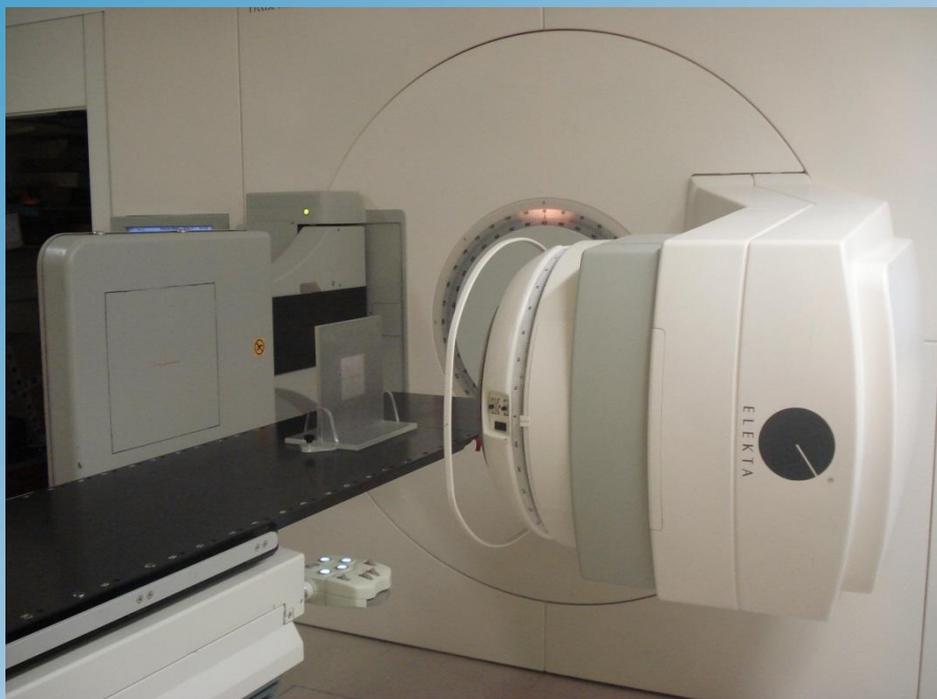
Messung der Transmission



Bestimmung der Intra- und Interleaf-Transmission an jeder Position möglich



Tests unter 90° / 270°



Testplatte im Aufsteller



Zusammenfassung Tagescheck

Es wurde ein Testverfahren entwickelt, mit dem sich innerhalb von 10 Minuten alle IMRT-relevanten Kennmerkmale visuell oder relativdosimetrisch prüfen lassen

Mit diesem Test lassen sich MLC- und Blendenpositionierungsabweichungen von $> 1\text{mm}$ in einem zentralen, $25 \times 25 \text{ cm}^2$ großen Feldbereich sicher detektieren.

Der limitierende Faktor für die erreichbare Genauigkeit ist die auf ca. 1 mm begrenzte Positionierungsgenauigkeit der Messmittel Prüfplatte und EPID-Detektor

Mit den verwendeten Messmitteln und Testsequenzen lassen sich Tests auch unter 90° und 270° Gantrywinkel durchführen



Zeitbedarf

Dosimetrische Patientenplan-Verifikation: (MatriXX Evolution)

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------|
| • Plan-Import und Dosisberechnung im Phantom: | 8 min |
| • Export Dosisverteilung und Import in die Messsoftware: | 4 min |
| • Auf- und Abbau Messsystem incl. Aufwärmzeit und Anschlußkalibrierung: | 25 min |
| • Messung Patientenplan incl. Fluenz-Aufnahmen: | 12 min |
| • Normierung, Auswertung: | 5 min |
| • Druck und Dokumentation: | 2 min |
| • Summe pro Patient: | 56 min |
| • (jeder weitere Patientenplan pro Messtag: | 31 min) |

Rechnerische Prüfung: (RadCalc)

