

Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz

**Berechnungen der internen und externen Strahlenexposition auf Grundlage von Voxel-Modellen
- Vorhaben 3605S04468**

Auftragnehmer:

Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
Institut für Strahlenschutz

J. Becker

N. Petoussi-Henß

H. Schlattl

M. Zankl

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMU (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

BfS-RESFOR-52/12

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-201202067300

Salzgitter, Februar 2012

Abschlussbericht**Vorhaben 3605S04468****Berechnungen der internen und externen Strahlenexposition auf Grundlage von Voxel-Modellen****Laufzeit**

01.01.2006 – 30.06.2009

Fachbetreuung BfS

Dr. D. Noßke, BfS – ISH

Forschungsnehmer

Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
Institut für Strahlenschutz

Durchführende Stelle

Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
Institut für Strahlenschutz
Ingolstädter Landstr. 1
85764 Neuherberg

Projektleitung

M. Zankl
Tel.: (089) 3187-2792
Fax: (089) 3187-2517
zankl@helmholtz-muenchen.de

Autoren

J. Becker, N. Petoussi-Henß, H. Schlattl, M. Zankl

Einleitung

Dosisabschätzungen bei innerer und äußerer Strahlenexposition basierten bislang auf mathematischen Phantomen, die mit Hilfe relativ einfacher geometrischer Figuren den Menschen und seine Organe beschreiben. In der letzten Zeit ging man mehr und mehr dazu über, diese mathematischen Phantome durch realistischere Voxel-Modelle zu ersetzen und die Dosisabschätzungen auf dieser realistischeren Grundlage durchzuführen. Durch die Verwendung von Voxel-Modellen wird eine Verbesserung der Dosisabschätzung für beruflich Strahlenexponierte und Einzelpersonen der Bevölkerung sowie für Patienten erzielt.

Ziel des Vorhabens war es,

- die Berechnung von Organdosen bei äußerer Strahlenexposition durch Umgebungsstrahlung (aus der Luft bzw. vom Boden) für Personen unterschiedlichen Alters mit Hilfe von Voxel-Modellen,
- Organdosiswerte in der Computertomographie für Patienten unterschiedlicher Statur und beiderlei Geschlechts mit Hilfe von Strahlentransportrechnungen in Voxel-Modellen zu berechnen sowie
- ein Voxelmodell einer schwangeren Frau zu erstellen zur Ermittlung der Dosis für die schwangere Frau wie für das Ungeborene bei innerer wie äußerer Strahlenexposition.

Im Einzelnen sollten folgende Fragen und Teilaufgaben bearbeitet werden:

1. Berechnung von Organ-Konversionsfaktoren für Voxelphantome von mindestens 3 Kindern unterschiedlicher Altersklassen (gemäß Bundesanzeiger mit Dosiskoeffizienten) bei externer Strahlenexposition für
 - a) paralleles Strahlenfeld
 - b) rotierendes Strahlenfeld
 - c) Bodenstrahlung
 - d) Strahlung aus der Wolkefür monoenergetische Photonen (Energiebereich 10 keV bis 10 MeV).
2. Berechnung von Organdosiswerten für Kinder bei Bodenstrahlung und Strahlung aus der Wolke für die γ -strahlenden Radionuklide aus der Richtlinie Inkorporationsüberwachung und Vergleich dieser Werte mit den entsprechenden Werten für Erwachsene.
3. Berechnung der Organdosiswerte bei CT-Untersuchungen sehr kleiner Körperabschnitte (5 mm Dicke) für Voxel-Phantome, die Patienten unterschiedlichen Alters, unterschiedlicher Statur und beiderlei Geschlechts repräsentieren, sowie Berechnung des CTDI_{vol}. Dabei sollten die Expositionsparameter von mindestens 3 verschiedenen modernen CT-Geräten verwendet werden.
4. Kombination der unter 3. ermittelten Werte zu Organdosiswerten für typische CT-Untersuchungen.
5. Berechnungen von Dosiswerten für eine schwangere Frau und deren Foetus
 - a) Erstellung eines Voxel-Modells für eine schwangere Frau (6 Monate \pm 1 Monat nach Konzeption). Die Frau sollte bezüglich ihrer Statur und Organmassen in etwa der Referenz-Frau gemäß ICRP entsprechen.
 - b) Untersuchung, inwieweit auch größere Organe des Foetus segmentiert werden können.
 - c) Berechnung der absorbierten Anteile für die Quellenbereiche und Targetgewebe der Frau gemäß der biokinetischen und dosimetrischen Modelle der ICRP sowie für den Foetus und evtl. größere Organe des Foetus als zusätzliches Target.
 - d) Berechnung von Konversionsfaktoren für die Foetusdosis bei externer Strahlenexposition für paralleles Strahlenfeld, rotierendes Strahlenfeld, Bodenstrahlung sowie Strahlung aus der Wolke für monoenergetische Photonen (Energiebereich 10 keV bis 10 MeV).
 - e) Berechnung der Foetusdosis für häufige Röntgenuntersuchungen anhand dieses Voxel-Modells. Dies erlaubt eine Dosisabschätzung für die seltenen Fälle, in denen sich Patientinnen in der zweiten Schwangerschaftshälfte – trotz Kenntnis der Schwangerschaft – einer Röntgenuntersuchung unterziehen müssen.

Durchführung

1. Für die Berechnung von Organ-Konversionsfaktoren von Kindern unterschiedlicher Altersklassen wurden die bereits existierenden Voxelmodelle "Baby" und "Child" verwendet. "Baby" ist das Voxelmodell eines Säuglings im Alter von 8 Wochen und diente als Modell für ein Neugeborenes (Altersklasse \leq 1a). "Child" ist das Voxelmodell eines 7-jährigen Mädchens, das auf-

grund seiner geringen Körpergröße (115 cm, 21.7 kg) als Modell für Kinder im Alter von fünf Jahren (Referenzwerte nach ICRP: 109 cm, 19 kg) bzw. die Altersklasse 2-7a diente. Ein weiteres Voxelmodell eines 8-jährigen Mädchens ("Jo") musste erst fertig segmentiert werden. Das Mädchen ist 130 cm groß und wiegt 34 kg und konnte somit als Modell für Kinder im Alter von zehn Jahren (Referenzwerte nach ICRP: 138 cm, 32 kg) bzw. die Altersklasse 7-12a verwendet werden. Die Dosisberechnungen für diese drei Kindermodelle für die in der Projektbeschreibung spezifizierten Geometrien externer Strahlenexposition wurden mit dem Monte-Carlo-Programm EGSnrc zur Simulation des Strahlentransports im menschlichen Körper durchgeführt.

2. Zu Teil 2. der Projektbeschreibung wurde ein Softwareprogramm erstellt, das es erlaubt, a) die für ausgewählte (monochromatische) Photonenergien berechneten Organdosiskonversionsfaktoren für beliebige Energiewerte zu interpolieren und b) diese interpolierten Konversionsfaktoren gemäß der beim radioaktiven Zerfall ausgewählter Radionuklide auftretenden Gammalinen und deren Intensitäten geeignet zu kombinieren. Dies wurde angewendet auf die unter Punkt 1. spezifizierten Konversionsfaktoren für Modelle von Kindern verschiedener Altersgruppen sowie für die im Rahmen des Forschungsvorhabens StSch 4417 berechneten entsprechenden Konversionsfaktoren für Voxelmodelle erwachsener Männer und Frauen. Als Radionuklide wurden die (ca. 60) γ -strahlenden Radionuklide aus der Richtlinie Inkorporationsüberwachung berücksichtigt. Hierzu wurden die neuesten Zerfallsdaten nach ICRP Publikation 107 verwendet.
3. Da CT-Untersuchungen wenig standardisiert sind, ist eine möglichst große Flexibilität der berechneten Konversionsfaktoren erforderlich. Daher wurden Organdosiskonversionsfaktoren für CT-Untersuchungen von Körperabschnitten der Dicke 5 mm berechnet. Dabei wurden Kopf und Rumpf lückenlos abgedeckt. Diese Konversionsfaktoren wurden berechnet für "Baby" und "Child" sowie für Voxelmodelle von erwachsenen Frauen und Männern unterschiedlicher Statur. Dabei sollten die Expositionsparameter (Röhrenspannung, Filterung, Entfernung zwischen Fokus und Rotationsachse, Formfilter) von drei verschiedenen modernen CT-Geräten verwendet werden. Da die genauen Spezifikationen moderner CT-Geräte hinsichtlich Strahlenqualität und Formfilter von Herstellerseite geheim gehalten werden, waren diese Daten nur für einen Gerätetyp in Erfahrung zu bringen. Daher wurden an mehreren CT-Geräten in der Radiologie-Abteilung des Klinikums rechts der Isar Messungen durchgeführt, die Rückschlüsse auf diese Geräteparameter ermöglichen sollten. Leider erlaubten es die Ergebnisse dennoch nicht, die Materialien und Formen die Formfilter unterschiedlicher CT-Geräte mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen, so dass wir uns doch auf einen Gerätetyp beschränken mussten. Für dieses CT-Gerät wurde außerdem ein entsprechender Konversionsfaktor für den Volumen-CT-Dosisindex CTDI_{vol} berechnet. Auch diese Berechnungen wurden mit den oben genannten Strahlentransportprogramm EGSnrc durchgeführt. Da die meisten aktuellen CT-Geräte Spiral-CT-Geräte sind und die Gesamtkollimation bei den modernen Vielzeilen-Geräten ein Vielfaches der simulierten Schichtdicke von 5 mm ist, wurde außerdem untersucht, wie gut die bei den modernen Untersuchungstechniken auftretenden Dosiswerte mit Hilfe der 5 mm dicken axialen Schichten abgeschätzt werden können. Hierfür wurden ausgewählte Spiral-CT-Untersuchungen bei bis zu 28 mm Gesamtkollimation mit unterschiedlichen Pitch-Faktoren explizit simuliert und deren Konversionsfaktoren mit denen von entsprechend aufsummierten axialen 5-mm-Schichten verglichen.
4. Zu diesem Teil des Projekts wurde ebenfalls ein Softwareprogramm erstellt, das eine Kombination der unter 3. ermittelten Konversionsfaktoren für einzelne 5-mm-Schichten zu CT-Untersuchungen ausgedehnter Körperbereiche gestattet. Dabei finden neben dem Patienten- und dem Gerätetyp auch die aktuellen Scanparameter der betrachteten Untersuchung (Röhrenstrom und Expositionzeit bzw. mAs-Produkt, Schichtdicke, Tischvorschub etc.) Berücksichtigung. Typische CT-Untersuchungen orientieren sich dabei an den Ergebnissen der bundesweiten CT-Umfragen von 1999 und 2002, den "European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography" sowie den Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie.
5. Das Ganzkörpermodell einer Frau in der 24. Schwangerschaftswoche wurde auf der Basis von Bilddaten einer schwangeren Frau sowie dem Voxelmodell der erwachsenen Referenzfrau (ICRP Publikation 110) erarbeitet. Der Foetus wurde aus dem MR-Bilddatensatz des Abdomens und Beckens einer Schwangeren segmentiert. Dabei wurden auch größere Organe des Foetus (z.B. das Skelett) segmentiert, soweit sie auf den MR-Bilddaten identifiziert werden konnten. Die Organe im Bereich des Abdomens und Beckens der Referenzfrau wurden teils verschoben und zusammengerückt, und außerdem wurde der Bauchumfang entsprechend vergrößert, um Raum für den Foetus zu schaffen. Die Berechnungen der absorbierten Anteile für die Quellenbereiche und Targetgewebe der Frau wurden ebenfalls mit EGSnrc durchgeführt. Die Quellenbereiche wurden dabei gemäß der biokinetischen Modelle der ICRP ausgewählt; Targetgewebe

sind alle im Voxelmodell der Frau segmentierten Organe und Gewebe sowie der Foetus einschließlich der separat segmentierten Organe des Foetus. Auch die Berechnung von Konversionsfaktoren für die Foetussdosis bei externer Strahlenexposition wurde mit EGSnrc durchgeführt. Konversionsfaktoren wurden hierbei berechnet für den Foetus und seine Organe. Bei der Berechnung der Foetussdosis für häufige Röntgenuntersuchungen wurden sowohl solche Röntgenaufnahmen betrachtet, bei denen der Foetus nicht direkt sondern hauptsächlich durch Streustahlung exponiert wird (Thoraxuntersuchungen a.p. und p.a.) als auch solche, bei denen der Foetus ganz oder teilweise im Primärstrahlenbündel exponiert wird (Abdomen- und Beckenaufnahmen sowie Aufnahmen der Lendenwirbelsäule).

Ergebnisse

1. Organdosis-Konversionsfaktoren von Kindern verschiedenen Alters für monoenergetische Photonen und paralleles Strahlenfeld (AP, PA), rotierendes Strahlenfeld, isotropen Strahleineinfall, Bodenstrahlung sowie Strahlung aus der Luft

Die beiden Umgebungsgeometrien modellieren dabei eine oberflächliche Kontamination des Bodens („Boden“) und die Verteilung von Aktivität in der umgebenden Luft, entsprechend einer Exposition durch eine radioaktive Wolke („Luft“). Bei der Bodenkontamination wird eine unendlich ausgedehnte Flächenquelle im Boden angenommen, die durch eine Erdschicht von 0.5 g cm^{-2} Dicke abgeschirmt wird, um die Oberflächenrauigkeit und eine beginnende Auswaschung der Aktivität zu berücksichtigen. Die Luftquelle modelliert eine gasförmige Freisetzung von Aktivität in die Atmosphäre in einiger Entfernung vom Ort der Freisetzung, indem eine homogene Aktivitätsverteilung in der Luft bis zu einer Höhe von 1000 m oberhalb einer glatten Trennfläche zwischen Luft und Boden angenommen wird. Bei dieser Expositionsgeometrie fallen die Gammastrahlen nahezu isotrop aus dem oberen Halbraum auf den Körper ein mit nur einem geringen Anteil gestreuter Photonen aus dem unteren Halbraum, während bei der Bodenquelle ein sehr großer Anteil der Strahlung horizontal auf den Körper trifft.

In Tabelle 1 sind die Organdosiskonversionsfaktoren für das „Baby“ (Altersklasse $\leq 1a$) aufgelistet, in Tabelle 2 die Werte für das „Child“ (Altersklasse 2–7a) und in Tabelle 3 für das neu segmentierte Phantom „Jo“ (Altersklasse 7–12a). Abbildungen 1–3 stellen eine Auswahl dieser Organdosiskonversionsfaktoren graphisch dar.

Tabelle 1: Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Baby“ für monoenergetische Photonen

Photonen-energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Augenlinsen						Brust					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.101	0.000	0.030	0.025			0.060	0.000	0.015	0.011		
0.015	0.511	0.000	0.205	0.158	0.153	0.128	0.413	0.000	0.143	0.111	0.041	0.123
0.020	0.788	0.001	0.365	0.298	0.301	0.244	0.708	0.015	0.298	0.266	0.172	0.258
0.030	1.075	0.060	0.595	0.508	0.534	0.424	1.048	0.198	0.529	0.538	0.445	0.462
0.040	1.295	0.187	0.838	0.700	0.683	0.604	1.280	0.403	0.775	0.615	0.662	0.622
0.050	1.416	0.364	0.963	0.841	0.788	0.709	1.466	0.721	0.865	0.852	0.757	0.715
0.060	1.444	0.432	1.019	0.901	0.910	0.762	1.544	0.789	0.987	0.903	0.841	0.752
0.070	1.465	0.473	1.043	0.929	0.928	0.832	1.549	0.868	1.101	0.925	0.879	0.782
0.080	1.525	0.464	1.094	0.779	0.941	0.846	1.643	0.782	1.076	1.109	0.927	0.801
0.100	1.469	0.537	1.027	0.890	0.970	0.854	1.398	0.814	1.085	0.864	0.929	0.864
0.150	1.396	0.542	0.974	1.109	0.974	0.902	1.437	0.862	1.023	0.959	0.974	0.846
0.200	1.317	0.619	1.014	1.020	0.959	0.892	1.349	0.825	0.981	0.966	0.964	0.931
0.300	1.291	0.680	1.030	0.909	0.979	0.932	1.268	0.844	0.985	0.890	0.974	0.901
0.400	1.217	0.648	0.996	0.984			1.174	0.936	1.059	0.989		
0.500	1.201	0.707	1.032	0.955	0.980	0.928	1.226	0.956	1.049	1.075	0.956	0.959
0.600	1.181	0.696	1.021	1.027			1.167	0.885	0.979	0.869		
0.800	1.176	0.747	1.017	0.995			1.186	0.985	0.991	0.843		
1.000	1.158	0.818	1.065	0.891	1.043	0.940	1.170	1.041	1.088	0.847	0.992	0.995
2.000	0.989	0.878	1.005	1.030	0.980	0.985	1.091	1.063	0.998	0.854	1.020	0.951
3.000	0.692	0.886	0.882	0.793	0.867	0.976	0.882	1.111	0.948	0.895	1.003	0.978
4.000	0.545	0.929	0.834	0.802			0.625	1.048	0.881	0.806		
6.000	0.329	0.963	0.700	0.663	0.751	0.881	0.423	1.011	0.746	0.922	0.848	0.851
8.000	0.254	0.961	0.645	0.709			0.291	1.026	0.688	0.618		
10.00	0.196	0.950	0.622	0.557	0.639	0.727	0.231	1.059	0.675	0.607	0.726	0.685

Tabelle 1 (Fortsetzung): Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Baby“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Dickdarm						Gehirn					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.015	0.000	0.004	0.003			0.000	0.000	0.000	0.001		
0.015	0.183	0.014	0.060	0.046	0.049	0.032	0.008	0.007	0.008	0.010	0.002	0.013
0.020	0.462	0.087	0.196	0.158	0.175	0.111	0.061	0.067	0.071	0.070	0.030	0.084
0.030	0.987	0.432	0.573	0.479	0.500	0.349	0.359	0.396	0.405	0.376	0.275	0.392
0.040	1.344	0.768	0.903	0.763	0.773	0.575	0.686	0.739	0.752	0.692	0.577	0.682
0.050	1.535	0.979	1.081	0.922	0.930	0.707	0.896	0.951	0.966	0.888	0.777	0.837
0.060	1.585	1.072	1.156	1.006	1.014	0.766	0.995	1.049	1.066	0.978	0.884	0.916
0.070	1.574	1.087	1.186	1.005	1.046	0.817	1.018	1.071	1.081	0.998	0.935	0.963
0.080	1.542	1.083	1.175	1.006	1.058	0.833	1.024	1.076	1.087	0.997	0.959	0.976
0.100	1.452	1.057	1.110	0.990	1.059	0.856	0.994	1.042	1.050	0.972	0.961	0.990
0.150	1.328	1.000	1.051	0.918	1.021	0.860	0.944	0.982	0.996	0.922	0.939	0.982
0.200	1.264	0.971	1.019	0.899	1.005	0.835	0.926	0.965	0.971	0.909	0.924	0.960
0.300	1.197	0.972	1.002	0.892	0.997	0.850	0.919	0.949	0.962	0.902	0.918	0.963
0.400	1.174	0.975	0.987	0.901			0.921	0.950	0.961	0.903		
0.500	1.137	0.958	0.995	0.895	0.990	0.851	0.924	0.950	0.962	0.909	0.923	0.953
0.600	1.131	0.958	0.976	0.899			0.930	0.960	0.965	0.916		
0.800	1.123	0.966	0.976	0.921			0.940	0.962	0.969	0.925		
1.000	1.107	0.964	0.989	0.922	1.001	0.876	0.953	0.972	0.974	0.934	0.948	0.961
2.000	1.081	0.997	1.020	0.968	1.029	0.917	0.985	1.000	1.002	0.968	0.986	0.993
3.000	1.038	1.019	1.007	0.964	1.030	0.947	1.004	1.015	1.020	0.991	1.005	1.013
4.000	0.959	1.022	1.000	0.978			1.006	1.020	1.024	0.997		
6.000	0.801	1.006	0.947	0.912	0.966	0.936	0.995	1.004	1.002	0.983	1.008	0.993
8.000	0.692	0.985	0.895	0.898			0.974	0.971	0.978	0.952		
10.00	0.603	0.951	0.842	0.834	0.866	0.881	0.941	0.937	0.931	0.924	0.951	0.921
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Harnblase						Haut					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.013	0.000	0.003	0.003			0.348	0.339	0.300	0.252		
0.015	0.137	0.007	0.048	0.031	0.034	0.019	0.496	0.477	0.437	0.391	0.367	0.336
0.020	0.387	0.093	0.174	0.119	0.126	0.076	0.627	0.601	0.553	0.506	0.499	0.442
0.030	0.939	0.503	0.587	0.426	0.451	0.301	0.872	0.844	0.773	0.713	0.714	0.621
0.040	1.344	0.905	0.942	0.716	0.747	0.535	1.053	1.022	0.944	0.871	0.873	0.778
0.050	1.520	1.124	1.134	0.894	0.931	0.678	1.155	1.130	1.044	0.965	0.961	0.860
0.060	1.556	1.229	1.217	1.001	1.013	0.740	1.199	1.173	1.089	1.015	1.011	0.892
0.070	1.605	1.207	1.201	0.980	1.043	0.801	1.203	1.176	1.098	1.018	1.032	0.927
0.080	1.530	1.252	1.197	1.000	1.067	0.815	1.202	1.177	1.100	1.018	1.046	0.930
0.100	1.473	1.179	1.225	0.942	1.057	0.843	1.178	1.156	1.078	1.005	1.049	0.952
0.150	1.340	1.119	1.079	0.897	1.033	0.839	1.130	1.107	1.041	0.979	1.037	0.955
0.200	1.280	1.111	1.069	0.897	0.997	0.822	1.102	1.079	1.024	0.964	1.029	0.938
0.300	1.212	1.042	0.997	0.903	0.994	0.835	1.053	1.034	0.993	0.943	1.010	0.943
0.400	1.186	0.998	1.005	0.868			1.016	0.996	0.956	0.916		
0.500	1.206	1.015	1.053	0.882	0.990	0.831	0.970	0.950	0.922	0.888	0.959	0.908
0.600	1.137	1.036	1.002	0.894			0.921	0.906	0.886	0.861		
0.800	1.073	1.007	0.999	0.903			0.843	0.828	0.812	0.804		
1.000	1.111	1.008	0.988	0.900	1.005	0.874	0.781	0.766	0.763	0.750	0.823	0.823
2.000	1.106	1.031	1.026	0.944	1.032	0.904	0.638	0.635	0.637	0.640	0.694	0.716
3.000	1.022	1.023	1.051	0.995	1.038	0.943	0.577	0.579	0.589	0.590	0.635	0.670
4.000	0.993	1.049	1.029	0.929			0.538	0.546	0.555	0.562		
6.000	0.931	1.068	0.994	0.949	0.991	0.945	0.491	0.504	0.512	0.523	0.556	0.592
8.000	0.780	1.016	0.952	0.943			0.454	0.472	0.484	0.492		
10.00	0.696	0.996	0.890	0.892	0.904	0.918	0.422	0.442	0.458	0.470	0.496	0.537

Tabelle 1 (Fortsetzung): Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Baby“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Knochen(oberfläche)						Leber					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.009	0.010	0.010	0.010			0.001	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.117	0.142	0.121	0.102	0.060	0.099	0.045	0.009	0.020	0.012	0.006	0.011
0.020	0.431	0.536	0.427	0.354	0.273	0.328	0.211	0.081	0.111	0.078	0.058	0.065
0.030	1.488	1.720	1.433	1.213	1.105	1.054	0.723	0.469	0.485	0.373	0.348	0.299
0.040	2.389	2.643	2.289	1.967	1.868	1.712	1.141	0.871	0.855	0.684	0.661	0.550
0.050	2.744	2.980	2.632	2.279	2.223	2.008	1.385	1.125	1.079	0.881	0.856	0.700
0.060	2.666	2.863	2.560	2.234	2.286	2.069	1.476	1.230	1.175	0.975	0.963	0.773
0.070	2.381	2.548	2.286	2.004	2.182	2.061	1.469	1.244	1.191	0.993	1.008	0.830
0.080	2.108	2.240	2.025	1.777	2.047	1.972	1.445	1.240	1.188	0.992	1.026	0.847
0.100	1.667	1.767	1.606	1.418	1.763	1.819	1.364	1.187	1.134	0.953	1.020	0.871
0.150	1.226	1.288	1.186	1.057	1.370	1.507	1.241	1.089	1.050	0.893	0.987	0.870
0.200	1.096	1.153	1.068	0.956	1.204	1.319	1.183	1.056	1.016	0.875	0.967	0.846
0.300	1.024	1.064	0.995	0.907	1.083	1.176	1.128	1.030	0.987	0.869	0.956	0.855
0.400	1.004	1.034	0.977	0.895			1.104	1.015	0.981	0.867		
0.500	0.990	1.022	0.972	0.898	1.011	1.048	1.084	1.010	0.980	0.872	0.952	0.852
0.600	0.993	1.021	0.968	0.895			1.082	1.008	0.977	0.882		
0.800	0.985	1.010	0.971	0.904			1.064	1.010	0.986	0.896		
1.000	0.983	1.004	0.969	0.908	0.984	0.976	1.066	1.000	0.985	0.901	0.968	0.877
2.000	0.987	1.001	0.976	0.927	0.989	0.958	1.069	1.026	1.004	0.953	1.000	0.917
3.000	0.972	0.984	0.965	0.927	0.979	0.955	1.068	1.032	1.025	0.970	1.018	0.953
4.000	0.952	0.958	0.948	0.913			1.059	1.040	1.020	0.978		
6.000	0.895	0.893	0.899	0.883	0.921	0.905	1.004	1.032	1.014	0.978	1.018	0.963
8.000	0.834	0.815	0.838	0.838			0.930	0.999	0.983	0.950		
10.00	0.777	0.739	0.785	0.790	0.823	0.832	0.864	0.975	0.938	0.928	0.956	0.939
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Lunge						Magen					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.011	0.000	0.004	0.002		
0.015	0.036	0.019	0.016	0.009	0.003	0.008	0.144	0.001	0.052	0.036	0.021	0.032
0.020	0.200	0.155	0.112	0.073	0.049	0.062	0.407	0.031	0.167	0.126	0.099	0.107
0.030	0.688	0.650	0.494	0.372	0.343	0.311	0.963	0.348	0.537	0.431	0.403	0.345
0.040	1.075	1.058	0.857	0.685	0.652	0.561	1.347	0.694	0.868	0.715	0.705	0.579
0.050	1.286	1.288	1.069	0.868	0.841	0.707	1.561	0.927	1.076	0.902	0.883	0.726
0.060	1.386	1.401	1.169	0.959	0.947	0.778	1.651	1.045	1.179	0.973	0.975	0.791
0.070	1.392	1.407	1.190	0.982	0.998	0.838	1.633	1.078	1.189	1.001	1.018	0.847
0.080	1.375	1.408	1.191	0.990	1.019	0.854	1.580	1.082	1.190	0.998	1.042	0.858
0.100	1.314	1.350	1.140	0.956	1.020	0.882	1.481	1.047	1.117	0.966	1.031	0.880
0.150	1.217	1.243	1.070	0.917	1.000	0.885	1.344	0.975	1.054	0.917	0.988	0.873
0.200	1.174	1.205	1.037	0.895	0.985	0.870	1.275	0.952	1.012	0.887	0.972	0.849
0.300	1.133	1.158	1.018	0.896	0.977	0.883	1.218	0.946	1.013	0.872	0.961	0.863
0.400	1.105	1.117	1.010	0.886			1.184	0.956	0.980	0.894		
0.500	1.091	1.115	1.001	0.898	0.970	0.878	1.165	0.952	0.997	0.893	0.956	0.856
0.600	1.091	1.110	1.009	0.880			1.137	0.950	1.010	0.889		
0.800	1.075	1.083	1.016	0.913			1.117	0.966	0.984	0.881		
1.000	1.066	1.085	1.005	0.919	0.992	0.903	1.106	0.968	0.978	0.908	0.975	0.891
2.000	1.076	1.093	1.027	0.975	1.026	0.943	1.082	0.989	1.004	0.956	1.006	0.914
3.000	1.089	1.092	1.044	1.002	1.042	0.979	1.065	1.048	0.995	0.968	1.011	0.935
4.000	1.085	1.093	1.064	1.013			0.993	1.021	1.011	0.956		
6.000	1.059	1.078	1.053	1.021	1.062	1.007	0.866	1.029	0.936	0.921	0.978	0.929
8.000	1.014	1.030	1.021	0.993			0.801	1.021	0.949	0.915		
10.00	0.932	0.935	0.961	0.977	0.993	0.982	0.655	1.028	0.854	0.892	0.909	0.895

Tabelle 1 (Fortsetzung): Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Baby“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Ovarien/Testes (Mittelwert)						Rotes Knochenmark					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.086	0.000	0.032	0.026			0.004	0.004	0.004	0.004		
0.015	0.287	0.001	0.112	0.095	0.138	0.057	0.045	0.050	0.045	0.038	0.027	0.034
0.020	0.504	0.048	0.217	0.181	0.233	0.120	0.150	0.177	0.146	0.121	0.103	0.106
0.030	0.907	0.387	0.539	0.433	0.472	0.304	0.486	0.551	0.466	0.395	0.367	0.330
0.040	1.189	0.738	0.811	0.674	0.697	0.501	0.849	0.930	0.814	0.700	0.660	0.584
0.050	1.425	0.962	1.018	0.798	0.855	0.625	1.109	1.192	1.064	0.923	0.866	0.749
0.060	1.474	1.027	1.086	0.934	0.928	0.668	1.232	1.313	1.185	1.035	0.986	0.836
0.070	1.448	1.067	1.117	0.938	0.984	0.736	1.271	1.353	1.225	1.074	1.047	0.899
0.080	1.497	1.044	1.108	0.980	0.991	0.760	1.276	1.349	1.227	1.080	1.077	0.922
0.100	1.423	1.080	1.100	0.966	1.018	0.791	1.212	1.280	1.169	1.033	1.074	0.950
0.150	1.308	1.000	1.070	0.935	0.998	0.806	1.066	1.119	1.031	0.921	1.008	0.931
0.200	1.285	0.993	1.049	0.898	1.013	0.795	1.025	1.077	0.999	0.892	0.977	0.897
0.300	1.242	0.991	0.998	0.869	0.995	0.826	1.010	1.051	0.983	0.894	0.966	0.900
0.400	1.197	0.971	1.011	0.857			1.010	1.041	0.984	0.900		
0.500	1.153	1.023	1.038	1.028	0.995	0.835	1.008	1.041	0.990	0.911	0.969	0.895
0.600	1.151	1.026	1.054	0.914			1.015	1.046	0.991	0.915		
0.800	1.137	1.015	1.009	0.838			1.014	1.040	0.999	0.931		
1.000	1.125	1.015	1.010	0.909	1.026	0.852	1.011	1.034	0.999	0.938	0.988	0.917
2.000	0.966	1.052	0.968	0.958	0.985	0.896	1.016	1.031	1.004	0.953	1.008	0.942
3.000	0.846	1.018	0.968	0.922	0.953	0.898	0.990	1.007	0.986	0.950	0.992	0.947
4.000	0.780	1.016	0.917	0.877			0.959	0.971	0.959	0.920		
6.000	0.674	1.024	0.878	0.887	0.887	0.887	0.883	0.886	0.887	0.873	0.907	0.888
8.000	0.604	1.031	0.856	0.843			0.801	0.791	0.811	0.813		
10.00	0.544	1.054	0.768	0.818	0.836	0.867	0.728	0.699	0.742	0.750	0.778	0.794
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Schilddrüse						Speiseröhre					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.010	0.000	0.003	0.001			0.002	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.194	0.000	0.069	0.025	0.006	0.019	0.051	0.005	0.002	0.001	0.000	0.001
0.020	0.517	0.011	0.223	0.102	0.060	0.069	0.414	0.063	0.044	0.025	0.014	0.022
0.030	1.077	0.244	0.619	0.362	0.349	0.290	0.779	0.464	0.358	0.260	0.212	0.205
0.040	1.581	0.652	1.047	0.694	0.708	0.574	1.012	0.900	0.713	0.559	0.501	0.436
0.050	1.861	0.952	1.344	0.935	0.940	0.749	1.151	1.189	0.938	0.733	0.701	0.582
0.060	1.965	1.099	1.421	1.084	1.068	0.843	1.186	1.290	1.075	0.825	0.842	0.674
0.070	1.939	1.137	1.483	1.095	1.117	0.906	1.202	1.342	1.137	0.910	0.889	0.724
0.080	1.871	1.129	1.433	1.056	1.133	0.931	1.166	1.397	1.134	0.919	0.923	0.758
0.100	1.701	1.069	1.305	0.983	1.102	0.950	1.089	1.302	1.096	0.860	0.956	0.804
0.150	1.495	0.983	1.160	0.930	1.046	0.938	1.032	1.237	1.058	0.888	0.942	0.826
0.200	1.392	0.934	1.141	0.887	0.981	0.887	1.055	1.216	1.032	0.880	0.932	0.798
0.300	1.287	0.925	1.067	0.896	0.995	0.885	1.032	1.149	0.968	0.862	0.928	0.819
0.400	1.259	0.917	1.054	0.841			1.008	1.121	1.010	0.862		
0.500	1.270	0.926	1.048	0.907	0.950	0.862	1.001	1.136	0.976	0.842	0.937	0.826
0.600	1.244	0.934	1.025	0.914			1.003	1.155	0.970	0.836		
0.800	1.184	0.924	1.013	0.818			0.982	1.078	0.948	0.919		
1.000	1.153	0.922	1.030	0.886	0.982	0.890	0.997	1.075	0.988	0.906	0.950	0.844
2.000	1.161	0.975	1.057	1.015	1.004	0.903	1.040	1.067	1.018	0.938	1.003	0.918
3.000	1.118	0.989	1.048	0.962	1.024	0.957	1.049	1.067	1.048	1.017	0.992	0.942
4.000	1.028	1.005	1.005	1.014			1.030	1.065	1.037	0.971		
6.000	0.856	0.974	0.975	0.960	0.959	0.963	1.048	1.071	1.037	0.985	1.025	0.986
8.000	0.744	0.950	0.898	0.913			1.026	1.039	1.004	0.998		
10.00	0.638	0.983	0.861	0.926	0.887	0.939	0.002	0.994	1.018	0.974	1.003	0.981

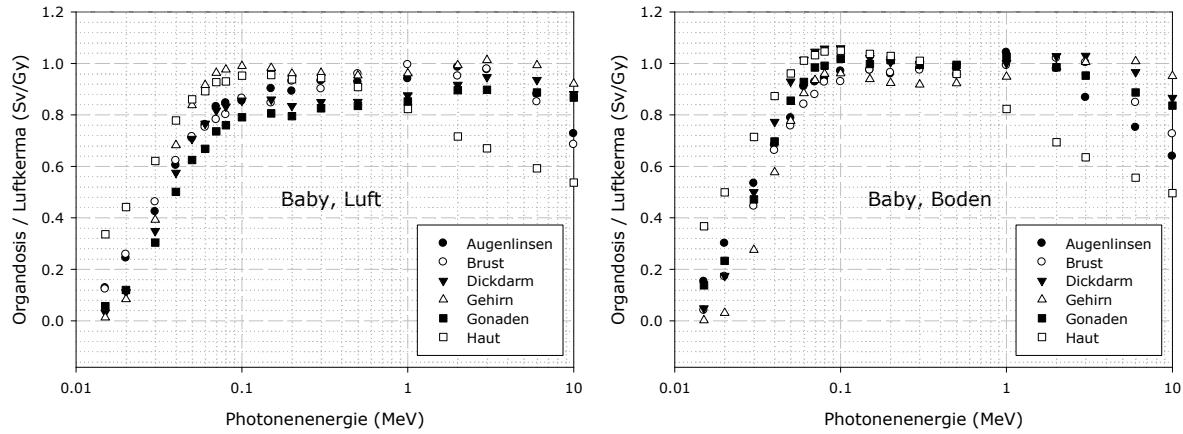


Abbildung 1: Ausgewählte Organdosiskonversionsfaktoren (Organosis pro Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom Baby bei Bestrahlung durch eine radioaktive Wolke (links) und Bodenkontamination (rechts) (monoenergetische Photonen).

