

Diagnostische Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen in Deutschland: Aktualisierung und Handhabung

Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling

Autoren

Alexander Schegerer¹, Reinhard Loose², Lothar J. Heuser³, Gunnar Brix¹

Institute

- 1 Department of Medical and Occupational Radiation Protection, Federal Office for Radiation Protection, Neuherberg, Germany
- 2 Institute for Radiology and Nuclear Medicine, Paracelsus Medical University, General Hospital Nuremberg, Germany
- 3 Diagnostic and Interventional Radiology, Ruhr-Universität Bochum, Germany

Key words

patient exposure, dose optimization and reduction, diagnostic reference levels (DRLs), diagnostic and interventional radiology, pediatric X-ray examinations

eingereicht 08.02.2018

akzeptiert 18.11.2018

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0824-7603>

Online-Publikation: 21.1.2019

Fortschr Röntgenstr 2019; 191: 739–751

© Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart · New York

ISSN 1438-9029

Korrespondenzadresse

Dr. Alexander Schegerer

Abteilung für medizinischen und beruflichen Strahlenschutz,
Bundesamt für Strahlenschutz, Ingolstädter Landstraße 1,
85764 Neuherberg, Germany

Tel.: ++49/30/1 83 33 23 14

alexander.schegerer@luks.ch

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel Die Entwicklungen der Medizintechnik in den letzten Jahren haben das Spektrum medizinischer Röntgenanwendungen erweitert und die Untersuchungspraxis in Röntgeneinrichtungen verändert. Infolgedessen wurden 2016 und 2018 die diagnostischen Referenzwerte (DRW) für diagnostische bzw. interventionelle Röntgenanwendungen aktualisiert. Ziel dieser Arbeit ist es, das Prozedere der Aktualisierung und die aktualisierten DRW vorzustellen sowie Hinweise zu ihrer praktischen Anwendung zu geben.

Material und Methoden Für die Aktualisierung der DRW wurden verschiedene, voneinander unabhängige Datenquellen berücksichtigt, die Dosis-relevante Untersuchungsparameter von verschiedenen Einrichtungen aus dem gesamten Bundesgebiet registrieren. Röntgenanwendungen an Kindern wurden in 7 verschiedene Gewichtsklassen eingeteilt. Für jede erfasste Röntgenanwendung wurde die 25., 50. und 75. Perzentile der entsprechenden nationalen Verteilung der Dosis-relevanten Untersuchungsparameter bestimmt. Für die aktualisierten und neu festgelegten DRW wurden die zugehörigen effektiven Dosiswerte abgeschätzt.

Ergebnisse Die DRW für Röntgenanwendungen, die schon vor 2016 existierten, konnten im Mittel um circa 20 % gesenkt werden. Für zahlreiche Röntgenanwendungen wurden neue DRW festgelegt (für die interventionelle Radiologie 9, für die Computertomografie 10).

Schlussfolgerungen Um Röntgenanwendungen auch unterhalb der neuen nationalen DRW zu optimieren, empfiehlt das BfS, lokale Referenzwerte festzulegen und anzuwenden, Dosismanagementsoftware (v. a. für den Bereich der CT und interventionellen Radiologie) einzusetzen, Dosis-relevante Protokollparameter der Röntgenuntersuchung bzw. des interventionell-radiologischen Eingriffs systematisch an die Patientenstatur anzupassen und einrichtungsinterne Strahlenschutzteams zu etablieren. Bei guter Praxis und Einsatz moderner Geräte-Technologien können die durch die 50. Perzentile der nationalen Verteilungen vorgegebenen Expositionsniveaus erreicht und sogar unterschritten werden.

Kernaussagen:

- Die diagnostischen Referenzwerte (DRW) für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen wurden 2016 bzw. 2018 aktualisiert.
- DRW für Röntgenanwendungen, für die schon vor 2016 DRW existierten, wurden im Mittel um circa 20 % gesenkt.
- Für die CT und interventionelle Radiologie wurden neue DRW festgelegt.
- Röntgenanwendungen sind auch unterhalb der DRW zu optimieren.

Zitierweise

- Schegerer A, Loose R, Heuser LJ et al. Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling. *Fortschr Röntgenstr* 2019; 191: 739–751

ABSTRACT

Purpose Recent developments in medical technology have broadened the spectrum of X-ray procedures and changed exposure practice in X-ray facilities. For this reason, diagnostic reference levels (DRLs) for diagnostic and interventional X-ray procedures were updated in 2016 and 2018, respectively. It is the aim of this paper to present the procedure for the update of the DRLs and to give advice on their practical application.

Materials and Methods For the determination of DRLs, data from different independent sources that collect dose-relevant data from different facilities in Germany were considered. Seven different weight intervals were specified for classifying pediatric X-ray procedures. For each X-ray procedure consid-

ered, the 25th, 50th, and 75th percentile of the respective national distribution of the dose-relevant parameters were determined. Additionally, effective doses that correspond to the DRLs were estimated.

Results In procedures with already existing DRLs before 2016, the values were lowered by circa 20% on average. Numerous DRLs were established for the first time (9 for interventional procedures, 10 for CT examinations).

Conclusion For dose optimizations even below the new national DRLs, the BfS recommends establishing local reference levels, using dose management software (particularly in CT and interventional radiology), adapting dose-relevant parameters of X-ray protocols to the individual patient size, and establishing internal radiation protection teams responsible for optimizing X-ray procedures in clinical practice. When applying good medical practice and using modern equipment, the median dose values of the nationwide dose distributions can not only be easily achieved but can even be undercut.

Einleitung

Etwa 95% der zivilisatorischen Strahlenexpositionen der Bevölkerung in Deutschland resultieren aus diagnostischen und interventionell-radiologischen Strahlenanwendungen. Abschätzungen des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) zufolge lag die mittlere effektive Dosis aus Röntgenanwendungen in Deutschland im Jahr 2014 bei etwa 1,6 mSv pro Einwohner [1]. Insbesondere Dosisintensivere radiologische Strahlenanwendungen, wie computertomografische (CT-) Untersuchungen und interventionell-radiologische Eingriffe, nahmen zu und lieferten 2014 mit ca. 65% bzw. 18% die größten Beiträge zur zivilisatorischen Strahlenexposition durch medizinische Bildgebung. Aufgrund des in der Regel sehr kleinen, aber nicht zu vernachlässigenden Risikos für Patienten, durch Röntgenstrahlung an einem Krebsleiden zu erkranken [2, 3], sind Betreiber von Röntengeräten verpflichtet, nicht nur für jeden Einzelfall die rechtfertigende Indikation zu stellen, sondern jede Strahlenanwendung zu optimieren (ALARA, „as low as reasonably achievable“) [4–6]. Da bei der Planung und Durchführung von Strahlenanwendungen am Menschen nicht nur medizinische, sondern auch situative, verfahrens- und gerätetechnische Aspekte zu berücksichtigen sind, kann es für den durchführenden Arzt (Anwender) schwierig sein, die von ihm realisierten Expositionswerte einzuordnen und den Grundsatz der Optimierung im klinischen Alltag konsequent umzusetzen.

Diagnostische Referenzwerte (DRW) geben Anwendern Orientierung bei der Optimierung von Strahlenanwendungen und sollen Patienten vor zu hohen Expositionen schützen [7, 8]. Obwohl DRW keine Grenzwerte, sondern dem Anwender zur Orientierung dienende obere Richtwerte darstellen, ist bei Überschreitung der DRW zu prüfen, ob die Strahlenexposition reduziert werden kann, ohne das Ziel der medizinischen Anwendung zu gefährden.

DRW gelten für Standardanwendungen an Standardpatienten bei üblicher Geräteausstattung. Für die Festlegung von DRW

werden leicht messbare, Dosis-relevante Parameter herangezogen (z. B. Dosisflächenprodukt, DFP; Volumen-Computertomografie-Dosisindex, CTDI_{vol}; Dosislängenprodukt, DLP). Die festgelegten DRW beziehen sich nicht auf einzelne Strahlenanwendungen, sondern auf den arithmetischen Mittelwert von Parameterwerten über 10–20 (Radiografie und CT) bis 20–30 (Durchleuchtung und interventionelle Radiologie) an einem Gerät durchgeführte Anwendungen [7, 8]. Dadurch werden interindividuelle Unterschiede, wie z. B. aufgrund variierender individueller Körpermaße der Patienten oder unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade interventionell-radiologischer Eingriffe, reduziert. Man geht davon aus, dass sich durch die Mittelung über viele an einem Gerät untersuchte Patienten näherungsweise das Expositions-niveau für einen Standardpatienten (70 ± 3 kg) [7] ergibt. Trotz optimierter Strahlenanwendungen kann es sein, dass das mittlere Expositions-niveau den betreffenden DRW überschreitet. Dies kann z. B. dann eintreten, wenn überwiegend Patienten untersucht bzw. behandelt wurden, deren Körpermaße deutlich größer sind als die eines Standardpatienten.