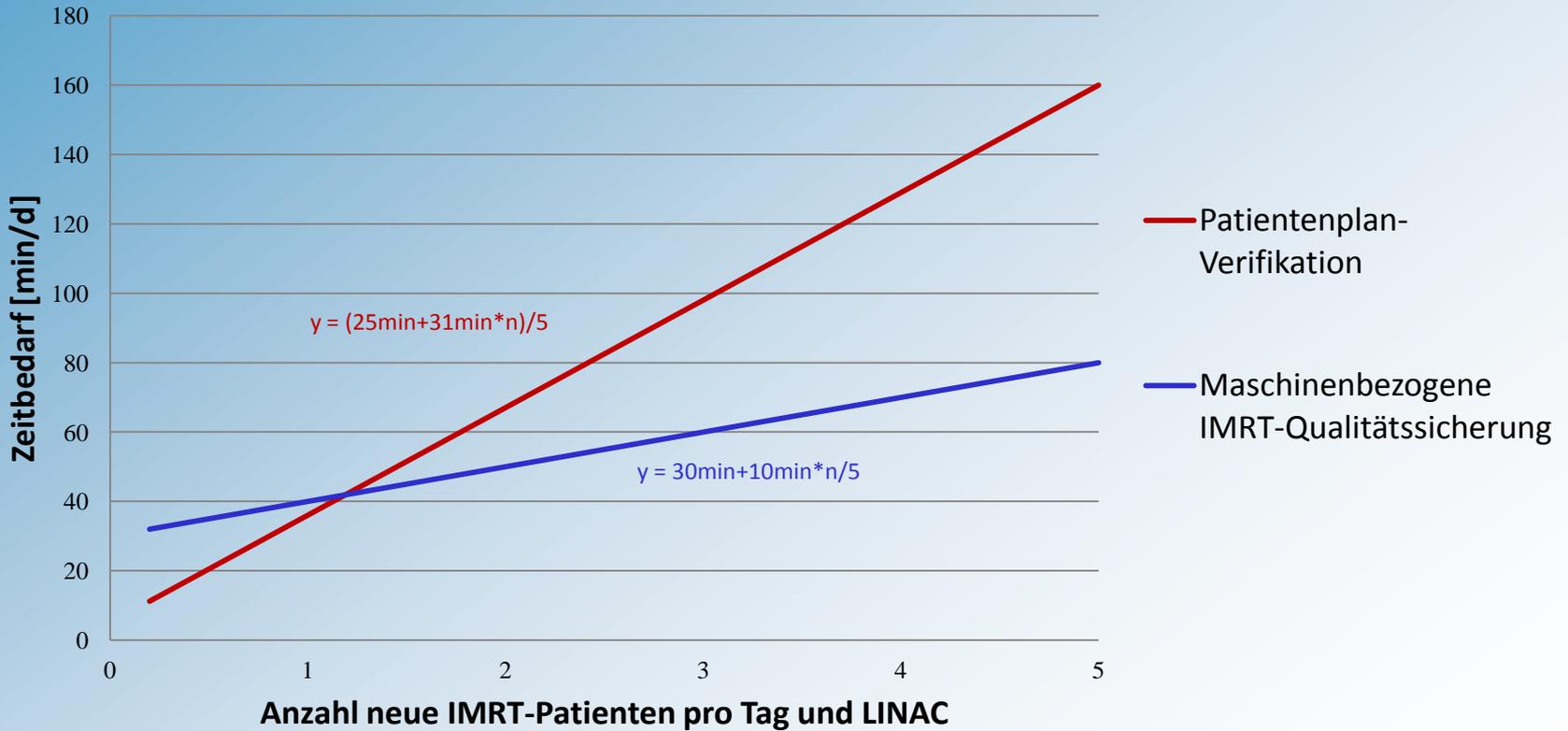
- | | |
|------------------------------------------|---------------|
| • Import und Dosisberechnung im RadCalc: | 8 min |
| • Druck und Dokumentation: | 2 min |
| • Summe pro Patient: | 10 min |

Zusätzliche Maschinen-QS-Maßnahmen:

- | | |
|------------------------------------------------------------------|---------------|
| • Zusätzliche Wöchentliche QS-Maßnahmen pro Tag* LINAC: | 9 min |
| • Stichprobenartige Patientenplanverifikation (1/Woche) pro Tag: | 6 min |
| • Tagescheck Aufnahme pro LINAC: | 10 min |
| • Tagescheck Auswertung, Druck und Dokumentation pro LINAC: | 5 min |
| • Summe pro Tag und LINAC: | 30 min |



Effizienzanalyse





Zusammenfassung maschinenbezogene QS



Bei einer maschinenbezogenen Qualitätssicherung müssen alle Systemkomponenten und alle IMRT-relevanten Parameter einzeln geprüft werden.



Dabei können aber bereits kleinere Abweichungen und sich im Einzelfall kompensierende Fehler erkannt werden.



Die Patientensicherheit steigt dabei, weil jeden Tag an jedem LINAC alle IMRT-relevanten Kennmerkmale konstanzgeprüft werden.



Die Fehlersuche ist einfacher und die Fehlerbehebung schneller, die Erweiterung auf ein QM-System für die komplette Behandlungskette ist möglich



Schwierig und daher aufwändig ist bisher die Kontrolle des korrekten Datentransfers. Hier sind die LINAC- / Planungssystem-Hersteller gefordert, Lösungen zu entwickeln.



Für kleine Patientenzahlen (<1 neuer IMRT-Plan pro Tag) ist ein maschinenbezogenes QS-Konzept mit minimal größerem zeitlichen Aufwand verbunden



Für größere Patientenzahlen ist ein maschinenbezogenes QS-Konzept effizienter als die individuelle dosimetrische Verifikation jedes Patientenplans



Fazit

Ein maschinenbezogenes QS-Konzept für die IMRT ist mit einfachen Mitteln umsetzbar, erhöht die Patientensicherheit und ist für größere Patientenzahlen effizienter.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!