Abbildung 1 zeigt Konversionsfaktoren für das Babyphantom für monoenergetische Photonen und die beiden Umgebungsgeometrien. Dabei ist festzustellen, dass nur geringe Unterschiede zwischen den Konversionsfaktoren der einzelnen Organe auftreten, da diese Geometrien zu einer ziemlich homogenen Bestrahlung des gesamten Körpers führen. Für hohe Photonenergien fallen die Konversionsfaktoren umso stärker ab, je oberflächennäher das Organ liegt, da für diese Energien kein Sekundärteilchengleichgewicht herrscht. Je näher der Körperoberfläche die Sekundärteilchen entstehen, umso mehr davon verlassen den Körper.

Tabelle 2: Organosiskonversionsfaktoren (Organosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Child“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Augenlinsen						Brust					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.059	0.000	0.019	0.026			0.106	0.000	0.041	0.032		
0.015	0.438	0.000	0.171	0.146	0.193	0.114	0.388	0.000	0.163	0.136	0.073	0.147
0.020	0.762	0.000	0.340	0.278	0.337	0.232	0.585	0.000	0.271	0.234	0.178	0.248
0.030	1.104	0.007	0.559	0.427	0.513	0.383	0.831	0.039	0.408	0.383	0.343	0.383
0.040	1.338	0.053	0.753	0.734	0.634	0.511	1.054	0.152	0.565	0.484	0.466	0.485
0.050	1.473	0.123	0.860	0.754	0.747	0.591	1.199	0.291	0.710	0.624	0.570	0.570
0.060	1.558	0.209	0.956	0.815	0.802	0.648	1.332	0.424	0.817	0.734	0.657	0.621
0.070	1.531	0.260	0.998	0.846	0.863	0.712	1.456	0.493	0.913	0.784	0.720	0.670
0.080	1.567	0.271	1.012	0.957	0.871	0.751	1.468	0.568	0.922	0.828	0.760	0.715
0.100	1.535	0.300	1.080	0.935	0.924	0.777	1.527	0.617	0.990	0.853	0.819	0.756
0.150	1.431	0.389	1.006	0.896	0.919	0.794	1.475	0.657	0.993	0.888	0.857	0.810
0.200	1.339	0.397	1.001	0.918	0.958	0.827	1.394	0.721	0.951	0.860	0.865	0.838
0.300	1.320	0.411	0.950	0.925	0.901	0.853	1.308	0.765	0.973	0.839	0.871	0.869
0.400	1.184	0.488	0.937	0.920			1.251	0.787	0.943	0.853		
0.500	1.159	0.561	0.963	0.946	1.005	0.783	1.242	0.798	0.947	0.851	0.886	0.878
0.600	1.173	0.540	0.992	0.917			1.201	0.824	0.937	0.867		
0.800	1.154	0.603	0.951	0.822			1.153	0.867	0.940	0.871		
1.000	1.129	0.613	0.999	0.828	0.923	0.936	1.142	0.868	0.955	0.969	0.896	0.889
2.000	1.012	0.719	0.959	0.982	0.994	0.940	0.947	0.932	0.894	0.905	0.876	0.900
3.000	0.816	0.790	0.893	0.865	0.783	0.968	0.779	0.972	0.819	0.851	0.862	0.845
4.000	0.605	0.804	0.807	0.811			0.602	0.983	0.776	0.804		
6.000	0.402	0.840	0.728	0.759	0.684	0.830	0.414	0.933	0.658	0.690	0.708	0.714
8.000	0.303	0.849	0.666	0.648			0.288	0.950	0.608	0.606		
10.00	0.239	0.833	0.613	0.593	0.590	0.755	0.226	0.922	0.592	0.584	0.604	0.607

Tabelle 2 (Fortsetzung): Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Child“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Dickdarm						Gehirn					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.009	0.001	0.005	0.003	0.002	0.003	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002
0.020	0.080	0.018	0.039	0.025	0.020	0.022	0.009	0.014	0.015	0.017	0.007	0.023
0.030	0.463	0.221	0.254	0.184	0.175	0.151	0.156	0.206	0.201	0.190	0.131	0.208
0.040	0.909	0.578	0.570	0.426	0.407	0.326	0.436	0.530	0.521	0.476	0.371	0.459
0.050	1.252	0.887	0.849	0.646	0.609	0.468	0.681	0.791	0.782	0.713	0.578	0.638
0.060	1.433	1.084	1.008	0.782	0.743	0.564	0.832	0.942	0.938	0.849	0.711	0.746
0.070	1.493	1.174	1.070	0.840	0.819	0.622	0.893	0.999	0.995	0.904	0.786	0.806
0.080	1.501	1.197	1.091	0.864	0.854	0.660	0.919	1.020	1.016	0.923	0.824	0.846
0.100	1.428	1.170	1.060	0.842	0.875	0.703	0.909	0.999	0.997	0.905	0.848	0.880
0.150	1.274	1.058	0.967	0.760	0.856	0.716	0.860	0.938	0.939	0.857	0.838	0.894
0.200	1.177	1.009	0.923	0.735	0.832	0.715	0.839	0.911	0.910	0.837	0.824	0.885
0.300	1.113	0.967	0.874	0.720	0.816	0.724	0.829	0.891	0.892	0.823	0.817	0.885
0.400	1.079	0.952	0.882	0.724			0.831	0.887	0.889	0.822		
0.500	1.060	0.942	0.884	0.735	0.814	0.719	0.836	0.889	0.889	0.831	0.822	0.879
0.600	1.040	0.939	0.874	0.751			0.842	0.895	0.896	0.836		
0.800	1.018	0.938	0.893	0.751			0.859	0.902	0.903	0.847		
1.000	1.009	0.944	0.886	0.776	0.840	0.741	0.872	0.916	0.915	0.865	0.852	0.891
2.000	1.012	0.956	0.923	0.842	0.886	0.795	0.922	0.954	0.955	0.912	0.898	0.922
3.000	1.026	0.977	0.948	0.874	0.912	0.828	0.947	0.971	0.971	0.933	0.922	0.940
4.000	1.020	0.985	0.948	0.881			0.950	0.975	0.969	0.944		
6.000	0.989	0.979	0.949	0.881	0.926	0.862	0.950	0.970	0.966	0.931	0.929	0.941
8.000	0.958	0.955	0.935	0.904			0.934	0.941	0.942	0.917		
10.00	0.922	0.950	0.913	0.887	0.904	0.853	0.906	0.918	0.919	0.894	0.892	0.893
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Harnblase						Haut					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.270	0.266	0.224	0.186		
0.015	0.016	0.000	0.004	0.002	0.002	0.002	0.422	0.411	0.357	0.319	0.281	0.297
0.020	0.125	0.005	0.039	0.025	0.024	0.018	0.539	0.527	0.460	0.420	0.400	0.389
0.030	0.604	0.138	0.251	0.180	0.186	0.133	0.742	0.735	0.639	0.589	0.581	0.541
0.040	1.117	0.438	0.566	0.425	0.419	0.300	0.929	0.920	0.808	0.736	0.727	0.666
0.050	1.489	0.738	0.841	0.644	0.623	0.437	1.066	1.056	0.932	0.843	0.830	0.747
0.060	1.670	0.933	1.008	0.786	0.758	0.533	1.147	1.135	1.007	0.911	0.893	0.792
0.070	1.731	1.022	1.064	0.839	0.835	0.591	1.169	1.159	1.031	0.934	0.928	0.824
0.080	1.718	1.061	1.084	0.866	0.873	0.630	1.185	1.173	1.045	0.945	0.949	0.840
0.100	1.622	1.037	1.050	0.837	0.896	0.677	1.167	1.152	1.036	0.942	0.963	0.867
0.150	1.403	0.943	0.949	0.773	0.868	0.696	1.116	1.099	0.999	0.918	0.960	0.881
0.200	1.310	0.896	0.912	0.747	0.844	0.694	1.081	1.069	0.978	0.896	0.949	0.875
0.300	1.201	0.867	0.875	0.727	0.828	0.699	1.040	1.026	0.951	0.881	0.934	0.880
0.400	1.157	0.855	0.869	0.730			1.005	0.997	0.927	0.865		
0.500	1.128	0.861	0.859	0.741	0.821	0.699	0.975	0.965	0.905	0.850	0.905	0.859
0.600	1.107	0.871	0.853	0.729			0.947	0.937	0.882	0.832		
0.800	1.081	0.863	0.875	0.756			0.891	0.879	0.839	0.797		
1.000	1.065	0.880	0.879	0.789	0.852	0.723	0.834	0.821	0.795	0.760	0.818	0.802
2.000	1.067	0.905	0.917	0.836	0.895	0.784	0.687	0.678	0.675	0.663	0.706	0.717
3.000	1.050	0.943	0.949	0.870	0.918	0.817	0.620	0.614	0.620	0.613	0.650	0.670
4.000	1.048	0.921	0.949	0.878			0.582	0.577	0.589	0.582		
6.000	1.023	0.952	0.944	0.920	0.948	0.861	0.527	0.533	0.548	0.543	0.571	0.591
8.000	0.973	0.949	0.922	0.907			0.493	0.499	0.516	0.518		
10.00	0.923	0.943	0.923	0.893	0.918	0.849	0.464	0.474	0.497	0.496	0.518	0.539

Tabelle 2 (Fortsetzung): Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Child“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Knochen(oberfläche)						Leber					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.004	0.003	0.004	0.005			0.000	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.055	0.042	0.049	0.044	0.006	0.022	0.013	0.002	0.005	0.003	0.002	0.004
0.020	0.240	0.210	0.209	0.175	0.037	0.075	0.083	0.024	0.040	0.027	0.019	0.027
0.030	1.113	1.089	0.966	0.795	0.245	0.285	0.427	0.223	0.252	0.190	0.169	0.170
0.040	2.154	2.171	1.890	1.574	0.531	0.523	0.859	0.569	0.572	0.444	0.404	0.360
0.050	2.790	2.834	2.469	2.073	0.752	0.690	1.194	0.885	0.842	0.670	0.608	0.518
0.060	2.913	2.964	2.593	2.184	0.882	0.782	1.375	1.077	1.005	0.805	0.743	0.618
0.070	2.708	2.763	2.421	2.053	0.947	0.838	1.428	1.153	1.064	0.858	0.816	0.678
0.080	2.446	2.494	2.192	1.857	0.972	0.865	1.430	1.174	1.084	0.877	0.852	0.718
0.100	1.946	1.983	1.747	1.494	0.974	0.890	1.353	1.133	1.045	0.848	0.871	0.755
0.150	1.351	1.372	1.225	1.057	0.931	0.883	1.199	1.028	0.951	0.783	0.846	0.769
0.200	1.156	1.171	1.060	0.918	0.901	0.860	1.121	0.974	0.904	0.752	0.820	0.761
0.300	1.028	1.037	0.955	0.838	0.879	0.853	1.050	0.935	0.871	0.732	0.802	0.764
0.400	0.988	0.995	0.923	0.819			1.018	0.914	0.859	0.743		
0.500	0.970	0.976	0.911	0.813	0.872	0.840	0.999	0.907	0.857	0.744	0.799	0.760
0.600	0.961	0.965	0.905	0.814			0.993	0.906	0.862	0.755		
0.800	0.953	0.957	0.907	0.824			0.984	0.908	0.868	0.771		
1.000	0.951	0.956	0.907	0.829	0.891	0.848	0.984	0.915	0.882	0.783	0.824	0.775
2.000	0.954	0.962	0.928	0.866	0.929	0.882	0.993	0.942	0.911	0.853	0.878	0.826
3.000	0.951	0.961	0.933	0.876	0.944	0.896	0.999	0.954	0.937	0.878	0.904	0.852
4.000	0.941	0.950	0.922	0.879			0.991	0.953	0.946	0.887		
6.000	0.900	0.926	0.900	0.865	0.932	0.883	0.987	0.967	0.940	0.896	0.919	0.880
8.000	0.859	0.894	0.863	0.832			0.955	0.950	0.936	0.898		
10.00	0.809	0.853	0.827	0.807	0.874	0.839	0.905	0.925	0.900	0.873	0.890	0.867
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Lunge						Magen					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.001	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.006	0.002	0.002	0.001	0.000	0.002	0.059	0.000	0.017	0.012	0.006	0.011
0.020	0.065	0.035	0.028	0.019	0.008	0.022	0.235	0.001	0.080	0.059	0.047	0.056
0.030	0.402	0.330	0.237	0.176	0.137	0.179	0.744	0.065	0.321	0.255	0.235	0.226
0.040	0.804	0.756	0.557	0.439	0.371	0.385	1.229	0.273	0.607	0.498	0.462	0.407
0.050	1.107	1.101	0.824	0.661	0.576	0.551	1.564	0.506	0.869	0.716	0.652	0.550
0.060	1.273	1.303	0.984	0.794	0.711	0.652	1.733	0.649	1.011	0.814	0.776	0.642
0.070	1.332	1.367	1.050	0.857	0.789	0.715	1.755	0.741	1.054	0.872	0.840	0.693
0.080	1.350	1.389	1.072	0.879	0.828	0.755	1.738	0.793	1.070	0.887	0.871	0.728
0.100	1.295	1.351	1.049	0.870	0.854	0.796	1.618	0.770	1.031	0.859	0.882	0.760
0.150	1.182	1.236	0.977	0.817	0.848	0.818	1.422	0.737	0.949	0.794	0.860	0.773
0.200	1.130	1.174	0.948	0.793	0.828	0.812	1.308	0.715	0.919	0.759	0.835	0.763
0.300	1.075	1.118	0.918	0.776	0.821	0.822	1.235	0.730	0.868	0.749	0.820	0.764
0.400	1.044	1.085	0.907	0.774			1.161	0.723	0.864	0.750		
0.500	1.031	1.075	0.906	0.786	0.824	0.825	1.137	0.735	0.863	0.743	0.818	0.760
0.600	1.032	1.061	0.903	0.796			1.123	0.739	0.887	0.758		
0.800	1.018	1.041	0.915	0.812			1.072	0.768	0.870	0.793		
1.000	1.016	1.032	0.914	0.829	0.855	0.835	1.074	0.777	0.876	0.793	0.843	0.779
2.000	1.025	1.031	0.954	0.889	0.904	0.877	1.050	0.855	0.915	0.851	0.891	0.822
3.000	1.037	1.043	0.975	0.919	0.932	0.903	1.046	0.880	0.936	0.888	0.915	0.859
4.000	1.035	1.029	0.984	0.929			1.038	0.885	0.942	0.905		
6.000	1.036	1.050	1.006	0.951	0.956	0.937	0.944	0.909	0.940	0.879	0.911	0.870
8.000	1.016	1.029	1.000	0.942			0.882	0.889	0.898	0.903		
10.00	0.985	1.013	0.973	0.946	0.950	0.938	0.796	0.921	0.877	0.842	0.862	0.845

Tabelle 2 (Fortsetzung): Organdosiskonversionsfaktoren (Ogandosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Child“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Ovarien/Testes (Mittelwert)						Rotes Knochenmark					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.049	0.000	0.015	0.022			0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	
0.015	0.257	0.000	0.097	0.089	0.155	0.051	0.003	0.003	0.004	0.006	0.002	0.008
0.020	0.465	0.003	0.190	0.160	0.224	0.106	0.035	0.034	0.029	0.027	0.015	0.032
0.030	0.877	0.118	0.390	0.335	0.374	0.238	0.242	0.263	0.202	0.161	0.133	0.153
0.040	1.265	0.363	0.684	0.537	0.560	0.386	0.570	0.632	0.492	0.397	0.348	0.333
0.050	1.511	0.664	0.898	0.716	0.717	0.513	0.879	0.972	0.775	0.628	0.556	0.487
0.060	1.717	0.832	1.054	0.824	0.829	0.601	1.076	1.184	0.956	0.781	0.701	0.591
0.070	1.725	0.885	1.072	0.871	0.872	0.655	1.168	1.279	1.039	0.859	0.792	0.661
0.080	1.710	0.962	1.085	0.912	0.933	0.683	1.208	1.319	1.082	0.891	0.844	0.706
0.100	1.546	0.947	1.065	0.881	0.918	0.712	1.200	1.301	1.076	0.894	0.886	0.761
0.150	1.382	0.931	0.985	0.825	0.906	0.726	1.090	1.176	0.986	0.830	0.879	0.790
0.200	1.329	0.901	0.928	0.732	0.873	0.710	1.038	1.115	0.949	0.800	0.861	0.786
0.300	1.205	0.840	0.907	0.755	0.871	0.730	0.996	1.056	0.920	0.788	0.849	0.796
0.400	1.116	0.866	0.906	0.779			0.980	1.030	0.910	0.792		
0.500	1.112	0.892	0.911	0.784	0.870	0.736	0.969	1.019	0.908	0.794	0.849	0.797
0.600	1.112	0.853	0.906	0.791			0.969	1.011	0.908	0.801		
0.800	1.100	0.854	0.900	0.812			0.968	1.004	0.919	0.820		
1.000	1.060	0.864	0.914	0.832	0.866	0.758	0.969	1.004	0.918	0.831	0.875	0.815
2.000	0.958	0.922	0.903	0.893	0.898	0.803	0.983	1.014	0.954	0.886	0.920	0.860
3.000	0.917	0.942	0.902	0.788	0.850	0.811	0.990	1.014	0.969	0.904	0.940	0.880
4.000	0.878	0.917	0.913	0.803			0.984	1.007	0.966	0.913		
6.000	0.725	0.915	0.821	0.762	0.815	0.780	0.956	0.992	0.950	0.909	0.938	0.885
8.000	0.644	0.972	0.763	0.786			0.926	0.958	0.922	0.882		
10.00	0.637	0.955	0.799	0.715	0.759	0.798	0.879	0.919	0.892	0.862	0.890	0.852
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Schilddrüse						Speiseröhre					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.009	0.000	0.005	0.002			0.000	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.112	0.000	0.069	0.030	0.010	0.028	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
0.020	0.294	0.002	0.199	0.096	0.057	0.081	0.019	0.003	0.012	0.008	0.005	0.007
0.030	0.717	0.108	0.489	0.289	0.250	0.266	0.210	0.135	0.157	0.106	0.078	0.099
0.040	1.157	0.391	0.845	0.570	0.495	0.463	0.564	0.493	0.449	0.318	0.267	0.268
0.050	1.467	0.761	1.136	0.736	0.707	0.631	0.857	0.865	0.741	0.553	0.471	0.424
0.060	1.623	0.885	1.285	0.907	0.835	0.738	1.076	1.094	0.904	0.717	0.612	0.536
0.070	1.668	0.988	1.347	0.951	0.916	0.799	1.146	1.218	1.003	0.781	0.697	0.596
0.080	1.630	1.047	1.318	0.929	0.965	0.834	1.192	1.256	1.050	0.794	0.748	0.660
0.100	1.533	0.962	1.264	0.909	0.955	0.852	1.145	1.206	1.040	0.839	0.781	0.704
0.150	1.366	0.935	1.137	0.866	0.906	0.866	1.053	1.107	0.929	0.753	0.785	0.736
0.200	1.270	0.882	1.046	0.835	0.879	0.865	1.003	1.068	0.921	0.715	0.779	0.742
0.300	1.174	0.840	1.018	0.757	0.858	0.849	0.948	1.043	0.869	0.690	0.768	0.762
0.400	1.147	0.879	0.997	0.765			0.940	0.996	0.891	0.722		
0.500	1.135	0.846	0.975	0.793	0.847	0.828	0.923	0.965	0.877	0.716	0.774	0.773
0.600	1.080	0.836	0.991	0.766			0.952	0.948	0.879	0.752		
0.800	1.093	0.895	0.980	0.740			0.896	0.958	0.909	0.757		
1.000	1.073	0.854	0.981	0.792	0.875	0.841	0.904	0.957	0.892	0.775	0.806	0.777
2.000	1.057	0.947	1.001	0.908	0.912	0.873	0.928	0.977	0.921	0.825	0.876	0.815
3.000	1.011	0.948	0.980	0.867	0.920	0.874	0.990	0.982	0.974	0.838	0.903	0.871
4.000	0.968	0.924	0.966	0.838			0.986	0.970	0.923	0.874		
6.000	0.838	0.951	0.942	0.844	0.858	0.893	0.957	0.996	0.954	0.872	0.922	0.893
8.000	0.787	0.920	0.881	0.887			1.018	0.983	0.952	0.851		
10.00	0.686	0.927	0.853	0.808	0.788	0.871	0.936	0.962	0.942	0.928	0.904	0.883

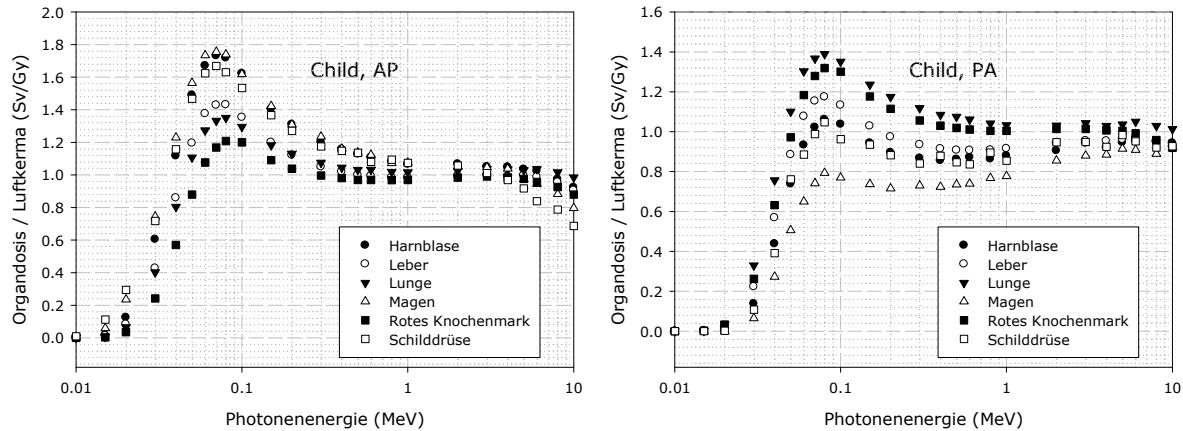


Abbildung 2: Ausgewählte Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis pro Luftkerma frei in Luft, in Sv/Gy) für das Phantom Child bei Einfall paralleler Bündel monoenergetischer Photonen von vorne (links) und von hinten (rechts).

Abbildung 2 zeigt Konversionsfaktoren für das Phantom „Child“ für monoenergetische Photonen bei Strahleneinfall parallel von vorne und von hinten. Hier sind die Unterschiede zwischen den Konversionsfaktoren der einzelnen Organe größer, besonders im Energiebereich unterhalb von 500 keV (AP) oder 1 MeV (PA), infolge des starken Dosisabfalls mit zunehmender Tiefe im Körper für diese Energien bei Strahleneinfall aus nur einer Richtung.

Tabelle 3: Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Jo“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Augenlinsen						Brust					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.265	0.000	0.073	0.058			0.107	0.000	0.034	0.035		
0.015	0.700	0.000	0.266	0.203	0.272	0.161	0.423	0.000	0.160	0.153	0.084	0.160
0.020	0.926	0.000	0.412	0.318	0.422	0.234	0.645	0.000	0.289	0.271	0.198	0.287
0.030	1.176	0.003	0.582	0.425	0.559	0.381	0.956	0.019	0.469	0.439	0.380	0.451
0.040	1.351	0.030	0.737	0.570	0.651	0.495	1.203	0.099	0.588	0.549	0.512	0.553
0.050	1.604	0.116	0.951	0.777	0.792	0.582	1.360	0.178	0.737	0.699	0.619	0.641
0.060	1.562	0.187	1.036	0.946	0.777	0.696	1.501	0.267	0.835	0.713	0.674	0.684
0.070	1.670	0.214	1.006	0.839	0.851	0.710	1.526	0.317	0.861	0.778	0.746	0.725
0.080	1.563	0.232	1.037	0.816	0.816	0.725	1.583	0.375	0.915	0.864	0.763	0.771
0.100	1.526	0.330	1.023	0.756	0.877	0.760	1.558	0.411	0.928	0.879	0.812	0.797
0.150	1.466	0.413	0.952	0.845	0.935	0.784	1.450	0.440	0.946	0.851	0.850	0.850
0.200	1.374	0.381	1.026	0.921	0.969	0.804	1.397	0.523	0.916	0.830	0.864	0.864
0.300	1.277	0.428	1.033	0.739	0.858	0.731	1.254	0.540	0.913	0.831	0.825	0.847
0.400	1.236	0.464	0.993	0.790			1.268	0.598	0.899	0.834		
0.500	1.222	0.500	1.005	1.031	0.966	0.807	1.232	0.627	0.892	0.803	0.845	0.890
0.600	1.202	0.566	0.990	0.873			1.177	0.666	0.859	0.867		
0.800	1.155	0.607	0.975	0.861			1.173	0.719	0.864	0.825		
1.000	1.059	0.704	0.945	0.775	0.892	0.972	1.176	0.734	0.906	0.834	0.872	0.879
2.000	0.761	0.744	0.874	1.106	0.851	0.820	0.946	0.809	0.894	0.853	0.869	0.919
3.000	0.533	0.793	0.828	0.678	0.758	0.856	0.737	0.881	0.818	0.831	0.826	0.823
4.000	0.412	0.782	0.729	0.615			0.539	0.865	0.772	0.770		
6.000	0.281	0.843	0.665	0.717	0.643	0.735	0.348	0.896	0.653	0.659	0.671	0.702
8.000	0.199	0.843	0.650	0.641			0.247	0.877	0.593	0.597		
10.00	0.151	0.824	0.541	0.559	0.480	0.701	0.186	0.867	0.551	0.590	0.601	0.592

