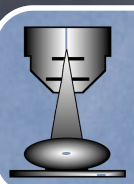
Apparative Ausstattung zur Dosisreduktion in der CT

Ein Überblick

H.D. Nagel

Dr. HD Nagel - Wissenschaft & Technik für die Radiologie
Buchholz i.d.N.
www.sascrad.de

Apparative Lösungsansätze

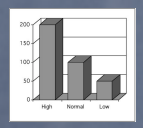


Räumlich

- Formfilter
- Kollimation
- Overranging-Reduktion
- Sektorielle Dosismodulation

Zeitlich

- Zeitliche Dosismodulation
- Prospektives Gating
- Variabler Pitch

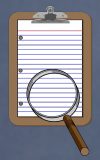


Quantitativ

- Detektortechnik
- Dosisautomatik

Qualitativ

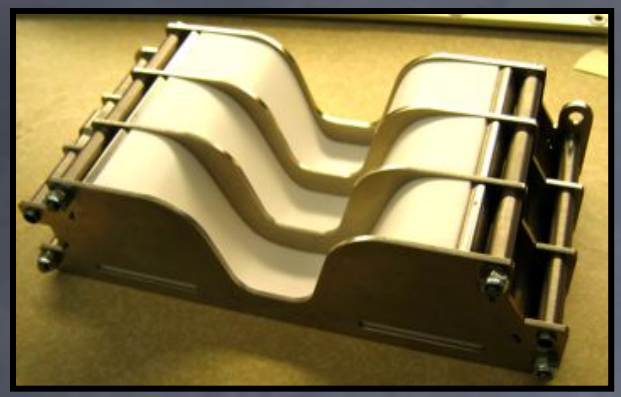
- Slabtechnik
- 3D adaptive Filterung
- Nicht-lineare Bildfilter
- Iterative Rekonstruktion



Informativ

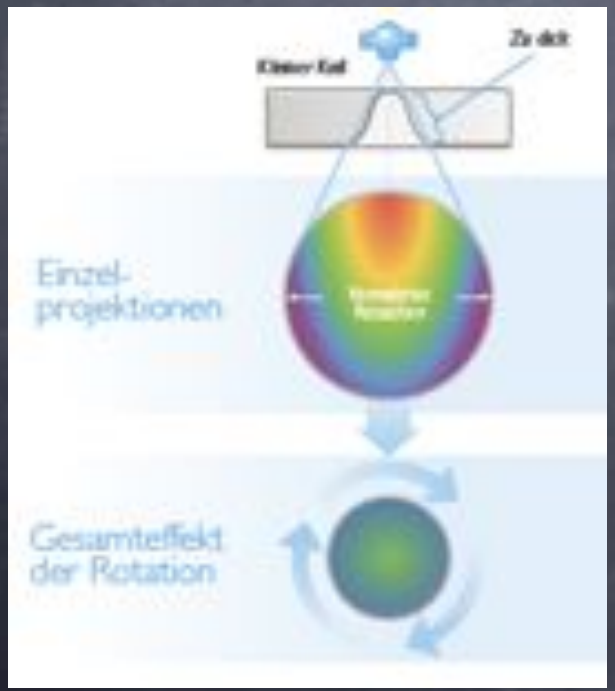
- Dosisanzeige
- Geometrische Effizienz
- Dosisreport
- ‚Safeguard‘

Räumlich: Formfilter (BS)

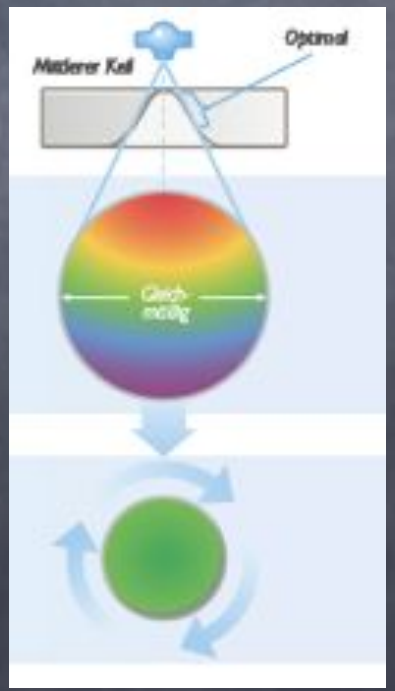


Formfilter (klein /mittel/groß)

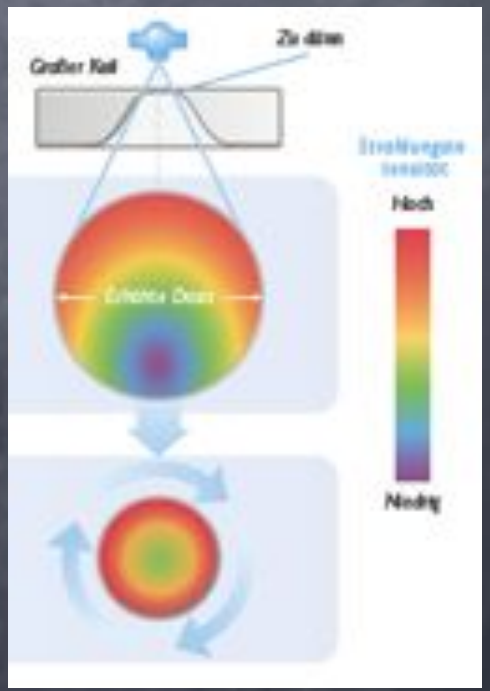
- Formfilter Standard, aber unterschiedlich ausgeprägt
- Zunehmend mehrere unterschiedliche Formfilter
- Bessere Anpassung an Patientenquerschnitt
- Reduzierte Dosis, gleichmäßigere Rauschverteilung
- Ggf. zur Quasi-Einblendung verwendet (z.B. Herz).



klein



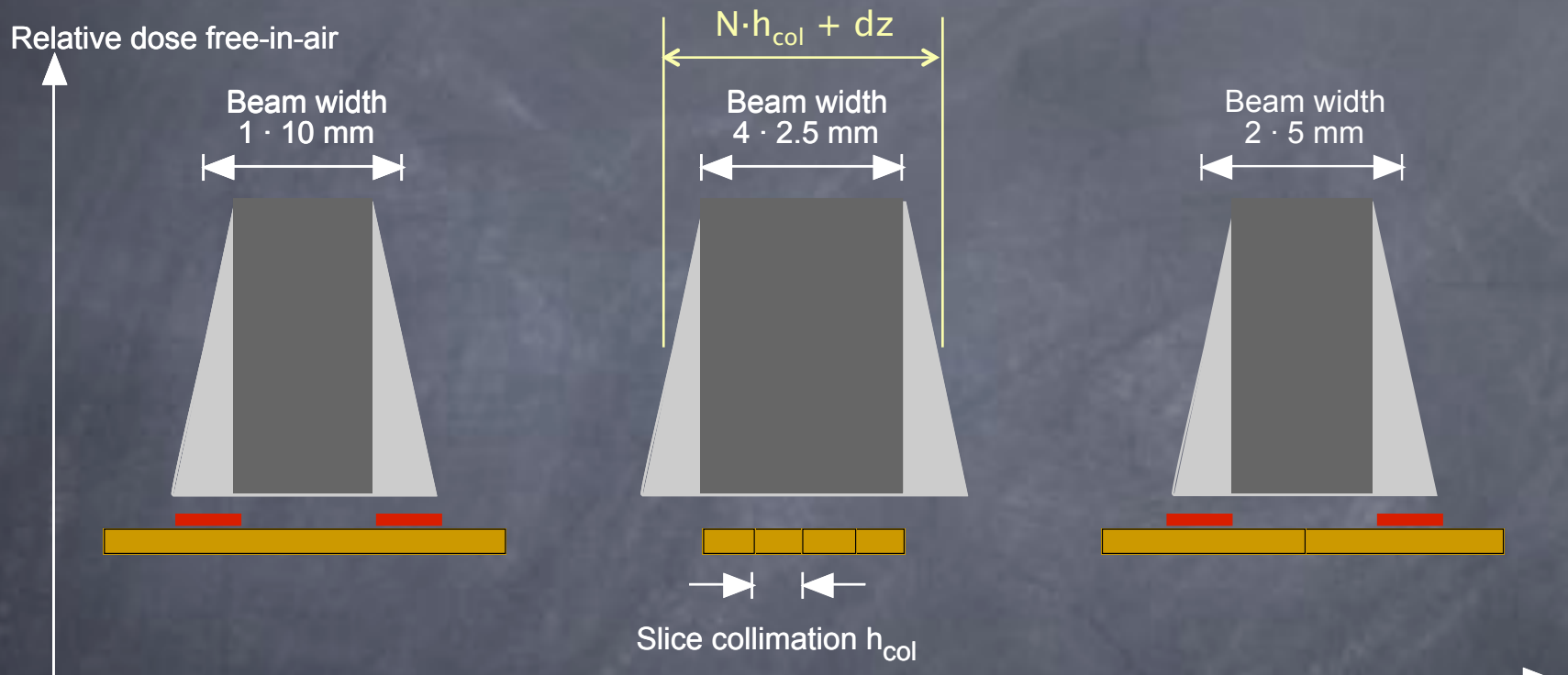
mittel



groß

Räumlich: Kollimation

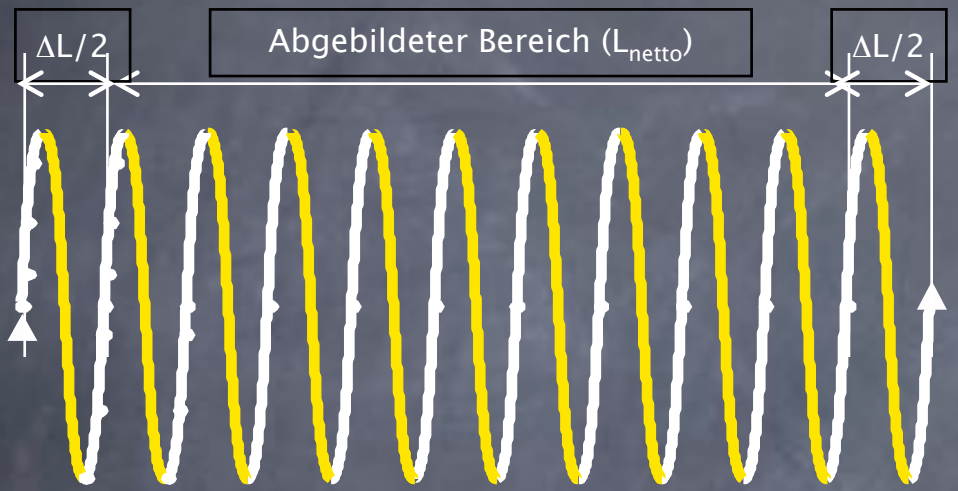
Overbeaming (OB) = Zusatzdosis aufgrund des ungenutzten Halbschattenbereichs