In Deutschland ist das Konzept der DRW für die Röntgendiagnostik und die interventionelle Radiologie in der neuen Strahlenschutzverordnung (§ 125 Absatz 1 StrlSchV) und auch im neuen Strahlenschutzgesetz (§ 185 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchG) verankert. Um eine stetige Anpassung der DRW an den aktuellen Stand der Technik und Veränderungen der Untersuchungspraxis zu gewährleisten, wurde in Deutschland ein zyklischer Prozess implementiert, in dem neben Gerätebetreibern die ärztlichen Stellen (ÄS) und das BfS eingebunden sind [9]. Im Rahmen der Qualitätssicherung von Röntgenanwendungen in medizinischen Einrichtungen gemäß § 130 StrlSchV prüfen die ÄS, ob sowohl die angewendeten Verfahren als auch die eingesetzten Röntgensysteme den nach dem aktuellen Stand von Technik notwendigen Qualitätsstandards entsprechen. Dazu gehört auch der Vergleich von stichprobenartig erhobenen Mittelwerten Dosis-relevanter Parameter

mit den DRW und die Prüfung, ob die erzielte Bildqualität zur Beantwortung der medizinischen Frage ausreicht [10]. Dem BFS werden Mittelwerte der erhobenen Dosis-relevanten Parameter in anonymisierter Form für die regelmäßige Aktualisierung der DRW übermittelt. DRW wurden in Deutschland erstmals 2003 [11] festgelegt und 2010 [12] aktualisiert. Seither hat sich die radiologische Technik und das Anwendungsspektrum erneut deutlich verändert [1], sodass die DRW für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen 2016 bzw. 2018 erneut aktualisiert wurden [13, 14].

Aktualisierung der DRW

Datenbasis

Bei den Aktualisierungen der DRW im Jahr 2016 und 2018 wurden Daten aus unterschiedlichen Quellen berücksichtigt:

- **Ärztliche Stellen:** Für Röntgenanwendungen, für die bereits bei der Aktualisierung im Jahr 2010 DRW festgelegt wurden, wurden die Expositionsdaten einbezogen, die die ÄS bei ihren routinemäßigen Prüfungen von Röntgeneinrichtungen stichprobenartig erfasst und dem BFS gemeldet haben. Einige ÄS stellten darüber hinaus Expositionsdaten zu konventionellen Röntgenuntersuchungen der Schulter und Hüfte sowie für die endoskopisch retrograden Cholangiopankreatikografie (ERCP) und Bolus-Tracking-Untersuchungen am CT zur Verfügung. In der Mammografie erfassten die ÄS die mittlere Parenchym-Dosis der Brust (Average glandular dose, AGD) überwiegend in kurativen Einrichtungen. Diese wurden mit den Dosiswerten verglichen, die 2 Referenzzentren des Mammografie-Screening-Programms für die Jahre 2012 bis 2014 dem BFS zur Verfügung gestellt haben. Insgesamt wurden dem BFS für den Zeitraum 2010 bis 2015 bis zu mehrere zehntausend Dosiswerte für Röntgenanwendungen an Erwachsenen gemeldet (z. B. Schulter 1. Ebene: 33 100 DFP-Werte, Thorax posterior-anterior: 22 500 DFP-Werte, Mammografie: 5500 AGD-Werte, Koronarangiografie: 3100 DFP-Werte, CT-Thorax: 5900 DLP-Werte). Für pädiatrische Untersuchungen wurden zwischen 50 (CT-Thorax beim Jugendlichen) und 1600 (konventionelle Röntgenuntersuchung des Thorax beim Grundschulkind) übermittelt. Bei den gemeldeten Dosiswerten handelte es sich überwiegend um Mittelwerte über 10 einzelne Expositionswerte. Die Dosismittelwerte wurden von den ÄS berechnet.
- **Institut für angewandte Qualitätssicherung und Forschung im Gesundheitswesen (aQua-Institut):** Dosis-relevante Parameter (DFP und Durchleuchtungszeit, DLZ) für interventionell-radiologische Untersuchungen, die zwischen 2012 und 2014 in bis zu 818 verschiedenen stationären Einrichtungen erhoben wurden (1,3 Millionen DFP-Werte für die Koronarangiografie, 25 900 Werte für die Transkatheter-Aortenklappen-Implantation) [15–17].
- **Deutsche Gesellschaft für Interventionelle Radiologie und minimalinvasive Therapie (DeGIR):** Daten für verschiedene minimalinvasive Eingriffe, die in bis zu 244 Einrichtungen zwischen 2012 und 2017 durchgeführt wurden [18, 19]. Für diese Eingriffsarten wurden jeweils bis zu 65 000 DFP-Werte, u. a. für die perkutane-

transluminare Angioplastie (PTA) der Körperregionen Becken, Oberschenkel und Knie sowie Unterschenkel und Fuß, gemeldet

- **Umfrage zur CT-Expositionspraxis:** Daten für 34 Standard-CT-Untersuchungen, die im Rahmen einer gemeinsamen Studie von BFS, Deutscher Röntgengesellschaft (DRG) und dem Berufsverband deutscher Radiologen (BDR) in den Jahren 2013 bis 2014 erhoben wurden [20]. Für die einzelnen Untersuchungen wurden bis zu 600 Expositionswerte (z. B. bei Abdomen und Becken) berücksichtigt.

Datenanalyse

Um Fehler (Tippfehler, Zuordnung von Expositionsdaten zu falschen Untersuchungsarten, Fehler bei der Umrechnung physikalischer Einheiten usw.) bei der Datenerhebung oder -übermittlung möglichst zu eliminieren, gingen in die Auswertung nur Werte ein, die um nicht mehr als einen Faktor 3 über bzw. um nicht weniger als einen Faktor 0,1 unter dem betreffenden DRW von 2010 lagen. Um eine fehlerhafte Zuordnung von DLP-CTDI_{vol}-Kombinationen zu einer CT-Untersuchung identifizieren zu können, wurden die Scanlängen ($L = \text{DLP}/\text{CTDI}_{\text{vol}}$) mit den zu den Untersuchungen zugehörigen Standard-Scanlängen (L_{st}) verglichen [20]. Die Standard-Scanlängen wurden anhand einer Projektion vorgegebener Scangrenzen (z. B. aus der Leitlinie der Bundesärztekammer) auf die/den von der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) definierten Referenzfrau/-mann bestimmt [21]. Datensätze, die die Bedingungen $L > 0,7 L_{\text{st}}$ und $L < 1,3 L_{\text{st}} + 4 \text{ cm}$ nicht erfüllten, blieben unberücksichtigt [20].

Für jede betrachtete Röntgenanwendung wurde die 25., 50. und 75. Perzentile der ermittelten Verteilungen Dosis-relevanter Parameterwerte berechnet. Zusätzlich wurde für jede Röntgenanwendung die sich aus dem jeweils festgelegten DRW ergebende effektive Dosis (Def_{eff}), unter Verwendung der geschlechts- und altersunabhängigen Gewebewichtungsfaktoren der ICRP-Publikation 103 [22], mittels der Software CT-EXPO bzw. PCXMC abgeschätzt [23, 24]. Hierbei wurden die in den Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung von Röntgenuntersuchungen vorgegebenen Untersuchungsparameter (wie z. B. Spannung, Filterung und Einblendung) berücksichtigt [25, 26].

Bei der Bewertung der berechneten Werte für die effektive Dosis ist zu beachten, dass bei der Berechnung dieser Größe per Definition die gemittelten Organ-Äquivalentdosiswerte der männlichen und weiblichen Referenzperson eingehen [22]. Die berechneten Dosiswerte ermöglichen daher zwar eine vergleichende Bewertung unterschiedlicher diagnostischer und interventionell-radiologischer Röntgenanwendungen, aber grundsätzlich keine Bewertung der individuellen Exposition von Patienten mit einer von den Referenzpersonen abweichenden Körperstatur. Bei der Berechnung der effektiven Dosis für eine Referenzperson ist von einer Ungenauigkeit von bis zu 30 %, in der interventionellen Radiologie bis zu 100 % auszugehen [27–29].