Tabelle 3 (Fortsetzung): Organdosiskonversionsfaktoren (Ogandosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Jo“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Dickdarm						Gehirn					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.004	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002
0.020	0.063	0.019	0.030	0.019	0.013	0.016	0.008	0.009	0.012	0.016	0.005	0.021
0.030	0.424	0.181	0.234	0.166	0.152	0.136	0.147	0.169	0.185	0.177	0.108	0.192
0.040	0.870	0.471	0.535	0.398	0.365	0.292	0.419	0.462	0.497	0.452	0.329	0.440
0.050	1.218	0.756	0.788	0.599	0.556	0.429	0.661	0.710	0.756	0.687	0.528	0.621
0.060	1.409	0.944	0.959	0.741	0.686	0.523	0.812	0.863	0.915	0.827	0.665	0.735
0.070	1.478	1.033	1.016	0.785	0.763	0.580	0.875	0.929	0.977	0.877	0.741	0.805
0.080	1.486	1.067	1.047	0.814	0.801	0.622	0.903	0.952	1.004	0.899	0.781	0.843
0.100	1.419	1.051	1.011	0.794	0.821	0.662	0.899	0.944	0.987	0.889	0.813	0.883
0.150	1.242	0.953	0.922	0.721	0.804	0.677	0.853	0.892	0.933	0.843	0.808	0.899
0.200	1.153	0.904	0.879	0.696	0.784	0.672	0.830	0.865	0.907	0.819	0.797	0.892
0.300	1.077	0.871	0.835	0.674	0.764	0.679	0.818	0.850	0.886	0.810	0.793	0.895
0.400	1.045	0.871	0.833	0.677			0.822	0.855	0.884	0.806		
0.500	1.016	0.863	0.836	0.681	0.765	0.679	0.829	0.860	0.888	0.812	0.803	0.889
0.600	1.007	0.858	0.829	0.690			0.837	0.859	0.889	0.821		
0.800	1.005	0.864	0.836	0.713			0.852	0.874	0.900	0.839		
1.000	0.993	0.878	0.850	0.725	0.793	0.699	0.861	0.885	0.914	0.850	0.836	0.904
2.000	0.977	0.900	0.889	0.805	0.849	0.757	0.911	0.925	0.950	0.901	0.884	0.930
3.000	1.007	0.933	0.913	0.824	0.886	0.790	0.937	0.952	0.960	0.924	0.912	0.957
4.000	1.001	0.940	0.923	0.845			0.944	0.964	0.973	0.940		
6.000	1.006	0.929	0.933	0.859	0.918	0.848	0.951	0.962	0.971	0.938	0.942	0.966
8.000	0.979	0.924	0.922	0.861			0.934	0.945	0.938	0.920		
10.00	0.953	0.920	0.914	0.867	0.923	0.860	0.899	0.921	0.917	0.894	0.924	0.941
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Harnblase						Haut					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.22	0.219	0.192	0.158		
0.015	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.39	0.371	0.338	0.300	0.245	0.283
0.020	0.047	0.008	0.015	0.008	0.006	0.006	0.53	0.494	0.454	0.413	0.374	0.385
0.030	0.373	0.165	0.153	0.111	0.106	0.081	0.75	0.722	0.653	0.599	0.572	0.551
0.040	0.857	0.499	0.435	0.326	0.302	0.216	0.94	0.915	0.823	0.746	0.720	0.675
0.050	1.239	0.771	0.703	0.538	0.498	0.349	1.07	1.052	0.941	0.852	0.820	0.754
0.060	1.473	0.984	0.897	0.717	0.641	0.445	1.15	1.127	1.011	0.911	0.882	0.801
0.070	1.574	1.090	0.992	0.751	0.727	0.505	1.17	1.150	1.032	0.931	0.917	0.832
0.080	1.578	1.118	1.016	0.814	0.775	0.549	1.18	1.157	1.043	0.943	0.937	0.849
0.100	1.515	1.126	0.982	0.778	0.804	0.599	1.16	1.136	1.028	0.934	0.948	0.872
0.150	1.301	1.008	0.928	0.710	0.789	0.626	1.10	1.074	0.983	0.900	0.939	0.881
0.200	1.235	0.937	0.865	0.683	0.770	0.625	1.07	1.042	0.956	0.879	0.928	0.876
0.300	1.125	0.909	0.784	0.655	0.754	0.640	1.03	1.003	0.929	0.863	0.914	0.876
0.400	1.070	0.903	0.804	0.637			1.00	0.975	0.909	0.847		
0.500	1.049	0.860	0.788	0.674	0.765	0.637	0.97	0.954	0.894	0.838	0.891	0.859
0.600	1.044	0.896	0.780	0.680			0.95	0.935	0.878	0.825		
0.800	1.011	0.897	0.824	0.698			0.91	0.888	0.846	0.799		
1.000	1.011	0.892	0.850	0.719	0.795	0.669	0.86	0.844	0.810	0.777	0.829	0.816
2.000	1.036	0.963	0.875	0.809	0.836	0.727	0.71	0.701	0.689	0.675	0.721	0.736
3.000	0.998	0.971	0.906	0.788	0.874	0.783	0.63	0.637	0.632	0.627	0.665	0.687
4.000	1.038	0.983	0.943	0.886			0.59	0.594	0.593	0.592		
6.000	0.971	0.973	0.934	0.866	0.923	0.834	0.53	0.548	0.550	0.550	0.587	0.608
8.000	0.961	0.968	0.940	0.889			0.49	0.515	0.517	0.518		
10.00	1.009	0.918	0.892	0.859	0.936	0.853	0.46	0.486	0.494	0.497	0.537	0.560

Tabelle 3 (Fortsetzung): Organdosiskonversionsfaktoren (Ogandosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Jo“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Knochen(oberfläche)						Leber					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.001			0.00	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.004	0.003	0.004	0.007	0.003	0.009	0.00	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
0.020	0.037	0.030	0.031	0.031	0.016	0.034	0.02	0.013	0.016	0.009	0.006	0.009
0.030	0.249	0.239	0.207	0.168	0.132	0.157	0.27	0.170	0.169	0.120	0.101	0.104
0.040	0.546	0.555	0.464	0.375	0.323	0.318	0.66	0.492	0.451	0.342	0.296	0.263
0.050	0.815	0.838	0.700	0.569	0.496	0.449	1.00	0.808	0.722	0.557	0.488	0.408
0.060	0.985	1.024	0.855	0.702	0.621	0.539	1.21	1.027	0.900	0.702	0.625	0.510
0.070	1.071	1.116	0.932	0.766	0.703	0.601	1.30	1.129	0.983	0.772	0.711	0.577
0.080	1.111	1.155	0.974	0.803	0.750	0.642	1.31	1.171	1.011	0.801	0.755	0.624
0.100	1.110	1.157	0.978	0.809	0.794	0.693	1.26	1.151	0.983	0.785	0.785	0.669
0.150	1.050	1.090	0.937	0.780	0.809	0.733	1.11	1.043	0.896	0.719	0.770	0.693
0.200	1.008	1.046	0.904	0.761	0.806	0.740	1.03	0.979	0.847	0.686	0.749	0.688
0.300	0.974	1.003	0.883	0.755	0.806	0.758	0.97	0.927	0.815	0.677	0.736	0.695
0.400	0.957	0.981	0.879	0.760			0.94	0.915	0.805	0.679		
0.500	0.950	0.972	0.876	0.762	0.814	0.765	0.93	0.904	0.807	0.677	0.737	0.696
0.600	0.951	0.972	0.882	0.773			0.92	0.901	0.810	0.687		
0.800	0.948	0.971	0.887	0.790			0.92	0.906	0.822	0.706		
1.000	0.956	0.972	0.896	0.801	0.846	0.794	0.93	0.904	0.826	0.731	0.770	0.720
2.000	0.973	0.987	0.927	0.857	0.899	0.844	0.94	0.928	0.876	0.796	0.828	0.775
3.000	0.979	0.994	0.944	0.888	0.925	0.870	0.96	0.943	0.899	0.832	0.861	0.807
4.000	0.986	0.995	0.953	0.901			0.95	0.950	0.917	0.847		
6.000	0.962	0.993	0.954	0.899	0.952	0.900	0.97	0.951	0.918	0.870	0.911	0.860
8.000	0.945	0.962	0.925	0.891			0.95	0.940	0.915	0.865		
10.00	0.915	0.934	0.901	0.877	0.930	0.889	0.94	0.938	0.910	0.867	0.921	0.878
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Lunge						Magen					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.00	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.00	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
0.020	0.025	0.033	0.015	0.010	0.004	0.011	0.05	0.001	0.017	0.012	0.006	0.012
0.030	0.236	0.311	0.170	0.124	0.089	0.121	0.41	0.064	0.180	0.133	0.109	0.120
0.040	0.573	0.740	0.442	0.346	0.277	0.296	0.86	0.275	0.458	0.348	0.305	0.278
0.050	0.870	1.104	0.701	0.562	0.464	0.448	1.24	0.521	0.717	0.566	0.489	0.425
0.060	1.062	1.339	0.868	0.707	0.598	0.554	1.47	0.713	0.891	0.706	0.629	0.518
0.070	1.143	1.427	0.959	0.777	0.682	0.623	1.54	0.828	0.962	0.775	0.709	0.582
0.080	1.174	1.462	0.980	0.813	0.730	0.670	1.56	0.879	1.002	0.790	0.752	0.632
0.100	1.140	1.421	0.971	0.799	0.766	0.717	1.46	0.876	0.961	0.784	0.780	0.673
0.150	1.049	1.290	0.900	0.749	0.761	0.745	1.30	0.829	0.886	0.710	0.764	0.697
0.200	0.989	1.204	0.856	0.719	0.748	0.743	1.18	0.778	0.840	0.699	0.746	0.686
0.300	0.949	1.135	0.839	0.709	0.740	0.750	1.10	0.762	0.811	0.673	0.731	0.694
0.400	0.937	1.099	0.832	0.709			1.05	0.768	0.813	0.663		
0.500	0.923	1.068	0.832	0.719	0.745	0.752	1.02	0.778	0.806	0.683	0.734	0.693
0.600	0.926	1.056	0.831	0.727			1.01	0.769	0.814	0.692		
0.800	0.931	1.040	0.842	0.745			0.99	0.796	0.812	0.698		
1.000	0.927	1.036	0.849	0.759	0.781	0.774	1.01	0.794	0.839	0.738	0.770	0.719
2.000	0.957	1.027	0.893	0.833	0.840	0.825	0.99	0.859	0.892	0.773	0.825	0.768
3.000	0.971	1.029	0.930	0.865	0.877	0.858	0.99	0.873	0.909	0.846	0.869	0.808
4.000	0.981	1.017	0.941	0.881			0.99	0.874	0.923	0.841		
6.000	0.990	1.019	0.960	0.891	0.928	0.908	0.98	0.908	0.909	0.860	0.909	0.858
8.000	0.983	1.005	0.942	0.911			0.99	0.898	0.915	0.863		
10.00	0.975	0.983	0.942	0.917	0.944	0.932	0.98	0.891	0.915	0.867	0.906	0.872

Tabelle 3 (Fortsetzung): Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom „Jo“ für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Ovarien/Testes (Mittelwert)						Rotes Knochenmark					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.004	0.000	0.001	0.004			0.000	0.000	0.000	0.001		
0.015	0.084	0.000	0.029	0.032	0.060	0.018	0.002	0.002	0.002	0.005	0.001	0.006
0.020	0.261	0.002	0.100	0.095	0.131	0.059	0.024	0.025	0.020	0.020	0.009	0.024
0.030	0.682	0.104	0.304	0.263	0.280	0.183	0.197	0.210	0.164	0.131	0.098	0.123
0.040	1.045	0.345	0.552	0.452	0.458	0.323	0.500	0.543	0.426	0.337	0.283	0.281
0.050	1.352	0.625	0.779	0.629	0.617	0.438	0.808	0.877	0.694	0.555	0.472	0.425
0.060	1.567	0.788	0.893	0.783	0.721	0.525	1.010	1.101	0.876	0.708	0.614	0.528
0.070	1.610	0.891	0.996	0.792	0.794	0.572	1.114	1.212	0.969	0.785	0.708	0.597
0.080	1.555	0.902	0.994	0.810	0.833	0.612	1.163	1.259	1.018	0.826	0.762	0.646
0.100	1.498	0.910	0.961	0.831	0.848	0.650	1.161	1.256	1.021	0.831	0.811	0.701
0.150	1.364	0.855	0.881	0.747	0.838	0.675	1.065	1.142	0.944	0.776	0.814	0.737
0.200	1.266	0.797	0.894	0.698	0.818	0.665	1.007	1.081	0.900	0.746	0.801	0.738
0.300	1.157	0.793	0.834	0.753	0.797	0.683	0.966	1.027	0.873	0.736	0.792	0.749
0.400	1.153	0.824	0.837	0.674			0.945	0.997	0.868	0.738		
0.500	1.126	0.812	0.829	0.699	0.795	0.688	0.940	0.986	0.864	0.740	0.797	0.751
0.600	1.054	0.836	0.825	0.741			0.938	0.983	0.868	0.751		
0.800	1.072	0.843	0.865	0.670			0.937	0.979	0.876	0.767		
1.000	1.041	0.804	0.832	0.792	0.839	0.692	0.944	0.980	0.883	0.782	0.829	0.776
2.000	1.028	0.902	0.874	0.800	0.893	0.752	0.965	0.992	0.919	0.841	0.884	0.826
3.000	1.008	0.953	0.936	0.799	0.884	0.801	0.972	0.998	0.938	0.875	0.912	0.855
4.000	1.038	0.952	0.952	0.844			0.983	1.000	0.949	0.892		
6.000	0.889	0.915	0.963	0.855	0.911	0.836	0.966	1.000	0.957	0.897	0.947	0.891
8.000	0.846	0.886	0.874	0.824			0.954	0.974	0.933	0.892		
10.00	0.751	0.921	0.855	0.743	0.859	0.835	0.925	0.946	0.909	0.882	0.935	0.890
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Schilddrüse						Speiseröhre					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.005	0.000	0.007	0.003	0.001	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	0.052	0.001	0.052	0.029	0.015	0.026	0.020	0.001	0.008	0.004	0.002	0.005
0.030	0.336	0.089	0.251	0.168	0.130	0.161	0.201	0.091	0.112	0.078	0.048	0.074
0.040	0.730	0.391	0.553	0.406	0.323	0.348	0.518	0.399	0.349	0.250	0.193	0.219
0.050	1.069	0.717	0.832	0.613	0.511	0.512	0.829	0.738	0.600	0.447	0.362	0.357
0.060	1.260	0.944	1.022	0.777	0.652	0.627	1.031	1.003	0.761	0.607	0.490	0.459
0.070	1.356	1.057	1.072	0.824	0.750	0.706	1.148	1.155	0.878	0.691	0.577	0.535
0.080	1.345	1.167	1.131	0.883	0.799	0.756	1.194	1.176	0.909	0.736	0.640	0.587
0.100	1.312	1.082	1.075	0.851	0.831	0.802	1.234	1.183	0.964	0.739	0.695	0.654
0.150	1.156	1.006	0.953	0.764	0.792	0.811	1.096	1.119	0.866	0.706	0.696	0.691
0.200	1.061	0.947	0.923	0.719	0.774	0.805	1.032	1.023	0.848	0.705	0.696	0.697
0.300	1.005	0.896	0.888	0.723	0.750	0.799	1.008	1.029	0.810	0.672	0.689	0.706
0.400	0.994	0.864	0.879	0.730			0.936	0.956	0.790	0.660		
0.500	0.961	0.847	0.841	0.743	0.755	0.788	0.974	0.966	0.799	0.670	0.712	0.716
0.600	0.936	0.849	0.872	0.731			0.956	0.933	0.822	0.686		
0.800	0.973	0.862	0.854	0.740			0.905	0.959	0.802	0.726		
1.000	0.886	0.875	0.868	0.783	0.775	0.801	0.976	0.944	0.833	0.732	0.751	0.745
2.000	0.977	0.915	0.927	0.796	0.815	0.829	1.002	0.940	0.894	0.799	0.812	0.791
3.000	0.991	0.932	0.951	0.861	0.860	0.881	0.975	0.933	0.922	0.819	0.868	0.828
4.000	0.966	0.981	0.968	0.870			0.966	0.989	0.918	0.807		
6.000	0.982	0.974	0.969	0.905	0.914	0.897	0.968	0.990	0.921	0.821	0.917	0.872
8.000	0.973	0.939	0.915	0.875			1.013	0.950	0.924	0.872		
10.00	0.995	0.965	0.922	0.906	0.878	0.912	0.973	0.974	0.926	0.870	0.908	0.904

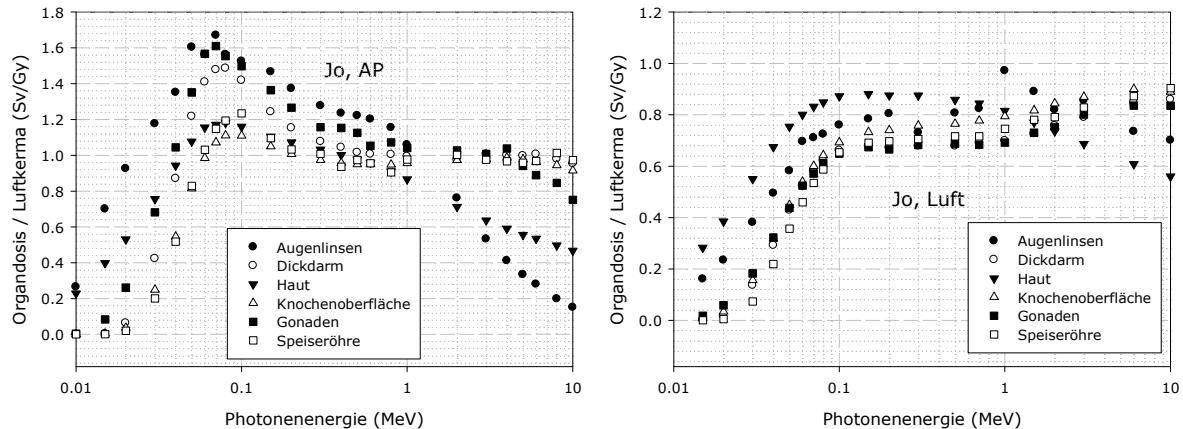


Abbildung 3: Ausgewählte Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis pro Luftkerma frei in Luft, in Sv/Gy) für das Phantom „Jo“ bei Einfall paralleler Bündel monoenergetischer Photonen von vorne (links) und bei Exposition aus der Luft (rechts).

Abbildung 3 zeigt Konversionsfaktoren für das Phantom „Jo“ für monoenergetische Photonen bei Strahleneinfall parallel von vorne und bei Exposition durch eine radioaktive Wolke. Auch hier sind die Unterschiede zwischen den Konversionsfaktoren der einzelnen Organe sehr viel größer für Strahleneinfall aus nur einer Richtung als bei der wesentlich gleichmäßigeren Einstrahlung aus der Luft.

2. Berechnung von Organdosen für Kinder für Umgebungsgeometrien für γ -strahlende Radionuklide und Vergleich mit den Werten für Erwachsene

Im Folgenden werden solche Radionuklide betrachtet, die beim Zerfall im Wesentlichen Gammastrahlung emittieren, da Betastrahlung nur eine geringe Durchdringungsfähigkeit besitzt. Die beim Zerfall einer Reihe von Nukliden ebenfalls emittierte Betastrahlung wurde wegen ihrer geringen Reichweite nicht berücksichtigt. Die Energien und Ausbeuten der Gammalinen bei der nuklearen Transformation wurden der ICRP Publikation 107 entnommen (ICRP (2008). Nuclear decay data for dosimetric calculations. ICRP Publication 107. Ann. ICRP 38(3)). Zur Berechnung der Konversionsfaktoren pro Aktivität eines Nuklids wurden die obigen Tabellenwerte mittels kubischer Splinefunktionen gefitett, dann die jeweiligen monoenergetischen Werte entsprechend berechnet, mit ihren Ausbeuten multipliziert und aufsummiert. Ein Vergleich von Konversionsfaktoren für die effektive Dosis sowie für die Gonadendosis (arithmetisches Mittel aus den Dosiswerten für Ovarien und Testes) für die Kinderphantome mit denen der erwachsenen Phantome ist in den beiden folgenden Tabellen dargestellt. Dabei enthält Tabelle 4 die Daten für Exposition durch Radioaktivität in der umgebenden Luft und Tabelle 5 die Daten für Exposition durch Bodenkontamination.

Tabelle 4: Dosisraten einiger Radionuklide für die effektive Dosis und die Gonadendosis normiert auf Aktivität in der Luft für Exposition in einer radioaktiven Wolke für Kinder unterschiedlichen Alters und Erwachsene.

Radio-nuklid	Dosisleistung pro Einheit Aktivität pro Luftvolumen (nSv/h pro Bq/m ³)							
	Gonadendosis				Effektive Dosis			
	≤ 1 a	2 – 7 a	7 – 12 a	Erwach-sene	≤ 1 a	2 – 7 a	7 – 12 a	Erwach-sene
Be-7	9.56E-03	8.48E-03	7.88E-03	7.06E-03	1.00E-02	9.11E-03	8.45E-03	7.94E-03
Na-22	4.39E-01	3.92E-01	3.61E-01	3.26E-01	4.59E-01	4.18E-01	3.89E-01	3.68E-01
Na-24	8.65E-01	7.84E-01	7.46E-01	6.91E-01	9.07E-01	8.32E-01	7.84E-01	7.50E-01
Ar-41	2.64E-01	2.37E-01	2.17E-01	1.97E-01	2.76E-01	2.51E-01	2.35E-01	2.23E-01
K-40	3.26E-02	2.93E-02	2.70E-02	2.46E-02	3.40E-02	3.11E-02	2.91E-02	2.77E-02
Sc-46	4.06E-01	3.64E-01	3.31E-01	3.00E-01	4.28E-01	3.87E-01	3.60E-01	3.42E-01
Mn-54	1.67E-01	1.49E-01	1.36E-01	1.23E-01	1.76E-01	1.59E-01	1.48E-01	1.40E-01
Mn-56	3.48E-01	3.13E-01	2.88E-01	2.63E-01	3.63E-01	3.32E-01	3.10E-01	2.95E-01
Fe-59	2.43E-01	2.18E-01	1.99E-01	1.81E-01	2.55E-01	2.31E-01	2.16E-01	2.05E-01
Co-56	7.49E-01	6.74E-01	6.29E-01	5.76E-01	7.85E-01	7.17E-01	6.72E-01	6.39E-01
Co-57	1.97E-02	1.77E-02	1.63E-02	1.45E-02	2.17E-02	1.89E-02	1.75E-02	1.63E-02
Co-58	1.93E-01	1.72E-01	1.58E-01	1.42E-01	2.03E-01	1.84E-01	1.71E-01	1.62E-01
Co-60	5.13E-01	4.61E-01	4.21E-01	3.83E-01	5.38E-01	4.89E-01	4.56E-01	4.34E-01
Ni-65	1.15E-01	1.03E-01	9.48E-02	8.62E-02	1.20E-01	1.10E-01	1.03E-01	9.74E-02
Zn-65	1.18E-01	1.06E-01	9.65E-02	8.76E-02	1.24E-01	1.13E-01	1.05E-01	9.96E-02

Tabelle 4 (Fortsetzung): Dosisraten einiger Radionuklide für die effektive Dosis und die Gonadendosis normiert auf Aktivität in der Luft für Exposition in einer radioaktiven Wolke für Kinder unterschiedlichen Alters und Erwachsene.

Radio-nuklid	Dosisleistung pro Einheit Aktivität pro Luftvolumen (nSv/h pro Bq/m ³)							
	Gonadendosis				Effektive Dosis			
	≤ 1a	2 – 7 a	7 – 12 a	Erwach-sene	≤ 1a	2 – 7 a	7 – 12 a	Erwach-sene
Br-84	3.65E-01	3.30E-01	3.13E-01	2.88E-01	3.83E-01	3.51E-01	3.30E-01	3.15E-01
Kr-85m	2.71E-02	2.42E-02	2.25E-02	2.01E-02	2.92E-02	2.61E-02	2.43E-02	2.26E-02
Kr-85	4.31E-04	3.83E-04	3.55E-04	3.19E-04	4.52E-04	4.11E-04	3.81E-04	3.58E-04
Kr-87	1.62E-01	1.46E-01	1.38E-01	1.26E-01	1.70E-01	1.56E-01	1.46E-01	1.39E-01
Kr-88	4.09E-01	3.69E-01	3.47E-01	3.19E-01	4.26E-01	3.91E-01	3.68E-01	3.51E-01
Rb-88	1.33E-01	1.20E-01	1.12E-01	1.02E-01	1.39E-01	1.27E-01	1.20E-01	1.14E-01
Rb-89	4.63E-01	4.17E-01	3.86E-01	3.53E-01	4.85E-01	4.43E-01	4.14E-01	3.94E-01
Sr-91	1.42E-01	1.27E-01	1.15E-01	1.04E-01	1.49E-01	1.35E-01	1.25E-01	1.19E-01
Sr-92	2.75E-01	2.47E-01	2.27E-01	2.06E-01	2.88E-01	2.62E-01	2.45E-01	2.33E-01
Sr-93	4.57E-01	4.10E-01	3.78E-01	3.44E-01	4.79E-01	4.36E-01	4.07E-01	3.86E-01
Y-90m	1.18E-01	1.05E-01	9.77E-02	8.75E-02	1.25E-01	1.13E-01	1.05E-01	9.86E-02
Y-91m	1.03E-01	9.12E-02	8.44E-02	7.59E-02	1.08E-01	9.78E-02	9.07E-02	8.54E-02
Zr-95	1.45E-01	1.29E-01	1.19E-01	1.07E-01	1.53E-01	1.38E-01	1.28E-01	1.21E-01
Zr-97	1.75E-01	1.56E-01	1.43E-01	1.29E-01	1.84E-01	1.66E-01	1.55E-01	1.46E-01
Nb-95m	1.13E-02	1.00E-02	9.30E-03	8.24E-03	1.21E-02	1.09E-02	1.01E-02	9.39E-03
Nb-95	1.52E-01	1.35E-01	1.24E-01	1.12E-01	1.60E-01	1.45E-01	1.34E-01	1.27E-01
Nb-97	1.31E-01	1.17E-01	1.07E-01	9.66E-02	1.37E-01	1.25E-01	1.16E-01	1.09E-01
Mo-99	2.86E-02	2.56E-02	2.34E-02	2.11E-02	3.03E-02	2.73E-02	2.54E-02	2.40E-02
Mo-101	2.98E-01	2.67E-01	2.46E-01	2.23E-01	3.12E-01	2.84E-01	2.65E-01	2.51E-01
Tc-99m	2.08E-02	1.87E-02	1.73E-02	1.55E-02	2.27E-02	2.00E-02	1.86E-02	1.73E-02
Ru-103	9.57E-02	8.50E-02	7.89E-02	7.08E-02	1.00E-01	9.12E-02	8.46E-02	7.95E-02
Ru-105	1.46E-01	1.30E-01	1.19E-01	1.07E-01	1.53E-01	1.39E-01	1.29E-01	1.22E-01
Rh-106	4.04E-02	3.60E-02	3.32E-02	2.99E-02	4.23E-02	3.85E-02	3.57E-02	3.37E-02
Ag-110m	5.54E-01	4.95E-01	4.53E-01	4.10E-01	5.82E-01	5.28E-01	4.91E-01	4.65E-01
Sb-124	3.78E-01	3.39E-01	3.13E-01	2.84E-01	3.94E-01	3.60E-01	3.37E-01	3.19E-01
Sb-125	8.24E-02	7.31E-02	6.75E-02	6.04E-02	8.66E-02	7.83E-02	7.25E-02	6.82E-02
Sb-126m	3.03E-01	2.69E-01	2.48E-01	2.23E-01	3.18E-01	2.88E-01	2.68E-01	2.52E-01
Sb-126	5.41E-01	4.82E-01	4.43E-01	3.99E-01	5.69E-01	5.16E-01	4.79E-01	4.52E-01
Sb-127	1.35E-01	1.20E-01	1.11E-01	9.97E-02	1.42E-01	1.29E-01	1.20E-01	1.13E-01
Sb-129	2.95E-01	2.64E-01	2.42E-01	2.19E-01	3.09E-01	2.81E-01	2.62E-01	2.48E-01
Sb-131	4.22E-01	3.79E-01	3.48E-01	3.17E-01	4.42E-01	4.03E-01	3.76E-01	3.57E-01
Te-129	1.14E-02	1.01E-02	9.33E-03	8.32E-03	1.20E-02	1.08E-02	1.00E-02	9.40E-03
Te-131m	2.89E-01	2.58E-01	2.36E-01	2.14E-01	3.04E-01	2.75E-01	2.56E-01	2.42E-01
Te-131	7.95E-02	7.11E-02	6.54E-02	5.89E-02	8.43E-02	7.60E-02	7.06E-02	6.65E-02
Te-132	3.85E-02	3.41E-02	3.16E-02	2.78E-02	4.16E-02	3.69E-02	3.41E-02	3.17E-02
Te-133m	3.72E-01	3.33E-01	3.05E-01	2.76E-01	3.91E-01	3.55E-01	3.30E-01	3.13E-01
Te-133	2.41E-01	2.16E-01	1.99E-01	1.80E-01	2.52E-01	2.30E-01	2.14E-01	2.03E-01
Te-134	1.66E-01	1.48E-01	1.36E-01	1.22E-01	1.75E-01	1.58E-01	1.47E-01	1.38E-01
I-130	4.20E-01	3.74E-01	3.44E-01	3.10E-01	4.41E-01	4.00E-01	3.72E-01	3.51E-01
I-131	7.21E-02	6.40E-02	5.94E-02	5.27E-02	7.59E-02	6.89E-02	6.38E-02	5.98E-02
I-132	4.51E-01	4.03E-01	3.70E-01	3.34E-01	4.74E-01	4.30E-01	4.00E-01	3.78E-01
I-133	1.20E-01	1.06E-01	9.83E-02	8.85E-02	1.25E-01	1.14E-01	1.06E-01	9.97E-02
I-134	5.21E-01	4.66E-01	4.26E-01	3.86E-01	5.48E-01	4.97E-01	4.62E-01	4.38E-01
I-135	3.25E-01	2.92E-01	2.68E-01	2.44E-01	3.40E-01	3.10E-01	2.90E-01	2.75E-01
Xe-123	1.22E-01	1.09E-01	1.00E-01	9.04E-02	1.28E-01	1.16E-01	1.08E-01	1.02E-01
Xe-125	4.53E-02	4.02E-02	3.71E-02	3.29E-02	4.88E-02	4.32E-02	4.00E-02	3.73E-02
Xe-127	4.65E-02	4.13E-02	3.83E-02	3.40E-02	5.02E-02	4.47E-02	4.14E-02	3.85E-02
Xe-133	5.97E-03	5.16E-03	4.56E-03	3.83E-03	6.69E-03	5.27E-03	4.77E-03	4.35E-03
Xe-135m	8.19E-02	7.27E-02	6.73E-02	6.05E-02	8.58E-02	7.79E-02	7.22E-02	6.80E-02
Xe-135	4.47E-02	3.97E-02	3.71E-02	3.28E-02	4.77E-02	4.32E-02	4.00E-02	3.73E-02
Xe-138	2.31E-01	2.08E-01	1.93E-01	1.76E-01	2.40E-01	2.21E-01	2.07E-01	1.96E-01
Ba-137m	1.17E-01	1.04E-01	9.57E-02	8.63E-02	1.23E-01	1.11E-01	1.03E-01	9.75E-02
Ba-140	3.42E-02	3.03E-02	2.81E-02	2.51E-02	3.59E-02	3.25E-02	3.01E-02	2.83E-02
Cs-134	3.07E-01	2.74E-01	2.51E-01	2.27E-01	3.23E-01	2.93E-01	2.72E-01	2.57E-01
Cs-136	4.25E-01	3.80E-01	3.47E-01	3.13E-01	4.48E-01	4.05E-01	3.76E-01	3.56E-01
Cs-138	4.88E-01	4.39E-01	4.06E-01	3.71E-01	5.10E-01	4.66E-01	4.36E-01	4.15E-01
La-140	4.75E-01	4.26E-01	3.94E-01	3.58E-01	4.95E-01	4.53E-01	4.24E-01	4.02E-01
La-142	4.95E-01	4.47E-01	4.22E-01	3.89E-01	5.17E-01	4.75E-01	4.46E-01	4.26E-01
Ce-141	1.23E-02	1.10E-02	1.02E-02	9.03E-03	1.35E-02	1.17E-02	1.09E-02	1.02E-02
Pm-148	1.17E-01	1.05E-01	9.64E-02	8.75E-02	1.23E-01	1.12E-01	1.04E-01	9.87E-02
Pm-148m	3.90E-01	3.47E-01	3.19E-01	2.88E-01	4.10E-01	3.71E-01	3.45E-01	3.25E-01
Eu-152	2.33E-01	2.08E-01	1.90E-01	1.72E-01	2.45E-01	2.21E-01	2.06E-01	1.95E-01
Eu-154	2.49E-01	2.23E-01	2.03E-01	1.84E-01	2.62E-01	2.37E-01	2.21E-01	2.09E-01
Eu-156	2.54E-01	2.28E-01	2.10E-01	1.91E-01	2.65E-01	2.42E-01	2.26E-01	2.15E-01

Tabelle 4 (Fortsetzung): Dosisraten einiger Radionuklide für die effektive Dosis und die Gonadendosis normiert auf Aktivität in der Luft für Exposition in einer radioaktiven Wolke für Kinder unterschiedlichen Alters und Erwachsene.