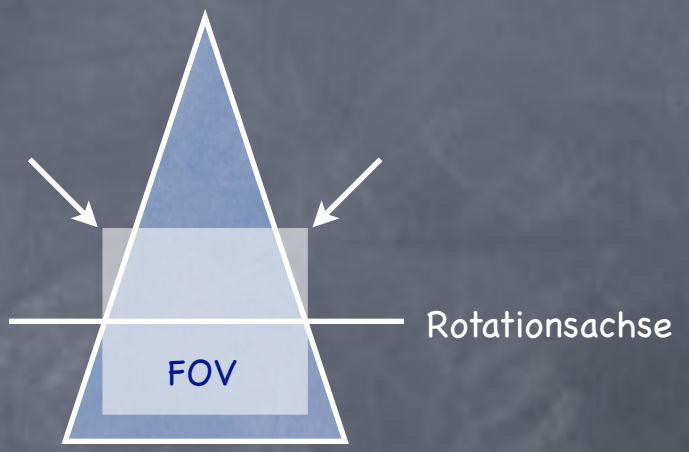


- MSCT: gleichmäßige ‚Belichtung' aller Detektorkanäle erforderlich
- ESCT: normalerweise nicht existent (außer bei restriktiver Post-Patient Collimation)
- Ausmaß abhängig von Halbschattenbreite (dz) und Gesamtkollimation ($N*h_{col}$)
- Apparative Maßnahmen: ‚Focal Spot Tracking' (Kollimatornachführung bei Fokusdrift)
- Typischer Wert für dz: 3 mm; bei Geräten mit z-Springfokus höher (4-5 mm).

Räumlich: Overranging-Reduktion

Overranging (OR) = Verlängerung des Scanbereichs im Spiralmodus

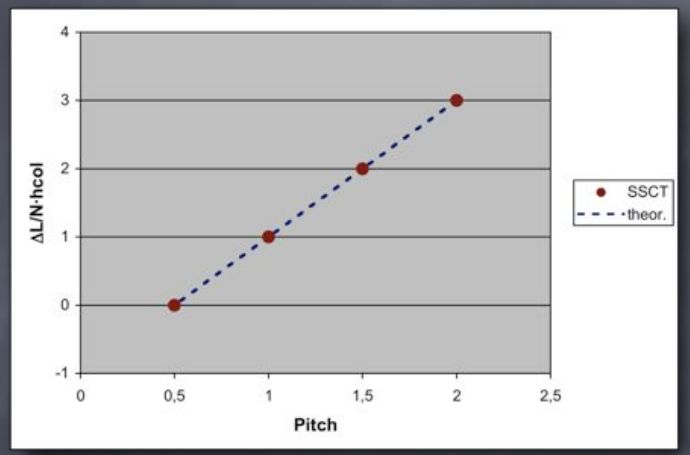




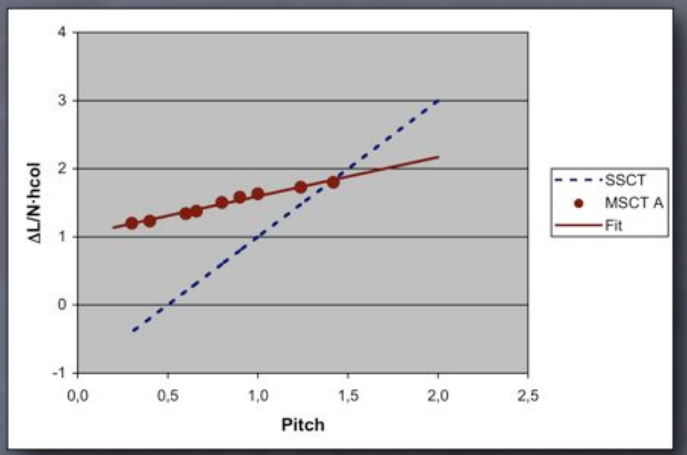
- Ursache: Interpolation am Anfang und Ende des Scanbereichs
- Bei MSCT zusätzlich zur Kompensation des Conebeam-Effekts
- Effekt: %uale Zunahme des DLP um ΔL/L gegenüber Sequenzmodus
- Ausmaß abhängig von Gesamtkollimation ($N*h_{col}$), Pitchfaktor (p), Scanlänge L.

Räumlich: Overranging-Reduktion

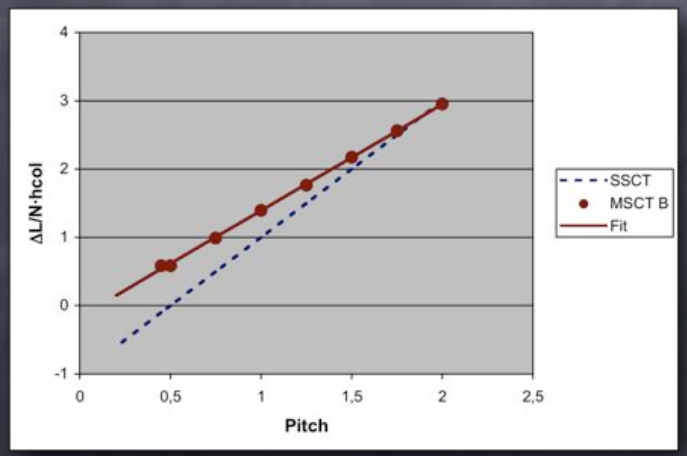
Pitcheinfluß: Overranging-Länge ΔL als Vielfaches der Strahlbreite ($N \cdot h_{col}$)



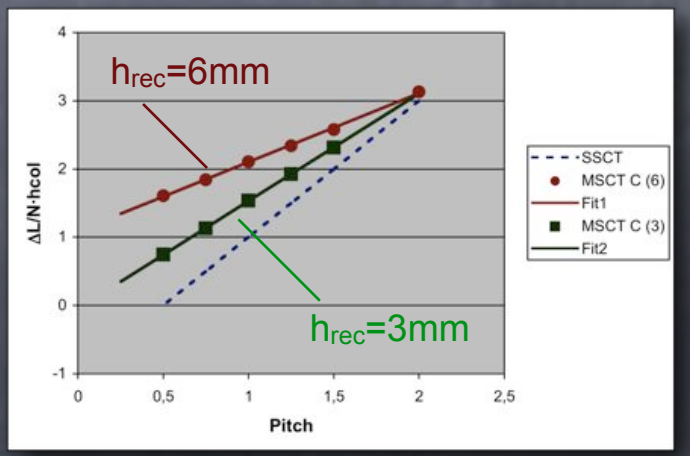
Einzelschicht-CT



Mehrschicht-CT Typ A



Mehrschicht-CT Typ B

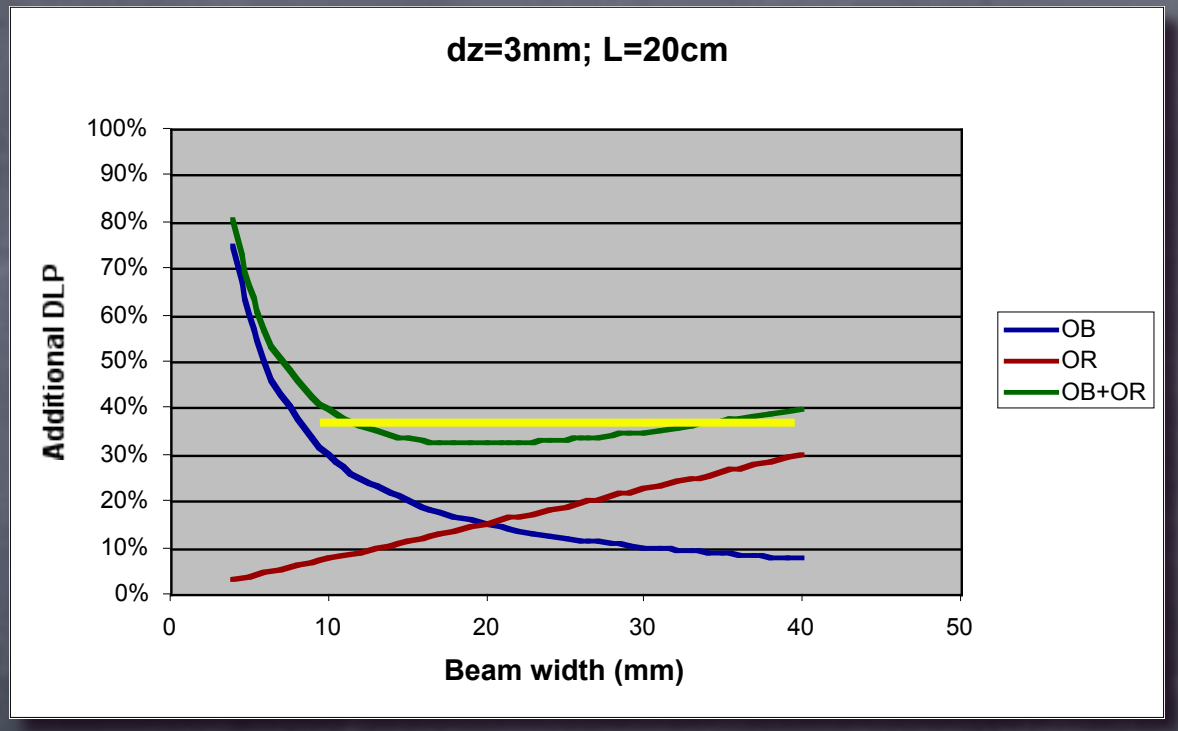


Mehrschicht-CT Typ C

- Unterschiedliche Charakteristiken, anders als beim Einzelschicht-CT 2 x 1/2 Rotation)
- ΔL = ca. 1.5 x Strahlbreite @ Pitch 1.