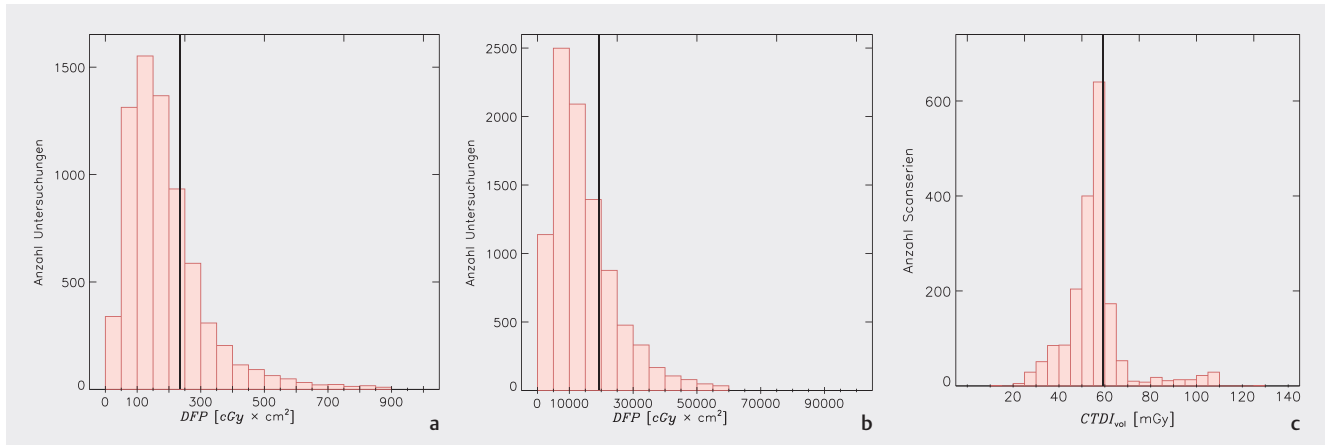
Besonderheit bei pädiatrischen Röntgenanwendungen

Gemäß den Empfehlungen der ICRP, der Europäischen Kommission und der Europäischen Gesellschaft für Radiologie (ESR) sind Röntgenanwendungen am Körperstamm von Kindern bevorzugt nach dem Körpergewicht einzuteilen [8, 30, 31]. Entsprechend wurden

► **Tab. 1** Festlegung von Gewichtsklassen für Röntgenuntersuchungen (am Körperstamm) bei Kindern. Die Gewichtsklassen korrelieren grob mit dem Alter. Röntgenuntersuchungen am Schädel werden ausschließlich nach dem Alter eingeteilt.

Frühgeborenes	Neugeborenes	Säugling	Kleinkind	Schulkind	Jugendlicher	schmächtiger Erwachsener	Erwachsener mit Normalgewicht
<3 kg	3 – <5 kg	5 – <10 kg	11 – <19 kg	19 – <32 kg	32 – <56 kg	56 – <65 kg	65 – 75 kg
–	0 – <3 M.	3 – <12 M.	1 – <5 J.	5 – <10 J.	10 – <15 J.	–	–

M.: Monate, J.: Jahre.



► **Abb. 1** Ermittelte Verteilung **a** des Dosisflächenprodukts (DFP) für konventionelle Röntgenaufnahmen des Abdomens in AP/PA-Projektion, **b** des DFP für das Coiling eines zerebralen Aneurysmas und **c** des Volumen-CT-Dosisindex ($CTDI_{vol}$) für CT-Untersuchungen des Hirnschädels. Die schwarzen vertikalen Linien markieren jeweils die Position der 75. Perzentile, an der sich die Festlegung des DRW orientierte.

Untersuchungen am Körperstamm von Kindern in insgesamt 7 verschiedene Gewichtsklassen eingeteilt (► **Tab. 1**), die grob mit bestimmten Altersgruppen korrelieren [32]. Da für einige Gewichtsklassen nur sehr wenige Daten zur Verfügung standen, wurden zusätzlich, zur Prüfung der aus den Verteilungen berechneten Perzentilen, lineare Zusammenhänge zwischen den Dosis-relevanten Parameterwerten (konventionelle Projektionsaufnahmen und Durchleuchtungen: DFP, CT: Stromzeitprodukt bzw. $CTDI_{vol}$) und dem Körpergewicht herangezogen [33, 34]. Untersuchungen am Schädel wurden weiterhin ausschließlich nach dem Alter des Patienten eingeteilt.

Festlegung der DRW

Die Festlegung der DRW erfolgte im Rahmen eines Fachgesprächs sowie ergänzenden Email-Konsultationen auf Basis der erhobenen Verteilungen im Konsens mit Vertretern des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), des Arbeitskreises Röntgenverordnung (AK RöV), der Strahlenschutzkommission (SSK), der ÄS, der DRG, der Deutschen Gesellschaft für Neuroradiologie (DGNR), der Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie (GPR), des BDR, der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik (DGMP), des Zentralverbandes Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) sowie der o. g. datenliefernden Institutionen. Wie von der ICRP und den europäischen Richtlinien empfohlen,

orientierte sich die Festlegung der DRW an den 75. Perzentilen der jeweiligen Dosisverteilungen [7, 8, 35, 36], wobei die Plausibilität dieser Werte sorgfältig geprüft und auch die aktuellen DRW aus anderen Ländern berücksichtigt wurden.

Aktualisierte DRW

In den ► **Abb. 1a – c** werden exemplarisch für 3 verschiedene Röntgenanwendungen aus den Bereichen der konventionellen Projektionsradiografie, interventionellen Radiologie und CT Dosisverteilungen gezeigt, die als Basis für die Festlegung der entsprechenden DRW dienen.

Röntgenanwendungen an Erwachsenen

- Konventionelle Röntgenuntersuchungen (► **Tab. 2**): Erstmals berücksichtigt wurden DRW für Röntgenuntersuchungen der Schulter und der Hüfte. Insgesamt wurden DRW für 8 anatomische Regionen mit bis zu 2 verschiedenen Projektionsrichtungen festgelegt. Im Vergleich zu den im Jahr 2010 festgelegten DRW ergab sich im Mittel eine Reduktion von 16 %.
- Mammografie (► **Tab. 2**): Die Dosiswerte, die 2 Referenzzentren des Mammografie-Screening-Programms zur Verfügung stellten, waren im Mittel um 21 % niedriger als die von den ÄS

► **Tab. 2** 25., 50. und 75. Perzentilen der Verteilung der dosis-relevanten Parameter von Projektionsaufnahmen an Erwachsenen und von Röntgen-Mammographien sowie die festgelegten DRW und die korrespondierenden gerundeten effektiven Dosen. Die angegebenen Werte gelten pro Projektionsrichtung, in der Mammographie pro Projektionsrichtung und Brust.

Konventionelle Projektionsaufnahmen	DFP [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]			DRW [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]	D _{eff} [mSv]
	25. Perzentile	50. Perzentile	75. Perzentile		
Schädel AP/PA	30	42	57	60	0,03
Schädel LAT	27	37	50	50	0,02
Schulter	10	16	27	25	0,02
Thorax PA	7	9	13	15	0,03
Thorax LAT	17	28	43	40	0,07
BWS AP/PA	48	77	110	110	0,2
BWS LAT	50	86	133	140	0,1
LWS AP/PA	89	140	203	200	0,4
LWS LAT	149	231	341	350	0,4
Abdomen AP/PA	102	157	228	230	0,5
Becken AP/PA	109	169	244	250	0,4
Hüfte	43	69	105	110	0,1
	AGD [mSv]			DRW [mSv]	D _{eff} [mSv]
	25. Perzentile	50. Perzentile	75. Perzentile		
Mammographie	1,2	1,5	1,9	2,0	– ¹

DRW: diagnostische Referenzwert, DFP: Dosis-Flächen-Produkt, D_{eff}: effektive Dosis, AP: anterior-posterior, PA: posterior-anterior, LAT: lateral, AGD: mittlere Parenchymdosis des Brustdrüsengewebes (average glandular dose).

¹ Die in ICRP-Publikation 103 [22] angegebenen Gewebewichtungsfaktoren sind Mittelwerte über beide Geschlechter. Das Konzept der „effektiven Dosis“ ist daher nicht für geschlechtsspezifische Auswertungen geeignet. Auf die Angabe der effektiven Dosis wird daher verzichtet.

► **Tab. 3** 25., 50. und 75. Perzentilen der Verteilung des DFP von Durchleuchtungsuntersuchungen an Erwachsenen sowie die festgelegten DRW und die korrespondierenden gerundeten effektiven Dosen. Die angegebenen Werte beziehen sich auf die gesamte Untersuchung.

Untersuchungsart	DFP [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]			DRW [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]	D _{eff} [mSv]
	25. Perzentile	50. Perzentile	75. Perzentile		
CA	1100	1800	2800	2800	5
ERCP	550	1000	2600	2500	7
Dünndarm	1000	1800	3200	3500	9
Kolon Monokontrast	1100	1900	3000	3000	8
Phlebographie	140	270	420	450	0,5
Arteriographie Becken-Bein	1800	3100	4800	4800	7

CA: koronare Angiographie, ERCP: endoskopisch retrograde Cholangiopankreatikographie.

übermittelten Werte. Im Vergleich zu 2010 wurde der DRW um 20 % gesenkt.

- Durchleuchtungen (► **Tab. 3**): Es wurden DRW für 6 Durchleuchtungsuntersuchungen (1 davon neu) festgelegt. Im Vergleich zu 2010 wurden die DRW im Mittel um 19 % gesenkt.

- Interventionell-radiologische Eingriffe (► **Tab. 4**): Es wurden DRW für 10 Eingriffe (9 davon neu) festgelegt. Die Werte für die PTA wurden in Abhängigkeit von der Körperregion, in der der Eingriff durchgeführt wird, spezifiziert. Zur weiteren Orientierung für Anwender sind in ► **Tab. 4** zusätzlich die 25., 50. und 75. Perzentilen der Verteilungen der Durchleuchtungszei-

► **Tab. 4** 25., 50. und 75. Perzentilen der Verteilung des DFP und der Durchleuchtungszeiten (DLZ) interventionell-radiologischer Eingriffe an Erwachsenen sowie die festgelegten DRW und die korrespondierenden gerundeten effektiven Dosen. Die angegebenen Werte beziehen sich jeweils auf den gesamten Eingriff.

Art des interventionell-radiologischen Eingriffs	DFP [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]	DLZ [min]	DFP [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]	DLZ [min]	DFP [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]	DLZ [min]	DRW ¹ [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]	D _{eff} [mSv]
	25. Perzentile	50. Perzentile	75. Perzentile					
Thrombusaspiration nach Schlaganfall (Hirnarterienrekanalisation)	5100	12	9100	21	15 800	35	18 000	11
Coiling eines zerebralen Aneurysma (EVAR der Hirnarterie)	7400	21	12 100	34	19 200	54	25 000	16
PCI	2000	5,2	3400	9,3	4900	13	4800	9
Kombinierte CA und PCI	2800	5,9	4000	9,5	5500	13	5500	10
TAVI	2500	7,9	4900	12	8200	18	8000	15
EVAR								
▪ Aorta thorakalis	4700	7	11 400	12	20 300	19	23 000	28
▪ Bauchaorta infrarenal	5500	14	10 800	21	20 300	33		32
▪ Bauchaorta suprarenal	4700	14	9500	26	21 800	52		36
TACE	6200	11	12 100	17	22 400	25	23 000	39 ²
PTA von								
▪ Becken	2200	7	4400	10	8700	17	9000	23
▪ Ober-schenkel und Knie	800	7	1500	11	3500	18	4000	10
▪ Unter-schenkel und Fuß	600	9	1000	17	2000	31	2500	6

DLZ: Durchleuchtungszeit, PCI: perkutane koronare Intervention, TAVI: Transkatheter-Aortenklappen-Implantation, EVAR: endovaskuläre Aneurysma-reparatur, TACE: transarterielle Chemoembolisation, PTA: perkutane, transluminare Angioplastie.

¹ Der angegebene DRW bezieht sich auf das DFP.

² Effektive Dosis für TACE bezieht sich auf einen Eingriff in der Leber.

ten (DLZ) aufgeführt. Der alte DRW für die perkutane koronare Intervention (PCI; ehemals perkutane transluminare koronare Angioplastie, PTCA) wurden um 20 % gesenkt.

- CT-Untersuchungen (► **Tab. 5**): In der CT wurden für insgesamt 20 Untersuchungen DRW (10 davon neu) festgelegt. Bei einigen Untersuchungen wurden abhängig von der medizinischen Fragestellung für eine anatomische Region mehrere DRW spezifiziert. In ► **Tab. 5** sind zur weiteren Orientierung zusätzlich die Scangrenzen sowie die Standard-Scanlängen (L_{st}) der betreffenden Anwendungen aufgeführt. Die Dosis-relevanten Parameterwerte der Untersuchungen am Hirn- und Gesichtsschädel als auch der Nasennebenhöhlen beziehen sich auf den Kopf-CTDI-Prüfkörper mit einem Durchmesser von 16 cm, die anderen auf den Körper-CTDI-Prüfkörper (32 cm Durchmesser). Im Vergleich zu den 2010 festgelegten DRW wurden die aktualisierten Werte für das DLP im Mittel um 21 % gesenkt.

Röntgenanwendungen an Kindern

In der konventionellen Radiografie wurde der DRW für AP-Aufnahmen des Abdomens von Neugeborenen neu in den DRW-Katalog aufgenommen. Demgegenüber wurde aufgrund der geringen

Anzahl an Expositionswerten für CT-Gesichtsschädel an Kindern auf die Festlegung eines DRW verzichtet. Insgesamt wurden für die konventionelle Radiografie 17 DRW (► **Tab. 6**), für Durchleuchtungen 4 DRW (► **Tab. 7**) und für die CT 9 DRW (► **Tab. 8**) festgelegt. Im Vergleich zu den Werten von 2010 wurden für diese 3 Untersuchungsarten die DRW im Mittel um 27 %, 48 % bzw. 16 % gesenkt.

Orientierungswerte

Laut § 8 Abs. 2 StrlSchG sind Betreiber von Röntengeräten verpflichtet, Strahlenexpositionen auch unterhalb der DRW so gering wie möglich zu halten. DRW stellen per Definition für Betreiber von etwa 75 % der erfassten Röntengeräte keinen ausreichenden Anreiz zur weiteren Optimierung der betreffenden Röntgenanwendungen dar. Gemäß dem Vorschlag der ICRP sind daher in den ► **Tab. 2 – 8** neben den 75.-Perzentilen auch die 25.- und 50.-Perzentilen der zugehörigen Dosisverteilungen und in der ► **Tab. 4** zusätzlich die entsprechenden Perzentilen der Verteilung des DLZ als Orientierungswerte zur weiteren Optimierung von Strahlenexpositionen bzw. zur Klärung der Gründe für eine Überschreitung von DRW aufgeführt [8]. Bei guter Praxis und Einsatz moderner Gerätetechnologien ist es für Anwender möglich, die

► **Tab. 5** Obere und untere Körpergrenzen und resultierende Standardscanlängen von CT-Untersuchungen an Erwachsenen sowie 25., 50. und 75. Perzentilen der Verteilung von Dosis-relevanten Parametern sowie die festgelegten DRW und die korrespondierenden gerundeten effektiven Dosen. Die Dosis-relevanten Parameter beziehen sich auf eine Scanserie.

CT-Untersuchung	obere/untere Körpergrenze	I _{st} [cm]	25. Perzentile		50. Perzentile		75. Perzentile		DRW CTDI _{vol} [mGy]	DRW DLP [mGy-cm]	D _{eff} [mSv]
			CTDI _{vol} [mGy]	DLP [mGy-cm]	CTDI _{vol} [mGy]	DLP [mGy-cm]	CTDI _{vol} [mGy]	DLP [mGy-cm]			
Hirnschädel	Vertex/Schädelbasis	12	50	670	55	790	60	890	60	850	1,7
Gesichtsschädel	Stirn-höhlenoberrand/ Kaubene	11	7,0	90	11	140	20	190	20	200	0,6
NNH	Stirnhöhlenoberrand/ Kaubene	11	6,0	70	7,0	85	8,0	100	8,0	90	0,3
Hals	Stirnhöhlenoberrand/ Aortenbogen	18	7,0	170	10	250	15	330	15	330	3,1
Carotis-Angiografie	Vertex/Aortenbogen	33	7,0	250	12	400	18	610	20	600	6,0
HWS-Bandscheibenfächer	1 oder mehrere Fächer	4 pro Fach	10	105	18	170	25	280	25	-	1,9 ¹
HWS-Knochen	HWK 1/HWK 7	10	8,0	90	16	180	23	300	20	300	3,8
Hochkontrast-Lunge	HWK 7/Sinus	27	1,4	45	2,0	70	3,0	105	3,0	100	1,8
Thorax	HWK 7/Nebennieren	32	6,4	200	9,0	270	12	340	10	350	6,6
Thorax und Oberbauch	HWK 7/ Beckeneingang	43	6,0	250	8,0	340	10	460	10	450	8,3
gesamte Aorta	BWK 1/Symphyse	66	7,0	400	9,0	600	13	790	13	800	13,3
prospektiv EKG-getriggerte koronare Angiografie	BWK 5/Apex	12	7,0	105	15	180	20	330	20	330	7,3
Oberbauch (oberes Abdomen)	Zwerchfellkuppe/ unterer Nierenpol	14	8,7	205	11	275	15	360	15	360	7,0
Abdomen und Becken	Zwerchfellkuppe/ Symphyse	43	9,0	560	12	670	15	820	15	700	11,4
Rumpf	HWK 7/Symphyse	66	8,0	480	10	635	13	830	13	1000	16,0
LWS-Bandscheibenfächer	1 oder mehrere Fächer	6 pro Fach	17	215	21	275	29	370	25	-	2,8 ¹
LWS-Knochen	LWK 1/LWK 5	16	13	215	16	290	23	355	10	180	3,5
Becken-Weichteil	unterer Nierenpol/ Symphyse	22	9,0	235	12	310	15	405	15	400	5,3
Becken-Knochen	unterer Nierenpol/ Symphyse	22	8,0	215	11	315	15	450	10	260	3,5

▶ Tab. 5 (Fortsetzung)

CT-Untersuchung	obere/untere Körpergrenze	L _{st} [cm]	25. Perzentile		50. Perzentile		75. Perzentile		DLP [mGy·cm]	DRW CTDI _{vol} [mGy]	DRW DLP [mGy·cm]	D _{eff} [mSv]
			CTDI _{vol} [mGy]	DLP [mGy·cm]	CTDI _{vol} [mGy]	DLP [mGy·cm]	CTDI _{vol} [mGy]	DLP [mGy·cm]				
CT-Angiografie Becken-Bein	Beckenkamm/Fuß	95	5,0	540	7,0	725	8,2	960	1000	8,0	4,3	
Bolus-Tracking und Topogramm			Maximal 10 % des gesamten DLP									

Die Dosis-relevanten Parameterwerte der CT-Untersuchungen am Hirn- und Gesichtsschädel sowie der Nasennebenhöhlen beziehen sich auf den 16cm-CTDI-Prüfkörper („Kopffantom“), die anderen Werte auf den 32cm-Prüfkörper („Körperphantom“).

CTDI_{vol}: Volumen-CT-Dosisindex, DLP: Dosislängenprodukt, L_{st}: Standard-Scanlänge, NNH: Nasennebenhöhlen, HWS: Halswirbelsäule, HWK: Halswirbelkörper, LWS: Lendenwirbelsäule, LWK: Lendenwirbelkörper, EKG: Elektrokardiogramm.

¹ Effektive Dosis bei der Untersuchung eines Bandscheibenfachs.

durch die 50.-Perzentilen vorgegebenen Expositionsniveaus zu realisieren. Allerdings darf die Patientendosis nicht soweit gesenkt werden, dass in der Röntgendiagnostik die Bildqualität nicht mehr zur Beantwortung der medizinischen Fragestellung ausreicht oder in der interventionellen Radiologie der Eingriff misslingt. Es ist daher die erzielte Bildqualität insbesondere bei Werten unterhalb der 25. Perzentile kritisch zu prüfen. Bei Verwendung moderner Gerätetechnologien, wie z. B. der Simulation von Streustrahlern in der Radiografie oder der iterativen Bildrekonstruktion in der CT, kann gegebenenfalls eine ausreichende diagnostische Bildqualität auch unterhalb der 25. Perzentile erreicht werden [37]. Weitere Orientierungswerte für Untersuchungen, für die kein DRW festgelegt wurde, sind in der genannten Studie über die CT-Expositionspraxis in Deutschland zu finden [20].

Anwendung der aktualisierten DRW und der Orientierungswerte

Da DRW und Orientierungswerte der Optimierung von Strahlenanwendungen dienen, beziehen sie sich auf jeweils 1 Projektionsrichtung und Scanserie in der konventionellen Radiografie bzw. CT. Die Anzahl von Einzelprojektionen und der Projektionsrichtungen bzw. der Scanserien pro Untersuchung ist im Rahmen der rechtfertigenden Indikation festzulegen.

Die Protokollnamen der verschiedenen in einer Einrichtung durchgeführten Strahlenanwendungen sollten so gewählt werden, dass auch retrospektiv – z. B. im Rahmen der Überprüfung durch die Ärztlichen Stellen – eine einfache und eindeutige Zuordnung der jeweiligen Röntgenanwendungen zu den im DRW-Katalog definierten Anwendungen möglich ist. Es bietet sich an, hierfür auf die bereits international etablierte Nomenklatur für Strahlenanwendungen, wie dem RadLex-Playbook [38], zurückzugreifen.

Im Folgenden werden spezifische Hinweise zu verschiedenen Anwendungen gegeben, zu denen Fragen bzgl. der DRW an das BfS herangetragen wurden. Darüber hinaus werden – insbesondere für CT-Anwendungen – Hinweise gegeben, wie die Expositionsparameter bei veränderten medizinischen Fragestellungen zu modifizieren sind.

Konventionelle Röntgenaufnahmen

- Abdomen: Die niedrigeren Perzentilen der betreffenden Dosisverteilung gegenüber denjenigen bei Röntgenaufnahmen des Beckens erklären sich dadurch, dass in die Dosisdaten des Abdomens zu einem hohen Prozentsatz Übersichtsaufnahmen infolge eines Notfallgeschehnisses eingehen, bei der eine schlechtere Bildqualität in Kauf genommen wird.

Durchleuchtungen

- Cone-Beam-Computertomografie (CBCT)¹: Die Summe aus Dosisanteilen der konventionellen 2D-Durchleuchtung und möglicher CBCT-Untersuchungen ist mit dem DRW zu vergleichen.

1 Die Verfahrenstechnik wird auch als digitale Volumentomographie (DVT) oder Flachdetektor-CT (FDCT) bezeichnet.

► **Tab. 6** 25., 50. und 75. Perzentilen der Verteilung des DFP von Projektionsaufnahmen an Kindern sowie die festgelegten DRW. Die angegebenen Werte gelten pro Projektionsrichtung.

Gewichtsklasse bzw. Alter	DFP [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]			DRW [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]
	25. Perzentile	50. Perzentile	75. Perzentile	
Schädel AP Säugling (3 – < 12 Monate)	6,0	9,0	13	12
Schädel AP Kleinkind (1 – < 5 Jahre)	12	17	24	24
Schädel LAT Säugling (3 – < 12 Monate)	5,5	8,0	11	10
Schädel LAT Kleinkind (1 – < 5 Jahre)	10	14	21	20
Thorax AP/PA Frühgeborenes (< 3 kg)	0,1	0,1	0,2	0,3
Thorax AP/PA Neugeborenes (3 – < 5kg; 0 – < 3 Monate)	0,2	0,3	0,5	0,5
Thorax AP/PA Säugling (5 – < 10kg; 3 – < 12 Monate)	0,5	0,7	1,1	1,0
Thorax AP/PA Kleinkind (10 – < 19 kg; 1 – < 5 Jahre)	0,9	1,3	2,0	2,0
Thorax AP/PA Grundschulkind (19 – < 32kg; 5 – < 10 Jahre)	1,6	2,5	3,5	3,5
Thorax LAT Kleinkind (10 – < 19kg; 1 – < 5 Jahre)	1,0	1,5	2,7	2,5
Thorax LAT Grundschulkind (19 – < 32kg; 5 – < 10 Jahre)	3,0	4,5	5,8	5,0
Abdomen AP/PA Neugeborenes (3 – < 5kg; 0 – < 3 Monate)	0,1	0,4	0,8	2,0
Abdomen AP/PA Säugling (5 – < 10kg; 3 – < 12 Monate)	2,5	3,5	5,0	5,0
Abdomen AP/PA Kleinkind (10 – < 19kg; 1 – < 5 Jahre)	3,5	6,5	11	10
Abdomen AP/PA Grundschulkind (19 – < 32kg; 5 – < 10 Jahre)	6,5	12	15	20
Becken AP/PA Kleinkind (10 – < 19kg; 1 – < 5 Jahre)	3,5	6,5	12	12
Becken AP/PA Grundschulkind (19 < 32kg; 5 – < 10 Jahre)	11	19	28	25

► **Tab. 7** 25., 50. und 75. Perzentilen der Verteilung des DFP für Miktions-Cysto-Urografien (MCU) an Kindern unterschiedlichen Gewichts bzw. Alters sowie die festgelegten DRW. Die angegebenen Werte beziehen sich auf die gesamte Untersuchung.

Gewichtsklasse bzw. Alter	DFP [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]			DRW [cGy·cm ² bzw. µGy·m ²]
	25. Perzentile	50. Perzentile	75. Perzentile	
MCU Neugeborenes (3 – < 5kg; 0 – < 3 Monate)	1,4	2,1	3,8	5,0
MCU Säugling (5 – < 10kg; 3 – < 12 Monate)	3,1	5,0	8,9	10
MCU Kleinkind (10 – < 19kg; 1 – < 5 Jahre)	5,3	10	19	18
MCU Grundschulkind (19 – < 32kg; 5 – < 10 Jahre)	11	21	35	30

- ERCP: Der angegebene DRW kann auch bei interventionell-radiologischen Eingriffen eingehalten werden.

Interventionell-radiologische Eingriffe

- In 2018 wurden die DRW für interventionell-radiologische Eingriffe außerhalb des Herzens erneut aktualisiert. Unter Berücksichtigung der Komplexität und der daraus resultierenden Variabilität dieser Eingriffe wurden die betreffenden DRW im Vergleich zu den Werten von 2016 behutsam angepasst.
- CBCT: Die Summe aus Dosisanteilen des konventionellen 2D-Eingriffs und möglicher CBCT-Untersuchungen ist mit dem betreffenden DRW zu vergleichen.
- Falls mehrere interventionell-radiologische Eingriffe und/oder Durchleuchtungen in der gleichen Körperregion kombiniert werden, sind die zugehörigen DRW zu summieren. Eine Ausnahme hiervon stellt die kombinierte Koronarangiografie (CA) und PCI dar (s. unten).
- Kombinierte Koronarangiografie (CA) und PCI: Bei der kombinierten Strahlenanwendung CA und PCI (5500 cGy·cm²) handelt

► **Tab. 8** Obere und untere Körpergrenzen und resultierende Standardsanlängen von CT-Untersuchungen an Kindern sowie 25., 50. und 75. Perzentilen der Verteilung von Dosis-relevanten Parametern sowie die festgelegten DRW. Die Dosis-relevanten Parameter beziehen sich auf eine Scanserie.

CT-Untersuchung (Gewichtsklasse bzw. Alter)	obere/untere Körpergrenze	L _{st} [cm]	25. Perzentilen			50. Perzentilen			75. Perzentilen			
			CTDI _{vol} [mGy]	DLP [mGy-cm]	CTDI _{vol} [mGy]	DLP [mGy-cm]	CTDI _{vol} [mGy]	DLP [mGy-cm]	CTDI _{vol} [mGy]	DLP [mGy-cm]	DRW CTDI _{vol} [mGy]	DRW DLP [mGy-cm]
Hirnschädel Säugling (3 – < 12 Monate)	Vertex/ Schädelbasis	10	19	82	24	218	28	293	30	300		
Hirnschädel Kleinkind (1 – < 5 Jahre)	Vertex/ Schädelbasis	10	23	190	30	344	37	466	35	450		
Hirnschädel Grundschulkind (5 bis < 10 Jahre)	Vertex/ Schädelbasis	11	27	358	42	535	58	696	50	650		
Hirnschädel Jugendlicher und schwächerer Erwachsener (> 10 Jahre)	Vertex/ Schädelbasis	12	40	505	50	637	58	750	55	800		
Thorax Neugeborenes (3 – < 5kg; 0 – < 3 Monate)	HWK 7/ Nebennieren	10	0,7	7	0,8	8	1,0	10	1,0	15		
Thorax Säugling (5 – < 10kg; 3 – < 12 Monate)	HWK 7/ Nebennieren	12	1,0	15	1,2	19	1,7	25	1,7	25		
Thorax Kleinkind (10 – < 19kg; 1 – < 5 Jahre)	HWK 7/ Nebennieren	16	1,1	21	1,7	41	3,4	76	2,6	55		
Thorax Grundschulkind (19 – < 32kg; 5 – < 10 Jahre)	HWK 7/ Nebennieren	20	1,6	35	2,7	50	5,3	72	4,0	110		
Thorax Jugendlicher (32 – < 56kg; 10 – < 15 Jahre)	HWK 7/ Nebennieren	26	4,0	56	4,9 ²	86	6,7	182	6,5	200		
Abdomen und Becken Grundschulkind (19 – < 32kg; 5 – < 10 Jahre)	Zwerchfellkuppe/ Symphyse	29	2,0	73	3,0	102	5,0	175	5,0	185		
Abdomen und Becken Jugendlicher (32 – < 56kg; 10 – < 15 Jahre)	Zwerchfellkuppe/ Symphyse	36	4,0	165	5,0	208	7,0	335	7,0	310		

Die Angaben für CT-Untersuchungen des Hirnschädels beziehen sich auf den 16cm-Prüfkörper, ansonsten auf den 32 cm-Prüfkörper.

es sich i. d. R. nicht um eine PCI (4800 cGy·cm²), die einer abgeschlossenen CA (2800 cGy·cm²) folgt. Vielmehr folgen auf kürzere diagnostische Durchleuchtungs- und Aufnahmesequenzen therapeutische Eingriffssequenzen unter Durchleuchtungskontrolle. Insgesamt ist die Anzahl der Durchleuchtungs- und Aufnahmesequenzen und damit die Dosis gegenüber der Summe aus CA und PCI reduziert.

- Endovaskuläre Aneurysma-Reparatur (EVAR) der Aorta: Auch wenn der Einfachheit halber für die EVAR in 2018 nur ein DRW unabhängig von der anatomischen Region festgelegt wurde, wird aufgrund der potenziell unterschiedlichen Komplexität der Eingriffe empfohlen aufzuzeichnen, in welchem Abschnitt der Aorta (Aorta thorakalis, Aorta abdominalis suprarenal oder Aorta abdominalis infrarenal) der jeweilige Eingriff erfolgte [19].
- Perkutane transluminare Angioplastie (PTA): Es wird zwischen den Körperregionen Becken, Oberschenkel-Knie und Unterschenkel-Fuß unterschieden. Befindet sich das zu behandelnde Blutgefäß an der Grenze benachbarter Regionen, so ist der jeweils größere DRW anzuwenden.

CT-Untersuchungen

- CBCT: Prinzipiell gelten die für die konventionelle CT festgelegten DRW auch für Untersuchungen mit CBCT-Geräten, sofern das DLP angezeigt wird oder eine Umrechnung der Dosis-relevanten Parameter (DFP in DLP) möglich ist.
- Scanlängen: Die in ► **Tab. 5** angegebenen Scanlängen beziehen sich auf das Mittel der für die Referenzfrau und den Referenzmann ermittelten Werte.
- Prüfkörper: Zur vollständigen Erfassung der Strahlenexposition gehört neben dem CTDI_{vol} und DLP auch die Information über das „CT-Dosimetrie-Phantom“, d. h. die Angabe, mit welchem CTDI-Prüfkörper der CTDI_{vol} gemessen wurde. Ohne diese Angabe ist die Information über die Dosis unvollständig. Die seit 2012 gültige Norm IEC 60 601-2-44 legt fest, dass bei Geräten, die nach 2012 installiert wurden, der 16cm-Prüfkörper für Kopf-CT-Protokolle und der 32cm-Prüfkörper für Körper-CT-Protokolle (auch bei Untersuchungen am Körperrumpf von Kindern) vom Hersteller verwendet wird, sofern der Anwender dies nicht modifiziert. Prinzipiell ist zu empfehlen, den Hersteller zu fragen, welcher Prüfkörper bei welchen CT-Protokollen (insbesondere bei Untersuchungen am Hals, der Wirbelsäule, der Extremitäten und bei pädiatrischen Untersuchungen) verwendet wird. Die Information über den Prüfkörper sollte auch im (DICOM-) Dosisbericht angegeben sein. Durch Multiplikation mit dem Faktor 1,7 lassen sich die für den 32 cm-Prüfkörper angezeigten CTDI_{vol}- und DLP-Werte näherungsweise in die entsprechenden Werte für den 16 cm-Prüfkörper umrechnen.
- Schädelbasis: Bei Untersuchungen der Schädelbasis wird empfohlen, den gleichen CTDI_{vol} wie bei der Untersuchung des Hirnschädels zu verwenden. Die Scanlänge beträgt bei optimaler Gantry-Kippung oder Lagerung des Kopfes ca. 4 – 5 cm. Das DLP vom Hirnschädel ist entsprechend zu reduzieren.
- Gesichtsschädel: Bei Teiluntersuchungen des Gesichtsschädels, wie z. B. bei der Untersuchung des Kiefers, ist die Scanlänge auf ca. 4 cm (und entsprechend das DLP) zu reduzieren.

- HWS/LWS-Bandscheibenfächer: Auf die Festlegung eines DLP wurde verzichtet, da die Anzahl der zu untersuchenden Bandscheibenfächer von der individuellen klinischen Fragestellung abhängig ist.
- Thorax: Zum Ausschluss einer Lungenembolie reicht der Scan vom oberen Rand des Aortenbogens bis zur Zwerchfellkuppe [39, 40] mit einer Standard-Scanlänge von ca. 16 cm. Der CTDI_{vol} kann deutlich auf unter 10 mGy gesenkt werden [41]. Das DLP ist dazu proportional zu senken.
- Aorta: Bei Untersuchungen von Teilabschnitten der Aorta ist die Scanlänge und damit das DLP entsprechend zu reduzieren (z. B. DLP = 420 mGy·cm bei Aorta thorakal, DLP = 460 mGy·cm bei Aorta abdominal [20]).
- Prospektiv EKG-getriggerte koronare Angiografie: Die koronare CT-Angiografie mit retrospektivem EKG-Abgleich wird nicht empfohlen, da mit diesem Verfahren eine deutliche Erhöhung der Patientendosis um mindestens 100 % im Vergleich zum prospektiv EKG-getriggerten Verfahren verbunden ist [20].
- Hochkontrast-Untersuchungen: Grundsätzlich sind Dosis-relevante Untersuchungsparameterwerte bei Hochkontrast-Untersuchungen deutlich gegenüber den entsprechenden Werten bei Weichteilfragestellungen in der gleichen Körperregion zu reduzieren, da bei reinen Hochkontrast-Fragestellungen aufgrund der großen Fensterbreite bei der Befundung ein höheres Bildrauschen toleriert werden kann (i. d. R. Rekonstruktion dünner Schichten mit hochauflösendem Kernel).
 - Bei der Hochkontrastuntersuchung der Lunge handelt es sich um eine Untersuchung im Niedrigdosisbereich mit dem Fokus auf ausschließlicher Darstellung des Lungenparenchyms in Abgrenzung zur Luft mit deutlich eingeschränkter Weichteilbeurteilung. Der Scanbereich erstreckt sich von der Lungenspitze bis zum Randsinus (siehe auch [42]).
 - Werden bei Hochkontrastuntersuchungen von Knochenstrukturen angrenzende Körperregionen (z. B. der Beckenknochen bei Untersuchung von LWS-Knochen) in die Untersuchung einbezogen, kann unter Beibehaltung des CTDI_{vol} das DLP in Relation zur Scanlänge entsprechend vergrößert werden. Bei gezielten Fragestellungen (z. B. bei Ausschluss feiner Frakturen im Skelett) können der CTDI_{vol} und damit auch das DLP gegenüber dem DRW leicht erhöht werden.
 - Für die Hochkontrast-Untersuchung Steinsuche bei akuten Koliken im Bereich der Nieren oder des Harntraktes kann der CTDI_{vol} bis auf 5 mGy gesenkt werden [41]. Die Scanlänge und damit das DLP ist an die individuelle medizinische Fragestellung anzupassen.
- Bolus-Tracking und Topogramm: Das DLP von Bolus-Tracking-Untersuchungen und Topogrammen sollte nicht mehr als 10 % des gesamten DLP der zugehörigen CT-Untersuchung ausmachen.

Ausblick

Laut ICRP und EU stellt das DRW-Konzept ein primär vom Anwender/Betreiber einzusetzendes Instrument dar, um wirksam diejenigen diagnostischen und interventionellen Röntgenanwendungen zu identifizieren, die möglicherweise optimierungsbedürftig sind. Allerdings macht die ICRP auch darauf aufmerksam, dass

das DRW-Konzept in vielen Einrichtungen bisher – wenn überhaupt – eher unzureichend bekannt ist und umgesetzt wird. Vor dem Hintergrund internationaler Anforderungen (z. B. der EURATOM-Grundnormen [36]) und deren Umsetzung in deutsches Recht fand ein Fachgespräch zur Weiterentwicklung und zur Lösung bestehender Probleme bei der Umsetzung des DRW-Konzeptes in Deutschland statt. Die Ergebnisse dieses Fachgesprächs können in folgende Empfehlungen für Gerätebetreiber zusammengefasst werden:

- Lokale Referenzwerte: Trotz der erheblichen Ausweitung des DRW-Katalogs gibt es immer noch zahlreiche Strahlenanwendungen (z. B. Zahnaufnahmen oder Aufnahmen der Extremitäten), für die keine DRW festgelegt sind. Werden derartige Röntgenanwendungen in einer Einrichtung häufig durchgeführt, so wird empfohlen, lokale Referenzwerte anhand der 50. Perzentile eines größeren Patientenkollektivs festzulegen. Die Festlegung lokaler Referenzwerte bietet sich aber auch bei Strahlenanwendungen an, für die nationale DRW festgelegt sind. Da sich die Festlegung der DRW an der 75. Perzentile der nationalen Dosisverteilungen orientiert, können auch die aktualisierten DRW bei Einsatz neuer Gerätetechnologien und bei guter Praxis deutlich unterschritten werden. Mit der Festlegung lokaler Referenzwerte wird dadurch Einrichtungs-spezifisch ein Anreiz zur weiteren Optimierung unterhalb der geltenden nationalen DRW geschaffen [43, 44].
- Dosismanagementsysteme: Bisher werden Überschreitungen von DRW und strahlenhygienisch nicht optimierte Strahlenanwendungen in vielen Einrichtungen eher zufällig entdeckt – z. B. bei Überprüfungen durch die ÄS. Da moderne medizinische Systeme der interventionellen Radiologie und Computertomografie die Funktion aufweisen müssen, Dosis-relevante Parameter in die Aufzeichnungen über die Untersuchungen zu übertragen, sollten Dosis-relevante Größen mithilfe eines Dosismanagementsystems [45, 46] kontinuierlich erfasst sowie systematisch und übersichtlich ausgewertet werden. Wie verschiedene Studien gezeigt haben, ist dies für eine systematische Protokoll-optimierung sowie für einen kontinuierlichen Vergleich mit nationalen DRW und lokalen Referenzwerten unabdingbar [47–49].
- Systematische Dosisanpassung an Patientenstatur: Aus physikalischen Gründen ist die Optimierung einer radiologischen Strahlenanwendung von der Statur des Patienten abhängig. Es wird daher nachdrücklich empfohlen, Parameter, die die Patientenstatur charakterisieren (wie z. B. den BMI, das Körpergewicht, den Körperdurchmesser oder die Größe „size specific dose estimate“, SSDE [50]), grundsätzlich aufzuzeichnen und bei der Optimierung der Strahlenanwendung konsequent einzubeziehen. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass dadurch Strahlenanwendungen systematisch optimiert werden können und ggf. Überschreitungen der DRW erklärt werden können (z. B. [51, 52]).
- Strahlenschutzteam: Eine systematische und konsequente Optimierung von Strahlenanwendungen, insbesondere der Umgang mit DRW und lokalen Referenzwerten, setzt voraus, dass ein Strahlenschutzkonzept gemeinsam von Ärzten, Medizinphysikexperten, MTRA und Strahlenschutzbeauftragten einer medizinischen Einrichtung erarbeitet und umgesetzt

wird. Dieses Team sollte u. a. konkrete Angaben bzgl. der zu verwendenden Untersuchungsprotokolle (u. a. Einblendung/Scanlänge, Spannung) in Abhängigkeit von der Patientenstatur, dem Einsatz moderner Dosis-sparender Techniken, der Verwendung von Strahlenschutzmitteln/Abschirmungen und des Vorgehens bei interventionell-radiologischen Anwendungen machen. Insgesamt soll das Strahlenschutzteam den sachgerechten Umgang mit den verwendeten Röntengeräten in der gesamten radiologischen Abteilung oder Praxis und die Optimierung der Abläufe und Protokolle fördern.

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Danksagung

Wir danken alle Institutionen, die uns bereitwillig Daten für die Aktualisierung der DRWs geliefert haben, sowie allen Teilnehmern an den beiden Fachgesprächen und den Email-Konsultationen für ihre konstruktiven Beiträge.

Literatur

- [1] Nekolla EA, Schegerer AA, Griebel J et al. Häufigkeit und Dosis diagnostischer und interventioneller Röntgenanwendungen. *Der Radiologe* 2017; 57: 555–562
- [2] Amis ES, Butler PF. ACR white paper on radiation dose in medicine: three years later. *J Am Coll Radiol* 2010; 7: 865–870
- [3] Berrington de González A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *The Lancet* 2004; 363: 345–351
- [4] Bundesrepublik Deutschland. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlung (Röntgenverordnung – RöV). *BGBl* 2014; I: 2010
- [5] International commission on radiological protection (ICRP). Radiological protection and safety in medicine. ICRP Publication 73. *Ann ICRP* 1996; 26: 1–47
- [6] International commission on radiological protection (ICRP). Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. *Ann ICRP* 2007; 37: 1–63
- [7] European commission. Guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for medical exposures. *Radiation Protection* 1999. 109
- [8] International commission on radiological protection (ICRP). Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. *Ann ICRP* 2017; 46: 1–143
- [9] Veit R, Guggenberger R, Noßke D et al. Diagnostische Referenzwerte für Röntgenuntersuchungen. *Der Radiologe* 2010; 50: 907–912
- [10] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Qualitätssicherung durch ärztliche und zahnärztliche Stellen. *GMBI* 2015; 51: 1026
- [11] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwerte für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen. *Bundesanzeiger*. 143 05.08.2003; 17503
- [12] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenuntersuchungen. *Bundesanzeiger*. 111 28.07.2010; 2594
- [13] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für interventionelle Röntgenuntersuchungen. *Bundesanzeiger*. AT 03.09.2018 B8

- [14] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenuntersuchungen. Bundesanzeiger. AT 15.07.2016 B8
- [15] Institut für angewandte Qualitätsförderung und Forschung im Gesundheitswesen AQUA GmbH. Qualitätsreport 2012. 2013. 1/08.2013
- [16] Institut für angewandte Qualitätsförderung und Forschung im Gesundheitswesen AQUA GmbH. Qualitätsreport 2013. 2014. 1/08.2014
- [17] Institut für angewandte Qualitätsförderung und Forschung im Gesundheitswesen AQUA GmbH. Qualitätsreport 2014. 2015. 1/08.2015
- [18] Heuser LJ, Arnold CN, Morhard D et al. DeGIR-Qualitätsreport 2011 – Bericht über die Behandlungsqualität minimalinvasiver Methoden. Teil 1: Verfahren zur Rekanalisation eingengter und verschlossener Arterien. Fortschr Röntgenstr 2012; 184: 570–576
- [19] Heuser LJ, Arnold CN, Morhard D et al. Qualitätsreport 2011: Bericht über die Behandlungsqualität minimalinvasiver Methoden – Teil 2: Interventionelle Therapie (EVAR) von Aortenaneurysmen. Fortschr Röntgenstr 2013; 185: 709–719
- [20] Schegerer AA, Nagel HD, Stamm G et al. Current CT practice in Germany: Results and implications of a nationwide survey. Eur J Radiol 2017; 90: 114–128
- [21] International commission on radiological protection (ICRP). Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann ICRP 2009; 39: 1–165
- [22] International commission on radiological protection (ICRP). Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Ann ICRP 2007; 37: 1–123
- [23] Stamm G, Nagel HD. CT-Expo – a novel program for dose evaluation in CT. Fortschr Röntgenstr 2002; 174: 1570–1576
- [24] STUK – Radiation and nuclear safety authority Helsinki. PCXMC dose calculations. 2.0.1 ed 2008
- [25] Bundesärztekammer. Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie. 2007
- [26] Bundesärztekammer. Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik – Qualitätskriterien röntgendiagnostischer Untersuchungen 2007.
- [27] Khelassi-Toutaoui N, Berkani Y, Tsapaki V et al. Experimental evaluation of PCXMC and prepare codes used in conventional radiology. Radiation Protection Dosimetry 2008; 131: 374–378
- [28] Brix G, Lechel U, Veit R et al. Assessment of a theoretical formalism for dose estimation in CT: an anthropomorphic phantom study. Eur Radiol 2004; 14: 1275–1284
- [29] National council on radiation protection and measurement (NCRP). Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. 2009. Report 160
- [30] European commission. Guidance for protection of unborn children and infants irradiated due to parental medical exposures. Radiation Protection 1998. 100
- [31] European commission. European guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Radiation protection 2018. 185
- [32] International commission on radiological protection (ICRP). Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection reference values. ICRP Publication 89. Ann ICRP 2002; 32: 1–165
- [33] Galanski M, Nagel HD, Stamm G. Pediatric CT exposure practice in the federal republic of Germany. BMUB Forschungsvorhaben 2006; StSch 4470
- [34] Kiljunen T, Järvinen H, Savolainen S. Diagnostic reference levels for thorax X-ray examinations of paediatric patients. Br J Radiol 2007; 80: 452–459
- [35] Council of the European Union. 97/43/Euratom on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure and repealing Directive 84/466/Euratom. Official Journal of the EU 1997; L180: 22–27
- [36] Council of the European Union. 2013/59/Euratom on basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. Official Journal of the EU 2014; L13: 1–73
- [37] Renger B, Brieskorn C, Toth V et al. Evaluation of dose reduction potentials of a novel scatter correction software for bedside chest x-Ray imaging. Radiat Prot Dosimetry 2016; 169: 60–67
- [38] Wang KC, Patel JB, Vyas B et al. Use of radiology procedure codes in health care: the need for standardization and structure. RadioGraphics 2017; 37: 1099–1110
- [39] Mayo J, Thakur Y. Pulmonary CT angiography as first-line imaging for PE: image quality and radiation dose considerations. Am J Roentgenol 2012; 200: 522–528
- [40] Atalay MK, Walle NL, Grand DJ et al. Scan length optimization for pulmonary embolism at CT angiography: analysis based on the three-dimensional spatial distribution of 370 emboli in 100 patients. Clinical Radiology 2011; 66: 405–411
- [41] Schweizerisches Bundesamt für Gesundheit (BAG). Diagnostische Referenzwerte in der Computertomographie, Wegleitung. R-06-06wd (2018).
- [42] Nagel HD, Hering KG, Hieckel HG et al. Mitteilung der DRG: Protokollempfehlung der AG DRauE zur Durchführung von Low-Dose-Volumen-HRCT-Untersuchungen der Lunge. Fortschr Röntgenstr 2017; 189: 553–575
- [43] Heilmaier C, Zuber N, Berthold C et al. Establishing local diagnostic reference levels in IR procedures with dose management software. Journal of Vascular and Interventional Radiology 2017; 28: 429–441
- [44] McFadden S, Hughes C, D'Heft C et al. The establishment of local diagnostic reference levels for paediatric interventional cardiology. Radiography 2013; 19: 295–301
- [45] Boos J, Meineke A, Bethge OT et al. Dose monitoring in radiology departments: Status quo and future perspectives. Fortschr Röntgenstr 2016; 188: 443–450
- [46] Gress DA, Dickinson RL, Erwin WD et al. AAPM medical physics practice guideline 6.a.: Performance characteristics of radiation dose index monitoring systems. Journal of Applied Clinical Medical Physics 2017; 18: 12–22
- [47] Heilmaier C, Niklaus Z, Berthold C et al. Improving patient Safety: implementing dose monitoring software in fluoroscopically guided interventions. Journal of Vascular and Interventional Radiology 2015; 26: 1699–1709
- [48] Heilmaier C, Zuber N, Weishaupt D. Implementation of a patient dose monitoring system in conventional digital X-ray imaging: initial experiences. Eur Radiol 2017; 27: 1021–1031
- [49] Schäfer S, Alexandre-Lafont E, Schmidt T et al. Dose management for x-ray and CT: systematic comparison of exposition values from two institutes to diagnostic reference levels and use of results for optimisation of exposition. Fortschr Röntgenstr 2014; 186: 785–794
- [50] American Association of Physicists in Medicine (Task Group 204). AAPM report: size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examinations. College Park, MD 20740-3846: American Association of Physicists in Medicine 2011
- [51] Christner JA, Braun NN, Jacobsen M et al. Size-specific dose estimates for adult patients at CT of the torso. Radiology 2012; 265: 841–847
- [52] Menke J. Comparison of different body size parameters for individual dose adaptation in body CT of adults. Radiology 2005; 236: 565–571