Radio-nuklid	Dosisleistung pro Einheit Aktivität pro Luftvolumen (nSv/h pro Bq/m ³)							
	Gonadendosis				Effektive Dosis			
	≤ 1a	2 – 7 a	7 – 12 a	Erwach-sene	≤ 1a	2 – 7 a	7 – 12 a	Erwach-sene
Hf-181	9.89E-02	8.79E-02	8.15E-02	7.28E-02	1.05E-01	9.43E-02	8.73E-02	8.19E-02
Ta-182	2.57E-01	2.31E-01	2.10E-01	1.91E-01	2.71E-01	2.45E-01	2.28E-01	2.16E-01
W-187	8.58E-02	7.64E-02	7.03E-02	6.31E-02	9.05E-02	8.16E-02	7.57E-02	7.13E-02
TI-208	7.00E-01	6.33E-01	6.04E-01	5.58E-01	7.34E-01	6.73E-01	6.34E-01	6.05E-01
Pb-212	2.47E-02	2.20E-02	2.04E-02	1.80E-02	2.67E-02	2.38E-02	2.20E-02	2.05E-02
Pb-214	4.63E-02	4.11E-02	3.82E-02	3.37E-02	4.90E-02	4.43E-02	4.09E-02	3.83E-02
Bi-212	2.07E-02	1.85E-02	1.70E-02	1.54E-02	2.17E-02	1.97E-02	1.83E-02	1.74E-02
Bi-214	3.04E-01	2.72E-01	2.52E-01	2.29E-01	3.17E-01	2.89E-01	2.71E-01	2.57E-01
Ac-228	1.72E-01	1.54E-01	1.41E-01	1.27E-01	1.81E-01	1.64E-01	1.53E-01	1.45E-01
U-235	2.74E-02	2.45E-02	2.28E-02	2.04E-02	2.98E-02	2.66E-02	2.48E-02	2.31E-02
Np-238	1.18E-01	1.05E-01	9.55E-02	8.66E-02	1.24E-01	1.12E-01	1.04E-01	9.88E-02
Np-239	2.97E-02	2.65E-02	2.44E-02	2.15E-02	3.22E-02	2.84E-02	2.63E-02	2.44E-02
Cm-248	3.35E-05	2.87E-05	1.49E-05	9.39E-06	2.91E-05	1.97E-05	1.65E-05	1.32E-05

Generell ist zu sagen, dass diese Umgebungsgeometrie eine relativ homogene Dosisverteilung innerhalb des Körpers zur Folge hat. Daher treten auch keine großen Unterschiede der einzelnen Organdosen auf, und die Konversionsfaktoren für die Gonadendoses und die effektive Dosis sind sehr ähnlich. Ferner lässt sich feststellen, dass die Konversionsfaktoren mit zunehmendem Alter (d. h. zunehmender Körpergröße) abnehmen, da bei größeren Körpern die Selbstabschirmung zunimmt.

Tabelle 5: Dosisraten einiger Radionuklide für die effektive Dosis und die Gonadendosis normiert auf Aktivität im Boden für Exposition durch Bodenkontamination für Kinder unterschiedlichen Alters und Erwachsene.

Radio-nuklid	Dosisleistung pro Einheit Aktivität pro Flächeneinheit (nSv/h pro kBq/m ²)							
	Gonadendosis				Effektive Dosis			
	≤ 1a	2 – 7 a	7 – 12 a	Erwach-sene	≤ 1a	2 – 7 a	7 – 12 a	Erwach-sene
Be-7	2.05E-01	1.80E-01	1.64E-01	1.49E-01	2.01E-01	1.75E-01	1.59E-01	1.49E-01
Na-22	7.41E+00	6.49E+00	6.10E+00	5.52E+00	7.29E+00	6.40E+00	5.88E+00	5.53E+00
K-40	4.27E-01	3.79E-01	3.69E-01	3.33E-01	4.26E-01	3.80E-01	3.53E-01	3.34E-01
K-42	7.47E-01	6.65E-01	6.50E-01	5.86E-01	7.47E-01	6.67E-01	6.21E-01	5.87E-01
Sc-46	6.07E+00	5.21E+00	5.00E+00	4.50E+00	5.88E+00	5.19E+00	4.80E+00	4.51E+00
Cr-51	1.03E-01	9.04E-02	8.23E-02	7.52E-02	1.01E-01	8.75E-02	7.93E-02	7.41E-02
Mn-54	2.73E+00	2.34E+00	2.22E+00	2.00E+00	2.64E+00	2.32E+00	2.14E+00	2.01E+00
Mn-56	4.86E+00	4.28E+00	4.14E+00	3.74E+00	4.82E+00	4.28E+00	3.97E+00	3.75E+00
Fe-59	3.40E+00	2.95E+00	2.85E+00	2.57E+00	3.32E+00	2.95E+00	2.73E+00	2.57E+00
Co-56	1.02E+01	8.95E+00	8.71E+00	7.95E+00	1.02E+01	9.04E+00	8.40E+00	7.92E+00
Co-57	3.42E-01	3.08E-01	2.86E-01	2.61E-01	3.44E-01	2.96E-01	2.70E-01	2.48E-01
Co-58	3.35E+00	2.89E+00	2.72E+00	2.46E+00	3.26E+00	2.86E+00	2.62E+00	2.46E+00
Co-60	7.04E+00	6.14E+00	5.95E+00	5.36E+00	6.92E+00	6.15E+00	5.70E+00	5.38E+00
Ni-65	1.56E+00	1.37E+00	1.33E+00	1.20E+00	1.54E+00	1.37E+00	1.27E+00	1.20E+00
Zn-65	1.70E+00	1.47E+00	1.42E+00	1.27E+00	1.66E+00	1.47E+00	1.36E+00	1.28E+00
Zn-69m	1.63E+00	1.43E+00	1.30E+00	1.19E+00	1.60E+00	1.39E+00	1.26E+00	1.18E+00
Se-75	1.19E+00	1.05E+00	9.66E-01	8.81E-01	1.18E+00	1.02E+00	9.25E-01	8.60E-01
Br-84	4.51E+00	4.01E+00	3.97E+00	3.66E+00	4.57E+00	4.11E+00	3.84E+00	3.62E+00
Rb-86	2.73E-01	2.34E-01	2.26E-01	2.03E-01	2.65E-01	2.34E-01	2.17E-01	2.04E-01
Sr-92	3.70E+00	3.26E+00	3.17E+00	2.85E+00	3.67E+00	3.26E+00	3.03E+00	2.86E+00
Y-90m	2.40E+00	2.10E+00	1.93E+00	1.75E+00	2.36E+00	2.05E+00	1.86E+00	1.74E+00
Y-91	8.95E-03	7.77E-03	7.53E-03	6.78E-03	8.77E-03	7.78E-03	7.21E-03	6.80E-03
Y-91m	2.12E+00	1.85E+00	1.70E+00	1.54E+00	2.08E+00	1.81E+00	1.65E+00	1.54E+00
Y-92	7.74E-01	6.69E-01	6.40E-01	5.77E-01	7.55E-01	6.66E-01	6.14E-01	5.78E-01
Y-93	2.72E-01	2.40E-01	2.31E-01	2.09E-01	2.70E-01	2.39E-01	2.21E-01	2.08E-01
Zr-95	2.54E+00	2.19E+00	2.06E+00	1.86E+00	2.47E+00	2.16E+00	1.99E+00	1.86E+00
Zr-97	2.99E+00	2.59E+00	2.44E+00	2.20E+00	2.92E+00	2.56E+00	2.35E+00	2.21E+00
Nb-93m	1.56E-04	1.58E-04	7.69E-05	4.38E-05	5.70E-05	3.62E-05	2.55E-05	1.84E-05
Nb-95	2.61E+00	2.25E+00	2.12E+00	1.91E+00	2.53E+00	2.22E+00	2.04E+00	1.92E+00
Nb-95m	1.94E-01	1.69E-01	1.56E-01	1.42E-01	1.89E-01	1.64E-01	1.49E-01	1.39E-01
Nb-97	2.44E+00	2.11E+00	1.97E+00	1.78E+00	2.38E+00	2.08E+00	1.90E+00	1.78E+00
Mo-93	8.72E-04	8.85E-04	4.30E-04	2.45E-04	3.18E-04	2.02E-04	1.42E-04	1.03E-04
Mo-99	5.00E-01	4.33E-01	4.05E-01	3.67E-01	4.87E-01	4.26E-01	3.90E-01	3.66E-01

Tabelle 5 (Fortsetzung): Dosisraten einiger Radionuklide für die effektive Dosis und die Gonadendosis normiert auf Aktivität im Boden für Exposition durch Bodenkontamination für Kinder unterschiedlichen Alters und Erwachsene.

Radio-nuklid	Dosisleistung pro Einheit Aktivität pro Flächeneinheit (nSv/h pro kBq/m ²)							
	Gonadendosis				Effektive Dosis			
	≤ 1 a	2 - 7 a	7 - 12 a	Erwach-sene	≤ 1 a	2 - 7 a	7 - 12 a	Erwach-sene
Tc-99m	3.59E-01	3.25E-01	3.01E-01	2.74E-01	3.61E-01	3.12E-01	2.85E-01	2.62E-01
Ru-103	2.07E+00	1.82E+00	1.66E+00	1.51E+00	2.04E+00	1.77E+00	1.61E+00	1.51E+00
Ru-105	2.65E+00	2.30E+00	2.14E+00	1.94E+00	2.58E+00	2.25E+00	2.06E+00	1.93E+00
Rh-103m	6.12E-04	5.60E-04	3.53E-04	2.22E-04	3.56E-04	1.96E-04	1.46E-04	1.20E-04
Rh-105	2.48E-01	2.18E-01	1.99E-01	1.82E-01	2.44E-01	2.11E-01	1.91E-01	1.79E-01
Rh-106	7.90E-01	6.91E-01	6.37E-01	5.78E-01	7.74E-01	6.75E-01	6.17E-01	5.78E-01
Ag-110m	8.94E+00	7.74E+00	7.34E+00	6.63E+00	8.72E+00	7.67E+00	7.06E+00	6.64E+00
Ag-111	8.81E-02	7.74E-02	7.06E-02	6.44E-02	8.65E-02	7.50E-02	6.80E-02	6.36E-02
Sn-117m	4.27E-01	3.82E-01	3.52E-01	3.18E-01	4.22E-01	3.62E-01	3.30E-01	3.05E-01
Sn-126	1.34E-01	1.22E-01	1.10E-01	9.76E-02	1.36E-01	1.10E-01	9.87E-02	8.96E-02
Sb-124	5.75E+00	5.08E+00	4.84E+00	4.38E+00	5.70E+00	5.04E+00	4.65E+00	4.39E+00
Sb-125	1.63E+00	1.42E+00	1.30E+00	1.18E+00	1.59E+00	1.38E+00	1.26E+00	1.18E+00
Sb-126	9.85E+00	8.54E+00	7.95E+00	7.20E+00	9.60E+00	8.39E+00	7.68E+00	7.21E+00
Sb-127	2.53E+00	2.20E+00	2.04E+00	1.85E+00	2.47E+00	2.15E+00	1.97E+00	1.84E+00
Sb-128	1.08E+01	9.34E+00	8.72E+00	7.90E+00	1.05E+01	9.19E+00	8.42E+00	7.90E+00
Sb-129	4.58E+00	3.98E+00	3.79E+00	3.42E+00	4.48E+00	3.95E+00	3.64E+00	3.43E+00
Sb-130	1.06E+01	9.16E+00	8.65E+00	7.82E+00	1.03E+01	9.05E+00	8.32E+00	7.81E+00
Te-123m	4.07E-01	3.64E-01	3.36E-01	3.03E-01	4.03E-01	3.46E-01	3.15E-01	2.90E-01
Te-125m	4.26E-02	3.43E-02	2.57E-02	1.84E-02	3.48E-02	1.88E-02	1.46E-02	1.26E-02
Te-127m	1.35E-02	1.09E-02	8.22E-03	5.95E-03	1.10E-02	6.15E-03	4.82E-03	4.20E-03
Te-129	2.24E-01	1.96E-01	1.79E-01	1.62E-01	2.18E-01	1.89E-01	1.72E-01	1.61E-01
Te-129m	1.14E-01	9.80E-02	9.02E-02	8.06E-02	1.09E-01	9.32E-02	8.49E-02	7.94E-02
Te-131m	4.59E+00	3.98E+00	3.77E+00	3.41E+00	4.48E+00	3.94E+00	3.62E+00	3.40E+00
Te-132	6.77E-01	5.85E-01	5.38E-01	4.84E-01	6.56E-01	5.58E-01	5.07E-01	4.69E-01
Te-133m	5.80E+00	5.03E+00	4.78E+00	4.32E+00	5.66E+00	4.99E+00	4.59E+00	4.32E+00
Te-134	3.03E+00	2.64E+00	2.45E+00	2.22E+00	2.96E+00	2.58E+00	2.36E+00	2.20E+00
I-129	3.82E-02	3.04E-02	2.37E-02	1.75E-02	3.43E-02	1.87E-02	1.46E-02	1.28E-02
I-130	7.83E+00	6.80E+00	6.32E+00	5.73E+00	7.64E+00	6.67E+00	6.11E+00	5.73E+00
I-131	1.34E+00	1.17E+00	1.07E+00	9.77E-01	1.31E+00	1.14E+00	1.03E+00	9.68E-01
I-132	7.70E+00	6.68E+00	6.28E+00	5.68E+00	7.51E+00	6.59E+00	6.06E+00	5.69E+00
I-133	2.37E+00	2.08E+00	1.91E+00	1.74E+00	2.33E+00	2.03E+00	1.85E+00	1.74E+00
I-134	8.24E+00	7.12E+00	6.77E+00	6.11E+00	8.03E+00	7.07E+00	6.51E+00	6.13E+00
I-135	4.48E+00	3.93E+00	3.81E+00	3.44E+00	4.43E+00	3.93E+00	3.65E+00	3.44E+00
Cs-134	5.55E+00	4.81E+00	4.49E+00	4.06E+00	5.41E+00	4.73E+00	4.34E+00	4.07E+00
Cs-134m	6.12E-02	5.35E-02	4.78E-02	4.18E-02	5.99E-02	4.70E-02	4.19E-02	3.83E-02
Cs-136	6.60E+00	5.69E+00	5.41E+00	4.88E+00	6.42E+00	5.64E+00	5.20E+00	4.88E+00
Cs-138	6.62E+00	5.86E+00	5.68E+00	5.16E+00	6.61E+00	5.88E+00	5.46E+00	5.15E+00
Ba-137m	2.19E+00	1.90E+00	1.76E+00	1.60E+00	2.13E+00	1.86E+00	1.70E+00	1.60E+00
Ba-139	1.32E-01	1.17E-01	1.09E-01	9.87E-02	1.31E-01	1.13E-01	1.03E-01	9.55E-02
Ba-140	6.98E-01	6.12E-01	5.59E-01	5.08E-01	6.85E-01	5.93E-01	5.40E-01	5.05E-01
La-140	6.70E+00	5.94E+00	5.72E+00	5.18E+00	6.67E+00	5.92E+00	5.48E+00	5.18E+00
La-141	7.34E-02	6.49E-02	6.32E-02	5.71E-02	7.30E-02	6.51E-02	6.05E-02	5.72E-02
La-142	6.21E+00	5.55E+00	5.47E+00	5.04E+00	6.32E+00	5.67E+00	5.29E+00	5.00E+00
Ce-141	2.14E-01	1.93E-01	1.78E-01	1.61E-01	2.15E-01	1.83E-01	1.66E-01	1.53E-01
Ce-143	8.89E-01	7.74E-01	7.09E-01	6.40E-01	8.72E-01	7.44E-01	6.74E-01	6.30E-01
Ce-144	5.16E-02	4.62E-02	4.22E-02	3.78E-02	5.20E-02	4.30E-02	3.88E-02	3.55E-02
Pr-145	6.01E-02	5.18E-02	4.89E-02	4.41E-02	5.84E-02	5.11E-02	4.70E-02	4.41E-02
Nd-147	4.88E-01	4.30E-01	3.90E-01	3.52E-01	4.85E-01	4.09E-01	3.70E-01	3.44E-01
Pm-148	1.78E+00	1.56E+00	1.49E+00	1.34E+00	1.75E+00	1.55E+00	1.43E+00	1.35E+00
Pm-148m	7.30E+00	6.34E+00	5.88E+00	5.33E+00	7.12E+00	6.22E+00	5.69E+00	5.33E+00
Pm-149	3.77E-02	3.30E-02	3.03E-02	2.76E-02	3.69E-02	3.20E-02	2.91E-02	2.72E-02
Pm-151	1.09E+00	9.54E-01	8.79E-01	7.96E-01	1.07E+00	9.25E-01	8.42E-01	7.86E-01
Eu-152	3.52E+00	3.06E+00	2.91E+00	2.62E+00	3.45E+00	3.02E+00	2.78E+00	2.61E+00
Eu-152m	9.15E-01	7.86E-01	7.46E-01	6.71E-01	8.90E-01	7.76E-01	7.14E-01	6.70E-01
Eu-154	3.78E+00	3.28E+00	3.13E+00	2.82E+00	3.70E+00	3.25E+00	3.00E+00	2.82E+00
Eu-155	1.60E-01	1.45E-01	1.31E-01	1.17E-01	1.65E-01	1.33E-01	1.20E-01	1.09E-01
Eu-156	3.47E+00	3.06E+00	2.97E+00	2.68E+00	3.45E+00	3.07E+00	2.84E+00	2.68E+00
Hf-181	2.04E+00	1.80E+00	1.64E+00	1.49E+00	2.01E+00	1.74E+00	1.58E+00	1.48E+00
Ta-182	3.69E+00	3.20E+00	3.08E+00	2.77E+00	3.61E+00	3.18E+00	2.94E+00	2.76E+00
W-187	1.65E+00	1.44E+00	1.33E+00	1.20E+00	1.62E+00	1.40E+00	1.28E+00	1.20E+00
Pb-210	4.73E-03	3.96E-03	3.40E-03	2.79E-03	4.87E-03	3.24E-03	2.74E-03	2.40E-03
Pb-212	4.31E-01	3.79E-01	3.49E-01	3.16E-01	4.25E-01	3.65E-01	3.32E-01	3.07E-01
Bi-212	3.27E-01	2.85E-01	2.70E-01	2.44E-01	3.20E-01	2.82E-01	2.60E-01	2.44E-01
Ra-224	3.18E-02	2.77E-02	2.56E-02	2.33E-02	3.11E-02	2.69E-02	2.45E-02	2.28E-02

Tabelle 5 (Fortsetzung): Dosisraten einiger Radionuklide für die effektive Dosis und die Gonadendosis normiert auf Aktivität im Boden für Exposition durch Bodenkontamination für Kinder unterschiedlichen Alters und Erwachsene.

Radio-nuklid	Dosisleistung pro Einheit Aktivität pro Flächeneinheit (nSv/h pro kBq/m ²)							
	Gonadendosis				Effektive Dosis			
	≤ 1a	2 – 7 a	7 – 12 a	Erwach-sene	≤ 1a	2 – 7 a	7 – 12 a	Erwach-sene
Ra-226	2.18E-02	1.91E-02	1.78E-02	1.61E-02	2.14E-02	1.85E-02	1.69E-02	1.56E-02
Ac-228	2.66E+00	2.30E+00	2.19E+00	1.98E+00	2.60E+00	2.29E+00	2.11E+00	1.98E+00
Th-228	5.78E-03	5.22E-03	4.77E-03	4.31E-03	5.80E-03	4.91E-03	4.45E-03	4.08E-03
Th-231	3.29E-02	3.00E-02	2.65E-02	2.34E-02	3.24E-02	2.63E-02	2.35E-02	2.14E-02
Th-232	5.80E-04	5.20E-04	4.50E-04	3.93E-04	5.70E-04	4.48E-04	3.96E-04	3.56E-04
Th-234	2.35E-02	2.12E-02	1.92E-02	1.73E-02	2.41E-02	1.96E-02	1.77E-02	1.60E-02
Pa-233	6.72E-01	5.93E-01	5.42E-01	4.94E-01	6.63E-01	5.72E-01	5.19E-01	4.83E-01
U-232	7.62E-04	6.89E-04	5.78E-04	4.98E-04	7.06E-04	5.62E-04	4.97E-04	4.48E-04
U-234	4.29E-04	3.88E-04	3.09E-04	2.57E-04	3.73E-04	2.86E-04	2.50E-04	2.23E-04
U-235	4.82E-01	4.24E-01	3.95E-01	3.58E-01	4.74E-01	4.11E-01	3.75E-01	3.46E-01
U-236	2.57E-04	2.34E-04	1.74E-04	1.38E-04	2.05E-04	1.51E-04	1.29E-04	1.13E-04
U-237	3.79E-01	3.35E-01	3.08E-01	2.78E-01	3.78E-01	3.18E-01	2.89E-01	2.65E-01
U-238	1.90E-04	1.73E-04	1.26E-04	9.81E-05	1.48E-04	1.06E-04	9.04E-05	7.87E-05
Np-237	6.36E-02	5.72E-02	5.14E-02	4.58E-02	6.34E-02	5.16E-02	4.64E-02	4.23E-02
Np-238	1.75E+00	1.49E+00	1.43E+00	1.29E+00	1.69E+00	1.49E+00	1.37E+00	1.29E+00
Np-239	5.12E-01	4.54E-01	4.18E-01	3.81E-01	5.08E-01	4.37E-01	3.98E-01	3.67E-01
Pu-236	3.07E-04	2.85E-04	1.91E-04	1.39E-04	2.08E-04	1.43E-04	1.18E-04	1.02E-04
Pu-238	2.28E-04	2.16E-04	1.34E-04	9.17E-05	1.37E-04	8.93E-05	7.13E-05	5.99E-05
Pu-239	2.81E-04	2.53E-04	2.05E-04	1.72E-04	2.42E-04	1.92E-04	1.69E-04	1.54E-04
Pu-240	2.24E-04	2.11E-04	1.33E-04	9.21E-05	1.38E-04	9.08E-05	7.29E-05	6.14E-05
Pu-242	1.79E-04	1.70E-04	1.04E-04	6.95E-05	1.06E-04	6.71E-05	5.28E-05	4.37E-05
Am-241	5.69E-02	5.00E-02	4.38E-02	3.80E-02	5.84E-02	4.39E-02	3.84E-02	3.42E-02
Am-242	3.69E-02	3.32E-02	3.05E-02	2.77E-02	3.68E-02	3.13E-02	2.84E-02	2.60E-02
Am-242m	1.55E-03	1.42E-03	1.04E-03	8.05E-04	1.15E-03	8.42E-04	7.19E-04	6.34E-04
Am-243	1.46E-01	1.32E-01	1.20E-01	1.07E-01	1.51E-01	1.21E-01	1.09E-01	9.82E-02
Cm-242	2.94E-04	2.76E-04	1.69E-04	1.11E-04	1.67E-04	1.04E-04	8.13E-05	6.73E-05
Cm-243	3.72E-01	3.29E-01	3.03E-01	2.77E-01	3.68E-01	3.17E-01	2.89E-01	2.67E-01
Cm-244	2.44E-04	2.30E-04	1.39E-04	9.03E-05	1.36E-04	8.36E-05	6.45E-05	5.31E-05
Cm-245	2.77E-01	2.48E-01	2.30E-01	2.10E-01	2.78E-01	2.37E-01	2.16E-01	1.99E-01
Cm-247	1.15E+00	1.01E+00	9.19E-01	8.38E-01	1.13E+00	9.78E-01	8.88E-01	8.31E-01

Auch diese Umgebungsgeometrie führt zu einer sehr homogenen Dosisverteilung innerhalb des Körpers mit nur geringfügigen Unterschieden in den einzelnen Organdosen. Auch hier nehmen die Konversionsfaktoren mit zunehmendem Alter (d. h. zunehmender Körpergröße) generell ab auf Grund der zunehmenden Selbstabschirmung.

3. Berechnung von Organdosiswerten bei CT-Untersuchungen für Körperabschnitte der Dicke 5 mm sowie des CTDI_{vol}

Wichtiger Bestandteile der numerischen Berechnung von Konversionsfaktoren bei CT Untersuchungen sind neben realistischen Voxelmodellen die wirklichkeitsgetreue Modellierung der verwendeten Röntgenröhre. Für die Ermittlung der Energiespektren der emittierten Photonen aus der vorgegeben Filterung gibt es bereits fertige Programme, die auch in diesem Projekt zum Einsatz kamen. Daneben werden bei CT-Geräten noch Formfilter, so genannte Bowtie-Filter, verwendet, deren Aufgabe es ist, die Photonenintensität zum seitlichen Rand des Fächerstrahls hin zu verringern. Als erstes wurde daher untersucht, wie diese Formfilter am Effektivsten in die Monte-Carlo-Rechnungen zur Dosisberechnung zu implementieren sind. Danach folgten erste Rechnungen zur Bestimmung des CTDI_{vol} und der Organdosis-Konversionsfaktoren.

Formfilter

Das charakteristische Spektrum einer Röntgenröhre enthält immer einen Anteil an niedrig-energetischen Photonen, die komplett im menschlichen Körper absorbiert werden und daher bei jeglichen Röntgenuntersuchungen nicht zum Signal am Detektor oder Film beitragen, sehr wohl aber zu den Organdosen, vor allem der Haut und des Brustgewebes. Diese unerwünschten Photonen werden durch den Einsatz von dünnen Schichten aus z.B. Al, Ti oder Cu, die nach der Röhre im Röntgenstrahl montiert werden, aus dem Spektrum gefiltert. Nachdem diese Filter sehr dünn (Größenordnung 1 mm) und relativ weit weg vom Patienten sind, wird die Streustrahlung, die in ihnen entsteht, meist bei den numerischen Berechnungen vernachlässigt.

Beim CT kommen, wie erwähnt, zusätzliche Formfilter zum Einsatz, deren Dicke zwischen ca. 2 mm im Zentrum bis zu 50 mm am Rand variieren kann. Da diese Filter im Allgemeinen außerdem noch aus Elementen mit niedrigerer Ladungszahl bestehen (z.B.Teflon: C & F), wurde zuerst überprüft, ob die entstehende Streustrahlung auch hier noch vernachlässigt werden kann.

Zu diesem Zweck wurde mittels des vorhandenen Monte-Carlo-Programms simuliert, wie groß der Anteil der Streustrahlung ist, der durch einen Bowtie-Filter aus Teflon der Firma Siemens hervorgerufen wird. Der Abstand der Quelle zum virtuellen Detektor betrug dabei 57 cm, was in etwa dem Fokus-Achsen-Abstand bei einem CT-Gerät entspricht. Die Feldgröße am Ort des Detektors betrug dabei 50×3 cm, wobei dies etwa der maximalen Feldgröße entspricht, die bei typischen Mehrzeilen-CTs heutzutage verwendet werden. Der Detektor wurde in Elemente von $1 \times 1 \text{ mm}^2$ eingeteilt, und darin jeweils entweder die Zahl der eintreffenden Teilchen oder deren resultierender Luftkerma-Wert registriert.

In Abbildung 4 ist das Ergebnis dargestellt. Durch den Bowtie-Filter beträgt die Luftkerma am Rand des Feldes nur noch ein Zehntel des Wertes im Zentrum. Die Verteilung der Streustrahlung ist dabei relativ gleichmäßig (gestrichelte Linie in Abbildung 4), und übersteigt nie 6 % des Wertes im Detektorzentrum. Obwohl der Anteil der Streustrahlung relativ zum gesamten Luftkerma-Wert im jeweiligen Detektorabschnitt (gepunktete Linie) am Rand bis zu 4% betragen kann, ist dies immer noch als vernachlässigbar einzustufen. Dies gilt insbesondere, da der Hauptanteil der Dosis für den Patienten aus dem Zentrum des Strahls zu erwarten ist.

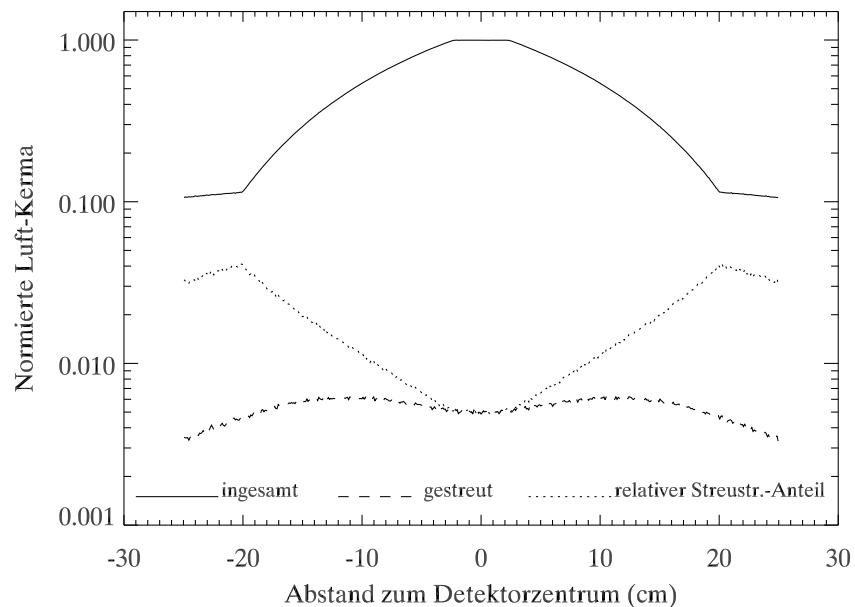


Abbildung 4: Verteilung der Luftkerma im Detektor in der Rotationsachse entlang der Detektorbreite (durchgehende Linie) bei Einsatz eines Bowtie-Filters, wobei die Werte normiert auf die maximal gemessene Luftkerma sind. Die Werte in den einzelnen Zeilen des Detektors wurden dabei aufsummiert. Die durch Streustrahlung hervorgerufene Luftkerma ist gestrichelt dargestellt, ihr Anteil an der gesamten Luftkerma durch die gepunktete Linie.

Neben der Luftkerma wurde außerdem die Teilchenzahl in jedem Detektor-Element bestimmt, um zu ermitteln, ob das Energiespektrum der gestreuten Strahlung sich stark vom Primärspektrum unterscheidet. Dies ist möglich, da Teilchen mit niedrigerer Energie einen größeren Beitrag zur Luftkerma haben. So würde etwa ein zu niedrigerer Energie verschobenes Streustrahlen-Spektrum dadurch erkennbar, dass der relative Anteil der gestreuten Teilchen im Detektor niedriger ist als der relative Anteil der Luftkerma dieser Teilchen. Es zeigte sich allerdings, dass der Anteil der Streustrahlung im Detektor nahezu identisch war, unabhängig davon, ob Luftkerma oder Teilchenzahlen betrachtet wurden. Daraus lässt sich schließen, dass das Energiespektrum der gestreuten Teilchen sehr ähnlich dem Primärspektrum ist und wohl größtenteils aus Compton-Streuung resultiert.

Nachdem somit für den Patienten keine signifikanten zusätzlichen Organdosen durch die Streustrahlung aus dem Bowtie-Filter zu erwarten ist, kann diese vernachlässigt werden. Es genügt daher, die Abschwächung der Röntgenstrahlung durch den Filter direkt aus den Absorptionskoeffi-

zienten des Materials zu ermitteln. Dies kann in den Monte-Carlo-Simulationen effektiv umgesetzt werden, indem das Gewicht eines Teilchens, d.h. dessen Anteil an der resultierenden Organdosis, entsprechend reduziert wird. Da die statistischen Unsicherheiten in den Ergebnissen von der Anzahl der simulierten Teilchen, nicht aber deren Gewicht, abhängt, ist kein erhöhter Aufwand an Rechenzeit bei Verwendung eines Bowtie-Filters nötig.

Leider waren aufgrund strikter Geheimhaltung durch die Hersteller Materialien und Dimensionen der Formfilter in CT-Geräten nicht in Erfahrung zu bringen, mit Ausnahme eines Scannertypen der Firma Siemens. Um dennoch sinnvolle Annahmen über die Formfilter machen zu können, wurden Messungen direkt an CT-Geräten im Klinikum rechts der Isar in München vorgenommen. Dabei wurden im sogenannten Topogramm-Modus, bei dem die Röhre feststeht, Luftkermalängenprodukte längs des CT-Durchmessers bei verschiedenen Spannungen gemessen. Mittels eines dazu entwickelten Programms können diese Werte durch Variation der Dicke verschiedener Filtermaterialen angepasst werden. Als Materialien wurden Aluminium, Titan, Teflon oder Kombinationen daraus angenommen. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse für das Formfilterprofil eines vermessenen CT-Gerätes und ein Vergleich der gemessenen und angepassten Luftkermawerte bei 160 mAs für eine Röhrenspannung von 120 kVp angegeben. Gleichzeitig lassen sich mit demselben Profil auch die Messungen bei 80, 100 und 140 kVp gut reproduzieren. Als Grundfilterung ergab sich 0.93 mm Titan, als Formfiltermaterial Al. Obwohl die Materialkombination nicht eindeutig bestimmt werden kann, sind die resultierenden Spektren verschiedener Fits sehr ähnlich und wären daher für die Bestimmung der Dosiskonversionsfaktoren ausreichend.