Räumlich: Overranging-Reduktion

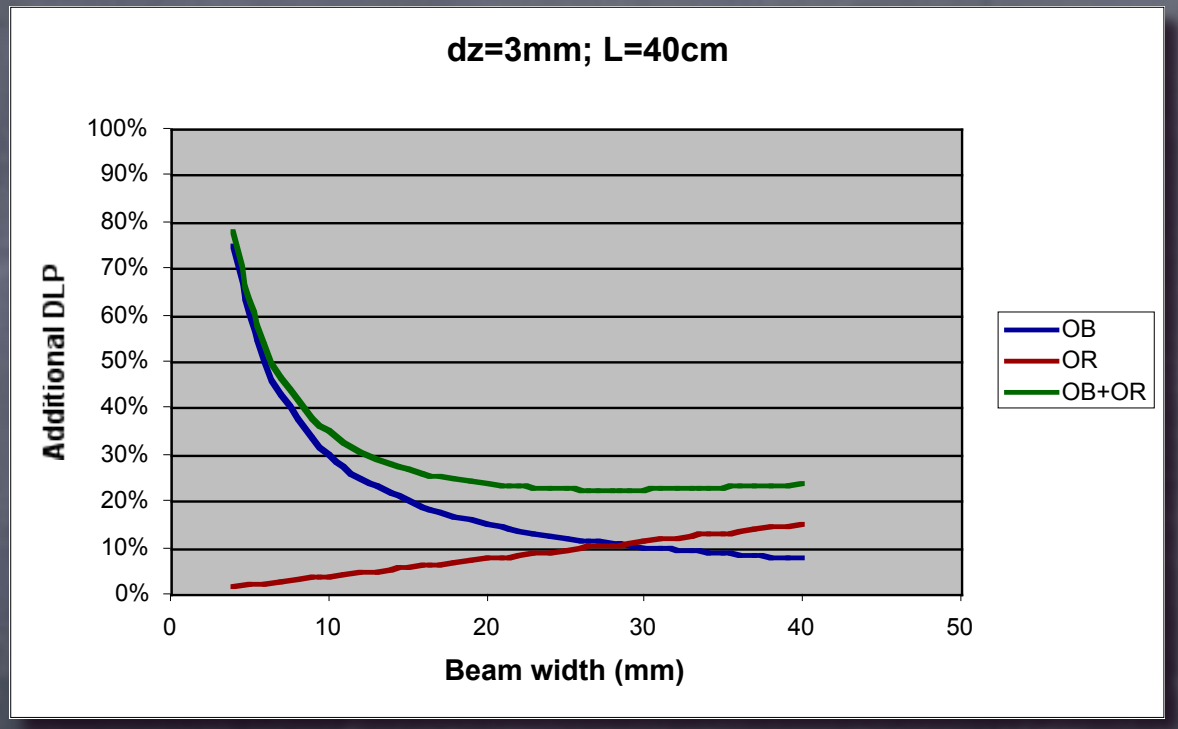
OB+OR: Typische Ausmaß je nach Gesamtkollimation und Scanlänge (Pitch = 1)



- OB+OR-Zuschlag nahezu konstant (+35%) für 10 bis 40 mm Strahlbreite (L≥20 cm)

Räumlich: Overranging-Reduktion

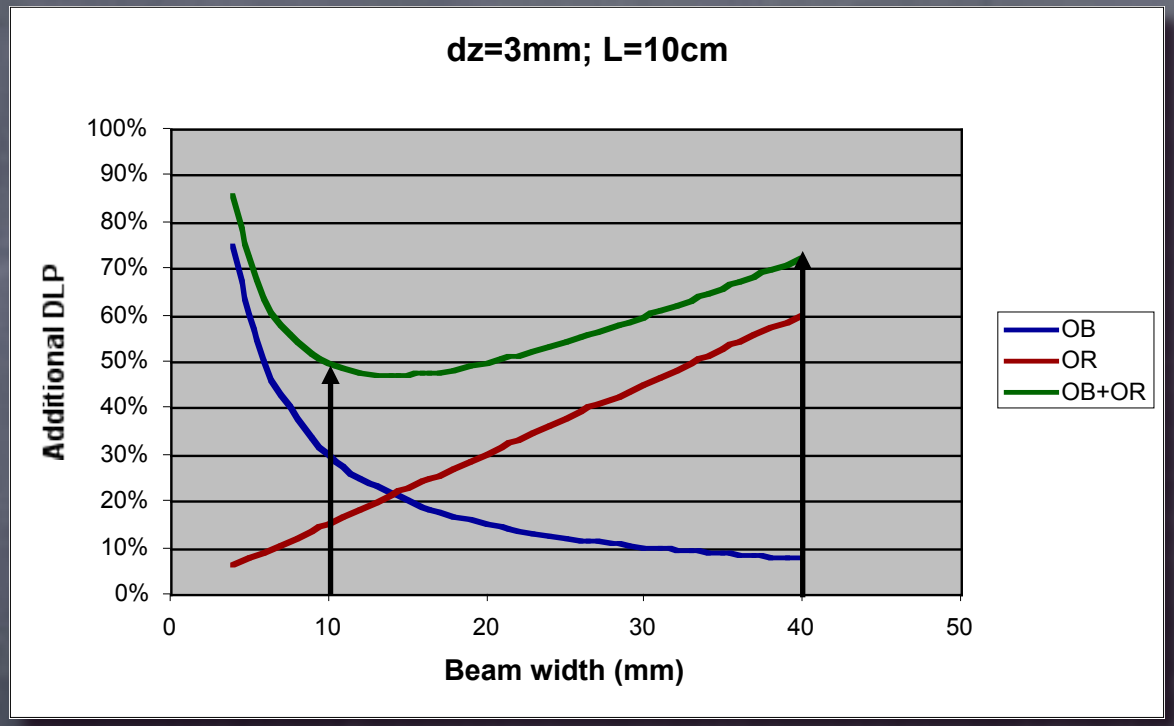
OB+OR: Typische Ausmaß je nach Gesamtkollimation und Scanlänge (Pitch = 1)



- OB+OR-Zuschlag nahezu konstant (+35%) für 10 bis 40 mm Strahlbreite (L≥20 cm)

Räumlich: Overranging-Reduktion

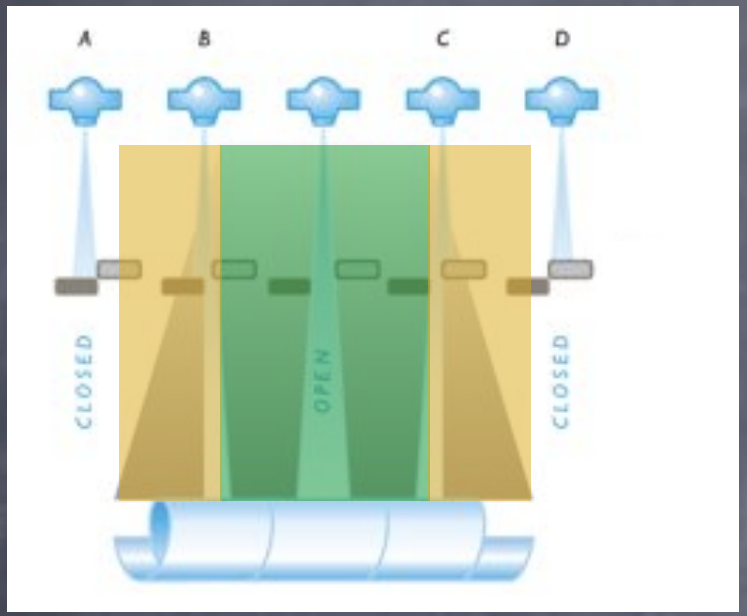
OB+OR: Typische Ausmaß je nach Gesamtkollimation und Scanlänge (Pitch = 1)

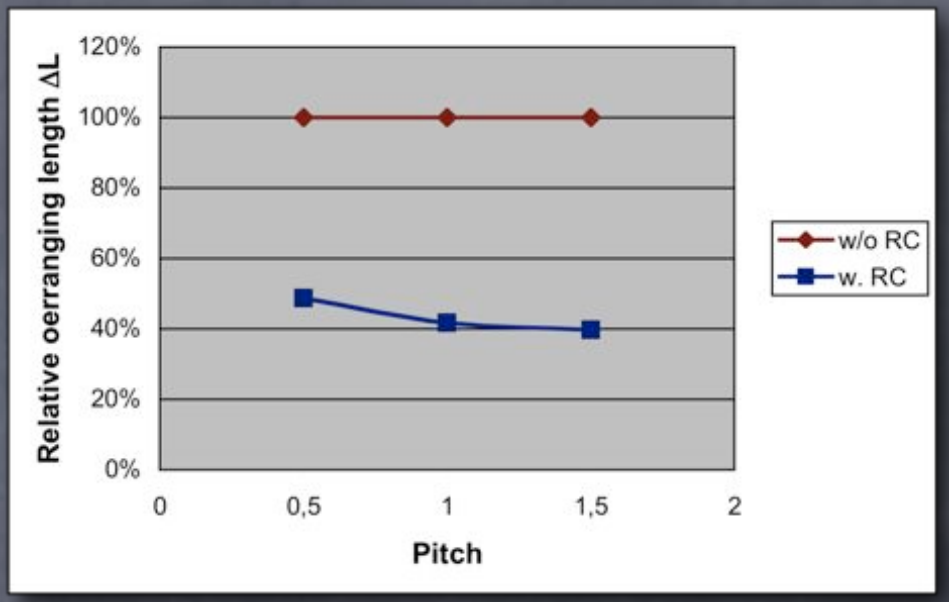


- OB+OR-Zuschlag nahezu konstant (+35%) für 10 bis 40 mm Strahlbreite (L≥20 cm)
- Bei kurzen Bereichen (WS, Pädiatrie) besser 16-Schicht-Modus
- OR problematisch bei größeren Strahlbreiten bzw. höheren Pitchwerten
- Abhilfe: „Rolling Collimator".

Räumlich: Overranging-Reduktion

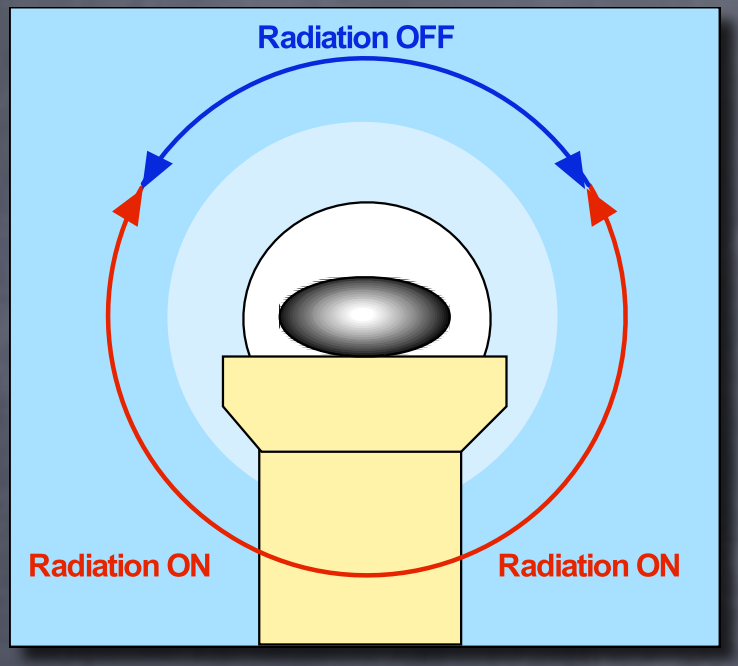
‚Rolling Collimator'





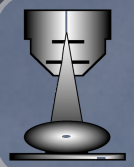
- Volle Strahlbreite nur im nutzbaren Bereich
  - öffnet dynamisch bei Beginn der Spirale (B)
  - schließt dynamisch am Ende der Spirale (C)
- Reduktion des Overrangings auf rund die Hälfte
- Spiralmodus damit auch mit großer Strahlbreite oder hohem Pitch möglich.