Tabelle 6: Messwerte des Dosislängenprodukts, mit dem o. g. Programm gefittete Filterdicken und damit abgeschätzte Werte des Dosislängenprodukts für verschiedene Abstände von der Rotationsachse

Abstand vom Isozentrum (cm)	0	3	6	9	12	15	18	21
Messwerte (mGy cm)	5,65	5,11	3,99	2,77	2,04	1,39	1,21	1,14
Fit-Werte (mGy cm)	5,76	5,15	4,08	2,83	2,05	1,44	1,20	1,12
Materialdicke (mm Al)	1,5	2,6	5,1	9,5	13,7	18,7	21,3	22,4

Es wurden mehrere solcher Messreihen durchgeführt. Allerdings sind dabei weder das exakte Röhrenstrom-Zeit-Produkt, noch die genaue Feldgröße bekannt, so dass die Anpassung der Filterdicken nur über Kerma-Verhältnisse erfolgt. Die Genauigkeit der absoluten Filterdicken lässt sich somit nur schwer abschätzen. Eine Möglichkeit, die ermittelten Filterdicken zu verifizieren, besteht darin, die sich ergebenden peripheren und zentralen CTDI-Werte mit Angaben der ImPACT-Gruppe (www.impactscan.org) zu vergleichen. Leider gab es dabei Abweichungen von bis zu 30%, so dass die ermittelte Form des Filters nur sehr bedingt bestätigt werden konnte. Außerdem konnte nicht eindeutig geklärt werden, ob das vermessene Gerät auch wirklich dem Gerät in der ImPACT-Datenbank entspricht, da ersteres den Zusatz „Cardiac“ in der Bezeichnung trägt. Des Weiteren ist noch zu überprüfen, ob im Topogramm-Modus dieselben Filter wie im folgenden CT-Scan verwendet werden. Da nur ein zeitlich beschränkter Zugang zu den CT-Geräten möglich war, konnten die erforderlichen zusätzlichen Messungen innerhalb des Projektzeitraums nicht mehr durchgeführt werden. Glücklicherweise konnte kürzlich in einer Studie der University of California in Los Angeles für vier sehr unterschiedliche moderne 64-Zeilen-CT-Geräte (LightSpeed VCT von General Electric, SOMATOM Sensation 64 von Siemens, Brilliance CT 64 von Philips und Aquilion 64 von Toshiba) gezeigt werden, dass trotz großer Unterschiede in den absoluten Organdosen die Organdosis-Konversionsfaktoren sehr ähnlich sind, wenn der Volumen-CTDI als Normierungsgröße verwendet wird (Turner, A.C. et al, 2009. The Variation in Organ Doses and CTDIvol Normalized Organ Doses from a range of 64-Slice MDCT Scanners: A Monte Carlo Study, eingereicht bei Medical Physics). Diese Studie zeigte somit für moderne Mehrzeilen-Geräte dasselbe Ergebnis wie die frühere Studie von Shrimpton für axiale Scannertypen (Shrimpton, P.C. 2004. Assessment of Patient Dose in CT, NRPB Report PE/1/2004, National Radiological Protection Board, Chilton, UK). Somit ist sichergestellt, dass Organdosiskonversionsfaktoren, die für den oben erwähnten Siemens-Gerätetyp berechnet wurden, auch auf andere CT-Geräte übertragen werden können, sofern sie auf den Volumen-CTDI normiert werden.

Konversionsfaktoren des CTDI_{vol}

Es wurden zwei zylindrische Voxelmodelle von Phantomen zur Messung des CTDI erstellt und mit MC-Strahlentransportprogrammen kombiniert, ein "Körperphantom" mit 16 cm Radius und ein "Kopfphantom" mit 8 cm Radius. Beide haben eine Höhe von 16 cm und enthalten Volumina zur Berechnung des CTDI_{100,c} und CTDI_{100,p}. Diese beiden Messgrößen werden zum CTDI_w zusammen-

gefasst, aus dem unter Einbeziehung des sog. "Pitchfaktors" (d.h. dem Quotienten aus dem Tischvorschub und der Gesamtkollimation) der CTDI_{vol} berechnet wird.

Tabelle 7: CTDI-Werte, normiert auf Luftkerma frei in Luft am Ort der Rotationsachse, für eine einzelne axiale Schicht von 10 mm Dicke und ein Röntgenspektrum mit 120 kV Röhrenspannung und 2,5 mm Al Gesamtfilterung. Der Bowtie-Filter ist derjenige des CT-Scanners von Siemens, dessen Spezifikation uns zugänglich war

Phantom	CTDI pro Luftkerma auf der Rotationsachse (mGy mGy^{-1})					
	ohne Bowtie-Filter		mit Bowtie-Filter			
	CTDI _{100,c}	CTDI _{100,p}	CTDI _w	CTDI _{100,c}	CTDI _{100,p}	CTDI _w
Körperphantom	0,2135	0,6371	0,4959	0,1721	0,3294	0,2770
Kopfphantom	0,6076	0,7308	0,6897	0,5733	0,5837	0,5802

Tabelle 7 zeigt Konversionsfaktoren für verschiedene CTDI-Werte bei Aufnahme einer einzelnen axialen Schicht von 10 mm Dicke mit einem für CT typischen Röntgenspektrum mit Röhrenspannung 120 kV und einer Gesamtfilterung, die 2,5 mm Aluminium entspricht. Die Dosiswerte im Zentrum (CTDI_{100,c}) und in der Peripherie (CTDI_{100,p}) der beiden Phantome sind dabei normiert auf Luftkerma frei in Luft am Ort der Rotationsachse.

Röhrenstrommodulation

In modernen CT-Geräten ist die Modulation des Röhrenstroms entlang des Aufnahmepfades (Spirale, Kreis) um den Patienten üblich, um etwa der größeren Absorption in lateralen Einstrahlrichtungen verglichen zur frontalen Richtung Rechnung zu tragen. Diese Modulation wurde auch in die Berechnungen der Konversionsfaktoren mit einbezogen. Es ergab sich, dass sich auch in diesem Fall die Konversionsfaktoren in Spiralaufnahmen problemlos aus den Simulationen einzelner Schichtaufnahmen ermitteln lassen. In der nachfolgenden Tabelle sind die Konversionsfaktoren für ausgewählte Organe bei einer Brust-Aufnahme des Mannes bei 120 kVp mit und ohne Röhrenstrom-Modulation gegenübergestellt. Für einige Organe, wie etwa die Schilddrüse, sind die Unterschiede in den Konversionsfaktoren beträchtlich. Hinzu kommt noch, dass bei Verwendung der Röhrenstrommodulation im Allgemeinen ein niedrigerer CTDI_{vol}-Wert benötigt wird, und sich daher eine insgesamt noch größere Dosiersparnis ergibt als durch die Konversionsfaktoren vermittelt wird.

Tabelle 8: Konversionsfaktoren für ausgewählte Organe bei einer Brust-Aufnahme des Mannes bei 120 kVp mit und ohne Röhrenstrom-Modulation

Organ	Organdosis / CTDI _{vol} (mSv/mGy)	
	Ohne Modulation	Mit Modulation
Atemwege der Lunge	1,62	1,28
Brust	1,29	1,21
Herz	1,64	1,39
Leber	0,82	0,86
Lungen	1,52	1,26
Magen	0,77	0,85
Milz	0,96	1,05
Schilddrüse	2,04	1,28
Speiseröhre	1,32	0,98
Thymusdrüse	2,04	1,28
Effektive Dosis ¹	0,74	0,64

Organdosis-Konversionsfaktoren

Es gilt, die Organdosis-Konversionsfaktoren für eine Reihe von Standard-Untersuchungen für Mehrzeilen-CT-Geräte verschiedener Hersteller zu berechnen. Dazu wird zuerst untersucht, ob es tatsächlich notwendig sein wird, die jeweilige CT Aufnahmen im Detail zu simulieren. Nachteile dieser Methode sind, dass bei den insgesamt ca. 20 verschiedenen Untersuchungsregionen dies mit einem relativ hohen Rechenaufwand verbunden wäre, und die ermittelten Konversionsfaktoren nur schlecht auf andere Untersuchungen übertragen werden könnten. Daher wird zuerst untersucht, ob es ausreicht, die Konversionsfaktoren in axialen Schichten mit einer Dicke von ca. 5 mm zu ermit-

¹ Durch entsprechende Gewichtung *nur* der männlichen Organdiskonversionsfaktoren gewonnen!

teln und dann für die jeweiligen Untersuchungen die Werte aus den betroffenen Schichten entsprechend zu mitteln.

Für eine Auswahl von CT-Untersuchungen wurden die Werte aus den beiden Methoden verglichen. Zuerst wurde dabei eine CT-Untersuchung des Gehirns simuliert, wobei Bowtie-Filter und Primär-Energiespektrum den Werten eines Siemens Gerätes entsprechen. Der Focus-Detektor-Abstand betrug dabei 114 cm, wobei die Achse genau im Zentrum lag. Die Größe des Feldes in der Detektorebene war $100 \times 5,7 \text{ cm}^2$. Der Tischvorschub pro Rotation betrug 5,7 cm, was einem Pitch-Faktor von 2 entspricht. Als Menschmodell wurde das Referenz-Model Regina verwendet, womit sich für diese Untersuchung eine Scan-Länge von 13,11 cm ergab.

In Abbildung 5 ist die sich ergebende Dosisverteilung für Regina dargestellt. Deutlich spiegelt sich der spiralförmige Verlauf der Röntgenröhre um den Patienten in der Verteilung der Hauteintrittsdosis wider. Man kann außerdem erkennen, dass nur auf der Rotationsachse die lokalen Dosiswerte relativ konstant sind. In den anderen Bereichen der oberen Schädelhälfte, die direkt im Strahl liegen, ergeben sich starke Unterschiede zwischen den der Röhre zu- und abgewandten Teilen. Für kleine Organen, die sich im Untersuchungsbereich und nahe der Oberfläche befinden, ist daher eine sehr starke Abhängigkeit der Dosis von der genauen Lage der Helix zu erwarten, während bei großen Organen dies einen nur geringen Einfluss haben wird. Die Dosis in Organen außerhalb des im Direktstrahl befindlichen Bereiches wird nur durch Streustrahlung hervorgerufen. Für diese Organe sollten die Dosiswerte daher nur sehr schwach von der Lage der Spiralbahn abhängen.

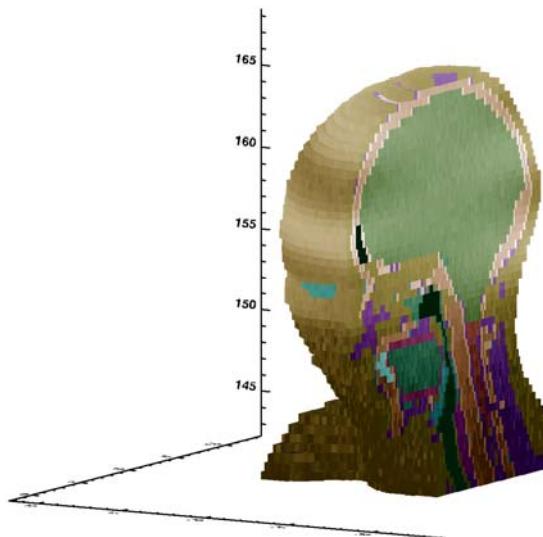


Abbildung 5: Qualitative Dosisverteilung bei CT-Untersuchung des Gehirns, wobei hellere Bereiche Gebiete höherer Dosis markieren. Auf der Haut ist die Spiralbahn der Quelle um den Kopf zu erkennen.

Um die Unterschiede zu quantifizieren, wurde eine weitere Simulation durchgeführt, bei der die Startposition der Röntgenröhre in genau entgegengesetzter Richtung war, d.h., in diesem Fall der Schädel erst von vorne anstatt von hinten durchleuchtet wurde. In Abbildung 6 sind die resultierenden Dosis-Konversionsfaktoren für die beiden Fälle dargestellt. Wie erwartet, sind die Unterschiede für die meisten Organe sehr gering. Bei den Augen, den oberen Atemwegen (ET) und den Speicheldrüsen sind signifikante Unterschiede aus den bereits genannten Gründen festzustellen. Die Augen stellen dabei einen Spezialfall dar, da deren direkte Bestrahlung, wie sie in der zweiten Simulation auftrat, bei solchen Aufnahmen in der Praxis vermieden wird. Dies geschieht entweder durch das Verwenden einer Augenklappe zur Abschirmung oder einer Schrägstellung der Focus-Detektor-Achse in moderneren CT Geräten.

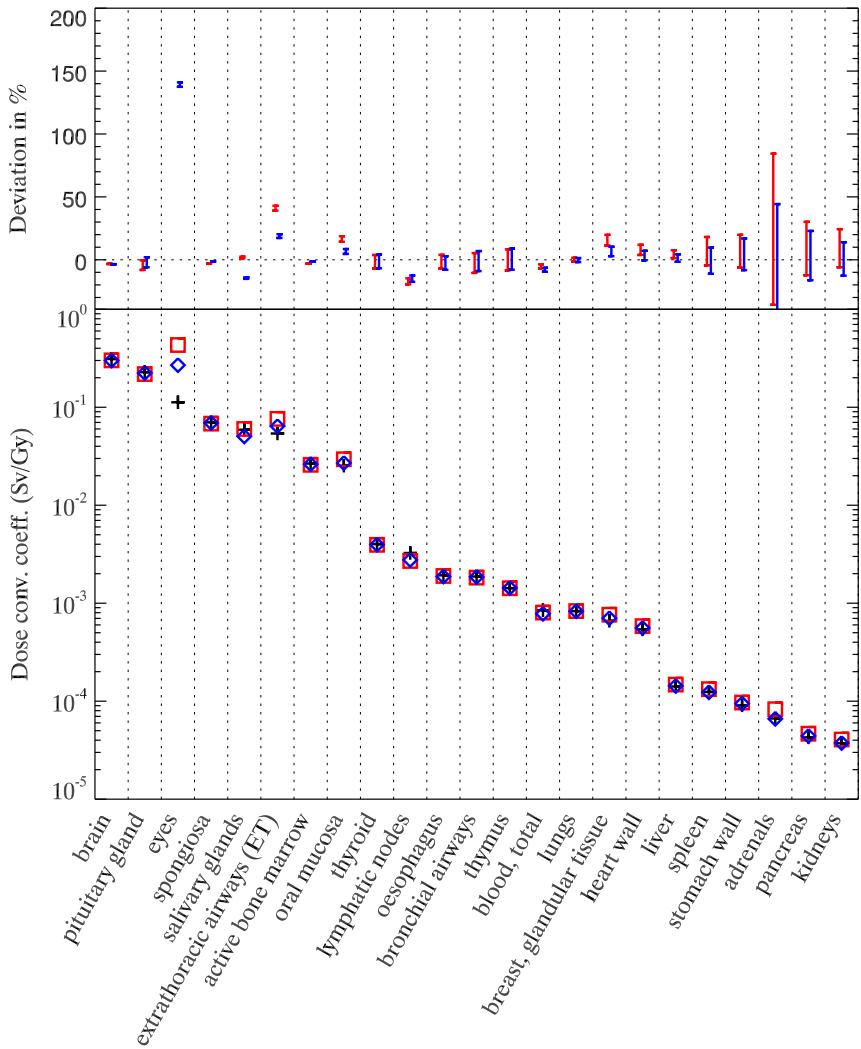


Abbildung 6: Organdosis-Konversionsfaktoren für eine CT-Aufnahme des Gehirns, bei der die Startposition der Röntgenröhre hinter („+“) bzw. vor dem Kopf („□“) liegt. Als Normierung wurde die Luftkerma frei in Luft in der Ebene durch die Achse verwendet. Außerdem sind diejenigen Werte dargestellt, die sich bei Mittelung der Konversionsfaktoren aus den entsprechenden axialen Schichten der Dicke 5 mm ergeben („◊“). Die prozentuale Abweichungen der einzelnen Konversionsfaktoren von der ersten Simulation („+“, Startposition hinten) sind im oberen Teil in der entsprechenden Farbe aufgetragen. Die Fehlerbalken geben dabei die statistischen Unsicherheiten (2σ) aus den Monte-Carlo-Rechnungen wider.

Es sollte noch erwähnt werden, dass bei einigen Organen, die außerhalb des Primärfeldes liegen und deren Dosis damit ausschließlich durch Sekundärstrahlung verursacht wird, eine leichte Abhängigkeit von der Lage der Spiralbahn zu beobachten ist. So ist etwa der Konversionsfaktor der Mundschleimhaut in der zweiten Simulation um 20% höher. Da die Mundschleimhaut relativ nahe am unteren Ende des Primärfeldes liegt und sich mehr in der vorderen Hälfte des Schädels befindet, wird deren Konversionsfaktor von der Lage der Röhre am Ende des CT-Scans beeinflusst. Dieser Endpunkt liegt in der zweiten Simulation vor dem Kopf, während er in der ersten Simulation hinter dem Kopf liegt, was zu einem niedrigeren Dosiskonversionsfaktor der Mundschleimhaut führt. Entsprechend lässt sich damit auch erklären, warum in der zweiten Simulation der Dosiskonversionsfaktor der Lymphknoten, die sich mehr im hinteren Teil des Kopfes befinden, um ca. 20% niedriger ist.

Im nächsten Schritt wurden axiale Schichten mit Abstand von 5 mm berechnet. Der Focus-Achsen-Abstand betrug wie bei den Spiral-Simulationen 57 cm. Die Feldgröße auf der Achse betrug $50 \times 0,5 \text{ cm}^2$. Insgesamt 28 Schichten wurden berechnet, die denselben Bereich wie die Spiral-Simulationen überdecken. Zum Vergleich mit Werten aus den obigen Simulationen wurden die Organdosis-Konversionsfaktoren der einzelnen Schichten gemittelt. Nachdem die Feldgröße bei den axialen Schichten um einen Faktor 5,7 kleiner war, wurden diese vorher auf die Feldgröße der Spiral-Simulationen umgerechnet.

In Abbildung 6 sind die entsprechenden Organdosis-Konversionsfaktoren in blau dargestellt. Es zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung mit den Werten aus den beiden Spiral-Simulationen. Die Abweichung von der ersten Simulation ist in fast allen Fällen kleiner als zwischen den beiden Spiral-Simulationen. Somit kann festgestellt werden, dass die Ungenauigkeit, die durch Verwendung der axialen Schichten anstelle einer exakten Simulation des CT-Scans entsteht, kleiner ist als die Unsicherheit, die sich aus der Unkenntnis der exakten Anfangsposition der Röhre beim Scan ergibt.

Dieses Ergebnis wurde auch noch für eine weitere CT-Untersuchung überprüft, eine Aufnahme von Leber und Niere. Die Feldhöhe in der Detektorebene betrug dabei 3,8 cm, die Scan-Länge 18,24 cm und der Pitch-Faktor 1,2. Die Organdosis-Konversionsfaktoren für die Simulationen analog zur Gehirn-Aufnahme sind in Abbildung 7 dargestellt. Auch für diesen Fall ergab sich, dass sich die Organdosis-Konversionsfaktoren mit ausreichender Genauigkeit mit Hilfe axialer Schichten bestimmen lassen.

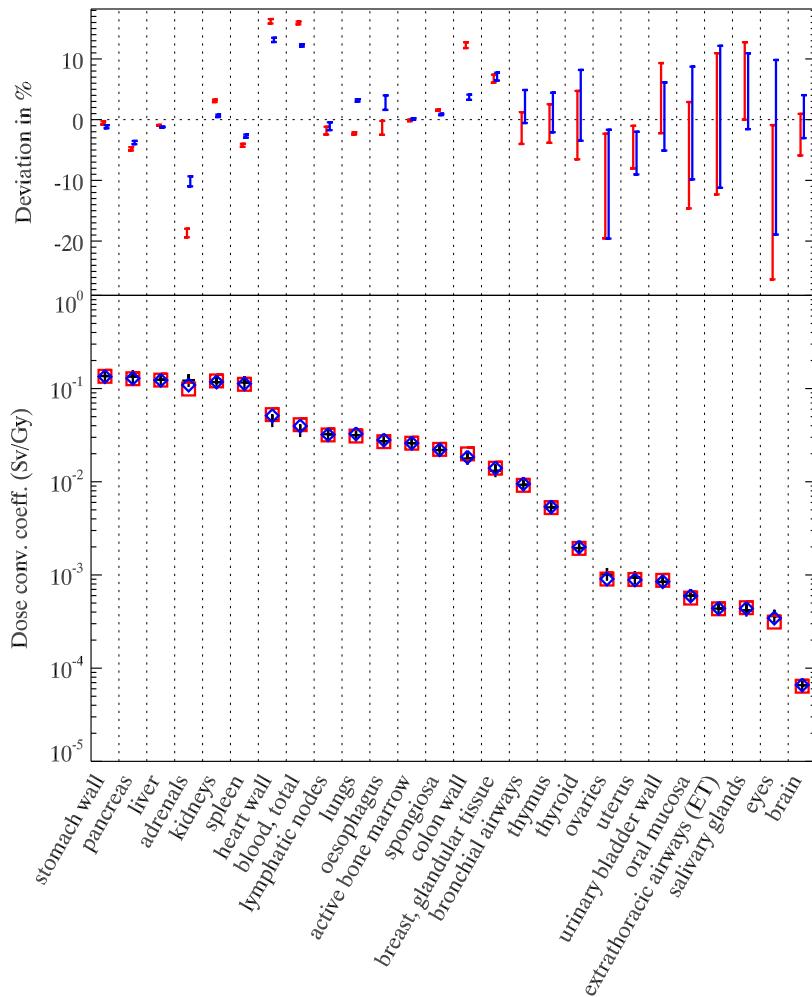


Abbildung 7: Organdosis-Konversionsfaktoren für eine CT-Aufnahme der Leber und der Nieren bei der die Startposition der Röntgenröhre hinter („+“) bzw. vor dem Körper („□“) liegt. Als Normierung wurde die Luftkerma frei in Luft in der Ebene durch die Achse verwendet. Außerdem sind diejenigen Werte dargestellt, die sich bei Mittelung der Konversionsfaktoren aus den entsprechenden axialen Schichten der Dicke 5 mm ergeben („○“). Die prozentuale Abweichungen der einzelnen Konversionsfaktoren von der ersten Simulation („+“, Startposition hinten) sind im oberen Teil in der entsprechenden Farbe aufgetragen. Die Fehlerbalken geben dabei die statistischen Unsicherheiten (2σ) aus den Monte-Carlo-Rechnungen wider.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Organdosis-Konversionsfaktoren bei Mehrzeilen-CT-Geräten durch die Aufsummierung der Konversionsfaktoren für axiale Schichten hinreichend genau bestimmt werden können.

Berechnungen der Organdosiskonversionsfaktoren für 5 mm dicke axiale Schichten entlang des gesamten Körpers wurden durchgeführt für die Phantome Baby, Child, Irene (Phantom einer zierlichen erwachsenen Frau), Donna (Phantom einer großen, kräftigen erwachsenen Frau) und das

männliche erwachsene Referenz-Phantom. Diese Berechnungen wurden sowohl mit als auch ohne Röhrenstrommodulation durchgeführt.

4. Kombination der unter 3. ermittelten Werte für typische CT-Untersuchungen

Es wurde ein Softwareprogramm „Longinus“ erstellt, das die Organdosiskonversionsfaktoren für die einzelnen 5-mm-Schichten zu Konversionsfaktoren für CT-Untersuchungen ausgedehnter Körperbereiche kombiniert. Dabei gibt der Benutzer folgende Angaben vor:

- den Scannertyp (wie erwähnt, ist hier momentan nur ein einziger verfügbar),
- ob Röhrenstrommodulation angewandt werden soll oder nicht,
- das Phantom, dessen Konversionsfaktoren verwendet werden sollen,
- die Röhrenspannung,
- einen Wert für den CTDI_{vol},
- ob der CTDI_w für das Kopf- oder das Körperphantom zugrunde gelegt werden soll,
- den Scanbereich, gegebenenfalls (für Spiral-Scans) die Länge, die für die Berücksichtigung von Overscanning zugegeben werden muss.

Für die Eingabe des Scanbereichs gibt es mehrere Möglichkeiten: Entweder (1) man wählt eine von mehreren vorgegebenen „Standarduntersuchungen“ aus, (2) man kann auf einer Graphik des Phantoms die untere und obere Scangrenze durch Mausklick eingeben oder (3) man kann die Scangrenzen in die vorgesehenen Felder manuell eingeben. Eine Ansicht der Benutzeroberfläche der Software „Longinus“ ist in Abbildung 8 dargestellt.

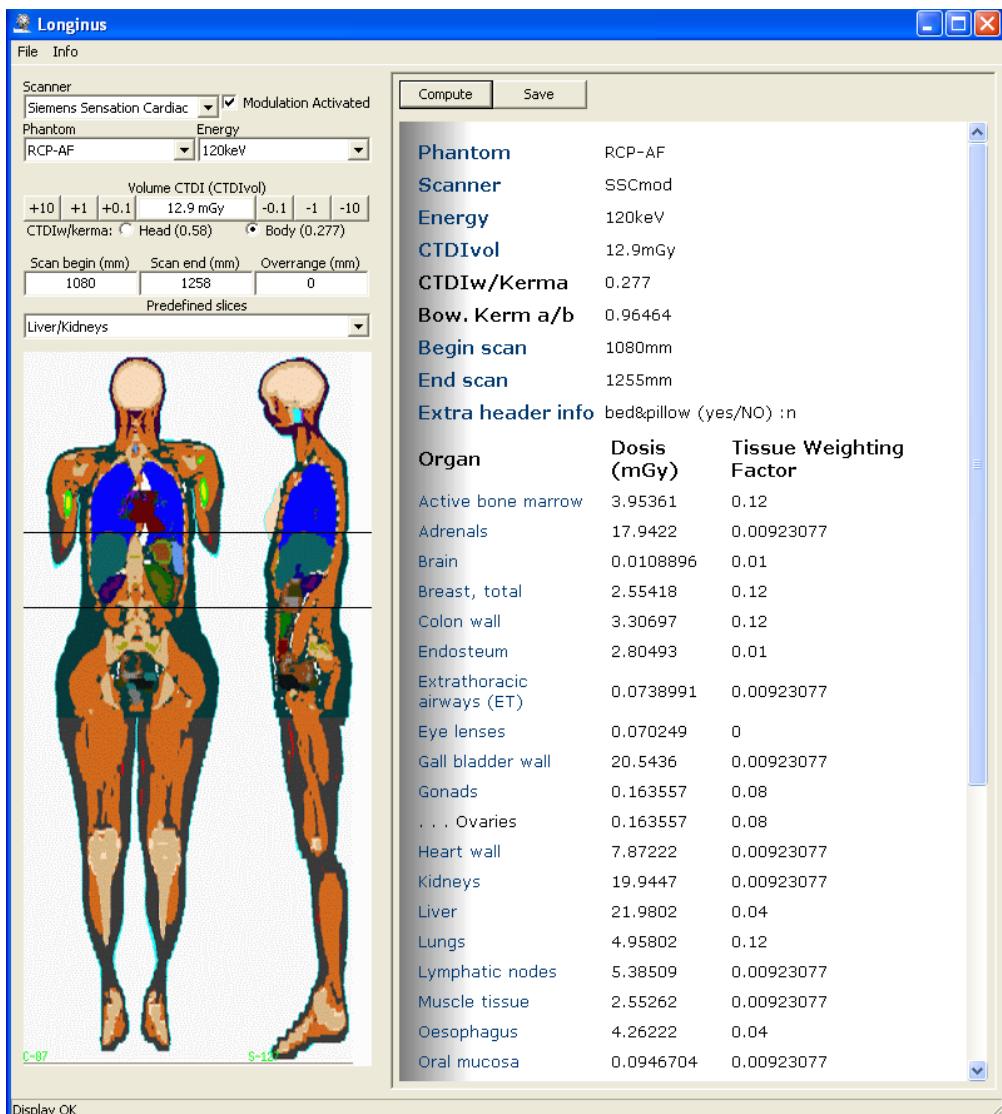


Abbildung 8: Benutzeroberfläche der Software „Longinus“ zur Auswertung von Organdosen für CT-Untersuchungen aus den Konversionsfaktoren für axiale Einzelschichten

Im Folgenden werden Organdosen aufgelistet, die für unterschiedliche Phantome für ausgewählte Standarduntersuchungen ausgewertet wurden. Dabei wurden jeweils für Scanbereich, CTDI_w und Pitch die „typischen“ Angaben aus der bundesweiten CT-Umfrage von 2002 zugrunde gelegt (Brix G. et al, 2003. Radiation exposure in multi-slice versus single-slice spiral CT: results of a nationwide survey. Eur. Radiol. 13, 1979-1991). Für Kinder wurde die für pädiatrische CT-Untersuchungen empfohlene Reduktion des Röhrenstroms berücksichtigt (Galanski M. et al, 2006. Pädiatrische CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland – Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage 2005/06. Medizinische Hochschule Hannover.). Als Röhrenspannung wurde 120 kV angenommen. Für jede Untersuchung wurden die Organdosen sowohl für axiale Scans als auch für Spiralscans ausgewertet; in getrennten Tabellen sind jeweils die Dosiswerte für Untersuchungen ohne bzw. mit Röhrenstrommodulation aufgelistet.

Tabelle 9: Organdosen für CT-Untersuchungen des Hirnschädels. Der gescannte Bereich reicht vom Scheitel zur Schädelbasis, der CTDI_w (Kopfphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 58,4 mGy (Baby: 26,3 mGy; Child: 49,6 mGy) und der Pitchfaktor 1,0. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden ohne Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
			Axialer Scan				Spiralscan					
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Rotes Knochenmark	11.89	6.36	3.42	3.60	7.85	3.44	15.45	7.85	4.01	4.38	9.67	4.19
Nebennieren	0.06	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.13	0.14	0.02	0.02	0.02	0.01
Gehirn	40.98	58.02	54.20	57.07	55.17	51.19	42.46	60.30	57.07	60.66	57.41	53.01
Brust	0.44	0.27	0.06	0.13	0.12	0.08	1.05	0.47	0.09	0.22	0.20	0.10
Dickdarm	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00
Endosteum ^a	27.17	13.92	9.29	10.49	20.69	21.69	34.31	16.79	10.37	12.08	24.20	23.92
Obere Atemwege ^b	22.15	19.21	23.16	7.02	32.42	12.77	31.76	43.29	33.72	25.73	43.92	22.67
Augenlinsen	35.80	47.67	53.68	32.53	55.30	20.89	37.86	51.84	55.68	55.16	57.54	55.46
Gallenblase	0.05	0.08	0.01	0.01	0.02	0.01	0.11	0.14	0.02	0.02	0.03	0.01
Gonaden ^c	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Herz	0.31	0.30	0.06	0.09	0.09	0.06	0.72	0.55	0.10	0.15	0.16	0.08
Nieren	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	0.06	0.01	0.01	0.02	0.01
Leber	0.11	0.11	0.02	0.02	0.04	0.02	0.24	0.19	0.04	0.04	0.06	0.02
Lunge	0.39	0.47	0.10	0.13	0.14	0.10	0.92	0.84	0.17	0.23	0.25	0.14
Lymphknoten ^d	3.49	1.53	0.23	0.32	0.42	0.87	5.08	2.88	0.86	1.21	0.59	1.30
Muskeln	2.65	0.34	0.45	0.40	0.78	0.37	5.97	0.83	0.91	0.79	1.31	0.51
Speiseröhre	0.55	0.60	0.21	0.29	0.14	0.14	1.36	1.23	0.39	0.57	0.28	0.21
Mundschleimhaut ^e	4.15	3.85	5.82	3.83	5.97	2.55	26.77	9.23	16.56	8.71	13.04	4.09
Pankreas	0.07	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.13	0.11	0.01	0.01	0.02	0.01
Prostata / Uterus												
Speicheldrüsen ^f	22.15	6.71	9.03	5.13	5.97	4.01	31.76	36.70	26.03	26.12	13.04	9.28
Haut	4.83	4.28	2.60	2.44	2.49	2.59	6.44	5.30	3.20	3.08	3.31	2.97
Dünndarm	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Milz	0.09	0.09	0.02	0.02	0.03	0.02	0.18	0.15	0.03	0.03	0.05	0.03
Magen	0.08	0.07	0.01	0.01	0.03	0.02	0.16	0.11	0.03	0.02	0.05	0.02
Thymus	0.64	0.77	0.15	0.22	0.15	0.08	1.59	1.50	0.30	0.42	0.29	0.12
Schilddrüse	2.05	2.05	0.41	0.63	0.60	0.34	5.67	4.24	0.79	1.28	1.19	0.54
Harnblase	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Effektive Dosis ^g	2.91	2.04	1.48	1.36	2.22	1.41	4.23	3.08	2.02	2.02	2.81	1.72

^a Baby, Donna, Irene: mittlere Spongiosa-Dosis; Child: mittlere Knochendosis

^b Baby: Fettgewebe, Kopf

^c Baby, Child: arithmetisches Mittel der Dosen in Ovarien und Testes

^d Baby, Child, Donna, Irene: Fettgewebe

^e Baby: RKM, Kieferknochen; Donna, Irene: Zunge

^f Baby: Fettgewebe, Kopf; Donna: Zunge

^g Berechnung mit nur einem Phantom, abweichend von der Definition (ICRP Publikation 103)

Es ist deutlich zu sehen, dass die Untersuchung mittels Spiral-CT insbesondere für die Organe am Rand des Scanbereichs zu höheren Dosiswerten führt. Dies ist eine Folge des erforderlichen Vor- und Nachlaufs im Spiralmodus (mindestens halber bis ganzer Umlauf der Röhre am oberen und unteren Ende des gescannten Bereichs, bezeichnet als „Overranging“ oder „Overscanning“), der zur Rekonstruktion der Daten benötigt wird und zur Dosis beiträgt, aber nicht zur Länge des darstellbaren Volumens.

Tabelle 10: Organdosen für CT-Untersuchungen des Hirnschädels. Der gescannte Bereich reicht vom Scheitel zur Schädelbasis, der CTDI_w (Kopfphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 58,4 mGy (Baby: 26,3 mGy; Child: 49,6 mGy) und der Pitchfaktor 1,0. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden mit Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan		Spiralscan									
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Rotes Knochenmark	11.89	6.36	3.42	3.60	7.84	3.43	15.44	7.85	4.01	4.38	9.66	4.18
Nebennieren	0.06	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.14	0.15	0.02	0.02	0.02	0.01
Gehirn	40.86	57.87	53.51	56.33	54.61	50.40	42.34	60.15	56.36	59.92	56.86	52.23
Brust	0.46	0.27	0.06	0.12	0.12	0.07	1.03	0.47	0.09	0.22	0.20	0.10
Dickdarm	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00
Endosteum ^a	27.16	13.93	9.28	10.48	20.66	21.68	34.29	16.80	10.36	12.08	24.16	23.90
Obere Atemwege ^b	22.14	19.38	23.28	7.01	32.48	12.72	31.77	43.50	33.89	25.73	43.91	22.61
Augenlinsen	35.65	48.43	54.55	32.70	55.56	20.59	37.75	52.61	56.60	55.23	57.80	54.85
Gallenblase	0.06	0.08	0.01	0.01	0.02	0.01	0.11	0.14	0.02	0.02	0.03	0.01
Gonaden ^c	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Herz	0.32	0.30	0.06	0.08	0.09	0.06	0.72	0.55	0.10	0.15	0.16	0.08
Nieren	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	0.06	0.01	0.01	0.02	0.01
Leber	0.11	0.11	0.02	0.02	0.04	0.02	0.24	0.19	0.04	0.04	0.06	0.02
Lunge	0.39	0.46	0.10	0.13	0.14	0.10	0.92	0.84	0.17	0.22	0.25	0.14
Lymphknoten ^d	3.49	1.53	0.23	0.31	0.42	0.86	5.08	2.88	0.85	1.21	0.59	1.30
Muskeln	2.66	0.34	0.45	0.39	0.78	0.37	5.98	0.83	0.91	0.79	1.30	0.50
Speiseröhre	0.55	0.60	0.20	0.28	0.14	0.14	1.38	1.23	0.39	0.57	0.28	0.21
Mundschleimhaut ^e	4.15	3.84	5.81	3.82	5.95	2.54	26.76	9.25	16.70	8.70	13.03	4.08
Pankreas	0.06	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.13	0.11	0.01	0.01	0.02	0.01
Prostata / Uterus	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Speicheldrüsen ^f	22.14	6.69	8.92	5.09	5.95	3.96	31.77	36.45	25.42	26.03	13.03	9.26
Haut	4.83	4.28	2.60	2.44	2.49	2.59	6.44	5.29	3.19	3.08	3.31	2.97
Dünndarm	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Milz	0.09	0.09	0.02	0.02	0.03	0.02	0.19	0.15	0.03	0.03	0.05	0.03
Magen	0.08	0.07	0.01	0.01	0.03	0.02	0.16	0.12	0.03	0.02	0.05	0.02
Thymus	0.64	0.77	0.16	0.22	0.15	0.08	1.59	1.50	0.30	0.41	0.29	0.12
Schilddrüse	2.07	2.03	0.40	0.62	0.60	0.35	5.74	4.21	0.79	1.27	1.19	0.54
Harnblase	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Effektive Dosis ^g	2.91	2.04	1.48	1.35	2.21	1.40	4.23	3.08	2.01	2.01	2.80	1.71

^a Baby, Donna, Irene: mittlere Spongiosa-Dosis; Child: mittlere Knochendosis

^b Baby: Fettgewebe, Kopf

^c Baby, Child: arithmetisches Mittel der Dosen in Ovarien und Testes

^d Baby, Child, Donna, Irene: Fettgewebe

^e Baby: RKM, Kieferknochen; Donna, Irene: Zunge

^f Baby: Fettgewebe, Kopf; Donna: Zunge

^g Berechnung mit nur einem Phantom, abweichend von der Definition (ICRP Publikation 103)

Für die Untersuchung des Hirnschädels unterscheiden sich die Dosiswerte mit und ohne Röhrenstrommodulation kaum, da beim Kopf die Absorption unter unterschiedlichen Einfallswinkeln ziemlich konstant ist und daher der Röhrenstrom nur geringfügig moduliert wird.

Tabelle 11: Organdosen für CT-Untersuchungen von Gesichtsschädel und Hals. Der gescannte Bereich reicht vom Stirnhöhlenoberrand bis zum Schilddrüsenunterrand, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 17,2 mGy (Baby: 2,6 mGy; Child: 4,8 mGy) und der Pitchfaktor 1,1. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden ohne Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan		Spiralscan									
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Rotes Knochenmark	2.60	1.30	3.38	4.10	5.94	6.01	3.65	1.93	3.38	5.23	7.57	7.77
Nebennieren	0.05	0.11	0.12	0.10	0.13	0.13	0.11	0.21	0.12	0.16	0.21	0.21
Gehirn	4.84	1.35	6.94	14.01	10.99	14.20	7.65	3.64	6.94	24.05	20.19	22.86
Brust	0.39	0.27	0.24	0.68	0.52	0.44	0.93	0.48	0.24	1.05	0.81	0.71
Dickdarm	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.04	0.03	0.01	0.04	0.02
Endosteum ^a	5.68	2.01	3.62	5.70	12.88	15.03	8.14	2.92	3.62	7.16	16.78	19.62
Ob. Atemwege ^b	5.82	9.02	27.63	35.46	30.50	35.13	6.81	10.23	27.63	36.44	33.04	36.04

Tabelle 11 (Fortsetzung): Organdosen für CT-Untersuchungen von Gesichtsschädel und Hals. Der gescannte Bereich reicht vom Stirnhöhlenoberrand bis zum Schilddrüsenunterrund, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 17,2 mGy (Baby: 2,6 mGy; Child: 4,8 mGy) und der Pitchfaktor 1,1. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden ohne Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan						Spiralscan					
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Augenlinsen	7.16	8.38	4.92	31.46	30.26	33.20	7.37	9.41	4.92	32.37	32.13	33.96
Gallenblase	0.04	0.12	0.10	0.09	0.16	0.04	0.09	0.22	0.10	0.14	0.25	0.07
Gonaden ^c	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Herz	0.30	0.50	1.06	1.08	1.01	0.92	0.73	0.98	1.06	1.86	1.69	1.61
Nieren	0.03	0.04	0.06	0.05	0.11	0.06	0.07	0.08	0.06	0.08	0.18	0.10
Leber	0.09	0.14	0.22	0.19	0.33	0.16	0.20	0.27	0.22	0.31	0.54	0.25
Lunge	0.41	0.96	1.94	1.92	2.32	2.60	1.47	2.40	1.94	3.80	4.30	5.06
Lymphknoten ^d	1.09	1.06	4.78	4.78	1.00	2.57	1.57	1.40	4.78	6.30	1.31	2.78
Muskeln	1.77	0.63	2.58	2.56	2.43	1.88	2.62	1.02	2.58	3.30	3.04	2.55
Speiseröhre	1.04	2.55	11.23	11.00	6.38	9.59	2.64	3.47	11.23	14.20	8.62	12.82
Mundschleimhaut ^e	8.30	9.50	25.12	35.78	25.53	30.14	8.66	9.92	25.12	36.54	26.31	30.65
Pankreas	0.05	0.08	0.08	0.05	0.13	0.12	0.10	0.16	0.08	0.08	0.22	0.20
Prostata / Uterus	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Speicheldrüsen ^f	5.82	12.11	36.46	41.37	25.53	42.76	6.81	12.80	36.46	42.21	26.31	43.31
Haut	1.22	0.88	2.50	2.68	2.40	2.93	1.83	1.31	2.50	3.44	3.02	3.65
Dünndarm	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.04	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
Milz	0.07	0.11	0.23	0.19	0.30	0.21	0.15	0.21	0.23	0.31	0.50	0.34
Magen	0.06	0.08	0.17	0.11	0.26	0.19	0.13	0.14	0.17	0.19	0.43	0.31
Thymus	0.74	2.22	7.37	4.77	2.38	1.22	3.65	6.69	7.37	14.68	4.21	2.09
Schilddrüse	7.43	13.90	41.76	41.56	43.12	41.79	9.90	15.32	41.76	45.85	45.46	44.36
Harnblase	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Effektive Dosis ^g	1.10	1.36	3.95	4.35	4.19	4.59	1.73	1.86	3.95	5.34	5.08	5.56

^a Baby, Donna, Irene: mittlere Spongiosa-Dosis; Child: mittlere Knochendosis

^b Baby: Fettgewebe, Kopf

^c Baby, Child: arithmetisches Mittel der Dosen in Ovarien und Testes

^d Baby, Child, Donna, Irene: Fettgewebe

^e Baby: RKM, Kieferknochen; Donna, Irene: Zunge

^f Baby: Fettgewebe, Kopf; Donna: Zunge

^g Berechnung mit nur einem Phantom, abweichend von der Definition (ICRP Publikation 103)

Auch hier ist wieder der Effekt des Overrangings bei der Untersuchung mittels Spiral-CT deutlich zu sehen. Außerdem ist bei dieser Untersuchung deutlich zu erkennen, dass bei den erwachsenen Phantomen die Dosiswerte mit steigendem Durchmesser sinken. Dies ist zurückzuführen auf eine mit dem Durchmesser zunehmende Selbstabschirmung des Körpers, da ja derselbe (typische) Wert des Volumen-CTDI für alle Phantome zugrunde gelegt wurde. In der Praxis würde dies zu einer Abnahme der Bildqualität bei zunehmendem Patientendurchmesser führen; zur Erreichung einer konstanten Bildqualität würde die Untersuchung von Patienten mit größerem Durchmesser höhere Werte des Volumen-CTDI erfordern.

Tabelle 12: Organdosen für CT-Untersuchungen von Gesichtsschädel und Hals. Der gescannte Bereich reicht vom Stirnhöhlenoberrand bis zum Schilddrüsenunterrund, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 17,2 mGy (Baby: 2,6 mGy; Child: 4,8 mGy) und der Pitchfaktor 1,1. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden mit Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan						Spiralscan					
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Rotes Knochenmark	2.60	1.29	3.16	3.83	5.85	5.86	3.64	1.87	4.02	4.77	7.42	7.46
Nebennieren	0.05	0.11	0.10	0.09	0.12	0.12	0.11	0.20	0.15	0.14	0.18	0.19
Gehirn	4.83	1.34	6.91	13.81	10.91	14.02	7.63	3.62	14.06	23.68	19.98	22.52
Brust	0.39	0.27	0.22	0.62	0.50	0.42	0.94	0.47	0.29	0.93	0.75	0.66
Dickdarm	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.01	0.03	0.03	0.04	0.01	0.04	0.02
Endosteum ^a	5.68	2.00	3.59	5.56	12.66	14.78	8.11	2.89	4.95	7.00	16.37	19.16
Obere Atemwege ^b	5.82	8.98	27.45	33.58	30.12	34.67	6.81	10.19	30.35	34.48	32.69	35.56
Augenlinsen	7.15	8.51	4.90	31.48	30.38	32.93	7.36	9.56	30.41	32.37	32.29	33.67
Gallenblase	0.04	0.11	0.09	0.08	0.14	0.04	0.09	0.21	0.12	0.12	0.21	0.06

Tabelle 12 (Fortsetzung): Organdosen für CT-Untersuchungen von Gesichtsschädel und Hals. Der gescannte Bereich reicht vom Stirnhöhlenoberrand bis zum Schilddrüsenunterrund, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 17,2 mGy (Baby: 2,6 mGy; Child: 4,8 mGy) und der Pitchfaktor 1,1. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden mit Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan				Spiralscan							
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Gonaden ^c	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Herz	0.30	0.50	0.89	0.95	0.89	0.84	0.73	0.92	1.30	1.51	1.37	1.42
Nieren	0.03	0.04	0.05	0.04	0.10	0.06	0.07	0.07	0.08	0.07	0.16	0.09
Leber	0.09	0.14	0.19	0.17	0.30	0.15	0.20	0.25	0.27	0.26	0.45	0.22
Lunge	0.41	0.93	1.57	1.63	1.92	2.23	1.44	2.13	2.42	2.83	3.11	4.11
Lymphknoten ^d	1.09	1.05	4.33	4.25	0.96	2.53	1.57	1.37	4.81	5.40	1.24	2.72
Muskeln	1.77	0.62	2.45	2.39	2.33	1.80	2.61	1.00	2.87	3.06	2.88	2.41
Speiseröhre	1.04	2.45	9.66	9.46	5.10	8.66	2.61	3.23	10.77	11.32	6.31	11.17
Mundschleimhaut ^e	8.29	9.61	25.41	31.52	25.70	29.93	8.65	10.02	26.38	32.22	26.44	30.42
Pankreas	0.05	0.08	0.07	0.05	0.12	0.11	0.10	0.15	0.10	0.07	0.19	0.18
Prostata / Uterus	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Speicheldrüsen ^f	5.82	11.88	35.43	37.85	25.70	41.56	6.81	12.55	36.35	38.62	26.44	42.08
Haut	1.22	0.88	2.50	2.60	2.40	2.94	1.83	1.30	3.11	3.36	3.03	3.66
Dünndarm	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
Milz	0.07	0.11	0.20	0.17	0.27	0.20	0.15	0.20	0.29	0.26	0.42	0.30
Magen	0.06	0.08	0.15	0.10	0.23	0.17	0.12	0.13	0.21	0.16	0.36	0.28
Thymus	0.74	2.13	5.45	4.03	2.04	1.14	3.57	5.79	10.93	9.44	3.11	1.87
Schilddrüse	7.45	13.57	33.01	34.77	37.14	38.48	9.89	14.80	34.53	37.44	38.45	40.51
Harnblase	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Effektive Dosis ^g	1.11	1.33	3.43	3.83	3.82	4.33	1.72	1.77	3.96	4.53	4.50	5.15

^a Baby, Donna, Irene: mittlere Spongiosa-Dosis; Child: mittlere Knochendosis

^b Baby: Fettgewebe, Kopf

^c Baby, Child: arithmetisches Mittel der Dosen in Ovarien und Testes

^d Baby, Child, Donna, Irene: Fettgewebe

^e Baby: RKM, Kieferknochen; Donna, Irene: Zunge

^f Baby: Fettgewebe, Kopf; Donna: Zunge

^g Berechnung mit nur einem Phantom, abweichend von der Definition (ICRP Publikation 103)

Auch für die Untersuchung von Gesichtsschädel und Hals unterscheiden sich die Dosiswerte mit und ohne Röhrenstrommodulation für die meisten Organe nur wenig, da im Bereich von Kopf und Hals der Röhrenstrom nur geringfügig moduliert wird. Eine deutliche Röhrenstrommodulation setzt erst im Bereich der Schultern ein, was eine erkennbare Reduktion der Schilddrüsendosis zur Folge hat.

Tabelle 13: Organdosen für CT-Untersuchungen des Thorax. Der gescannte Bereich reicht vom ersten Brustwirbel bis zum Sinus, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 14,8 mGy (Baby: 1,0 mGy; Child: 4,9 mGy) und der Pitchfaktor 1,4. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden ohne Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan				Spiralscan							
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Rotes Knochenmark	0.61	1.49	4.95	5.71	4.19	7.08	0.84	1.89	5.71	6.65	4.84	8.25
Nebennieren	0.33	1.59	5.03	4.14	2.36	5.14	1.70	4.18	11.83	9.07	4.08	10.80
Gehirn	0.05	0.11	0.16	0.19	0.17	0.12	0.11	0.18	0.22	0.30	0.24	0.18
Brust	2.18	6.93	13.58	18.60	13.49	16.71	2.25	7.13	13.79	18.86	13.81	16.95
Dickdarm	0.08	0.24	1.14	0.17	0.51	0.40	0.19	0.46	2.13	0.28	0.85	0.71
Endosteum ^a	1.50	1.34	3.23	3.33	7.33	10.77	2.01	1.79	3.72	4.03	8.62	12.63
Obere Atemwege ^b	0.26	0.41	0.77	1.10	0.62	0.62	0.80	1.07	1.95	2.01	0.99	1.09
Augenlinsen	0.06	0.13	0.14	0.37	0.24	0.29	0.15	0.20	0.17	0.47	0.29	0.36
Gallenblase	0.23	1.83	3.87	3.80	2.89	1.42	0.92	6.12	7.85	8.08	5.23	2.57
Gonaden ^c	0.02	0.05	0.00	0.01	0.02	0.01	0.04	0.09	0.00	0.02	0.03	0.02
Herz	2.45	8.63	17.51	21.65	16.63	24.17	2.57	9.20	18.09	22.37	17.36	24.82
Nieren	0.17	0.53	2.34	1.93	1.97	2.02	0.58	1.05	4.53	3.60	3.54	4.25
Leber	1.12	3.10	9.81	10.41	7.58	7.01	1.95	5.24	12.88	14.78	10.74	10.66
Lunge	2.32	7.82	16.28	19.61	15.57	20.16	2.44	8.33	16.82	20.33	16.37	20.92
Lymphknoten ^d	0.55	1.23	6.19	6.85	2.13	1.64	0.77	1.68	7.51	8.02	2.51	1.88
Muskeln	0.87	1.43	3.16	3.46	2.86	3.75	1.18	1.74	3.71	4.14	3.44	4.49

Tabelle 13 (Fortsetzung): Organdosen für CT-Untersuchungen des Thorax. Der gescannte Bereich reicht vom ersten Brustwirbel bis zum Sinus, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 14,8 mGy (Baby: 1,0 mGy; Child: 4,9 mGy) und der Pitchfaktor 1,4. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden ohne Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan				Spiralscan							
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Speiseröhre	2.09	6.03	13.93	16.43	15.25	19.45	2.24	7.91	16.52	19.41	16.99	22.14
Mundschleim- haut ^e	0.65	0.55	0.58	1.27	0.85	1.02	2.32	1.84	0.87	1.93	1.19	1.52
Pankreas	0.30	1.17	3.33	2.06	2.88	4.99	1.68	2.43	6.19	3.66	4.94	10.61
Prostata / Uterus	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.08	0.01	0.02	0.02	0.02
Speicheldrüsen ^f	0.26	0.80	0.90	1.25	0.85	0.87	0.80	2.67	1.41	2.06	1.19	1.46
Haut	0.60	1.24	2.98	3.42	2.56	3.12	0.82	1.63	3.50	4.05	3.09	3.73
Dünndarm	0.10	0.30	0.89	0.57	0.15	0.10	0.25	0.57	1.48	1.06	0.25	0.16
Milz	0.86	2.12	11.51	10.49	6.15	9.85	1.92	3.84	13.89	15.19	8.86	14.35
Magen	0.53	1.32	9.17	6.79	6.71	11.23	1.90	3.20	12.62	10.10	9.97	15.70
Thymus	2.26	8.35	21.62	22.84	19.53	26.05	2.36	8.98	22.45	23.70	20.09	26.43
Schilddrüse	2.72	8.72	22.82	20.88	16.90	19.06	2.99	12.00	29.25	30.27	29.32	29.30
Harnblase	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
Effektive Dosis ^g	1.03	3.15	8.06	8.84	7.10	9.39	1.40	3.99	9.49	10.38	8.59	11.12

^a Baby, Donna, Irene: mittlere Spongiosa-Dosis; Child: mittlere Knochendosis

^b Baby: Fettgewebe, Kopf

^c Baby, Child: arithmetisches Mittel der Dosen in Ovarien und Testes

^d Baby, Child, Donna, Irene: Fettgewebe

^e Baby: RKM, Kieferknochen; Donna, Irene: Zunge

^f Baby: Fettgewebe, Kopf; Donna: Zunge

^g Berechnung mit nur einem Phantom, abweichend von der Definition (ICRP Publikation 103)

Auch hier sind wieder der Effekt des Overrangings bei der Untersuchung mittels Spiral-CT sowie eine Dosisabnahme mit steigendem Durchmesser der erwachsenen Patienten deutlich zu sehen.

Tabelle 14: Organdosen für CT-Untersuchungen des Thorax. Der gescannte Bereich reicht vom ersten Brustwirbel bis zum Sinus, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 14,8 mGy (Baby: 1,0 mGy; Child: 4,9 mGy) und der Pitchfaktor 1,4. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden mit Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan				Spiralscan							
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Rotes Kno- chenmark	0.60	1.38	4.18	4.86	3.64	6.55	0.83	1.78	4.90	5.74	4.25	7.69
Nebennieren	0.33	1.50	4.35	3.72	1.97	4.72	1.64	3.88	10.19	8.04	3.49	9.79
Gehirn	0.05	0.11	0.15	0.18	0.17	0.12	0.11	0.18	0.22	0.29	0.24	0.18
Brust	2.17	7.06	12.81	17.41	12.90	17.41	2.23	7.26	13.01	17.66	13.21	17.64
Dickdarm	0.08	0.23	1.13	0.16	0.46	0.39	0.19	0.44	2.18	0.27	0.78	0.69
Endosteum ^a	1.48	1.27	3.05	3.01	6.52	10.14	1.98	1.71	3.54	3.70	7.78	11.98
Obere Atem- wege ^b	0.26	0.39	0.66	0.95	0.54	0.58	0.80	1.03	1.83	1.84	0.90	1.05
Augenlinsen	0.06	0.12	0.14	0.37	0.24	0.28	0.15	0.20	0.17	0.46	0.29	0.34
Gallenblase	0.23	1.74	3.49	3.47	2.48	1.36	0.90	5.76	7.24	7.36	4.65	2.45
Gonaden ^c	0.02	0.05	0.00	0.01	0.02	0.01	0.04	0.09	0.00	0.02	0.03	0.02
Herz	2.41	8.21	14.70	19.05	13.42	22.38	2.52	8.77	15.25	19.73	14.09	23.00
Nieren	0.17	0.50	2.13	1.77	1.65	1.90	0.57	1.00	4.15	3.30	3.00	3.91
Leber	1.10	2.95	8.87	9.56	6.36	6.76	1.92	5.03	11.79	13.71	9.26	10.27
Lunge	2.27	7.21	13.68	16.56	12.30	18.33	2.39	7.71	14.20	17.24	13.06	19.06
Lymphknoten ^d	0.54	1.20	5.10	5.80	2.13	1.65	0.76	1.65	6.36	6.90	2.50	1.89
Muskeln	0.86	1.38	3.05	3.23	2.63	3.59	1.17	1.69	3.58	3.89	3.19	4.32
Speiseröhre	2.06	5.58	10.54	12.87	11.20	17.28	2.21	7.36	13.05	15.68	12.86	19.93
Mundschleim- haut ^e	0.65	0.53	0.53	1.13	0.73	0.96	2.31	1.84	0.80	1.77	1.07	1.45
Pankreas	0.29	1.11	2.93	1.91	2.39	4.68	1.64	2.31	5.49	3.41	4.19	9.87
Prostata / Uterus	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.08	0.01	0.02	0.02	0.02
Speicheldrüsen ^f	0.26	0.77	0.82	1.11	0.73	0.84	0.80	2.56	1.32	1.90	1.07	1.43
Haut	0.60	1.24	3.06	3.38	2.71	3.18	0.82	1.63	3.59	4.01	3.25	3.80
Dünndarm	0.10	0.29	0.82	0.54	0.14	0.09	0.25	0.55	1.38	1.00	0.23	0.16
Milz	0.85	2.04	10.53	9.51	5.45	9.23	1.88	3.74	12.91	13.95	8.24	13.58

Tabelle 14 (Fortsetzung): Organdosen für CT-Untersuchungen des Thorax. Der gescannte Bereich reicht vom ersten Brustwirbel bis zum Sinus, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 14,8 mGy (Baby: 1,0 mGy; Child: 4,9 mGy) und der Pitchfaktor 1,4. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden mit Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan						Spiralscan					
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Magen	0.53	1.27	8.49	6.54	5.91	10.68	1.87	3.09	11.69	9.86	8.97	14.99
Thymus	2.20	7.34	14.34	15.64	14.07	23.77	2.30	7.96	15.14	16.45	14.61	24.14
Schilddrüse	2.71	8.38	15.91	15.50	11.96	16.47	2.98	11.53	22.24	24.36	24.13	26.58
Harnblase	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
Effektive Dosis ^g	1.02	3.02	6.90	7.68	5.95	8.86	1.38	3.83	8.27	9.15	7.36	10.54

^a Baby, Donna, Irene: mittlere Spongiosa-Dosis; Child: mittlere Knochendosis

^b Baby: Fettgewebe, Kopf

^c Baby, Child: arithmetisches Mittel der Dosen in Ovarien und Testes

^d Baby, Child, Donna, Irene: Fettgewebe

^e Baby: RKM, Kieferknochen; Donna, Irene: Zunge

^f Baby: Fettgewebe, Kopf; Donna: Zunge

^g Berechnung mit nur einem Phantom, abweichend von der Definition (ICRP Publikation 103)

Für Organe im Zentrum der untersuchten Körperregion, wie z. B. Herz, Lunge, Speiseröhre, Thymus und Schilddrüse, ist bei den erwachsenen Patienten eine deutliche Dosisreduktion durch die Anwendung der Röhrenstrommodulation zu sehen.

Tabelle 15: Organdosen für CT-Untersuchungen von Leber und Niere. Der gescannte Bereich reicht von der Zwerchfellkuppe bis zum unteren Nierenpol, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 15,5 mGy (Baby: 1,6 mGy; Child: 7,8 mGy) und der Pitchfaktor 1,2. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden ohne Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan						Spiralscan					
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
R. Knochenm.	0.60	2.08	3.60	4.32	2.40	3.67	1.06	2.92	4.59	5.61	3.15	4.82
Nebennieren	3.81	14.01	17.59	20.26	14.89	20.44	4.02	14.83	18.57	21.21	16.14	21.62
Gehirn	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01
Brust	0.25	1.34	2.66	2.61	3.91	1.34	0.65	9.07	14.92	6.88	7.81	4.35
Dickdarm	2.68	9.96	11.52	3.37	7.65	12.64	3.79	12.06	13.75	6.45	10.48	16.81
Endosteum ^a	1.53	2.02	2.46	2.90	5.14	6.67	2.49	2.74	3.06	3.64	6.66	8.71
Ob. Atemwege ^b	0.03	0.10	0.06	0.08	0.06	0.04	0.05	0.17	0.08	0.12	0.09	0.06
Augenlinsen	0.02	0.07	0.02	0.07	0.05	0.05	0.03	0.10	0.03	0.10	0.08	0.08
Gallenblase	3.96	15.00	17.49	22.43	17.19	27.56	4.20	15.85	18.59	23.46	18.35	29.30
Gonaden ^c	0.23	1.64	0.01	0.17	0.21	0.21	0.61	4.15	0.01	0.29	0.35	0.37
Herz	1.69	6.41	6.32	8.31	4.56	3.76	4.09	12.58	10.38	13.35	9.94	9.68
Nieren	4.06	14.53	18.00	21.79	14.95	22.72	4.41	15.59	19.57	23.51	16.28	24.09
Leber	4.14	14.20	17.28	23.31	15.93	22.84	4.41	15.18	18.76	24.75	17.55	24.74
Lunge	1.53	3.50	4.01	5.36	3.83	3.31	3.12	7.34	6.80	8.96	6.66	6.76
Lymphknoten ^d	0.98	2.76	5.52	5.76	2.33	1.24	1.49	3.66	7.03	7.30	3.15	1.88
Muskeln	0.88	2.46	2.42	2.66	2.69	3.56	1.36	3.35	3.21	3.50	3.45	4.55
Speiseröhre	1.40	6.51	4.12	4.84	3.54	2.16	2.34	8.78	5.71	6.86	5.90	4.88
Mundschleimh. ^e	0.06	0.17	0.06	0.10	0.10	0.07	0.12	0.27	0.08	0.16	0.16	0.11
Pankreas	3.96	15.32	17.59	24.05	16.06	22.90	4.18	16.15	18.98	25.57	17.27	24.16
Prostata/Uterus	0.38	1.38	0.06	0.16	0.14	0.15	1.02	2.65	0.10	0.27	0.23	0.26
Speichelrüsen ^f	0.03	0.17	0.05	0.08	0.10	0.05	0.05	0.28	0.08	0.12	0.16	0.07
Haut	1.00	2.54	2.53	3.04	2.43	2.75	1.51	3.37	3.30	3.92	3.20	3.56
Dünndarm	2.88	10.42	6.93	9.24	2.07	2.50	4.42	13.40	9.92	12.02	3.65	4.95
Milz	3.99	14.07	16.16	21.07	13.59	20.58	4.21	14.90	17.55	22.37	15.00	22.17
Magen	4.30	16.63	18.67	24.42	16.78	24.03	4.51	17.37	20.11	25.79	18.20	26.38
Thymus	0.33	1.18	0.69	0.92	1.61	1.44	1.23	2.10	1.11	1.50	2.66	2.54
Schilddrüse	0.15	0.57	0.33	0.37	0.35	0.22	0.30	0.96	0.51	0.58	0.53	0.34
Harnblase	0.28	0.61	0.16	0.16	0.13	0.15	0.71	1.14	0.28	0.28	0.21	0.27
Effektive Dosis ^g	1.66	5.97	6.79	7.29	5.87	7.70	2.30	8.35	9.45	9.26	7.63	9.80

^a Baby, Donna, Irene: mittlere Spongiosa-Dosis; Child: mittlere Knochendosis

^b Baby: Fettgewebe, Kopf

^c Baby, Child: arithmetisches Mittel der Dosen in Ovarien und Testes

^d Baby, Child, Donna, Irene: Fettgewebe

^e Baby: RKM, Kieferknochen; Donna, Irene: Zunge

^f Baby: Fettgewebe, Kopf; Donna: Zunge

^g Berechnung mit nur einem Phantom, abweichend von der Definition (ICRP Publikation 103)

Auch hier sind wieder der Effekt des Overrangings bei der Untersuchung mittels Spiral-CT sowie eine Dosisabnahme mit steigendem Durchmesser der erwachsenen Patienten deutlich zu sehen.