Räumlich: Sektorielle Dosismodulation



- Strahlung ‚AUS' (oder reduziert), wenn Röhre oberhalb des Tisches (10 - 2 Uhr)
- CT-Durchleuchtung
  - Hand des Anwenders geschützt gegen Direktstrahlung
  - Verringerte Streustrahlung
  - Gleiche Funktionalität wie Durchleuchtung mit Untertischröhre
- Routine-CT-Scans
  - Schutz kritischer oberflächennaher Organe (Augenlinse, Schilddrüse, Mamma).

Apparative Lösungsansätze

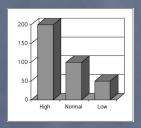


Räumlich

- Formfilter
- Kollimation
- Overranging-Reduktion
- Sektorielle Dosismodulation

Zeitlich

- Zeitliche Dosismodulation
- Prospektives Gating
- Variabler Pitch

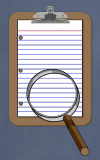


Quantitativ

- Detektortechnik
- Dosisautomatik

Qualitativ

- Slabtechnik
- 3D adaptive Filterung
- Nicht-lineare Bildfilter
- Iterative Rekonstruktion

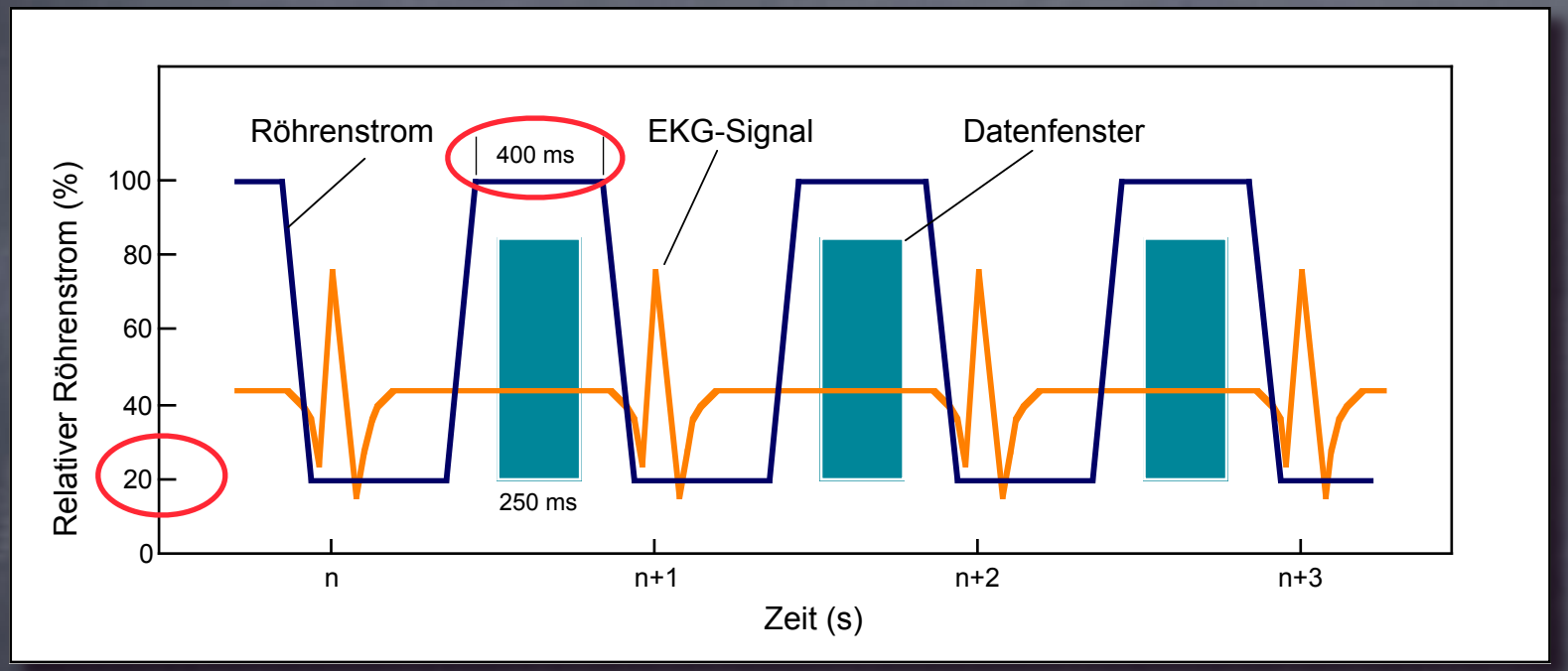


Informativ

- Dosisanzeige
- Geometrische Effizienz
- Dosisreport
- ‚Safeguard'

Zeitlich: Zeitliche Dosismodulation

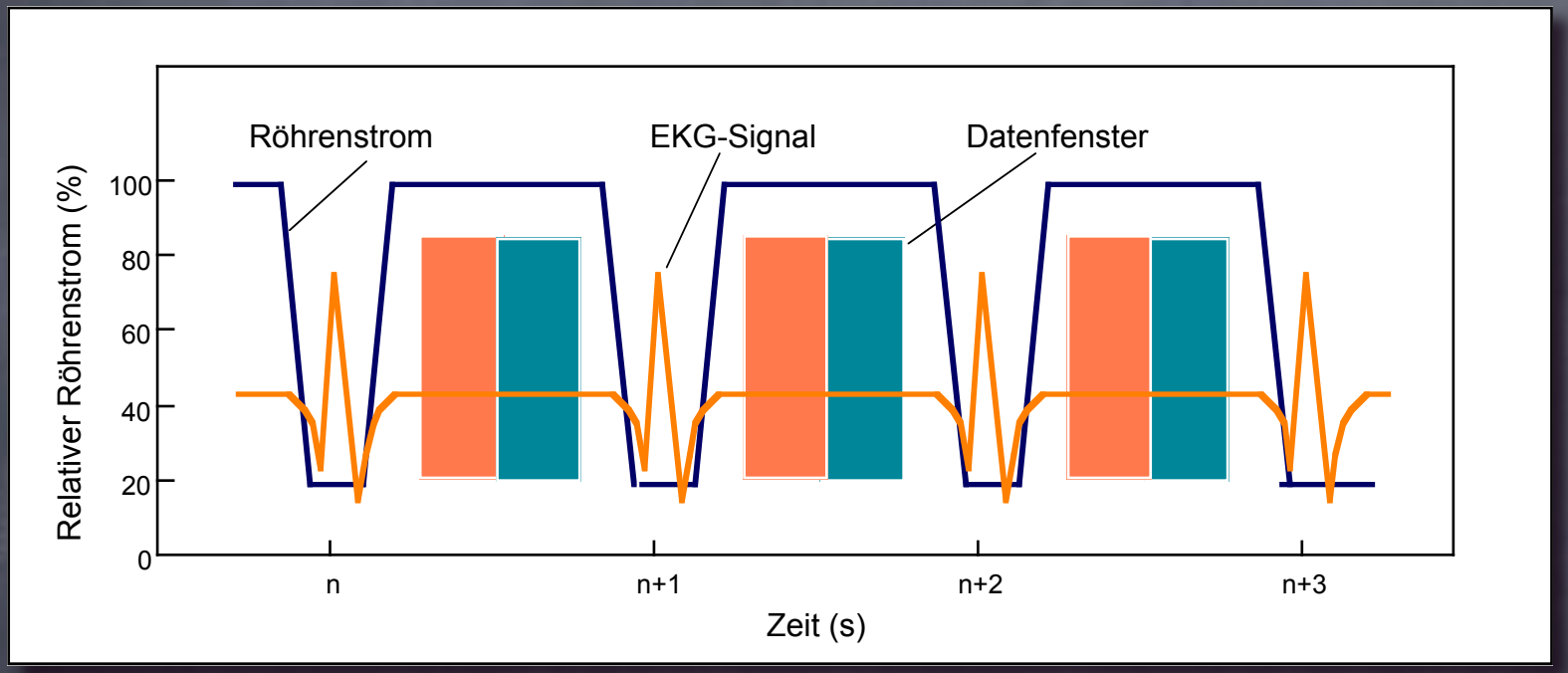
‚ECG Pulsing'



- ECG-Pulsing: EKG-gesteuerte Röhrenstrommodulation
  - Max. Strom während gewünschter Herzphase(n) (Modulationsfenster)
  - Strom außerhalb häufig nur auf 20% reduziert
  - Ermöglicht dynamische Darstellungen über gesamten Herzzyklus

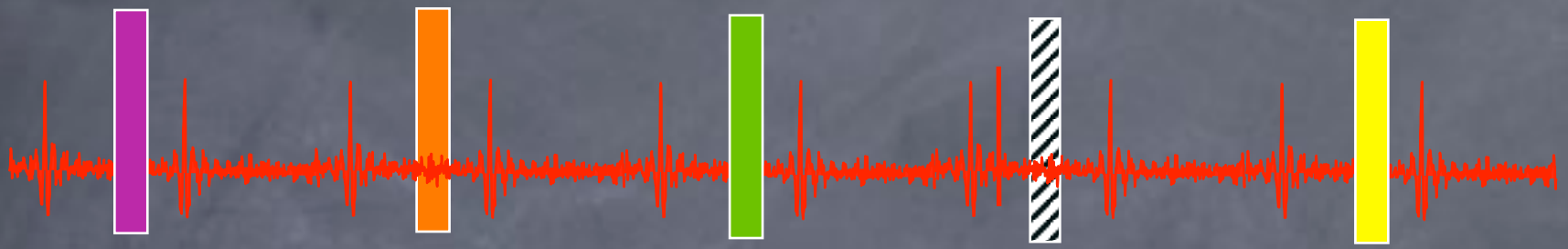
Zeitlich: Zeitliche Dosismodulation

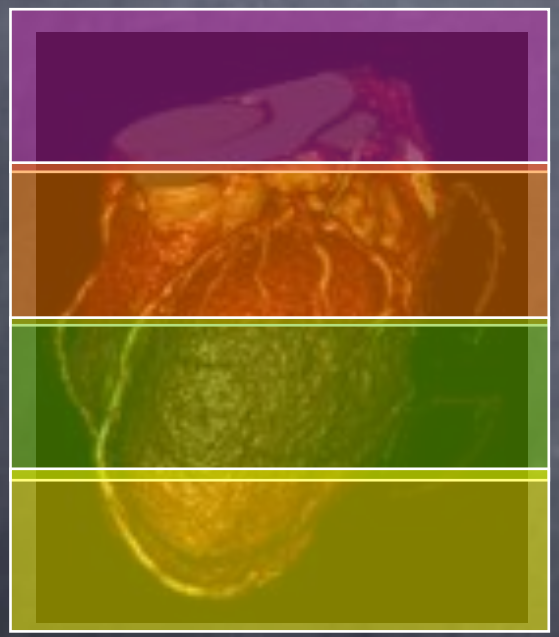
‚ECG Pulsing'

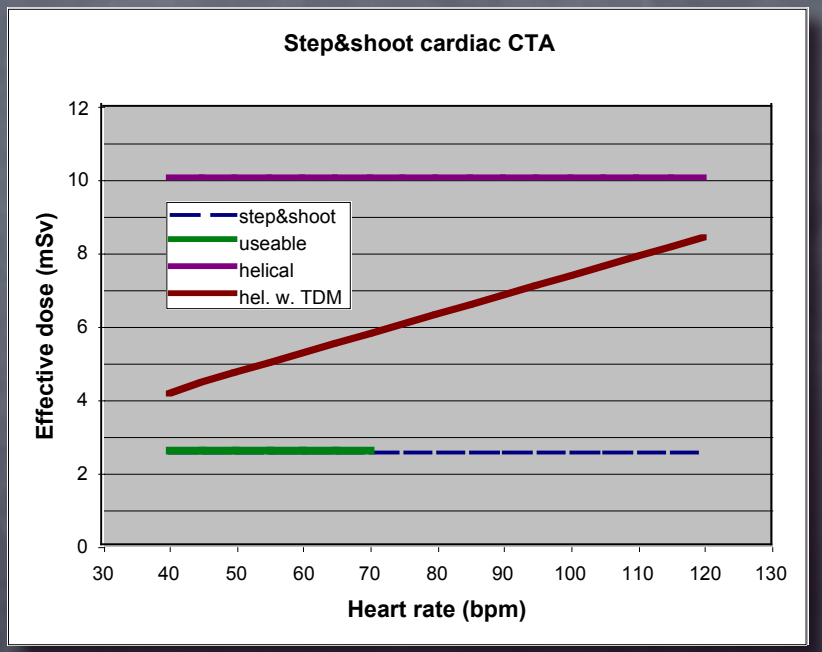


- ECG-Pulsing: EKG-gesteuerte Röhrenstrommodulation
  - Max. Strom während gewünschter Herzphase(n) (Modulationsfenster)
  - Strom außerhalb häufig nur auf 20% reduziert
  - Ermöglicht dynamische Darstellungen über gesamten Herzzyklus
- Dosisreduktion je nach Herzrate und Phasenanzahl bis zu 60%
  - Realistisch: 10 - 30% Dosiseinsparung.

Zeitlich: Prospektives Gating



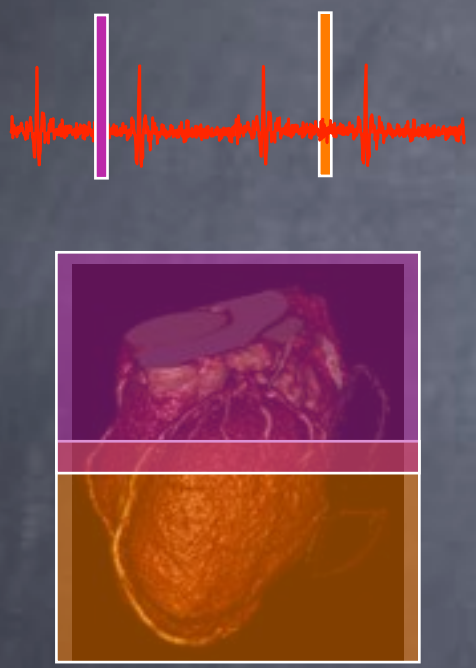




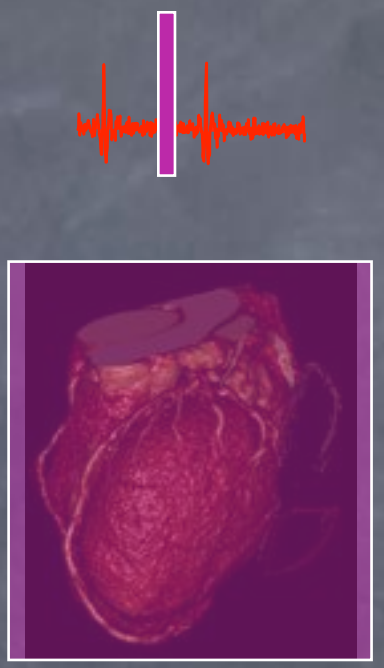
- Dosisreduktion um etwa Faktor 5 (auf < 3 mSv)
- Einschränkung: niedrige Herzraten, keine Funktionsdarstellung
- Voraussetzung: breiter Detektor (≥ 40 mm), sonst Scanzeit zu lang.

Zeitlich: Prospektives Gating

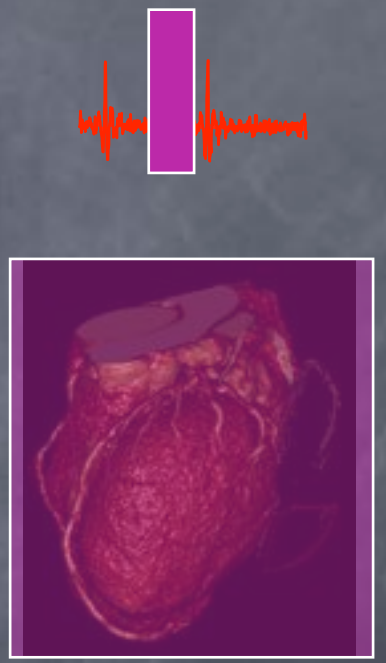
Neueste Gerätegeneration



Philips Brilliance iCT
- ‚Step&Shoot'-Modus
- 8 cm nom. Detektorbreite
- 6.5 cm effektiv
- 0.27s Rotationszeit
- 3 Herzzyklen

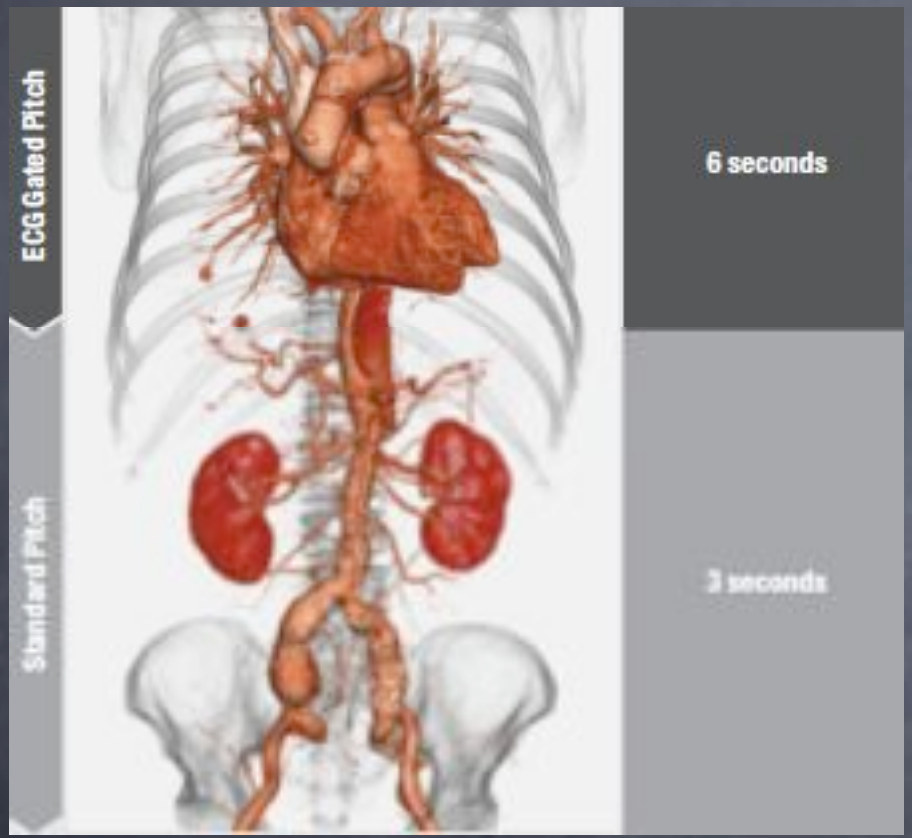


Toshiba Aquilion ONE
- ‚Single Shot'-Modus
- 16 cm nom. Detektorbreite
- 13 cm effektiv
- 0.35s Rotationszeit
- 1 Herzzyklus



Siemens Definition Flash
- ‚ Flash'-Modus
- 3.8 cm nom. Detektorbreite
- Pitch 3.4
- 0.28s Rotationszeit
- 1 Herzzyklus

Zeitlich: Variabler Pitch

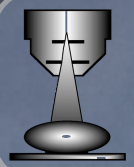


Thorax mit EKG-Gating
(Pitch ca. 0.2)

Abdomen ohne EKG-Gating
(Pitch ca. 1)

- Verbesserte Zeitauflösung im Bereich des Herzens
- Dosisreduktion (DLP) von rund 50% gegenüber EKG-Gating im Gesamtbereich
- Gesamte Aorta mit nur einer KM-Injektion.

Apparative Lösungsansätze

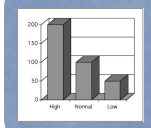


Räumlich

- Formfilter
- Kollimation
- Overranging-Reduktion
- Sektorielle Dosismodulation

Zeitlich

- Zeitliche Dosismodulation
- Prospektives Gating
- Variabler Pitch

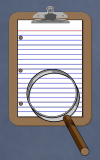


Quantitativ

- Detektortechnik
- Dosisautomatik

Qualitativ

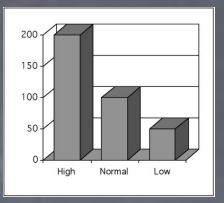
- Slabtechnik
- 3D adaptive Filterung
- Nicht-lineare Bildfilter
- Iterative Rekonstruktion



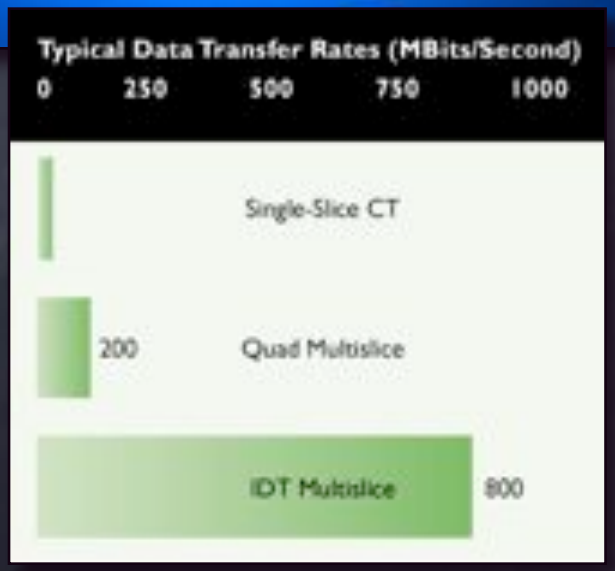
Informativ

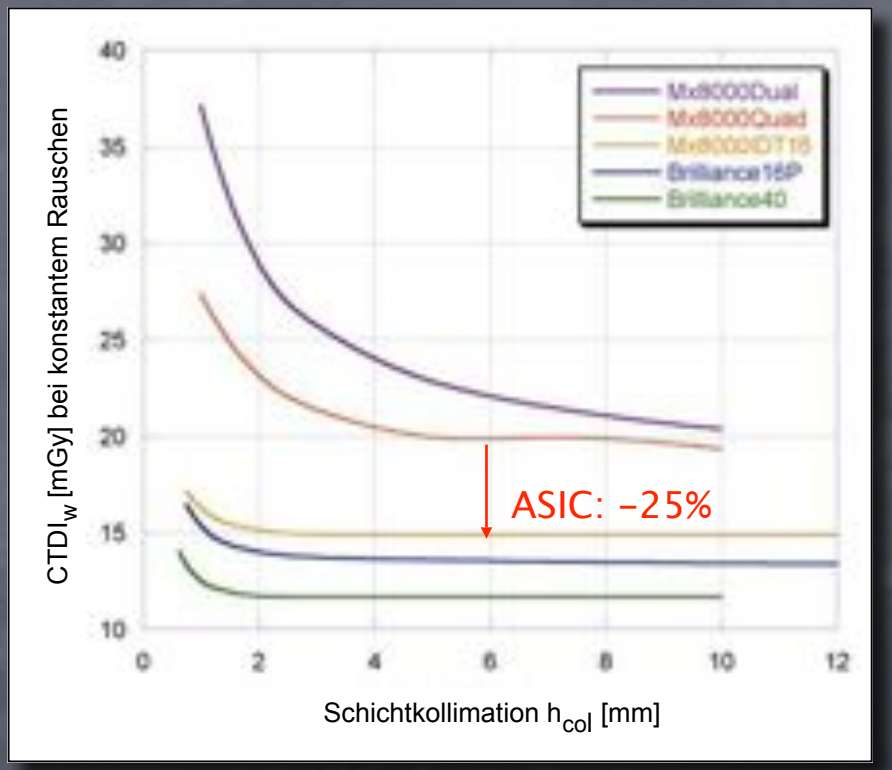
- Dosisanzeige
- Geometrische Effizienz
- Dosisreport
- ‚Safeguard'

Quantitativ: Detektortechnik



Rauscharme Detektorelektronik

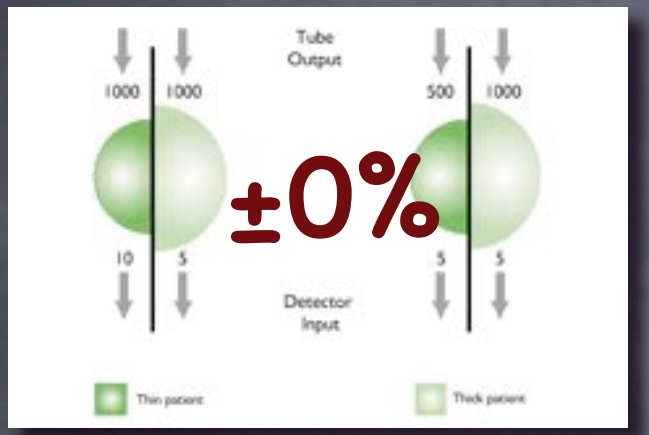




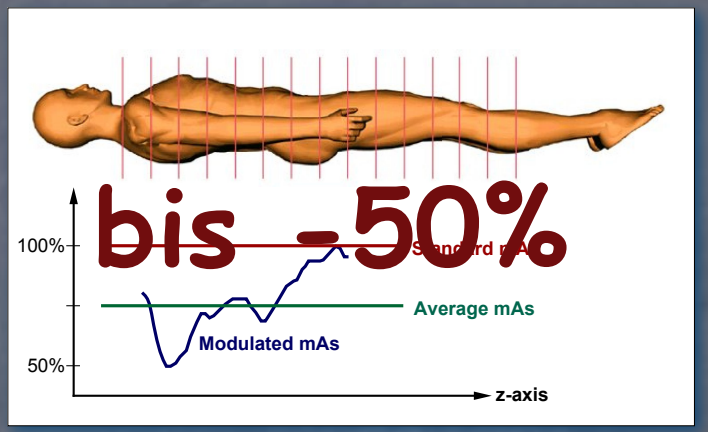
- Hochintegrierte, platzsparende ASIC's
- Erheblich gesteigerte Datenübertragung
- Verringertes elektronisches Rauschen
- Erlaubt um ca. 25% reduzierte Dosiseinstellungen.

Quantitativ: Dosisautomatiken

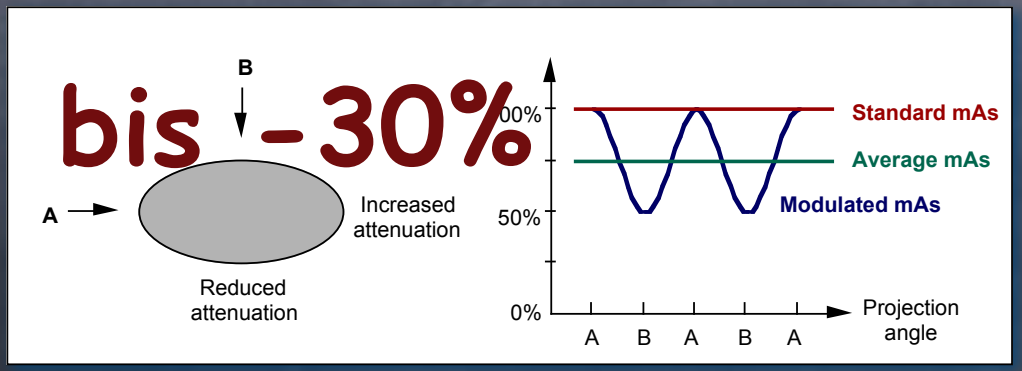
Funktionalitäten



Grundfunktion:
Belichtungsautomatik (BA)
Dosisanpassung an Patientenstatur



Verfeinerung:
Longitudinale (z-) Dosismodulation (LDM)
Dosisanpassung an lokale Patientdicke



Verfeinerung:
Anguläre (x-y-) Doismodulation (ADM)
Dosisanpassung an Patientquerschnitt

Quantitativ: Dosisautomatiken

Status

- Sämtliche Funktionalitäten bei allen Herstellern serienmäßig
  - Einzeln und in Kombination anwendbar
  - Erhebliche Unterschiede in Funktionsweise und Bedienung

‚Konstant-Rausch'-Systeme

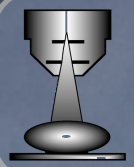
- GE, Toshiba
- starke Dosisanpassung (Faktor 2 pro 4 cm)
- Vorwahl: Bildrauschen (‚Noise Index')
- kein Dosisbezug (z.B. Referenzwerte)
- Reaktion auf alle Parameteränderungen

‚Adäquat-Rausch'-Systeme

- Philips, Siemens
- moderate Dosisanpassung (Faktor 2 pro ca. 8 cm)
- Vorwahl: mAs für Ref.-Patienten (‚Referenz-mAs')
- direkter Dosisbezug (über $CTDI_{vol}$-Anzeige)
- Reaktion auf Parameteränderungen eingeschränkt

- Jede Automatik folgt ihren eigenen Gesetzen
  - Gefahr von Fehlbedienungen (Überdosierung, unzureichende Bildqualität)
  - Ohne kompetente Einweisung mehr Schaden als Nutzen.

Apparative Lösungsansätze

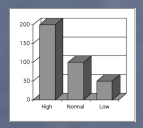


Räumlich

Formfilter
Kollimation
Overranging-Reduktion
Sektorielle Dosismodulation

Zeitlich

Zeitliche Dosismodulation
Prospektives Gating
Variabler Pitch

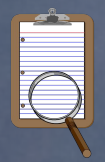


Quantitativ

Detektortechnik
Dosisautomatik

Qualitativ

Slabtechnik
3D adaptive Filterung
Nicht-lineare Bildfilter
Iterative Rekonstruktion

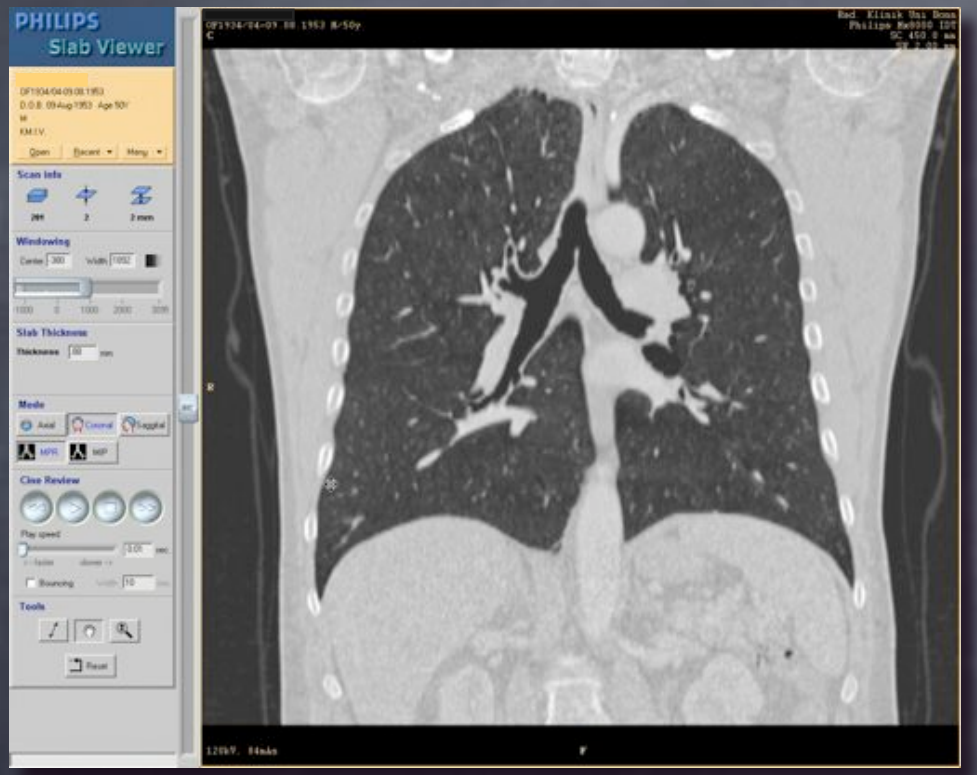


Informativ

Dosisanzeige
Geometrische Effizienz
Dosisreport
‚Safeguard'

Qualitativ: Slabtechnik

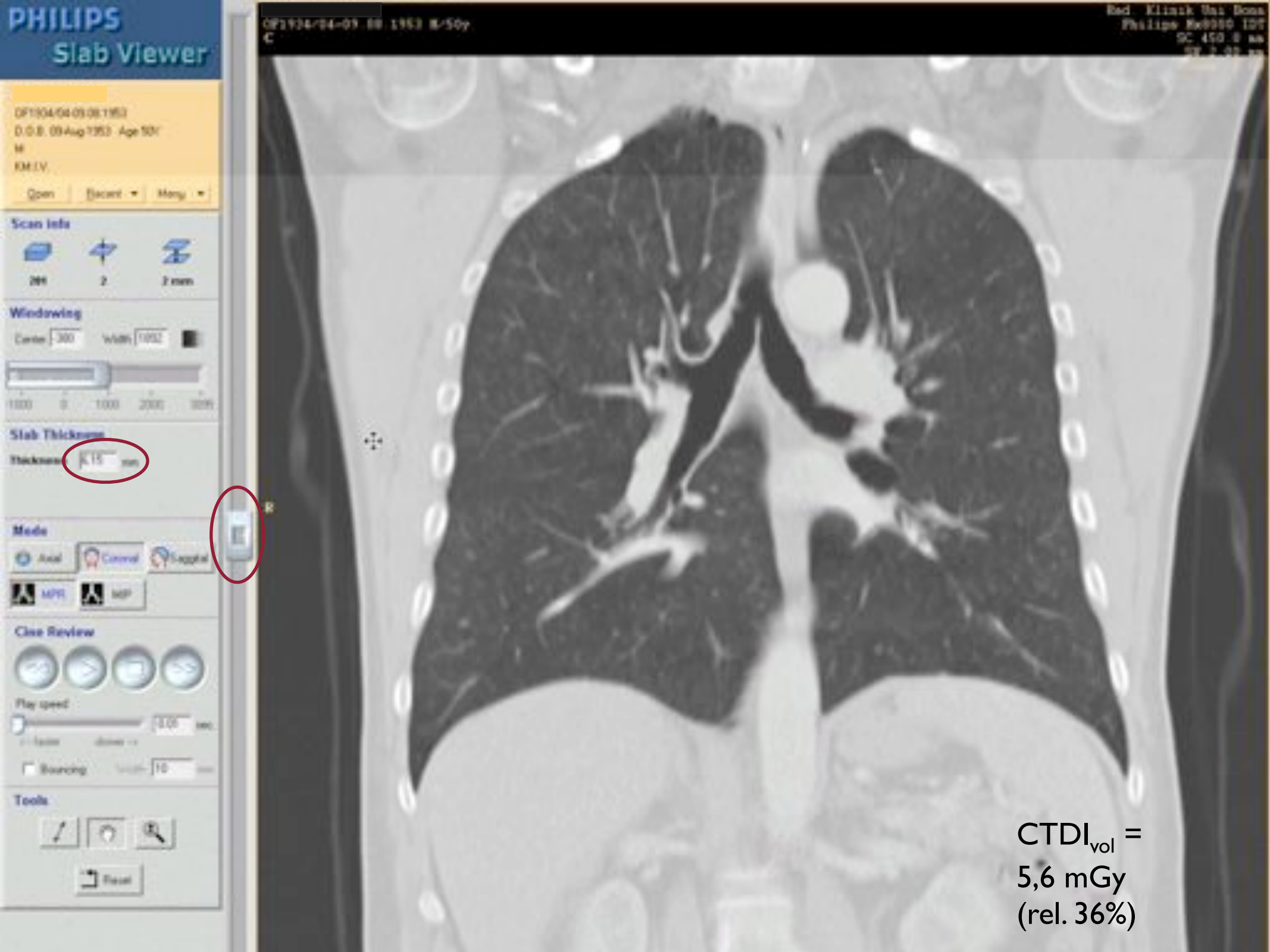
Variable Slabtechnik



Bildnachverarbeitung in Echtzeit:

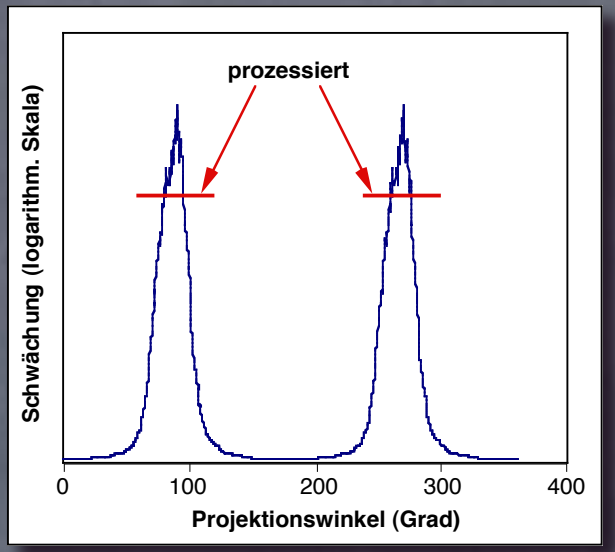
- Akquisition: dünnschichtig
- Rekonstruktion: dünn, überlappend
  (‚Secondary Raw Data Set')
- Betrachtung: dickere Slabs
- bei Unklarheiten:
  interaktiv auf dünnere Schichten
  umschalten

... der Schlüssel zum dosissparenden Arbeiten mit MSCT-Geräten


PHILIPS
Slab Viewer
Scan Info
Windowing
Slab Thickness
Mode
Cine Review
Tools
CTDI$_{vol}$ =
5,6 mGy
(rel. 36%)

Qualitativ: 3-D Adaptive Filterung

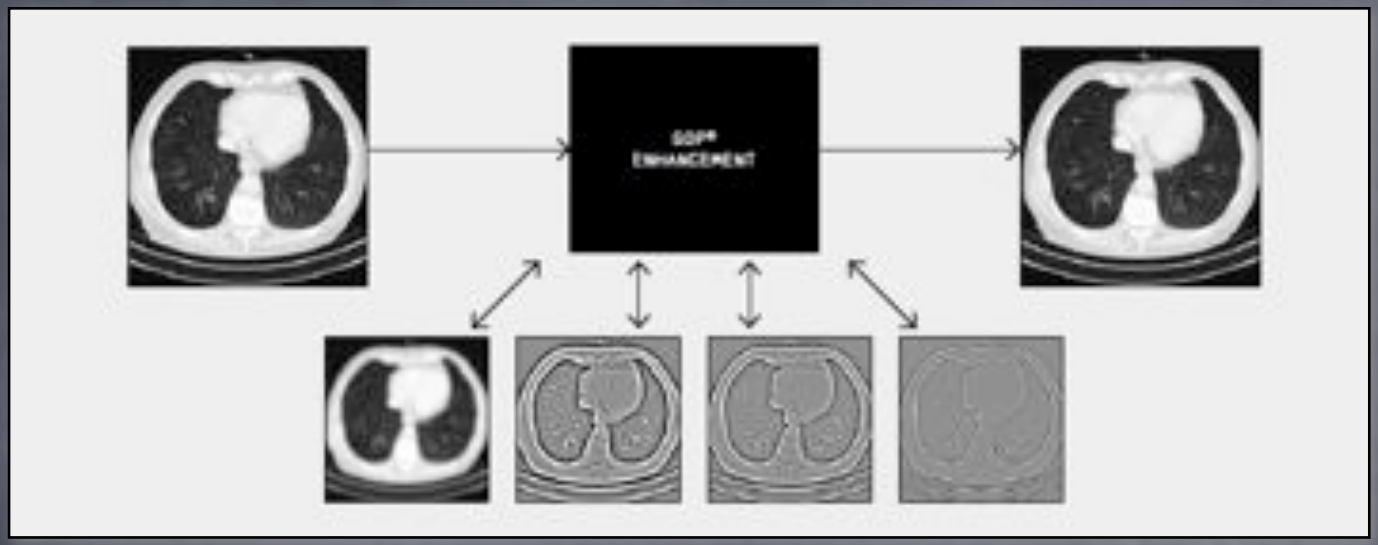
Ohne adaptive Filterung



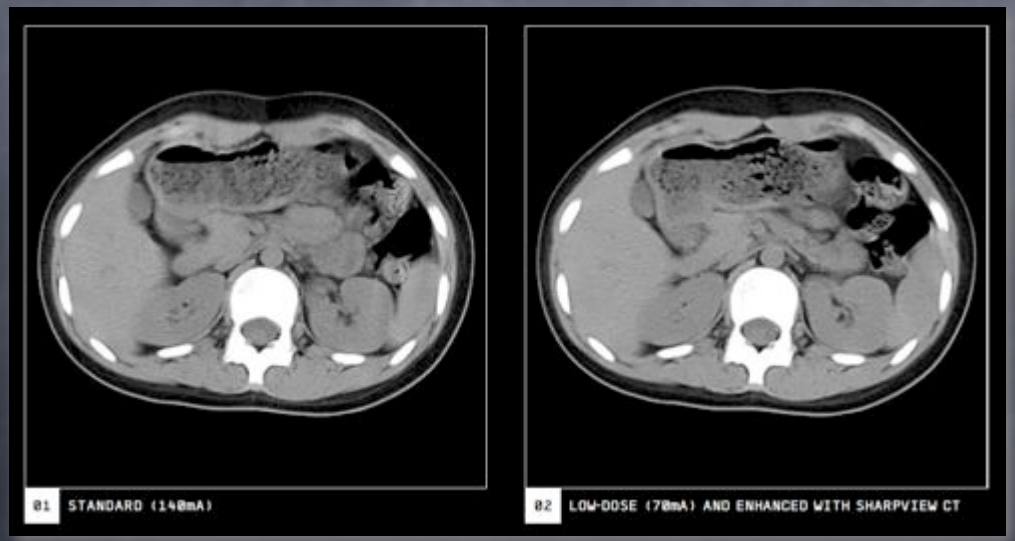
Mit adaptiver Filterung

- 3-D-Filterung auf Rohdatenbasis
  - Mit Messdaten aus benachbarten Schichten
  - Nur für stark geschwächte Projektionen
  - Ortsauflösung dadurch nur leicht betroffen
- Signifikant verringertes Rauschen
  - Vermeidet erhöhte Dosis in Schulter- und Becken.

Qualitativ: Nicht-lineare Bildfilter



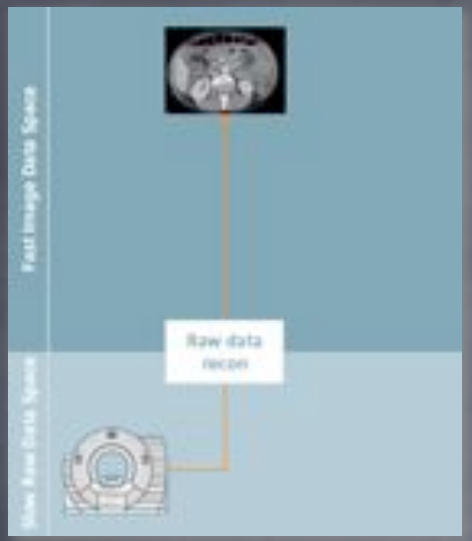
Multifrequenz-Analyse zur Rauschreduktion bei Erhaltung der Kantenschärfe



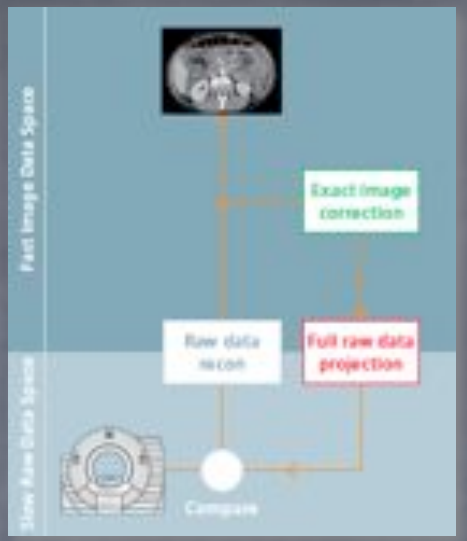
Standard (140 mA) Gefiltert (70 mA)

Q: SharpView-Broschüre

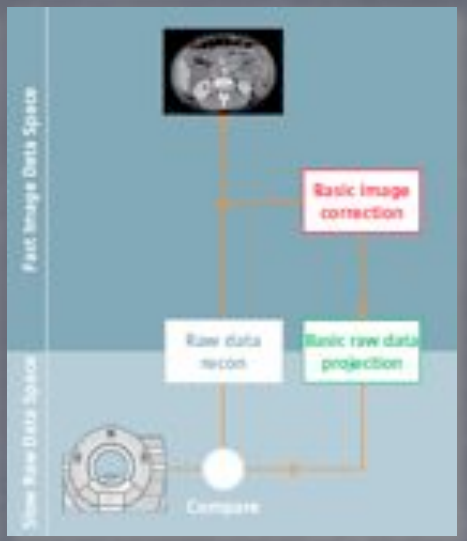
Qualitativ: Iterative Rekonstruktion



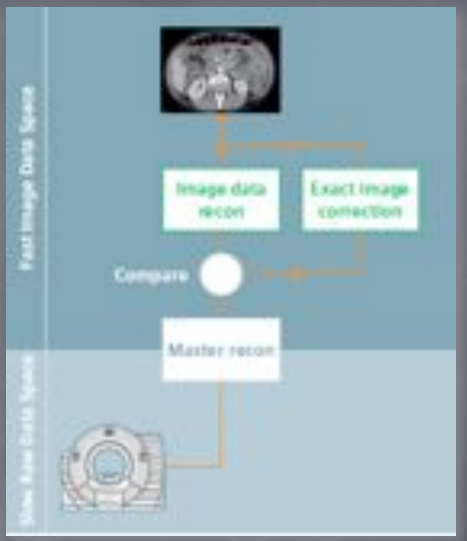
Filtered Back Projection (FBP)



True Iterative Reconstruction



Statistical Iterative Reconstruction



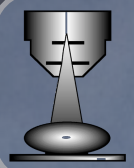
Iterative Reconstruction in Image Space

50% Dosis mit FBP

50% Dosis mit IR

Q: IRIS-Broschüre (Siemens)

Apparative Lösungsansätze

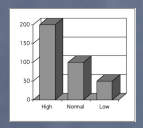


Räumlich

- Formfilter
- Kollimation
- Overranging-Reduktion
- Sektorielle Dosismodulation

Zeitlich

- Zeitliche Dosismodulation
- Prospektives Gating
- Variabler Pitch

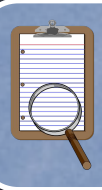


Quantitativ

- Detektortechnik
- Dosisautomatik

Qualitativ

- Slabtechnik
- 3D adaptive Filterung
- Nicht-lineare Bildfilter
- Iterative Rekonstruktion

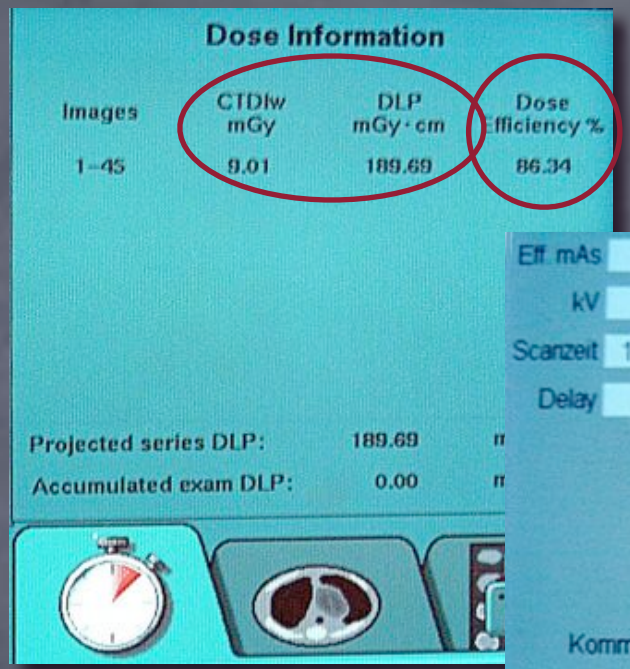


Informativ

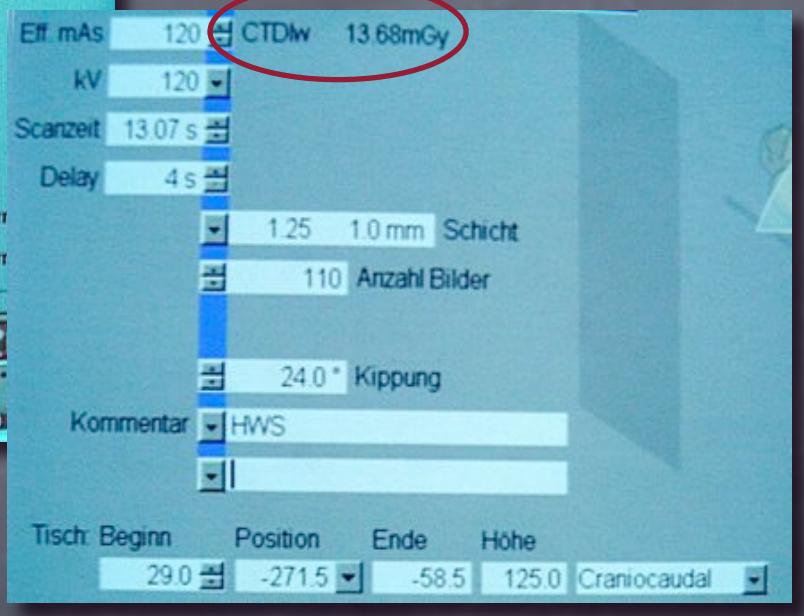
- Dosisanzeige
- Geometrische Effizienz
- Dosisreport
- ‚Safeguard'

Informativ: Dosisanzeige, Effizienz

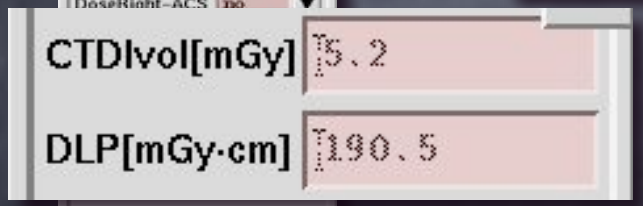
Philips



GE

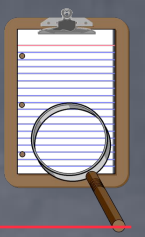


Siemens



- Dosisinformation für den Anwender ($CTDI_{vol}$, DLP, geom. Dosiseffizienz)
- Patientenexposition zumeist vorab bekannt
- Rückmeldung bei Änderung der Scanparameter
- Dosisvoranzeige bei Dosisautomatik noch verbesserungswürdig.

Informativ: Dosisreport



Study ID: 7052
Time: Mär 10, 2010, 15:07:06
Acc.Number: 5118339
Total DLP: 507.1 mGy*cm
Est. Dose Savings:21 %

Dose

#	Description	Mode	CTDI [mGy]	DLP [mGy*cm]
1	Topogramm	Surview	0.0	0.00
2	locator	Incr=0	1.5	1.55
3	tracker	Incr=0	28.2	28.15
4	WT 1 mm	Helical	5.3	214.30
5	1 mm pv	Helical	9.9	263.11

Philips

08-May-2008 09:48

Station:
Untersuchender Arzt:
Bediener: rue

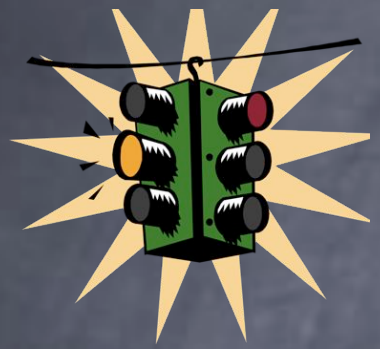
Gesamt mAs 3412 Gesamt DLP 699

	Scan	kV	mAs / ref.	CTDIvol	DLP	TI	cSL
Patientenposition H-SP							
Topogramm	1	130				5.9	0.6
Obb. nativ	2	130	92 / 130	10.31	212	0.6	1.2
Abdomen KM	3	130	100 / 130	11.23	487	0.6	1.2

Siemens

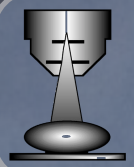
- Dosisinformation für die Gesamtuntersuchung
- Mindestens $CTDI_{vol}$, DLP
- Aufgeschlüsselt nach Serien, zusätzlich Gesamt-DLP
- Demnächst auch:
  - Dosisangaben für das Übersichtsradiogramm
  - Angabe des zu Grunde liegenden Phantomdurchmessers.

Informativ: ‚Safeguard'



- Warnhinweis bei Überschreiten vordefinierter Dosisschwellen
- Ggf. auch Relativanzeige (in %)
- Individuell einstellbar (je nach Fragestellung und Präferenz)
- z.B. mit Bezug auf geltende Referenzwerte
- Status: Derzeit in Vorbereitung.

Zusammenfassung

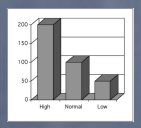


Räumlich

- Formfilter
- Kollimation
- Overranging-Reduktion
- Sektorielle Dosismodulation

Zeitlich

- Zeitliche Dosismodulation
- Prospektives Gating
- Variabler Pitch

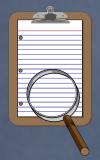


Quantitativ

- Detektortechnik
- Dosisautomatik

Qualitativ

- Slabtechnik
- 3D adaptive Filterung
- Nicht-lineare Bildfilter
- Iterative Rekonstruktion



Informativ

- Dosisanzeige
- Geometrische Effizienz
- Dosisreport
- ‚Safeguard`

Merci !