Tabelle 16: Organdosen für CT-Untersuchungen von Leber und Niere. Der gescannte Bereich reicht von der Zwerchfellkuppe bis zum unteren Nierenpol, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 15,5 mGy (Baby: 1,6 mGy; Child: 7,8 mGy) und der Pitchfaktor 1,2. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden mit Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan				Spiralscan							
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Rotes Knochenmark	0.59	1.95	3.29	3.95	2.09	3.43	1.04	2.73	4.14	5.11	2.72	4.51
Nebennieren	3.69	13.02	15.36	17.94	13.30	18.48	3.89	13.81	16.25	18.83	14.41	19.60
Gehirn	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01
Brust	0.26	1.32	2.55	2.55	3.81	1.32	0.66	9.26	14.06	6.80	7.56	4.43
Dickdarm	2.64	9.70	11.43	3.31	7.17	12.23	3.74	11.77	13.69	6.34	9.75	16.27
Endosteum ^a	1.51	1.92	2.45	2.80	5.00	6.53	2.46	2.59	3.01	3.47	6.42	8.51
Obere Atemwege ^b	0.03	0.10	0.05	0.07	0.05	0.04	0.05	0.16	0.08	0.11	0.08	0.06
Augenlinsen	0.02	0.07	0.01	0.07	0.05	0.05	0.03	0.10	0.02	0.09	0.07	0.07
Gallenblase	3.86	14.15	16.63	20.54	16.18	25.61	4.10	14.97	17.63	21.51	17.23	27.28
Gonaden ^c	0.23	1.56	0.01	0.16	0.19	0.20	0.61	3.93	0.01	0.28	0.32	0.35
Herz	1.67	6.12	5.63	7.87	3.76	3.57	4.03	12.04	9.23	12.60	8.17	9.18
Nieren	3.96	13.53	16.84	19.94	13.03	20.90	4.30	14.55	18.31	21.54	14.20	22.20
Leber	4.06	13.76	16.24	21.98	14.44	22.07	4.33	14.71	17.59	23.35	15.87	23.92
Lunge	1.51	3.32	3.72	4.96	3.30	3.15	3.07	6.98	6.25	8.32	5.75	6.49
Lymphknoten ^d	0.97	2.68	5.10	5.39	2.30	1.23	1.48	3.57	6.48	6.81	3.11	1.87
Muskeln	0.87	2.40	2.37	2.55	2.56	3.45	1.34	3.27	3.14	3.36	3.28	4.41
Speiseröhre	1.38	6.09	3.53	4.26	2.81	2.04	2.31	8.26	4.92	6.15	4.78	4.62
Mundschleimhaut ^e	0.06	0.17	0.05	0.09	0.09	0.07	0.12	0.27	0.08	0.15	0.14	0.11
Pankreas	3.87	14.46	15.57	22.29	14.05	21.29	4.09	15.26	16.81	23.69	15.11	22.50
Prostata / Uterus	0.38	1.33	0.05	0.15	0.13	0.15	1.01	2.53	0.09	0.26	0.21	0.25
Speicheldrüsen ^f	0.03	0.17	0.05	0.07	0.09	0.05	0.05	0.27	0.08	0.12	0.14	0.07
Haut	1.00	2.55	2.63	3.10	2.57	2.81	1.50	3.38	3.42	3.99	3.40	3.64
Dünndarm	2.81	10.04	6.54	8.79	1.86	2.36	4.34	12.91	9.26	11.34	3.19	4.64
Milz	3.91	13.91	15.21	19.63	13.37	19.61	4.13	14.72	16.52	20.87	14.66	21.12
Magen	4.23	15.97	17.14	23.75	15.05	22.88	4.44	16.69	18.48	25.06	16.33	25.15
Thymus	0.33	1.13	0.64	0.87	1.42	1.39	1.22	2.02	1.04	1.43	2.32	2.46
Schilddrüse	0.15	0.54	0.31	0.35	0.32	0.22	0.30	0.93	0.48	0.56	0.49	0.34
Harnblase	0.28	0.59	0.15	0.16	0.12	0.15	0.71	1.10	0.26	0.27	0.20	0.27
Effektive Dosis ^g	1.63	5.74	6.36	6.93	5.33	7.34	2.26	8.07	8.85	8.82	6.92	9.39

^a Baby, Donna, Irene: mittlere Spongiosa-Dosis; Child: mittlere Knochendosis

^b Baby: Fettgewebe, Kopf

^c Baby, Child: arithmetisches Mittel der Dosen in Ovarien und Testes

^d Baby, Child, Donna, Irene: Fettgewebe

^e Baby: RKM, Kieferknochen; Donna, Irene: Zunge

^f Baby: Fettgewebe, Kopf; Donna: Zunge

^g Berechnung mit nur einem Phantom, abweichend von der Definition (ICRP Publikation 103)

Bei der Untersuchung von Leber und Nieren bewirkt eine Röhrenstrommodulation insbesondere für Nieren, Nebennieren und Bauchspeicheldrüse eine deutliche Dosisreduktion.

Tabelle 17: Organdosen für CT-Untersuchungen des Beckens. Der gescannte Bereich reicht vom unteren Nierenpol zur Symphyse, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 17,1 mGy (Baby: 1,7 mGy; Child: 8,6 mGy) und der Pitchfaktor 1,2. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden ohne Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan				Spiralscan							
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Rotes Knochenmark	0.73	4.05	7.05	7.51	5.29	5.73	0.99	4.53	7.72	8.28	5.82	6.41
Nebennieren	0.21	0.72	1.27	1.21	2.51	0.83	0.57	1.35	2.14	2.13	4.13	1.53
Gehirn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Brust	0.02	0.04	0.09	0.07	0.12	0.08	0.04	0.08	0.15	0.10	0.18	0.11

Tabelle 17 (Fortsetzung): Organdosen für CT-Untersuchungen des Beckens. Der gescannte Bereich reicht vom unteren Nierenpol zur Symphyse, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 17,1 mGy (Baby: 1,7 mGy; Child: 8,6 mGy) und der Pitchfaktor 1,2. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden ohne Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
			Axialer Scan				Spiralscan					
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Dickdarm	2.19	8.20	13.11	25.47	14.39	17.91	4.32	11.59	16.96	27.40	17.42	22.91
Endosteum ^a	1.11	3.76	5.72	6.06	11.41	12.20	1.66	4.27	6.44	6.73	12.92	13.95
Obere Atemwege ^b	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Augenlinsen	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Gallenblase	0.34	0.62	1.92	1.56	2.04	3.80	1.33	1.15	3.24	2.78	3.40	10.21
Gonaden ^c	2.64	15.01	2.18	21.81	18.67	22.72	4.62	20.23	4.06	23.32	19.20	23.47
Herz	0.04	0.14	0.21	0.15	0.21	0.10	0.10	0.24	0.35	0.26	0.34	0.17
Nieren	0.63	2.32	3.85	4.20	2.99	2.78	2.83	5.66	7.47	8.58	5.35	6.10
Leber	0.18	0.55	1.07	1.02	1.20	2.02	0.66	1.06	1.85	1.79	2.08	4.42
Lunge	0.04	0.09	0.14	0.13	0.17	0.09	0.10	0.17	0.23	0.21	0.28	0.15
Lymphknoten ^d	0.84	3.90	8.68	8.42	5.51	6.04	1.47	5.02	9.94	10.12	6.54	7.27
Muskeln	0.73	3.98	6.10	6.10	5.26	6.73	1.22	5.19	7.25	7.38	6.26	8.10
Speiseröhre	0.04	0.18	0.17	0.11	0.16	0.06	0.09	0.34	0.27	0.18	0.26	0.11
Mundschleimhaut ^e	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Pankreas	0.26	1.12	2.92	3.46	2.06	0.94	0.74	2.14	4.86	6.74	3.42	1.75
Prostata / Uterus	4.46	16.69	19.84	21.08	19.79	25.79	4.81	17.49	21.73	22.50	20.76	26.98
Speicheldrüsen ^f	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
Haut	0.67	3.13	4.63	4.64	4.51	4.59	1.16	4.08	5.50	5.63	5.39	5.62
Dünndarm	2.45	9.26	19.35	19.96	21.45	28.71	4.30	13.03	21.81	23.52	22.41	30.07
Milz	0.16	0.72	0.71	0.80	1.06	0.57	0.43	1.37	1.17	1.35	1.74	0.98
Magen	0.19	0.91	1.26	1.78	1.20	0.75	0.54	1.78	2.14	3.47	2.02	1.37
Thymus	0.02	0.04	0.03	0.03	0.08	0.05	0.04	0.07	0.05	0.05	0.13	0.07
Schilddrüse	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02
Harnblase	4.84	19.50	26.27	28.25	23.01	31.29	5.23	20.27	26.99	29.36	23.89	32.03
Effektive Dosis ^g	0.91	4.03	4.58	7.84	5.75	6.97	1.52	5.23	5.61	8.77	6.54	8.11

^a Baby, Donna, Irene: mittlere Spongiosa-Dosis; Child: mittlere Knochendosis

^b Baby: Fettgewebe, Kopf

^c Baby, Child: arithmetisches Mittel der Dosen in Ovarien und Testes

^d Baby, Child, Donna, Irene: Fettgewebe

^e Baby: RKM, Kieferknochen; Donna, Irene: Zunge

^f Baby: Fettgewebe, Kopf; Donna: Zunge

^g Berechnung mit nur einem Phantom, abweichend von der Definition (ICRP Publikation 103)

Wie bei den anderen Körperregionen sind auch hier der Effekt des Overrangs bei der Untersuchung mittels Spiral-CT sowie eine Dosisabnahme mit steigendem Durchmesser der erwachsenen Patienten deutlich zu sehen.

Tabelle 18: Organdosen für CT-Untersuchungen des Beckens. Der gescannte Bereich reicht vom unteren Nierenpol zur Symphyse, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 17,1 mGy (Baby: 1,7 mGy; Child: 8,6 mGy) und der Pitchfaktor 1,2. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden mit Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
			Axialer Scan				Spiralscan					
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Rotes Knochenmark	0.73	3.70	5.81	6.42	4.54	5.31	0.99	4.15	6.41	7.13	5.01	5.94
Nebennieren	0.21	0.69	1.17	1.12	2.25	0.78	0.57	1.28	1.97	1.97	3.73	1.43
Gehirn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Brust	0.02	0.05	0.09	0.07	0.12	0.09	0.04	0.08	0.15	0.10	0.19	0.12
Dickdarm	2.19	7.63	11.79	22.45	12.21	15.70	4.28	10.96	15.44	24.27	14.97	20.46
Endosteum ^a	1.11	3.52	5.32	5.58	10.78	11.70	1.66	3.99	6.10	6.23	12.29	13.41
Obere Atemwege ^b	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Augenlinsen	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Gallenblase	0.35	0.59	1.76	1.45	1.86	3.61	1.32	1.11	3.01	2.58	3.13	9.55
Gonaden ^c	2.63	14.16	1.61	14.62	12.18	16.01	4.62	18.97	2.83	15.69	12.54	16.59
Herz	0.04	0.13	0.20	0.15	0.19	0.10	0.10	0.24	0.33	0.25	0.32	0.17

Tabelle 18 (Fortsetzung): Organdosen für CT-Untersuchungen des Beckens. Der gescannte Bereich reicht vom unteren Nierenpol zur Symphyse, der CTDI_w (Körperphantom) pro Schicht bzw. Rotation ist 17,1 mGy (Baby: 1,7 mGy; Child: 8,6 mGy) und der Pitchfaktor 1,2. Als Gesamtkollimation wurden 24 mm angenommen. Die Berechnungen wurden mit Röhrenstrommodulation durchgeführt.

Organ	Organdosis (mGy)											
	Axialer Scan						Spiralscan					
	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene	Baby	Child	Ref.-Mann	Ref.-Frau	Donna	Irene
Nieren	0.63	2.21	3.57	3.90	2.67	2.62	2.77	5.32	7.01	7.95	4.79	5.72
Leber	0.18	0.53	1.00	0.96	1.13	1.96	0.65	1.02	1.77	1.70	2.00	4.31
Lunge	0.04	0.09	0.14	0.12	0.16	0.09	0.10	0.16	0.22	0.20	0.26	0.15
Lymphknoten ^d	0.84	3.70	6.89	6.79	5.24	5.55	1.46	4.76	7.97	8.22	6.22	6.65
Muskeln	0.74	3.77	5.77	5.80	4.86	6.26	1.22	4.93	6.81	6.98	5.76	7.53
Speiseröhre	0.04	0.17	0.15	0.10	0.15	0.06	0.09	0.32	0.25	0.17	0.25	0.11
Mundschleimhaut ^e	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Pankreas	0.26	1.08	2.60	3.19	1.83	0.89	0.73	2.05	4.34	6.24	3.06	1.66
Prostata / Uterus	4.46	15.38	11.78	13.87	11.69	17.70	4.81	16.15	12.93	14.87	12.28	18.56
Speicheldrüsen ^f	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
Haut	0.67	3.15	4.85	4.78	4.84	4.75	1.16	4.09	5.74	5.77	5.73	5.79
Dünndarm	2.43	8.88	16.51	16.19	16.78	24.00	4.23	12.50	18.82	19.53	17.61	25.22
Milz	0.16	0.70	0.69	0.77	1.02	0.55	0.43	1.33	1.13	1.29	1.70	0.94
Magen	0.19	0.87	1.15	1.67	1.08	0.71	0.54	1.72	1.96	3.25	1.82	1.30
Thymus	0.02	0.04	0.03	0.03	0.07	0.04	0.04	0.07	0.05	0.05	0.12	0.07
Schilddrüse	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02
Harnblase	4.87	17.49	16.85	19.58	14.17	23.07	5.25	18.21	17.36	20.42	14.75	23.64
Effektive Dosis ^g	0.91	3.74	3.70	6.28	4.37	5.65	1.52	4.88	4.62	7.11	5.08	6.72

^a Baby, Donna, Irene: mittlere Spongiosa-Dosis; Child: mittlere Knochendosis

^b Baby: Fettgewebe, Kopf

^c Baby, Child: arithmetisches Mittel der Dosen in Ovarien und Testes

^d Baby, Child, Donna, Irene: Fettgewebe

^e Baby: RKM, Kieferknochen; Donna, Irene: Zunge

^f Baby: Fettgewebe, Kopf; Donna: Zunge

^g Berechnung mit nur einem Phantom, abweichend von der Definition (ICRP Publikation 103)

Für die Untersuchung des Beckens ist die Dosisreduktion infolge der Röhrenstrommodulation am deutlichsten für Gonaden, Prostata, Uterus, Dünndarm und Harnblase.

5. Voxelmodell einer schwangeren Frau und Ermittlung der Foetusdosis bei innerer und äußerer Strahlenexposition

Das Voxelmodell der Frau in der 24. Schwangerschaftswoche ist in Abbildung 9 dargestellt. Der Foetus und einige seiner Organe wurden aus dem MR-Datensatz des Abdomens und Beckens einer schwangeren Frau segmentiert. Für die Mutter wurde eine Kopie der Referenzfrau geeignet modifiziert. Der Bauchumfang wurde entsprechend diesem fortgeschrittenen Stadium der Schwangerschaft vergrößert. Im Abdomen und Beckenbereich wurden die Organe etwas verschoben und zusammengedrängt, um Platz für den segmentierten Foetus, die Plazenta und das Fruchtwasser zu schaffen. Dabei wurden – mit Ausnahme des Uterus und der Harnblase – die Organmassen nicht verändert.

Folgende Organe des Foetus konnten segmentiert werden: Augen, Augenlinsen, Gallenblase, Gehirn, Gehirnflüssigkeit, Herz, Leber, Lunge, Magen, Nieren und Rückenmark. Ferner wurden Kopf, Arme, Beine und Rumpf als getrennte Bereiche unterschieden. Die Knochen waren im MR-Datensatz leider nicht zu erkennen. Anhand des segmentierten Gehirns konnte jedoch die Lage des Schädelknochens abgeleitet werden. Dieser wurde als das Gehirn umgebende Schicht segmentiert. Ebenso wurde die Wirbelsäule als eine das Rückenmark umgebende Struktur realisiert. Die äußere Voxelreihe des Foetus wurde als dessen Haut definiert. Als weiteres Objekt wurde die Nabelschnur segmentiert.



Abbildung 9: Voxelmodell einer Frau in der 24. Schwangerschaftswoche. Der Foetus wurde aus einem MR-Datensatz des Abdomens und Beckens einer Schwangeren segmentiert und der – entsprechend modifizierten – Referenzfrau eingesetzt.

Berechnung der absorbierten Anteile für die Quellbereiche und Targetgewebe der Frau sowie für den Foetus und seine Organe

Absorbierte Anteile (englisch: absorbed fractions, AF) und spezifische absorbierte Anteile (englisch: specific absorbed fractions, SAF) sind primäre Dosisgrößen in der internen Dosimetrie. Absorbierte Anteile geben an, welcher Anteil der in einem Quellorgan freigesetzten Energie in einem Targetorgan absorbiert wird. Spezifische absorbierte Anteile beziehen diese absorbierten Anteile auf die Einheitsmasse (ein Kilogramm) des Targetorgans. Berechnungen von (spezifischen) absorbierten Anteilen wurden für je 25 Photonen- und Elektronenenergien im Energiebereich von 10 keV bis 10 MeV, für 56 Quellbereiche in der Mutter und 8 Quellbereiche im Foetus sowie alle in Mutter und Foetus definierten Targetregionen durchgeführt. Eine Auswahl von SAF-Werten für Targetregionen im Foetus ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Dabei wurden solche Organe der Mutter als Quellorgane ausgewählt, die in der Nähe des Foetus gelegen sind (Inhalt der Harnblase, Abbildung 10 und Plazenta, Abbildung 11) oder im gesamten Körper verteilt sind (Fettgewebe, Abbildung 12). Ferner wurden der gesamte Foetus (Abbildung 13) und seine Leber (Abbildung 14) als Quellorgane betrachtet.

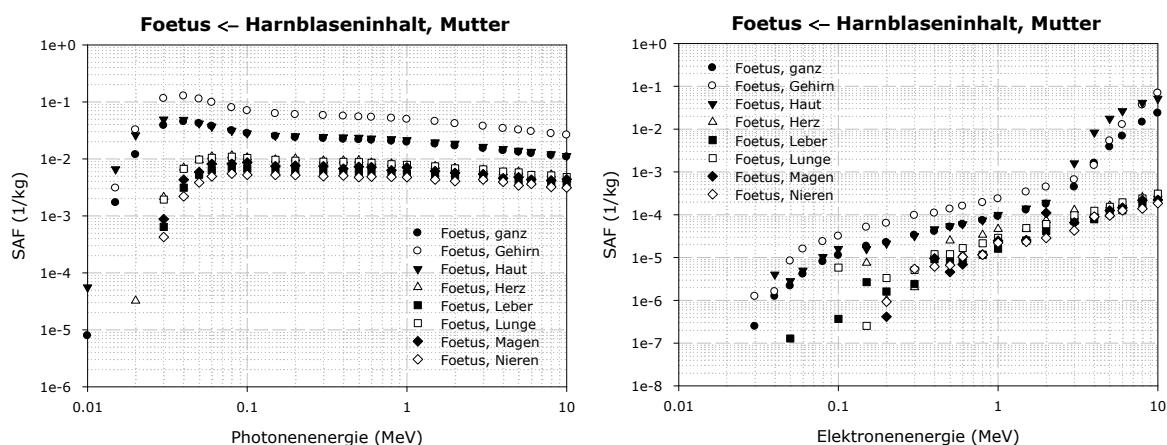


Abbildung 10: Spezifische absorbierte Bruchteile im Foetus für den Fall, dass der Harnblaseninhalt der Mutter die Quellregion darstellt. Links: monoenergetische Photonen, rechts: monoenergetische Elektronen

Für die Quelle im Harnblaseninhalt der Mutter (Abbildung 10) ist zu beobachten, dass im gesamten Energiebereich die SAF-Werte für Photonen um Größenordnungen höher sind als die für Elektronen, aufgrund der sehr viel größeren Durchdringungsfähigkeit und Reichweite von Photonen im Vergleich zu Elektronen gleicher Energie. Erst für Energien oberhalb von 4 MeV erreichen die Elektronen-SAF-Werte für einige Targetorgane des Foetus eine vergleichbare Größe wie die für Photonen.

Für die Quelle in der Plazenta (Abbildung 11) sind die SAF-Werte höher als für die im Harnblaseninhalt, aufgrund der größeren räumlichen Nähe zum Foetus. Für Elektronenquellen treten die höchsten SAF-Werte für die Haut auf, da sie an der Körperoberfläche liegt und nicht durch andere Gewebe des Foetus abgeschirmt wird.

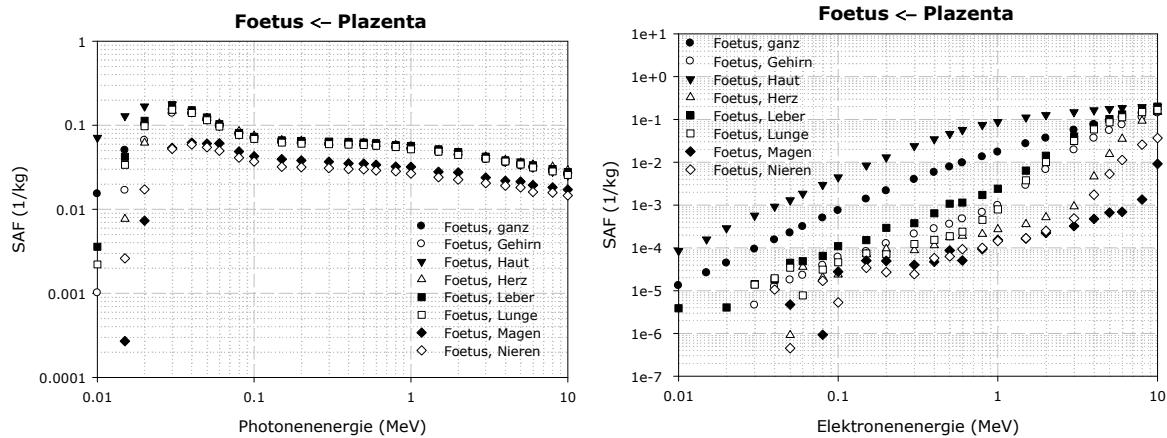


Abbildung 11: Spezifische absorbierte Bruchteile im Foetus für den Fall, dass die Plazenta die Quellregion darstellt. Links: monoenergetische Photonen, rechts: monoenergetische Elektronen

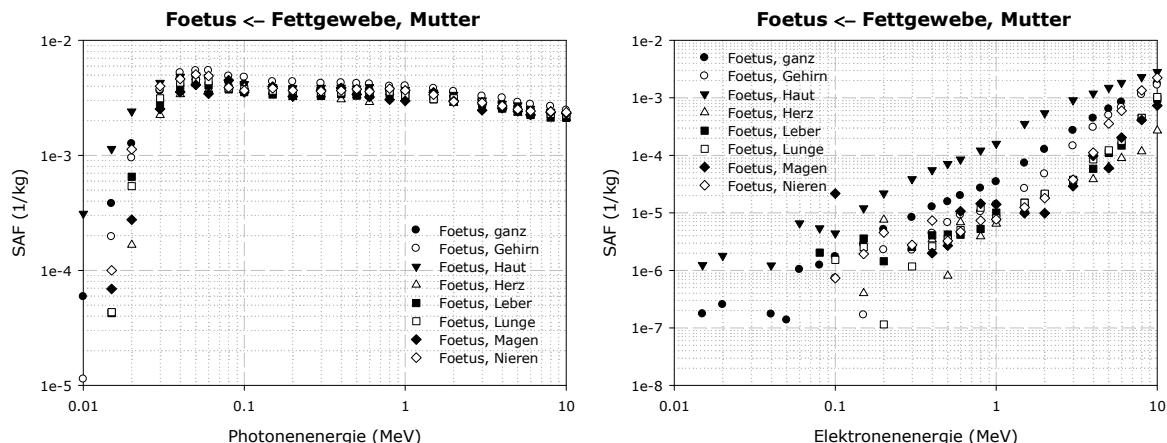


Abbildung 12: Spezifische absorbierte Bruchteile im Foetus für den Fall, dass das Fettgewebe der Mutter die Quellregion darstellt. Links: monoenergetische Photonen, rechts: monoenergetische Elektronen

Da das Fettgewebe (Abbildung 12) über weite Bereiche des Körpers der Mutter verteilt ist und nur zu einem geringen Teil in der Nähe des Foetus liegt, kann nur ein geringerer Anteil der dort emittierten Photonen und Elektronen den Foetus erreichen, und die SAF-Werte sind insgesamt kleiner als für die näher gelegenen Quellbereiche.

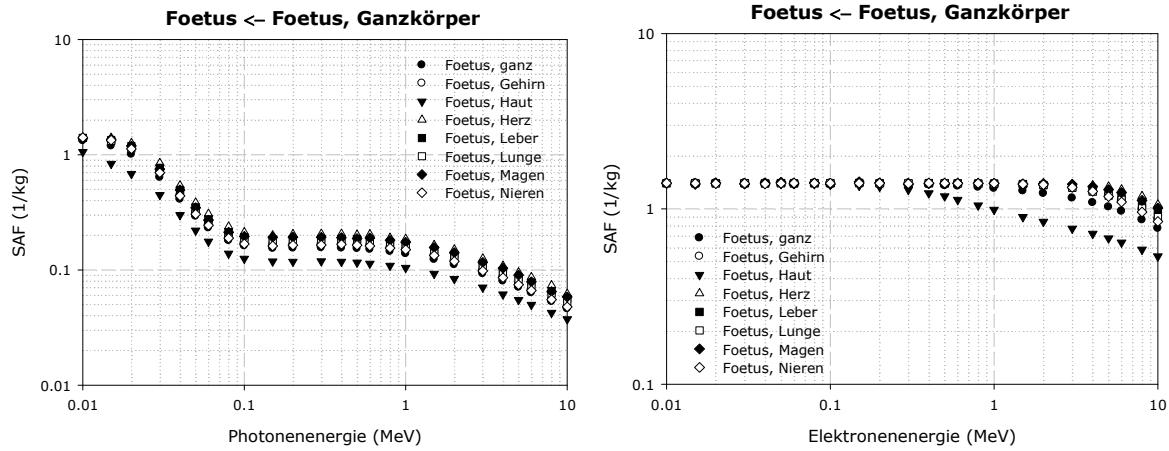


Abbildung 13: Spezifische absorbierte Bruchteile im Foetus für den Fall, dass der gesamte Foetus die Quellregion darstellt. Links: monoenergetische Photonen, rechts: monoenergetische Elektronen

In Abbildung 13 sind SAF-Werte für den gesamten Foetus als Quellregion dargestellt. Sie zeigen den typischen Kurvenverlauf für die so genannte „Selbstabsorption“, also die Situation wo Quell- und Targetregion identisch sind. Es fällt auf, dass für die Haut des Foetus die SAF-Werte für Photonen etwas kleiner sind als für alle anderen Organe, da an der Oberfläche der Quellregion nur Photonen von innen nach außen gelangen können, außerhalb jedoch keine Photonen emittiert werden und somit kein Gleichgewicht herrscht zwischen Photonen, die das Organ verlassen und solchen, die von außen hinein gelangen könnten. Für Elektronen mit niedriger und mittlerer Energie wird die gesamte freigesetzte Energie im Foetus selbst absorbiert. Dies ändert sich erst für Energien ab ca. 300 keV, zunächst nur für die Haut und erst ab ca. 2 MeV für alle Organe des Foetus.

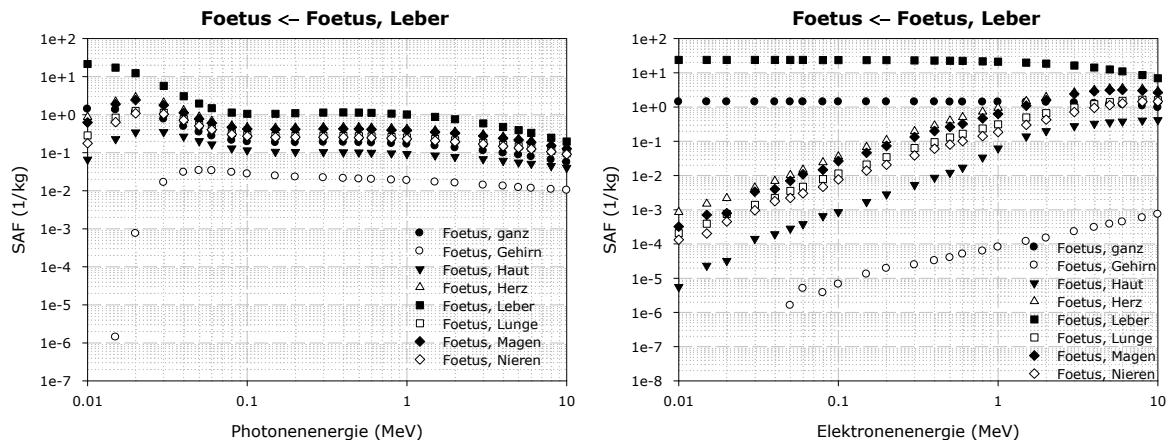


Abbildung 14: Spezifische absorbierte Bruchteile im Foetus für den Fall, dass die Leber des Foetus die Quellregion darstellt. Links: monoenergetische Photonen, rechts: monoenergetische Elektronen

Abbildung 14 zeigt die gleiche Situation für die Leber des Foetus als Quellregion. Hier zeigt nur die Kurve für die Leber den typischen Verlauf für Selbstabsorption. Alle anderen Targetregionen (mit Ausnahme des gesamten Foetus) werden von außen bestrahlt. Dabei treten die kleinsten SAF-Werte für das Gehirn auf, das zum einen relativ weit von der Leber entfernt ist und zum anderen durch den Schädelknochen zusätzlich abgeschirmt ist.

Berechnung von Konversionsfaktoren für die Foetusdosis bei externer Strahlenexposition für monoenergetische Photonen

Konversionsfaktoren für einige Organe des Foetus für idealisierte Geometrien (Photoneneinfall parallel AP, PA, ROT und isotrop) sowie für Umgebungsgeometrien (radioaktive Wolke und Bodenkontamination) sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 19: Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom des Foetus für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Augenlinsen						Gehirn					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	0.006	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.001	0.002	0.003	0.001
0.030	0.147	0.018	0.075	0.065	0.047	0.039	0.194	0.014	0.071	0.061	0.071	0.037
0.040	0.569	0.199	0.345	0.082	0.208	0.161	0.608	0.107	0.268	0.227	0.218	0.137
0.050	1.221	0.206	0.244	0.256	0.341	0.236	1.006	0.271	0.501	0.406	0.378	0.251
0.060	1.087	0.391	0.750	0.807	0.478	0.389	1.278	0.445	0.674	0.561	0.506	0.340
0.070	1.402	0.329	0.513	0.784	0.501	0.403	1.358	0.544	0.770	0.635	0.587	0.406
0.080	1.168	0.701	0.816	0.654	0.691	0.523	1.417	0.611	0.816	0.671	0.637	0.450
0.100	1.293	0.528	1.088	0.970	0.648	0.466	1.373	0.648	0.817	0.684	0.677	0.501
0.150	1.364	0.833	0.869	0.591	0.554	0.511	1.199	0.625	0.755	0.629	0.675	0.545
0.200	1.553	0.762	0.837	0.475	0.736	0.596	1.108	0.610	0.725	0.598	0.662	0.547
0.300	0.732	0.594	0.803	0.539	0.639	0.493	1.014	0.607	0.692	0.584	0.648	0.560
0.400	1.104	0.781	0.599	0.565			0.976	0.604	0.687	0.586		
0.500	0.660	0.487	0.409	0.598	0.623	0.507	0.966	0.613	0.695	0.605	0.655	0.567
0.600	0.833	0.485	0.481	0.654			0.959	0.635	0.713	0.618		
0.800	0.788	0.723	0.702	0.629			0.948	0.663	0.724	0.631		
1.000	1.071	0.531	0.864	0.626	0.769	0.529	0.921	0.687	0.739	0.661	0.691	0.600
2.000	0.998	0.602	0.869	0.550	0.737	0.662	0.948	0.773	0.802	0.740	0.761	0.668
3.000	1.040	0.441	0.744	0.616	0.790	0.720	0.957	0.836	0.819	0.773	0.801	0.707
4.000	1.261	0.659	0.596	0.660			0.979	0.843	0.860	0.788		
6.000	1.138	1.188	0.791	1.077	0.947	0.914	0.962	0.864	0.889	0.823	0.844	0.776
8.000	0.999	1.140	0.851	0.753			0.969	0.875	0.856	0.812		
10.00	0.892	0.982	0.714	0.645	0.754	0.828	0.967	0.868	0.874	0.830	0.858	0.790
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Haut						Leber					
	AP	PA	ROT	ISO	Bo-	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Bo-	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	0.027	0.000	0.011	0.008	0.004	0.009	0.022	0.000	0.008	0.006	0.002	0.006
0.030	0.296	0.017	0.127	0.099	0.078	0.096	0.335	0.015	0.139	0.109	0.072	0.107
0.040	0.746	0.115	0.349	0.281	0.237	0.234	0.814	0.102	0.395	0.301	0.238	0.270
0.050	1.130	0.287	0.578	0.470	0.399	0.361	1.243	0.262	0.623	0.501	0.410	0.413
0.060	1.344	0.446	0.758	0.612	0.521	0.449	1.444	0.386	0.784	0.637	0.538	0.503
0.070	1.448	0.539	0.863	0.662	0.606	0.511	1.564	0.492	0.881	0.684	0.609	0.567
0.080	1.497	0.594	0.896	0.693	0.648	0.551	1.584	0.562	0.936	0.720	0.662	0.603
0.100	1.415	0.643	0.886	0.700	0.679	0.599	1.535	0.602	0.923	0.726	0.693	0.642
0.150	1.263	0.629	0.812	0.649	0.679	0.621	1.315	0.591	0.836	0.671	0.692	0.666
0.200	1.158	0.613	0.778	0.627	0.667	0.622	1.209	0.582	0.792	0.612	0.667	0.660
0.300	1.077	0.616	0.745	0.602	0.650	0.625	1.109	0.585	0.768	0.618	0.649	0.660
0.400	1.014	0.645	0.746	0.611			1.058	0.632	0.743	0.615		
0.500	1.010	0.643	0.731	0.619	0.658	0.625	1.047	0.623	0.742	0.628	0.659	0.659
0.600	0.992	0.672	0.759	0.616			1.011	0.665	0.777	0.616		
0.800	0.982	0.700	0.749	0.658			1.010	0.668	0.788	0.639		
1.000	0.960	0.708	0.789	0.673	0.702	0.654	1.025	0.717	0.790	0.675	0.701	0.679
2.000	0.973	0.792	0.830	0.751	0.764	0.713	0.970	0.803	0.868	0.752	0.769	0.728
3.000	0.996	0.811	0.870	0.787	0.810	0.744	1.040	0.793	0.861	0.774	0.802	0.783
4.000	0.985	0.822	0.864	0.821			0.972	0.832	0.870	0.795		
6.000	0.970	0.858	0.890	0.844	0.847	0.793	0.977	0.863	0.888	0.852	0.840	0.834
8.000	0.981	0.864	0.897	0.838			0.964	0.868	0.893	0.845		
10.00	0.954	0.860	0.895	0.843	0.852	0.808	0.998	0.825	0.936	0.779	0.846	0.828

Tabelle 19 (Fortsetzung): Organdosiskonversionsfaktoren (Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden, in Sv/Gy) für das Phantom des Foetus für monoenergetische Photonen

Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Lunge						Magen					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000		
0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	0.013	0.000	0.006	0.003	0.002	0.004	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001
0.030	0.254	0.013	0.125	0.092	0.069	0.085	0.158	0.031	0.068	0.061	0.035	0.053
0.040	0.708	0.114	0.359	0.278	0.230	0.231	0.452	0.193	0.312	0.209	0.151	0.176
0.050	1.078	0.281	0.610	0.468	0.397	0.368	0.790	0.317	0.532	0.355	0.309	0.297
0.060	1.319	0.426	0.770	0.599	0.518	0.458	1.163	0.550	0.709	0.635	0.439	0.401
0.070	1.409	0.526	0.852	0.664	0.597	0.519	1.256	0.714	0.754	0.557	0.524	0.454
0.080	1.461	0.604	0.894	0.706	0.648	0.563	1.276	0.707	0.865	0.638	0.579	0.505
0.100	1.393	0.633	0.875	0.726	0.681	0.604	1.240	0.810	0.933	0.641	0.628	0.553
0.150	1.210	0.607	0.823	0.645	0.669	0.637	1.045	0.768	0.743	0.599	0.631	0.592
0.200	1.125	0.608	0.766	0.621	0.661	0.625	1.057	0.712	0.768	0.615	0.616	0.611
0.300	1.058	0.632	0.757	0.613	0.652	0.628	0.960	0.770	0.648	0.619	0.640	0.588
0.400	0.998	0.631	0.742	0.611			0.922	0.756	0.686	0.628		
0.500	0.973	0.622	0.742	0.614	0.657	0.631	0.883	0.749	0.767	0.711	0.652	0.598
0.600	0.962	0.674	0.759	0.651			0.896	0.839	0.827	0.622		
0.800	0.960	0.712	0.774	0.663			1.021	0.808	0.748	0.663		
1.000	0.945	0.718	0.777	0.689	0.701	0.665	0.897	0.786	0.622	0.633	0.689	0.648
2.000	0.959	0.760	0.854	0.768	0.768	0.728	0.966	0.906	0.711	0.828	0.730	0.710
3.000	1.014	0.830	0.884	0.765	0.799	0.756	0.781	0.943	0.871	0.787	0.808	0.701
4.000	0.961	0.823	0.907	0.786			0.933	0.945	0.905	0.847		
6.000	0.975	0.836	0.869	0.870	0.847	0.787	0.884	0.791	0.921	0.943	0.855	0.848
8.000	0.979	0.850	0.894	0.828			0.960	0.725	0.916	0.759		
10.00	0.994	0.857	0.917	0.888	0.849	0.805	0.861	0.876	0.888	0.826	0.845	0.836
Photonen- energie (MeV)	Organdosis / Luftkerma frei in Luft 1 m über dem Boden (Sv/Gy)											
	Nieren						Skelett					
	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft	AP	PA	ROT	ISO	Boden	Luft
0.010	0.000	0.000	0.000	0.00			0.000	0.000	0.000	0.00		
0.015	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
0.020	0.014	0.000	0.010	0.00	0.002	0.008	0.013	0.000	0.005	0.00	0.005	0.003
0.030	0.247	0.035	0.134	0.09	0.074	0.112	0.357	0.031	0.147	0.12	0.120	0.089
0.040	0.697	0.184	0.400	0.30	0.240	0.273	1.071	0.206	0.506	0.41	0.379	0.283
0.050	1.043	0.409	0.642	0.49	0.418	0.410	1.655	0.486	0.866	0.69	0.640	0.475
0.060	1.312	0.551	0.814	0.67	0.536	0.510	1.996	0.727	1.136	0.92	0.824	0.613
0.070	1.330	0.627	0.909	0.67	0.620	0.574	2.026	0.824	1.227	0.96	0.918	0.702
0.080	1.402	0.747	0.926	0.72	0.660	0.614	1.993	0.904	1.216	0.99	0.963	0.760
0.100	1.355	0.754	0.888	0.75	0.704	0.651	1.820	0.901	1.112	0.89	0.955	0.791
0.150	1.191	0.713	0.841	0.64	0.691	0.674	1.400	0.764	0.938	0.74	0.851	0.769
0.200	1.136	0.734	0.822	0.62	0.679	0.657	1.221	0.689	0.822	0.68	0.790	0.731
0.300	1.015	0.779	0.775	0.60	0.664	0.662	1.065	0.657	0.737	0.61	0.718	0.687
0.400	1.020	0.740	0.752	0.59			1.025	0.646	0.725	0.61		
0.500	0.975	0.723	0.806	0.64	0.665	0.654	0.953	0.645	0.709	0.60	0.692	0.650
0.600	0.951	0.748	0.775	0.60			0.940	0.655	0.708	0.61		
0.700					0.683	0.673					0.688	0.644
0.800	0.944	0.736	0.813	0.63			0.957	0.679	0.704	0.65		
1.000	0.997	0.853	0.752	0.66	0.703	0.676	0.918	0.693	0.742	0.65	0.706	0.648
1.500					0.743	0.717					0.730	0.658
2.000	1.025	0.856	0.915	0.75	0.783	0.761	0.944	0.747	0.833	0.72	0.763	0.690
3.000	1.079	0.849	0.877	0.77	0.805	0.781	0.965	0.810	0.828	0.77	0.792	0.723
4.000	0.907	0.866	0.894	0.83			0.962	0.834	0.866	0.79		
6.000	0.938	0.954	0.855	0.81	0.844	0.834	0.934	0.860	0.879	0.83	0.837	0.771
8.000	0.956	0.904	0.912	0.85			0.969	0.878	0.891	0.83		
10.00	0.928	0.870	0.889	0.83	0.882	0.851	0.945	0.846	0.872	0.80	0.846	0.794

Berechnung der Foetusdosis für häufige Röntgenuntersuchungen

Foetusdosen wurden für die Röntgenuntersuchungen Thorax a.p. und p.a., Abdomen a.p. und Lendenwirbelsäule a.p. berechnet. Dabei ist bei der Abdomenaufnahme der Foetus vollständig im Strahlenfeld, bei der Lendenwirbelsäulenauflnahme zum großen Teil und bei den beiden Thoraxaufnahmen gar nicht, so dass er bei diesen beiden Untersuchungen ausschließlich durch Streustrahlung exponiert wird. Die folgenden Tabellen listen Organdosiskonversionsfaktoren für den Foetus auf. Zum Vergleich sind einige Konversionsfaktoren für Organe der Mutter mit angegeben. Die zugehörigen Abbildungen stellen jeweils die Lage des Strahlenfeldes dar.



Abbildung 15: Lage des Strahlenfeldes bei der Abdomenaufnahme a.p.

Tabelle 20: Organdosen normiert auf die Eintrittsdosis frei in Luft für eine Abdomenaufnahme a.p. einer Frau in der 24. Schwangerschaftswoche mit unterschiedlichen Röhrenspannungen, Gesamtfilterung 2,5 mm Al, Fokus-Bildempfänger-Abstand 115 cm und Fokus-Haut-Abstand 87,5 cm. Die Feldgröße wurde optimal eingeblendet. Feldbreite x Feldhöhe in der Bildempfängerebene: 19.53 x 38.29 cm².

Organ	Organdosis / Eintrittssdosis frei in Luft (mSv/mGy) für verschiedene Röhrenspannungen		
	75 kV	80 kV	90 kV
Augen, Foetus	0.279	0.310	0.350
Augenlinsen, Foetus	0.292	0.317	0.404
Gallenblase, Foetus	0.411	0.480	0.476
Gehirn, Foetus	0.294	0.322	0.374
Haut, Foetus	0.348	0.376	0.425
Herz, Foetus	0.331	0.364	0.418
Leber, Foetus	0.403	0.436	0.493
Lunge, Foetus	0.310	0.337	0.388
Magen, Foetus	0.224	0.250	0.293
Nieren, Foetus	0.274	0.295	0.340
Knochen, Foetus	0.479	0.524	0.593
Rückenmark, Foetus	0.242	0.267	0.310
Ganzkörper, Foetus	0.334	0.363	0.415
Brust, Mutter	0.003	0.003	0.004
Dickdarm, Mutter	0.147	0.162	0.188
Harnblase, Mutter	0.345	0.371	0.409
Leber, Mutter	0.087	0.095	0.108
Lunge, Mutter	0.002	0.003	0.004
Magen, Mutter	0.166	0.178	0.198
Oesophagus, Mutter	0.003	0.004	0.004
Ovarien, Mutter	0.093	0.106	0.126
Rotes Knochenmark, Mutter	0.023	0.026	0.033
Schilddrüse, Mutter	0.000	0.000	0.000

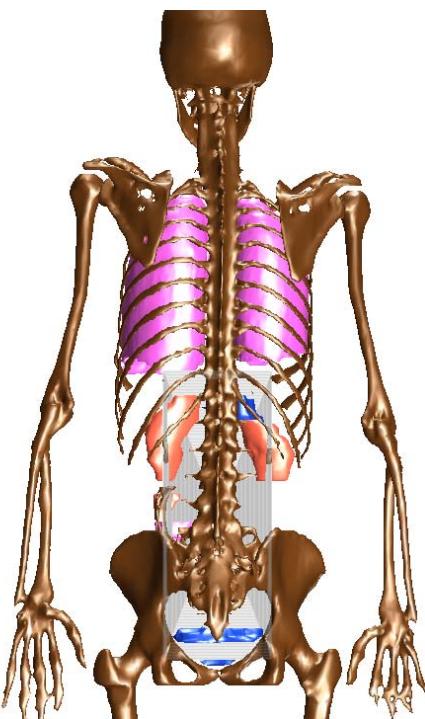


Abbildung 16: Lage des Strahlenfeldes bei der Lendenwirbelsäulenaufnahme a.p.

Tabelle 21: Organdosen normiert auf die Eintrittsdosis frei in Luft für eine Lendenwirbelsäulenaufnahme a.p. einer Frau in der 24. Schwangerschaftswoche mit unterschiedlichen Röhrenspannungen, Gesamtfilterung 2,5 mm Al, Fokus-Bildempfänger-Abstand 115 cm und Fokus-Haut-Abstand 87,1 cm. Die Feldgröße wurde optimal eingeblendet. Feldbreite x Feldhöhe in der Bildempfängerebene: 12.63 x 34.73 cm².

Organ	Organdosis / Eintrittsdosis frei in Luft (mSv/mGy) für verschiedene Röhrenspannungen		
	75 kV	80 kV	90 kV
Augen, Foetus	0.241	0.263	0.309
Augenlinsen, Foetus	0.259	0.309	0.322
Gallenblase, Foetus	0.355	0.384	0.395
Gehirn, Foetus	0.241	0.263	0.304
Haut, Foetus	0.266	0.290	0.327
Herz, Foetus	0.282	0.308	0.350
Leber, Foetus	0.300	0.320	0.365
Lunge, Foetus	0.183	0.199	0.232
Magen, Foetus	0.182	0.203	0.234
Nieren, Foetus	0.111	0.121	0.141
Knochen, Foetus	0.360	0.394	0.444
Rückenmark, Foetus	0.140	0.156	0.185
Ganzkörper, Foetus	0.257	0.279	0.319
Brust, Mutter	0.002	0.002	0.003
Dickdarm, Mutter	0.077	0.085	0.099
Harnblase, Mutter	0.160	0.173	0.195
Leber, Mutter	0.077	0.083	0.094
Lunge, Mutter	0.002	0.003	0.003
Magen, Mutter	0.124	0.133	0.148
Oesophagus, Mutter	0.003	0.003	0.004
Ovarien, Mutter	0.035	0.040	0.048
Rotes Knochenmark, Mutter	0.012	0.015	0.019
Schilddrüse, Mutter	0.000	0.000	0.000



Abbildung 17: Lage des Strahlenfeldes bei der Thoraxaufnahme a.p.

Tabelle 22: Organdosen normiert auf die Eintrittsdosis frei in Luft für eine Thoraxaufnahme a.p. einer Frau in der 24. Schwangerschaftswoche mit unterschiedlichen Röhrenspannungen, Gesamtfilterung 2,5 mm Al, Fokus-Bildempfänger-Abstand 115 cm und Fokus-Haut-Abstand 90,3 cm. Die Feldgröße in der Bildempfängerebene wurde optimal eingeblendet. Feldbreite x Feldhöhe: 32.03 x 25.03 cm².

Organ	Organdosis / Eintrittssdosis frei in Luft (mSv/mGy) für verschiedene Röhrenspannungen		
	90 kV	110 kV	125 kV
Augen, Foetus	0.001	0.001	0.002
Augenlinsen, Foetus	0.000	0.003	0.001
Gallenblase, Foetus	0.002	0.003	0.005
Gehirn, Foetus	0.000	0.001	0.001
Haut, Foetus	0.003	0.004	0.006
Herz, Foetus	0.002	0.002	0.004
Leber, Foetus	0.003	0.004	0.006
Lunge, Foetus	0.002	0.002	0.003
Magen, Foetus	0.003	0.004	0.006
Nieren, Foetus	0.004	0.005	0.007
Knochen, Foetus	0.001	0.002	0.003
Rückenmark, Foetus	0.002	0.003	0.003
Ganzkörper, Foetus	0.003	0.003	0.005
Brust, Mutter	0.866	0.913	0.998
Dickdarm, Mutter	0.006	0.007	0.010
Harnblase, Mutter	0.000	0.000	0.000
Leber, Mutter	0.226	0.253	0.299
Lunge, Mutter	0.401	0.443	0.521
Magen, Mutter	0.138	0.157	0.189
Oesophagus, Mutter	0.260	0.296	0.357
Ovarien, Mutter	0.000	0.000	0.000
Rotes Knochenmark, Mutter	0.093	0.106	0.127
Schilddrüse, Mutter	0.208	0.225	0.257

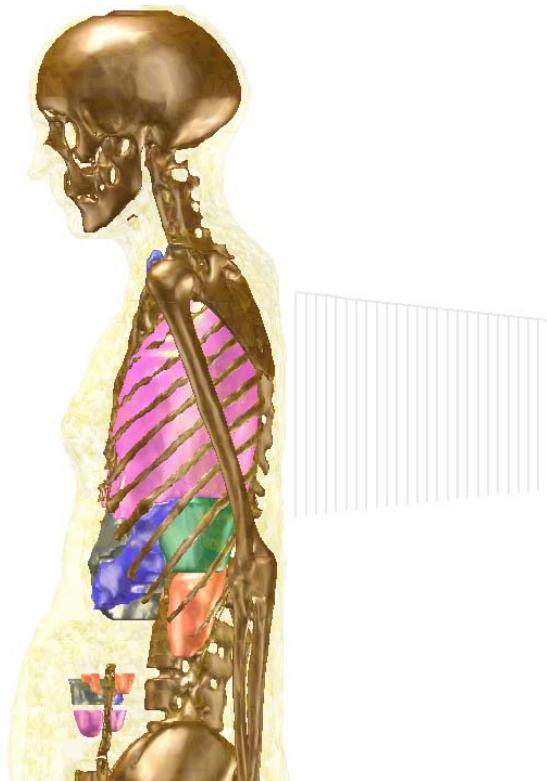


Abbildung 18: Lage des Strahlenfeldes bei der Thoraxaufnahme p.a.

Tabelle 23: Organdosen normiert auf die Eintrittsdosis frei in Luft für eine Thoraxaufnahme p.a. einer Frau in der 24. Schwangerschaftswoche mit unterschiedlichen Röhrenspannungen, Gesamtfilterung 2,5 mm Al, Fokus-Bildempfänger-Abstand 115 cm und Fokus-Haut-Abstand 90,3 cm. Die Feldgröße in der Bildempfängerebene wurde optimal eingeblendet. Feldbreite x Feldhöhe: 32.49 x 25.39 cm².

Organ	Organdosis / Eintrittsdosis frei in Luft (mSv/mGy) für verschiedene Röhrenspannungen		
	90 kV	110 kV	125 kV
Augen, Foetus	0.000	0.001	0.002
Augenlinsen, Foetus	0.000	0.000	0.000
Gallenblase, Foetus	0.001	0.002	0.004
Gehirn, Foetus	0.000	0.000	0.001
Haut, Foetus	0.002	0.003	0.004
Herz, Foetus	0.001	0.002	0.003
Leber, Foetus	0.002	0.003	0.004
Lunge, Foetus	0.001	0.002	0.002
Magen, Foetus	0.003	0.002	0.004
Nieren, Foetus	0.003	0.004	0.005
Knochen, Foetus	0.001	0.002	0.002
Rückenmark, Foetus	0.001	0.002	0.003
Ganzkörper, Foetus	0.002	0.002	0.003
Brust, Mutter	0.140	0.159	0.190
Dickdarm, Mutter	0.004	0.005	0.007
Harnblase, Mutter	0.000	0.000	0.000
Leber, Mutter	0.132	0.154	0.190
Lunge, Mutter	0.428	0.478	0.566
Magen, Mutter	0.102	0.118	0.146
Oesophagus, Mutter	0.198	0.240	0.298
Ovarien, Mutter	0.000	0.000	0.000
Rotes Knochenmark, Mutter	0.097	0.114	0.140
Schilddrüse, Mutter	0.075	0.092	0.119

Im Berichtszeitraum erschienene und verfasste Veröffentlichungen in Zusammenhang mit dem Projekt

Veröffentlichungen in Zeitschriften

Becker, J., Zankl, M., Petoussi-Henss, N.: **A software tool for modification of human voxel models used for application in radiation protection.** Phys. Med. Biol. 52, N195-N205 (2007)

DeMarco, J. J., Cagnon, C. H., Cody, D. D., Stevens, D. M., McCollough, C. H., Zankl, M., Angel, E., McNitt-Gray, M. F.: **Estimating radiation doses from multidetector CT using Monte Carlo simulations: effects of different size voxelized patient models on magnitudes of organ and effective dose.** Phys. Med. Biol. 52, 2583-2597 (2007)

Schlattl, H., Zankl, M., Hausleiter, J., Hoeschen, C.: **Local organ dose conversion coefficients for angiographic examinations of coronary arteries.** Phys. Med. Biol. 52, 4393-4408 (2007)

Schlattl, H., Zankl, M., Petoussi-Henss, N.: **Organ dose conversion coefficients for voxel models of the reference male and female from idealized photon exposures.** Phys. Med. Biol. 52, 2123-2145 (2007)

Bolch, W.E., Shah, A.P., Watchman, C.J., Jokisch, D.W., Patton, P.W., Rajon, D.A., Zankl, M., Petoussi-Henss, N., Eckerman, K.F.: **Skeletal absorbed fractions for electrons in the adult male: considerations of a revised 50-μm definition of the bone endosteum.** Radiat. Prot. Dosim. 127(1-4), 169-173 (2007)

Deak, P., Straten, M. van, Shrimpton, P.C., Zankl, M., Kalender, W.A.: **Validation of a Monte Carlo tool for patient-specific dose simulations in multi-slice computed tomography.** Eur. Radiol. 18, 759-772 (2008)

Eckerman, K.F., Bolch, W.E., Zankl, M., Petoussi-Henss, N.: **Response functions for computing absorbed dose to skeletal tissues from photon irradiation.** Radiat. Prot. Dosim. 127(1-4), 187-191 (2007)

Petoussi-Henss, N., Bolch, W.E., Zankl, M., Sgouros, G., Wessels, B.: **Patient-specific scaling of reference S values for cross-organ radionuclide S-values: what is appropriate?** Radiat. Prot. Dosim. 127(1-4), 192 -196 (2007)

Petoussi-Henss, N., Li, W.B., Zankl, M., Eckerman, K.F.: **SEECAL utilizing voxel-based SAFs.** Radiat. Prot. Dosim. 127(1-4), 214-219 (2007)

Zankl, M., Eckerman, K.F., Bolch, W.E.: **Voxel-based models representing the male and female ICRP reference adult – the skeleton.** Radiat. Prot. Dosim. 127(1-4), 174-186 (2007)

Angel, E., Yaghmai, N., Jude, M.C., DeMarco, J.J., Cagnon, C.H., Goldin, J.G., Primak, A.N., Stevens, D.M., Cody, D.D., McCollough, C.H., Zankl, M., McNitt-Gray, M.F.: **Radiation dose to organs resulting from coronary CTA imaging: Monte Carlo simulation based estimates of female breast and lung dose for a range of patient sizes.** Radiology (eingereicht)

Geleijns, J., Joemai, R.M.S., Dewey, M., de Roos, A., Zankl, M., Cantera, A.C., Artells, M.S.: **A multicenter coronary CT angiography trial (CorE64): aspects of radiation exposure and risk assessment.** Radiology (eingereicht)

Zankl, M., Petoussi-Henss, N., Janzen, T., Uusijärvi, H., Schlattl, H., Li, W.B., Giussani, A., Hoeschen, C.: **New calculations for internal dosimetry of beta-emitting radiopharmaceuticals.** Radiat. Prot. Dosim. (eingereicht)

Zhang, D., Zankl, M., DeMarco, J.J., Cagnon, C.H., Angel, E., Turner, A.C., McNitt-Gray, M.F.: **Reducing radiation dose to selected organs by selecting the tube start angle in MDCT helical scans: a Monte Carlo based study.** Med. Phys. (eingereicht)

Übersichtsartikel, Bücher und Buchbeiträge

Hoeschen, C., Regulla, D., Zankl, M., Schlattl, H., Brix, G.: **Radiation exposure and protection in Multislice CT.** In: Medical Radiology. Vol. 3 Multislice CT. 3rd Edition (Eds. M.F. Reiser, C.R. Becker, N. Nikolaou, G. Glazer). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 53-63 (2009)

Petoussi-Henss, N., Saito, K.: **Applications to environmental exposures.** In: Handbook of Anatomical Models for Radiation Dosimetry (Hrsg. X.G. Xu, K.F. Eckerman). Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 413-424 (2009)

Zankl, M.: **The GSF voxel computational phantom family.** In: Handbook of Anatomical Models for Radiation Dosimetry (Hrsg. X.G. Xu, K.F. Eckerman). Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 65-85 (2009)

Zankl, M., Eckerman, K.F., Bolch, W.E.: **The ICRP reference computational phantoms.** In: Handbook of Anatomical Models for Radiation Dosimetry (Hrsg. X.G. Xu, K.F. Eckerman). Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 377-388 (2009)

Zankl, M., Schlattl, H., Petoussi-Henss, N., Hoeschen, C.: **Voxel phantoms for internal dosimetry.** In: Radiation Physics for Nuclear Medicine (Hrsg. M.C. Cantone, C. Hoeschen). Springer Verlag (eingereicht)

Bericht

International Commission on Radiological Protection: **Adult reference computational phantoms.** ICRP Publication 110. Ann. ICRP 39(2) (2009)

Tagungsbeiträge

Becker, J., Zankl, M., Petoussi-Henss, N.: **Modifications of human voxel models used for radiation protection calculations.** In: Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006 "Imaging the Future Medicine". DVD ISBN 3-540-36839-6 Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1967-1970 (2006)

Petoussi-Henss, N., Zankl, M., Hoeschen, C., Nosske, D.: **Voxel or MIRD-type model: a sensitivity study relevant to nuclear medicine.** In: Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006 "Imaging the Future Medicine". DVD ISBN 3-540-36839-6 Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1945-1948 (2006)

Becker, J., Zankl, M., Fill, U., Hoeschen, C.: **About Katja, a virtual human phantom of a 24-week pregnant woman.** In: Proceedings of the 7th International Scientific Conference SATERRA "Human and Environment", Bd. 3 "Medizintechnik" (Hrsg. L. Otto, H. Exner), ISSN 1437-7624. Mittweida: Hochschule Mittweida (FH), 5-7 (2007)

Zankl, M.: **State of the art of voxel phantom development.** In: Proceedings of the International Workshop on Uncertainty Assessment in Computational Dosimetry, Bologna, Italien, 08.-10.10.2007 (Hrsg. Gualdrini, G., Ferrari, P.) CD-ROM ISBN 978-3-9805741-9-8 (2008)

Zankl, M., Schlattl, H., Becker, J., Petoussi-Henss, N., Hoeschen, C.: **Voxel models representing the male and female ICRP reference adult – a dosimetric tool for medical imaging.** In: Medical Imaging 2008: Physics of Medical Imaging (Hrsg.: J. Hsieh, E. Samei) Proceedings of SPIE, Vol. 6913. Bellingham, USA: The International Society for Optical Engineering (SPIE), 69130X-1-69130X-9 (2008)

DeMarco, J.J., McNitt-Gray, M.F., Cagnon, C.H., Angel, E., Agazaryan, N., Zankl, M.: **Evaluation of patient dose using a virtual CT scanner: applications to 4DCT simulation and kilovoltage cone-beam imaging.** Journal of Physics: Conference Series 102 012006 (2008)

Hadid, L., Desbrée, A., Schlattl, H., Franck, D., Blanchardon, E., Zankl, M.: **Application of the new ICRP reference phantoms to internal dosimetry: calculation of specific absorbed fractions of energy for photons and electrons.** In: WC2009 (Eds.: O. Dössel, W.C. Schlegel), IFMBE Proceedings 25/III. Heidelberg: Springer, ISBN 978-3-642-03897-6, 178-180 (2009)

Jansen, J.T.M., Shrimpton, P.C., Zankl, M.: **Development of PC based Monte Carlo simulations for the calculation of scanner-specific normalized organ doses from CT.** International Conference on Mathematics, Computational Methods and Reactor Physics (M&C 2009), Saratoga Springs, New York, USA, 03.-07.05.2009, on CD-ROM, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL (2009)

Petoussi-Henss, N., Schlattl, H., Zankl, M., Becker, J., Saito, K., Endo, A.: **Organ doses from environmental exposures calculated using the ICRP Reference Male and Reference Female voxel phantoms.** 12th International Congress of the International Radiation Protection Association, Buenos Aires, Argentinien, 19.-24.10.2008. International Radiation Protection Association, CD-ROM (2008)

Petoussi-Henß, N., Zankl, M., Schlattl, H., Li, W.B., Hoeschen, C.: **Simulation of beta-emitters for radiopharmaceutical dosimetry using voxel phantoms and Monte Carlo calculations.**

In: WC2009 (Eds.: O. Dössel, W.C. Schlegel), IFMBE Proceedings 25/III. Heidelberg: Springer, ISBN 978-3-642-03897-6, 280-283 (2009)

Schlattl, H., Zankl, M., Hoeschen, C.: **Implementation of tube current modulation in CT dose computations with voxel models.** In: WC2009 (Eds.: O. Dössel, W.C. Schlegel), IFMBE Proceedings 25/III. Heidelberg: Springer, ISBN 978-3-642-03897-6, 329-332 (2009)

Zankl, M., Becker, J., Petoussi-Henß, N., Schlattl, H., Bolch, W.E., Eckerman, K.E., Menzel, H.G., Hoeschen, C.: **The reference computational phantoms adopted by ICRP and ICRU.** In: WC2009 (Eds.: O. Dössel, W.C. Schlegel), IFMBE Proceedings 25/III. Heidelberg: Springer, ISBN 978-3-642-03897-6, 185-188 (2009)

Zankl, M., Becker, J., Schlattl, H., Petoussi-Henß, N., Eckerman, K.F., Bolch, W.E., Hoeschen, C.: **Computational phantoms of the ICRP Reference Male and Reference Female.** In: Proceedings of the 12th International Congress of the International Radiation Protection Association, Buenos Aires, Argentinien, 19.-24.10.2008. International Radiation Protection Association, CD-ROM (2008)

Vorträge

Becker, J., Hoeschen, C., Tischenko, O., Zankl, M.: **Kombinierter Ansatz von Voxelmodellen und Bildbearbeitungsalgorithmen zur Segmentierung von Organen und Geweben.** Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Regensburg, 26.-30.03.2007

Schlattl, H., Zankl, M., Hausleiter, J.: **Maximale lokale Organdosen in der radiologischen Angiographie.** 88. Deutscher Röntgenkongress, Berlin, 16.-19.05.2007

Geleijns, J., Joemai, R., Dewey, M., Zankl, M., Calzado, A., Salvado Artells, M.: **Radiation dose of 64-slice coronary CT angiography: dose measurements and Monte Carlo calculations with voxel phantoms.** RSNA 94th Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, USA, 30.11-05.12.2008

Jansen, J.T.M., Shrimpton, P.C., Zankl, M.: **Commissioning of a PC cluster for the calculation of scanner-specific normalised organ doses from CT.** International Nuclear Codes Workshop / MCNEG – 2008, Risley, UK, 03.-06.03.2008

Menzel, H.-G., Zankl, M., Petoussi-Henß, N., Eckerman, K.F., Bolch, W.E.: **ICRP 2007 Recommendations: Impact on dose conversion coefficients for external radiation.** 11th International Conference on Radiation Shielding (ICRS-11) and 15th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of the American Nuclear Society (RPSD-15), Pine Mountain, USA, 13.-18.04.2008

Turner, A., Angel, E., Zhang, D., DeMarco, J.J., Zankl, M., McNitt-Gray, M.F.: **Comparison of organ dose among 64 detector MDCT scanners from different manufacturers: a Monte Carlo simulation study.** RSNA 94th Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, USA, 30.11-05.12.2008

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz