



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn
<http://www.ssk.de>

**Orientierungswerte für die Patientenexposition bei
röntgendiagnostischen Anwendungen**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Vorwort

Diagnostische Referenzwerte (DRW) sind ein Mittel des Strahlenschutzes und dienen der Dosisoptimierung bei röntgendiagnostischen Anwendungen am Menschen. Zusätzlich zu den etablierten nationalen DRW, die durch das Bundesamt für Strahlenschutz ermittelt und veröffentlicht werden, können entsprechend der ICRP-Publikation 135 (ICRP 2017) auch lokale DRW und typische Werte zur Anwendung kommen, die als Orientierungswerte für Untersuchungen gelten können, für die keine nationalen DRW vorliegen. Diese Orientierungswerte können auch für unterschiedliche Gerätetechnik oder unterschiedliche klinische Fragestellungen generiert und verwendet werden. Anwenderinnen und Anwendern wird damit unabhängig von den über die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2018) definierten DRW eine Einordnung ihrer Dosiswerte und damit eine Dosisoptimierung ermöglicht. Die SSK beschloss in ihrer 320. Sitzung am 7. und 8. Juli 2022, eine Arbeitsgruppe des Ausschusses „Strahlenschutz in der Medizin“ zu diesem Themenkreis einzusetzen, der die folgenden Mitglieder angehörten:

- Dr. Kerstin Jungnickel (Klinikum Magdeburg gGmbH), Vorsitzende der Arbeitsgruppe
- Dr. Josefin Ammon (Klinikum Nürnberg)
- Prof. Dr. Günter Layer (Klinikum der Stadt Ludwigshafen am Rhein gGmbH)
- Prof. Dr. Dr. Reinhard Loose (i. R.)
- Prof. Dr. Hans-Joachim Mentzel (Universitätsklinikum Jena)
- Dipl.-Phys. Frank Rudolf (Medizinische Hochschule Hannover).

Die Arbeitsgruppe wurde durch das Bundesamt für Strahlenschutz unterstützt.

Dr. Kerstin Jungnickel

Vorsitzende der
Arbeitsgruppe
„Orientierungswerte für die
Patientenexposition bei
röntgendiagnostischen
Anwendungen“

Dr. Kerstin Jungnickel

Vorsitzende des
Ausschusses
„Strahlenschutz in der
Medizin“

Prof. Dr. Ursula Nestle

Vorsitzende der
Strahlenschutzkommission

INHALT

1 Einleitung	4
2 Empfehlung	4
3 Wissenschaftliche Begründung	5
3.1 Dosisbegriffe.....	5
3.1.1 Dosisbegriffe der ICRP	5
3.1.2 Dosisbegriffe in Deutschland, Österreich und der Schweiz.....	6
3.2 Geräteklassen und -ausstattungen.....	6
3.3 Indikationsspezifische (klinische) Dosiswerte	8
3.4 Adaptierte Dosiswerte bei Kindern	10
3.5 Erfassung, Auswertung und Vergleich der Dosisdaten.....	11
3.6 Diskussion	14
4 Literatur	15

1 Einleitung

Nach § 125 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2018) ermittelt, erstellt und veröffentlicht das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) diagnostische Referenzwerte (DRW) für Untersuchungen mit ionisierender Strahlung und radioaktiven Stoffen. Das BfS kann für die Ermittlung die Daten heranziehen, die der zuständigen Behörde nach § 130 Absatz 3 Satz 1 Nummer 2 von den ärztlichen und zahnärztlichen Stellen übermittelt werden. Die Patientenexposition von Untersuchungen, für die kein nationaler DRW vorliegt, wird häufig aufgrund fehlender Vergleichswerte nicht überprüft. Dies kann für neue Untersuchungsverfahren gelten oder für Untersuchungen, die weniger häufig durchgeführt werden, nur in Ausnahmefällen gerechtfertigt sind oder deren Exposition sehr variabel ist. Weiterhin berücksichtigen DRW nicht, mit welcher Technik die Röntgenbilder aufgenommen wurden. Röntgengeräte mit Speicherfolien oder Computertomografen ohne iterative Rekonstruktion haben z. B. einen deutlich höheren Dosisbedarf als aktuelle High-End-Geräte.

DRW sind keine Grenzwerte, sondern ein Mittel zur Optimierung. Bei den DRW handelt es sich um obere Richtwerte auf Basis der 75. Perzentile der Expositionsdaten für typische Untersuchungen an typischen Patientinnen und Patienten. Da in die DRW jedoch die Dosiswerte unterschiedlicher Geräte- und Softwaregenerationen eingehen, ist man bisher davon ausgegangen, bei moderner Ausstattung in der Regel unterhalb der 50. Perzentile zu liegen.

Es war daher Aufgabe der Arbeitsgruppe zu prüfen, ob neben den nationalen DRW Orientierungswerte in Form von „lokalen DRW“ oder „typischen Werten“ erstellt werden können, wie dies von anderen internationalen Organen bereits getan wird (ICRP 2017). Lokale DRW werden wie DRW allgemein über die 75. Perzentile einer Dosisverteilung festgelegt, typische Werte entsprechen dem Median und damit der 50. Perzentile einer Verteilung. Anwenderinnen und Anwendern wird damit unabhängig von den nationalen DRW eine Einordnung ihrer Dosiswerte und damit eine Dosisoptimierung ermöglicht. Diese Werte können auch Ausgangspunkte für neue nationale DRW oder für den Vergleich unterschiedlicher Untersuchungs- und Geräte-techniken bilden oder als empfohlene Dosiswerte für Untersuchungen dienen, für die kein DRW existiert. Weiterhin können sie auch als „best practice“-Dosiswerte fungieren, also Dosiswerte, die bei Ausschöpfung der neuesten technischen Möglichkeiten erzielt werden können, ohne dass diagnostisch relevante Abstriche bei der Bildqualität hingenommen werden müssen. Bei der Bewertung lokaler DRW und einer eventuellen Nutzung für nationale DRW ist zu beachten, dass sie nur mit vergleichsweise geringen Fallzahlen erstellt wurden und dass die technisch-personelle Ausstattung der erhebenden Einrichtungen mitberücksichtigt werden muss.

In der vorliegenden Publikation werden die Begriffe der Patientenexposition bei der Anwendung von Röntgenstrahlen erörtert und die Erfassung von Dosisdaten für Orientierungswerte, deren Analyse (z. B. über die Auswertung mit Dosismanagementsystemen (DMS)) und deren Anwendung empfohlen.

2 Empfehlung

Empfehlung 1

Die SSK empfiehlt, die im Strahlenschutzrecht etablierten nationalen DRW auf Basis der 75. Perzentile der Medianwerte von erfassten repräsentativen Dosiswerten und die Art der DRW-Festlegung beizubehalten.

Empfehlung 2

Die SSK empfiehlt zur weiteren Optimierung der Patientenexposition eine lokale Dosiserfassung, bevorzugt mit Hilfe von DMS, um lokale DRW auf Basis der 75. Perzentile oder typische Werte auf Basis der 50. Perzentile für radiologische Verfahren zu erzeugen.

Empfehlung 3

Die SSK empfiehlt, lokale DRW und typische Werte für häufige Untersuchungsarten, dosisintensive oder indikationsspezifische Verfahren in einer Institution oder auch institutionsübergreifend zu generieren und als Orientierungswerte zugänglich zu machen.

Empfehlung 4

Die SSK empfiehlt, ein bundesweites Verfahren für eine standardisierte und automatisierte Erfassung der Dosisdaten zu etablieren, um Orientierungswerte auf der Grundlage von lokalen DRW und typischen Werten zu erstellen und überregional vergleichen zu können.

Empfehlung 5

Die SSK empfiehlt für alle röntgendiagnostischen Anwendungen eine automatisierte Dosiserfassung unter Angabe des Körpergewichts und der Körpergröße sowie bei Kindern und Jugendlichen zusätzlich eines geeigneten Parameters der Körperfalte im Bereich der Untersuchungsregion bei Aufnahmen am Körperstamm.

3 Wissenschaftliche Begründung

3.1 Dosisbegriffe

3.1.1 Dosisbegriffe der ICRP

Die ICRP unterscheidet in ihrer Publikation 135 „Diagnostic Reference Level in Medical Imaging“ typische Werte, lokale, nationale und regionale DRW (ICRP 2017):

Typische Werte

Der Median der Verteilung von Expositionsdaten bei einer klinischen Bildgebung wird als „typischer Wert“ bezeichnet. Die Verteilung beinhaltet Daten einer speziellen Institution mit mehreren Röntgeneinrichtungen (oder einer kleinen Anzahl von Institutionen). Typische Werte können als Orientierung verwendet werden, um die weitere Optimierung der Bildgebung in einer Institution mit Hilfe von lokalen Vergleichsdaten zu unterstützen. Typische Werte werden verwendet, wenn die Zahl der Röntgeneinrichtungen (oder Institutionen) zu gering ist, um lokale DRW zu erzeugen. Typische Werte können von einer einzelnen Institution auch festgelegt werden, um einen Vergleich mit neuen Techniken oder Technologien zu ermöglichen.

Lokale DRW

Unter „lokalen DRW“ werden Dosiswerte einer Röntgenanwendung in einem Teil des Landes oder in Klinik- oder Praxisverbünden basierend auf der 75. Perzentile der Verteilung von Expositionsdaten in einer angemessenen Anzahl (z. B. 10 – 20) von Röntgeneinrichtungen verstanden. Lokale DRW sollten auch für Anwendungen generiert werden, für die kein nationaler DRW existiert, oder wenn es einen nationalen DRW gibt, jedoch lokale Technik oder Ausrüstung eine bessere Optimierung zulassen, sodass Werte unterhalb der dazugehörigen nationalen DRW implementiert werden können.

Nationale DRW

„Nationale DRW“ sind DRW basierend auf Daten einer repräsentativen Anzahl von Institutionen in einem Land. Ein nationaler DRW ist jeweils definiert für eine bestimmte Untersuchungsart als die 75. Perzentile einer Verteilung der von den beteiligten Institutionen gemeldeten medianen Dosiswerte.

Regionale DRW

Wenn für viele oder die meisten Länder einer Region (z. B. der EU) nationale DRW vorliegen, können durch Verwendung des Medianwerts der verfügbaren nationalen Werte „regionale DRW“ bestimmt werden. Diese können für benachbarte Länder ohne eigene DRW verwendet werden oder zur Optimierung für Länder, deren nationale DRW über den regionalen DRW liegen.

3.1.2 Dosisbegriffe in Deutschland, Österreich und der Schweiz

In Deutschland begrenzt sich der DRW für jede Untersuchungsart auf einen einzelnen Wert, der sich nach der ICRP-Publikation 135 (ICRP 2017) an der 75. Perzentile der Verteilung der Dosismeldungen der ärztlichen Stellen orientiert. Der endgültige nationale DRW wird vom BfS nach einem Fachgespräch unter Beteiligung von Fachgesellschaften und eingeladenen Expertinnen und Experten festgelegt und im Bundesanzeiger veröffentlicht. Die spezifischen Quartile der Verteilung werden in einer Begleitpublikation zusammen mit Erklärungen und praktischen Hinweisen veröffentlicht.

In Österreich (BGBLA 2020) und der Schweiz (BAG 2018a) werden für einige Untersuchungsarten mehr als ein Wert als nationale DRW festgelegt: z. B. wird in der Projektionsradiografie nicht nur für das Dosisflächenprodukt, sondern auch für die Eingangsdosis ein DRW festgelegt. In den Europäischen DRW aus dem EUCLID Projekt wurden ebenfalls mehrere Expositionsparameter zur Festlegung Europäischer DRW berücksichtigt (European Commission 2021).

Im Falle von CT-Untersuchungen wird in Deutschland der Volumen-Computertomografie Dosisindex (CTDIvol) als Dosisgröße benutzt (BfS 2022), in Österreich jedoch das Dosislängenprodukt DLP (BGBLA 2020) und in der Schweiz beide (BAG 2018b). In der Schweiz wird zusätzlich ein sogenannter „Zielwert“ festgelegt, der sich am Medianwert (50. Perzentile) der Verteilung orientiert. In englischsprachigen Publikationen wird dieser Wert auch „median dose“ genannt (Bos et al. 2022). Die vier Bezeichnungen Medianwert, Zielwert, typischer Wert und „median dose“ sind Synonyme.

3.2 Geräteklassen und -ausstattungen

Für den Strahlenschutz sind bei röntgendiagnostischen Anwendungen folgende Geräteklassen von Relevanz:

- Röntgeneinrichtungen für die Projektionsradiografie,
- Röntgeneinrichtungen für Durchleuchtungsuntersuchungen,
- Röntgeneinrichtungen zur Durchführung von Interventionen,
- Röntgeneinrichtungen für CT- und DVT-Untersuchungen.

Angaben zur Exposition der untersuchten oder behandelten Person oder zur Ermittlung dieser Exposition sind nach § 85 (1) 3 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG 2017) unverzüglich aufzuzeichnen. Zudem sind die Expositionen nach § 114 (1) der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2018) für die Qualitätssicherung elektronisch nutzbar zu machen. Aus diesen Grün-

den müssen alle oben genannten Geräteklassen mit Ausnahme von Übergangsregelungen entsprechend ausgestattet sein. Folgende Dosisgrößen sollten erfasst und elektronisch übermittelt werden (SSK 2016):

- Röntgen- und Durchleuchtungsgeräte: Dosisflächenprodukt (DFP),
- Mammografie: Mittlere Parenchymdosis (engl. „average glandular dose“ (AGD)),
- CT: Volumen-Computertomografie Dosisindex (CTDIvol) (und Dosislängenprodukt (DLP)).

Nationale DRW werden nach § 1 (4) der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2018) für typische Untersuchungen, bezogen auf Patientengruppen, und für einzelne Gerätekategorien festgelegt. DRW berücksichtigen allerdings nicht expositionsrelevante Unterschiede innerhalb einer Gerätelasse, wie beispielsweise die Verwendung einer Speicherfolie oder eines digitalen Flachdetektors als Bildempfänger in der Radiografie oder Mammografie. Allerdings sind hierbei aufgrund des Wirkungsgrads des Detektors (DQE, engl. „detective quantum efficiency“) der Systeme bei gleicher Bildqualität große Einsparungen der Patientenexposition möglich (Neitzel 2005). Ferner wird die Verwendung verschiedener Gerätetypen einer Gerätelasse bei der Analyse der Einhaltung von DRW im Allgemeinen nicht berücksichtigt (beispielsweise ortsfestes Röntgengerät in der Radiografie versus fahrbare Röntgengerät auf Station). Eine Ausnahme ist bei mammografischen Untersuchungen gegeben. Bei diesen wird zwischen den Untersuchungsarten der Mammografie (planar) und der Tomosynthese (3D-Verfahren) unterschieden.

In der Computertomografie hängt die erforderliche Patientenexposition u. a. von der Art des verwendeten Rekonstruktionsalgorithmus ab. Durch iterative Rekonstruktionsalgorithmen kann beispielsweise bei gleicher bis besserer Bildqualität bzw. reduziertem Bildrauschen die Röhrenspannung bzw. der Röhrenstrom verringert werden, so dass signifikante Dosisreduktionen möglich sind (Greffier et al. 2015, Klink et al. 2014, Mileto et al. 2024). Die aktuelle Entwicklung in der Detektortechnologie (z. B. Einführung von photonenzählenden Detektoren) führt ebenfalls zu deutlichen Dosiseinsparungen (Layer et al. 2023). Auch hier findet eine Differenzierung hinsichtlich der Einhaltung der DRW nicht statt.

Eine Reduktion der Patientenexposition um ca. 30 %, z. B. durch die Verwendung einer iterativen Rekonstruktion im CT oder eines digitalen Flachdetektors in der Projektionsradiografie entspricht etwa der Reduktion von der 75. Perzentile auf den Median.

Im intraoperativen Röntgen können die eingesetzten mobilen C-Bögen noch mit Bildverstärker (BV) oder mit Flachdetektor ausgestattet sein. Bei Flachdetektoren ergeben sich durch die bessere Belichtungssteuerung, den erhöhten Dynamikumfang und fehlende geometrische Verzerrungen mehr Bildverarbeitungsmöglichkeiten und damit ebenfalls Einsparungen in der Patientenexposition.

Cone Beam Computertomografen (DVT/CBCT) sind in erster Linie zur 3D-Bildgebung von Hochkontrastobjekten geeignet. Hierbei ist die Patientenexposition entsprechend geringer als bei der Bildgebung von Niedrigkontrastobjekten (Weichteilgewebe) (SSK 2015). Bei Untersuchung von Niedrigkontrastobjekten ist die Patientenexposition von DVT/CBCT vergleichbar mit Aufnahmen mittels Computertomografen (SSK 2015).

Durch den Fortschritt und die Entwicklung der unterschiedlichen Gerätetypen und -ausstattungen ist der Vergleich von Patientenexpositionsdaten von besonders alten Geräten mit jenen bei neuen Geräten zur Überwachung der Einhaltung der DRW sinnvoll. Ein Gerät der neuesten Gerätetechnologie sollte die nationalen DRW unterschreiten, ein 10 Jahre altes Gerät kann dies ggf. nicht mehr.

3.3 Indikationsspezifische (klinische) Dosiswerte

Neben unterschiedlicher Gerätetechnik mit älteren und neueren Hard- und Softwaregenerationen können auch die unterschiedlichen klinischen Indikationen erheblichen Einfluss auf erforderliche Expositionen bei Röntgenverfahren haben. Ziel der bildgebenden Diagnostik ist es nicht, immer das bestmögliche Bild zu erzielen, sondern die klinische Fragestellung sicher zu beantworten und die Technik anzuwenden, die hierfür ausreicht. Dies kann bedeuten, dass auf Verfahren mit Strahlenexposition zugunsten alternativer Verfahren (z. B. Ultraschall, Magnetresonanztomografie) ganz verzichtet werden kann (SSK 2019) aber auch dass die Exposition an die klinische Fragestellung anzupassen ist. Diese Differenzierung ist in die nationalen DRW einer einzelnen anatomischen Körperregion bisher nur eingeschränkt eingeflossen, nämlich in der CT und der Intervention. Innerhalb der Radiografie wurde bislang nicht nach unterschiedlichen Indikationen differenziert, ebenso wenig bei fluoroskopischen Techniken. Bei der Computertomografie des Gesichtsschädelns gibt es unterschiedliche DRW für die Tumor- bzw. Traumadiagnostik, die Nasennebenhöhle bei chronischer Sinusitis und auch zur OP-Planung. In der Thoraxdiagnostik wird differenziert zwischen Weichteilen (Entzündungen, Raumforderungen, Pulmonalarterienembolien, Charakterisierung, Differenzierung und Verlaufskontrolle von Rundherden) sowie primären Erkrankungen des Lungenparenchyms. Im Becken gelten unterschiedliche DRW für Weichteile und Knochen und bei der Wirbelsäule für Bandscheiben und Knochen. In der Praxis aber sind weitere Differenzierungen gegeben und auch klinisch sinnvoll. Im Folgenden werden beispielhaft indikationsspezifische Verfahren aufgeführt, bei denen unterschiedliche Expositionen erforderlich sind und lokale DRW verwendet werden sollten.

Radiografie

Postoperative Stellungskontrollen am Skelett erfordern nicht die Detailauflösung der primären Diagnostik. Bei gezielter anatomischer Fragestellung wird durch Einblendung oder Reduktion des Strom-Zeit-Produktes für radiografische Aufnahmen nur ca. die halbe Dosis benötigt (BÄK 2022). Gleiches gilt für Lagekontrollen von Implantaten oder z. B. für Messungen des Skoliosewinkels bei Kindern und Jugendlichen.

Mammografie

Die DRW für mammografische Untersuchungen werden als AGD pro Ebene angegeben. Die Tomosynthese ist besonders für dichtes Drüsengewebe geeignet, und die entsprechende 2D-Mammografie sollte aus den Tomosynthesedaten berechnet werden. Dieses strahlenhygienische Thema wird durch die DRW nicht berücksichtigt, weil nicht die Gesamtexposition der Untersuchung vorgegeben wird.

Computertomografie

Gehirn:

Primäre Indikation für eine Computertomografie des Gehirns (craniale Computertomografie, CCT) ist in der Akutsituation meist der Ausschluss von bzw. die Unterscheidung zwischen Ischämie und Blutung. Bei nachgewiesener Blutung und nach neurochirurgischen Entlastungseingriffen sind oft zahlreiche Kontrolluntersuchungen erforderlich. Bei hinreichend detailliert bekanntem Ausgangsbefund können diese mit reduzierter Dosis und Bildqualität durchgeführt werden. Die Bewertung der Exposition sollte daher berücksichtigen, inwieweit die Kontrolluntersuchungen aufgrund der jeweiligen Exposition tatsächlich erforderlich sind.

Abdomen:

Die Indikationen zur CT des Abdomens sind vielfältig, und so gibt es abhängig davon eine Vielzahl von Untersuchungstechniken, die die Exposition beeinflussen – die Protokollparameter, die den CTDIvol bestimmen, sowie auch die Anzahl der Serien. Bei mehrphasigen Untersuchungen addieren sich prinzipiell die Expositionen, es können aber auch CTDIvol-Reduktionen einzelner Serien genutzt werden.

Bei unspezifischer Symptomatik und der Suche nach einer noch unklaren Pathologie wird man sich in aller Regel auf eine portalvenöse Untersuchungsphase beschränken. Gleiches gilt für Verlaufsuntersuchungen in der Onkologie. Zwar wird man bei bestimmten Fragestellungen (z. B. HCC-Diagnostik, HCC steht für „hepatocellular carcinoma“) zwingend mehrphasisch in arterieller, portovenöser und womöglich einer späten Kontrastmittelphase untersuchen müssen. Oft aber, insbesondere im Follow-Up, ist eine einphasige Technik völlig ausreichend, und der CTDIvol kann entsprechend reduziert werden. Solange die Artdiagnose noch unklar ist, wird man hingegen auf eine mehrphasige Untersuchung oft nicht verzichten können. Für die Mehrzahl der Indikationen aber ist ein biphasisches CT, arteriell und portalvenös, völlig ausreichend.

Bei CT-Untersuchungen der Niere ist das Spektrum, abhängig von der Indikation, grundsätzlich breit, sowohl in der technischen Akquisition als auch in der Anzahl der Serien. Bei der Suche nach Konkrementen kann aufgrund der Hochkontrast-Fragestellung ein einziges natives Low-dose CT zur Anwendung kommen. Bei komplexeren und onkologischen Fragestellungen ist die Split-Bolus Technik mit 2 Phasen indiziert. Vereinzelt wird auch eine 4-Phasen-Technik (native, arterielle, nephrogene und exkretorische Phase) eingesetzt, bei der Phase 1 und 4 in Low-Dose Technik mit deutlicher CTDIvol Reduktion erfolgen kann. Zudem wird dabei die Scanlänge in jeder Phase unterschiedlich gewählt.

Virtuelle CT-Kolonografie-Untersuchungen sind ebenfalls Hochkontrastuntersuchungen, bei denen im Gegensatz zu Staging-Untersuchungen mit deutlich geringerem CTDIvol gearbeitet werden kann.

All diese Beispiele aus dem klinischen Alltag zeigen, dass für die CT, besonders des Abdomens, ein einheitlicher DRW pro Organregion nicht sinnvoll ist und eine weitere Differenzierung entsprechend der klinischen Fragestellung und gewählten Technik anzustreben ist.

Fluoroskopie

Fluoroskopische Untersuchungstechniken können in rein diagnostische Verfahren und solche mit therapeutischer Intention unterschieden werden. In beiden Gruppen ist die Vielfalt der Techniken erheblich und weist auch Überschneidungen auf, indem eine diagnostisch geplante Fluoroskopie therapeutisch beendet wird oder umgekehrt eine geplante Intervention abgebrochen und diagnostisch beendet wird. Die Zahl existierender nationaler DRW ist in beiden Gruppen sehr begrenzt. Die heterogenen Expositionsdaten der diagnostischen und interventionellen Fluoroskopie zeigen sich unter anderem bei der Auswertung der Rohdaten zur Erstellung der DRW. Hier sind meist die Unterschiede zwischen Mittelwert und Median deutlich größer als in der Radiografie (keine Normalverteilung). Gründe hierfür dürften unter anderem die Vielzahl verschiedener Protokolle und Untersuchungsabläufe sein. Im Unterschied zur Radiografie und zum CT spielt in der Fluoroskopie auch die Erfahrung der Untersucherin oder des Untersuchers eine wesentliche Rolle, was sich oft in den Durchleuchtungszeiten und der Zahl der Serien/Aufnahmen niederschlägt.

Diagnostische Fluoroskopie:

Nationale DRW beschränken sich diagnostisch auf Koronarangiographie, Kolon-Monokontrastuntersuchung, Phlebographie, Arteriographie von Becken-Beinen und Miktions-Cysto-Urethrografie (MCU) bei Kindern mit vier Altersgruppen. Für häufige diagnostische Durchleuchtungen im Rahmen von Endoskopien oder operativen Verfahren gibt es bisher keine DRW, ebenso wenig für Cystographie/MCU bei Erwachsenen, retrograder Pyelographie, Defäkographie, Untersuchungen von Oesophagus, Magen, Dünndarm und Kinematographie des Schluckaktes. Bei allen vorgenannten Verfahren könnten sinnvollerweise Daten gesammelt werden, um lokale DRW und typische Werte zu generieren.

Fluoroskopie bei therapeutischen Verfahren (Interventionen):

Bei therapeutischen Verfahren ist die Zahl der nationalen DRW mit der letzten Aktualisierung durch das BfS auf 12 Interventionen angestiegen, die häufig durchgeführt werden. Sie betreffen die Gehirngefäße, das Herz, die Aorta mit peripheren Gefäßen, die Chemoembolisation der Leber und die endoskopische retrograde Cholangiopankreatikografie (ERCP).

Regelmäßig durchgeführte Eingriffe ohne DRW sind Karotis-Stenting/PTA, Shunt-Interventionen, Stent/PTA viszeraler Gefäße, perkutane transhepatische Cholangiodrainage (PTCD), selektive interne Radionuklidtherapie (SIRT), die Anlage von transjugulären intrahepatischen portosystemischen Shunts (TIPS), zentralen Venenkathetern und Ports sowie andere venöse Interventionen, die perkutane radiologische Gastrostomie (PRG) sowie viszerale Embolisationsbehandlungen, z. B. von Uterusmyomen und bei Prostatahyperplasie.

Bei allen vorgenannten Interventionsverfahren wäre es sinnvoll, Dosiswerte zu sammeln und zu veröffentlichen. Auch wenn die Fallzahlen zur Erstellung nationaler DRW nicht ausreichen, ist eine Berücksichtigung der Expositionsdaten gemäß den Erfahrungen an Zentren mit großer Expertise anzustreben.

3.4 Adaptierte Dosiswerte bei Kindern

Untersuchungen mit ionisierender Strahlung im Kindes- und Jugendalter sind anspruchsvoll und die Indikation ist streng zu stellen. Aufgrund der erhöhten Strahlensensibilität beim heranwachsenden und sich entwickelnden Organismus sind Belange des Strahlenschutzes besonders zu berücksichtigen.

Die nationalen DRW des BfS sind für häufige röntgendiagnostische Untersuchungen im Kindes- und Jugendalter (z. B. Röntgen Thorax) im Unterschied zu Untersuchungen bei Erwachsenen nach Alter und Gewicht gestaffelt. Die Leitlinien der Bundesärztekammer (BÄK 2022) sehen neben altersspezifischen Empfehlungen die Orientierung am Körpergewicht und am Durchmesser der untersuchten Region vor. Eine reine Begrenzung auf das Lebensalter ist aufgrund der sehr vielfältigen Konstitution im Kindes- und Jugendalter nicht sinnvoll. Sowohl bei der Einstelltechnik als auch bei der Auswahl der Gerätetechnik und der Akquisitionsparameter sind neben dem Alter die Körperfalte in der Untersuchungsregion und das Gewicht des Kindes zu berücksichtigen. Kann man entsprechende Angaben nicht anamnestisch bzw. im Gespräch erheben, ist eine Messung vor der Anwendung sinnvoll. Wünschenswert ist die Erfassung dosisrelevanter Körperparameter vor allem bei Untersuchungen am Körperstamm, z. B. mit Kameras durch Erfassung des Sagittaldurchmessers oder Bestimmung des Gewichts. Die Parameter sollten bereits möglichst zentral im Patientenmanagement erfasst werden und entsprechend in den nachgeordneten klinischen Systemen (z. B. Radiologie-Informationsystem (RIS) und DMS) verfügbar sein.

Generell existieren auch international für das Kindesalter relativ wenige und teils sehr heterogene DRW (European Commission 2018); das Spektrum der Indikationen und Anwendungen

ist hingegen breit. Ein in Leitlinien und Übersichtsarbeiten publizierter Untersuchungsstandard existiert für verschiedene Untersuchungen (z. B. Röntgen Thorax bei Neugeborenen (Gilley et al. 2023), Röntgen Trauma (AWMF 2019), Röntgen Skelettscreening bei Verdacht auf nicht-akzidentielle Verletzung (Kindesmisshandlung) (AWMF 2018), MCU (Kammer et al. 2024) oder Polytrauma-CT (AWMF 2021). Aufgrund der überwiegend geringen Anzahl der übrigen röntgendiagnostischen Anwendungen wird die Generierung von weiteren nationalen DRW bei Kindern und Jugendlichen schwer möglich sein. Hier erweist sich die Stärke der oben benannten lokalen DRW und typischen Werte für Untersuchungen ohne DRW sowie der Erstellung von „best practice“ Orientierungswerten für Untersuchungen in spezialisierten Abteilungen der Kinder- und Jugendradiologie, die möglichst mit Geräten der aktuellen Generation ausgestattet sind (Lackay et al. 2022). Die Orientierungswerte sollten möglichst indikationsbezogen sein (Triantopoulou et al. 2020).

3.5 Erfassung, Auswertung und Vergleich der Dosisdaten

Die wichtigste Datenquelle bei der Festlegung von DRW ist die Auswertung von Untersuchungen an repräsentativen Patientinnen und Patienten (ICRP 2017). Aufgrund der im § 114 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2018) festgelegten Anforderungen an die Ausrüstung bei der Anwendung am Menschen, insbesondere der Forderung, Parameter zur Ermittlung der Exposition der untersuchten Person elektronisch aufzuzeichnen und für die Qualitätssicherung elektronisch verfügbar zu machen, liegen inzwischen umfassende Dosisdaten vor. In vielen Institutionen werden DMS betrieben, in denen die entsprechenden Daten gesammelt und aufbereitet werden können.

Ein bisher nicht ausreichend gelöstes Problem ist die Zuordnung der erfassten Dosisdaten zu klinischen Fragestellungen und medizinischen Prozeduren (IAEA 2023, Loose et al. 2024). Es fehlen noch übergeordnete Vorgaben zur Klassifizierung, sodass Erfassung und Zuordnung der Expositionsdaten in den einzelnen Institutionen unterschiedlich gehandhabt werden. Die in den DICOM-Daten („Digital Imaging and Communications in Medicine“, DICOM 2024) erfassten Angaben reichen oft nicht für eine eindeutige Zuordnung aus. Es empfiehlt sich, zusätzlich zu den Dosiswerten weitere Parameter in die Analyse einzubeziehen, z. B. Untersuchungsname (quittierte erfasste Leistung), Serienbeschreibung, verwendetes Protokoll, Körperregion, Projektionsebene und Patientenorientierung (Hartmann et al. 2020). Für eine zentrale und automatisierte Erfassung der Dosisdaten müssen entsprechende Methoden entwickelt werden, wobei nicht nur die anatomische Zuordnung, sondern auch die medizinische Maßnahme einschließlich der klinischen Aufgabenstellung und der Untersuchungstechnik zu berücksichtigen sind (Wang et al. 2017, European Commission 2021). Wünschenswert wäre ein mindestens auf europäischer Ebene abgestimmtes Verfahren, das durch geeignete Modifikationen an landesspezifische Besonderheiten z. B. zum Untersuchungsspektrum und zu den verwendeten Modalitäten angepasst werden kann. Dieser Prozess sollte im Gesamtkontext der klinischen Qualitätssicherung betrachtet werden, damit nicht unterschiedliche Klassifizierungssysteme für die Dosisauswertung und für andere Bereiche der klinischen Qualitätssicherung verwendet werden. Einen über die bisher zu verwendenden Klassifikationen (ICD, OPS und DRG¹) hinausgehender Ansatz könnte die Systemisierte Nomenklatur der Medizin (SNOMED²) bieten, sofern eine Anpassung der Konzepte an die nationalen Erfordernisse

¹ ICD - International Classification of Diseases, OPS - Operationen- und Prozedurenschlüssel, DRG - Diagnosis Related Groups

² <https://www.snomed.org/>

vorgenommen wird. In den USA dient das RSNA RadLex-Playbook als eigenständige Ressource einer Standard-Nomenklatur. Inzwischen fokussieren sich die Bemühungen auf LOINC³ („Logical Observation Identifiers Names and Codes“), um ein neues einheitliches Modell zu erstellen.

Nationale DRW werden durch das BfS ermittelt und erstellt. Mit der Veröffentlichung im Bundesanzeiger werden sie rechtswirksam, d. h. sie müssen bei Untersuchungen von Personen mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung beachtet werden (§ 122 (3) StrlSchV 2018) und bei ständiger oder ungerechtfertigter Überschreitung drohen rechtliche Konsequenzen (§ 130 (3) StrlSchV 2018). Eine weitergehende Auswertung der zugrundeliegenden Daten, wie die 25. Perzentile und die Medianwerte, erfolgt auch als wissenschaftliche Publikation (Schegerer et al. 2019).

Zur Ermittlung der nationalen DRW kann das BfS Expositionsdaten heranziehen, die von den ärztlichen Stellen übermittelt wurden. Die ärztlichen Stellen sind zur „Sicherung der Qualität bei der Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen“ bestimmt worden (§ 128 StrlSchV 2018), und die Strahlenschutzverantwortlichen in den entsprechenden Institutionen unterliegen der Qualitätssicherung durch die ärztlichen Stellen (§ 130 StrlSchV 2018). Durch die ärztlichen Stellen werden sowohl die technische Qualität der medizinischen Bildgebungssysteme als auch die medizinische Qualität einschließlich Rechtfertigung und Befundung bewertet. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die dem BfS übermittelten Expositionsdaten von aktuellen und klinischen Patientenuntersuchungen stammen. Beachtet werden sollte, dass die ärztlichen Stellen entscheiden, welche Daten ausgewählt werden: Wenn die Entscheidung, welche Untersuchungen bei den ärztlichen Stellen vorgelegt werden, allein durch die zu prüfende Institution erfolgt, besteht die Gefahr, dass nur Untersuchungen mit niedriger Exposition eingereicht werden. Dies kann die Festlegung realistischer DRW verfälschen. Wünschenswert wäre deshalb ein bundesweit einheitliches Vorgehen der Anforderung von Untersuchungen durch die ärztlichen Stellen.

Während nationale DRW rechtlich bindend sind, stellen lokale DRW und typische Werte reine Werkzeuge zur Optimierung dar. Sie können für Untersuchungen, für die es keine nationalen DRW gibt, oder für Untersuchungen an besonderen Gerätetypen (vgl. Abschnitt 3.2) etabliert und unkompliziert aktualisiert werden. Die ICRP empfiehlt für die Festlegung lokaler DRW die Verwendung der 75. Perzentile der Medianwerte und für typische Werte die 50. Perzentile der analysierten Dosisdaten (ICRP 2017, Damilakis et al. 2023).

Lokale DRW und typische Werte können bevorzugt unter Verwendung eines DMS in Institutionen im Konsens von ärztlichem Personal, medizinisch-technologischem Personal und Medizinphysik-Expertinnen und -experten (MPE) ermittelt und festgelegt werden. Dabei muss die diagnostische Bildqualität berücksichtigt werden, weshalb eine rein automatisierte Auswertung der Expositionsdaten nicht sinnvoll ist. Es ist auch möglich, lokale DRW und typische Werte institutionsübergreifend zu etablieren, z. B. in einem Klinikverbund oder über eine Fachgesellschaft (Schegerer et al. 2024). Generell ist eine Auswertung der über ein DMS erfassten Quartile hilfreich, da hierüber die Qualität der Daten beurteilt und damit ein Hinweis gegeben werden kann, welche Protokolle optimiert werden sollten (Bonett 2006).

Wissenschaftliche Studien, die sowohl die Patientenexposition als auch die Qualität der medizinischen Bilddaten betrachten, können ebenfalls zur Festlegung nationaler DRW und für die Ermittlung lokaler DRW und typischer Werte verwendet werden.

Ein Vergleich der nationalen DRW, der lokalen DRW und der typischen Werte ist auf der Basis wissenschaftlicher Veröffentlichungen sowohl national als auch international möglich

³ <https://loinc.org/>

(Damilakis et al. 2023, Schegerer et al. 2021, European Commission 2021). Für nationale DRW ist ein entsprechendes Verfahren beim BfS bereits etabliert.

Die Erfassung und Aufbereitung lokaler DRW und typischer Werte müsste neu implementiert werden, da hierfür im Gegensatz zu nationalen DRW kein rechtlicher oder organisatorischer Rahmen besteht. Hierfür sind verschiedene Szenarien denkbar:

- Analog zur Erfassung und Aufbereitung der nationalen DRW könnten Dosiswerte für lokale DRW und typische Werte über die ärztlichen Stellen erfasst und an das BfS gemeldet werden, wo sie gespeichert, aufbereitet und ausgewertet werden könnten. Ein Vorteil dieses Verfahrens wäre, dass sowohl die Erfassung der Expositionsdaten durch die ärztlichen Stellen als auch die Weitergabe an das BfS und die dortige Verarbeitung etabliert sind und keine neuen Strukturen geschaffen werden müssen. Außerdem verfügen die ärztlichen Stellen über die nötige Sachkompetenz zur Beurteilung der Exposition unter Berücksichtigung der Bildqualität. Da alle Strahlenschutzverantwortlichen zur Zusammenarbeit mit der ärztlichen Stelle verpflichtet sind, können Daten aus allen Institutionen in die Auswertung einbezogen werden. Der Mehraufwand für die ärztlichen Stellen und das BfS müsste entsprechend berücksichtigt werden. Ein weiterer Vorteil wäre, dass die Analyse der lokalen DRW und der typischen Werte beim BfS bei der Erarbeitung nationaler DRW berücksichtigt werden und hierdurch ein internationaler Vergleich stattfinden könnte.
- Wissenschaftliche Fachgesellschaften, wie z. B. die Deutsche Röntgengesellschaft, könnten die lokalen DRW und die typischen Werte erfassen und auswerten. Beispiele für die Auswertung solcher freiwillig eingereichter Registerdaten mit der Möglichkeit für ein Benchmarking der beteiligten Institutionen sind das Register der Deutschen Gesellschaft für Interventionelle Radiologie und minimal-invasive Therapie (DEGIR)⁴ für radiologische Interventionen oder das Register des European MR/CT Registry⁵ der European Society of Cardiovascular Radiology.
- Es ist auch denkbar, dass die Analyse der lokalen DRW und der typischen Werte im Rahmen von Forschungsprojekten erfolgt. Solche Projekte könnten z. B. vom Bundesumweltministerium oder vom BfS beauftragt werden.
- Ein deutsches Dosisregister könnte mit Freiwilligkeit der beteiligten Institutionen etabliert werden: Medizinische Institutionen würden für dosisrelevante Untersuchungen die entsprechenden Dosiswerte automatisch an die zentrale Datenbank liefern, wo die Verteilung der Dosiswerte (inkl. Medianwerte und Quartile) aktualisiert wird. Dadurch wären der Median und die aktuelle 75. Perzentile der Dosiswerte aller Untersuchungen für alle teilnehmenden Institutionen immer aktuell verfügbar. Da bei der automatischen Datenerfassung keine weitere Qualitätskontrolle bezüglich Bildqualität und Zuordnung zu medizinischen Maßnahmen erfolgt, könnte die Qualität der Daten eingeschränkt sein.

In allen Fällen müsste die erforderliche Infrastruktur für das Management der lokalen DRW und der typischen Werte erst aufgebaut werden. Institutionen, die ein DMS betreiben, können die lokalen DRW und die typischen Werte üblicherweise in die Systeme einpflegen. Für die zentrale Erfassung und Auswertung müsste die bestehende Infrastruktur der ärztlichen Stellen entsprechend erweitert werden, oder es müssten neue Strukturen geschaffen werden. Neben technischen Aspekten sind dabei auch Fragen des Datenschutzes zu beachten. Eine Festlegung

⁴ <https://degir.de/qualitaet/degir-qs-register/>

⁵ <https://www.mrct-registry.org/>

des Datenaustauschformats zwischen Kliniken, ärztlichen Stellen und BfS wird im Normenausschuss Radiologie erarbeitet⁶. Dies könnte die Grundlage für eine Sammlung und Auswertung von Dosisdaten gemäß dieser Empfehlung sein.

3.6 Diskussion

Patientenexpositionen bei röntgendiagnostischen Anwendungen sind in Praxen und Kliniken durch DMS auf einfache Weise erfassbar und auswertbar. Dies ermöglicht eine automatisierte Analyse von Dosisdaten weit über die vom BfS vorgegebenen Untersuchungen mit nationalen DRW hinaus. Eine Generierung von lokalen DRW und typischen Werten entsprechend der ICRP-Publikation 135 (ICRP 2017) ist damit für eine Vielzahl von Untersuchungen möglich, die bisher durch fehlende nationale DRW durch die ärztlichen Stellen nicht standardisiert in Bezug auf die Patientenexposition überprüft werden können. Dies gilt u. a. für Röntgenuntersuchungen mit geringer Strahlenexposition und seltene oder sehr variable Untersuchungen. Die in § 122 (2) der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2018) geforderte regelmäßige Auswertung und Bewertung von Expositionen kann mit der Etablierung von lokalen DRW und typischen Werten konkret umgesetzt werden.

Über DMS können für alle Untersuchungen bzw. Protokolle statistische Werte wie die 75. Perzentile (lokaler DRW) oder der Median (typischer Wert) über einen bestimmten Zeitraum oder eine bestimmte Anzahl an Patientinnen und Patienten berechnet werden. Die Auswertung der Dosiswerte kann sowohl geräte- und damit ausstattungsspezifisch (Abschnitt 3.2) erfolgen, als auch abhängig von der Indikationsstellung (Abschnitt 3.3) oder dem Alter bzw. Gewicht der Patientinnen und Patienten (Abschnitt 3.4). Die Indikationsstellung ist üblicherweise nur dann einbeziehbar, wenn dies im Protokoll- oder Untersuchungsnamen vermerkt ist (z. B. Hochkontrast oder Stellungskontrolle). Das Alter der Patientinnen und Patienten spielt im Wesentlichen bei Kindern und Jugendlichen eine Rolle, wobei das Gewicht oder der Patientendurchmesser aussagekräftiger sind. Die Eingabe des Gewichtes direkt an der Modalität oder eine Einspeisung aus dem Krankenhausinformationssystem sollte verpflichtend sein. Erste Ansätze zur Ermittlung des Patientengewichts bzw. -durchmessers aus Bilddaten werden bereits getestet⁷ (siehe auch Ichikawa et al. 2023, Pace et al. 2024). Ein auf das Gewicht bezogener lokaler DRW oder typischer Wert ist nicht nur für Kinder und Jugendliche sinnvoll, sondern ist auch bei Erwachsenen zur Dosisoptimierung geeignet, insbesondere bei schlanken Patientinnen und Patienten, die immer unter dem mittleren Dosiswert liegen, jedoch auch mit noch weniger Dosis geröntgt werden können.

Die Etablierung lokaler DRW und typischer Werte ist nur bei standardisierten Untersuchungen sinnvoll und stößt insbesondere bei sehr variablen Interventionen an ihre Grenzen. Häufig ist auch die unspezifische Benennung der Untersuchung bzw. des Protokolls der Hauptgrund für eine fehlerhafte Zuordnung. Im Sinne eines Qualitätsmanagements der zu analysierenden Bild- und Dosisdaten ist ein kritischer Blick z. B. auf den kleinsten und größten Dosiswert, die Quartile, den Dosisindikator beim Röntgen, den Size Specific Dose Estimate (SSDE) beim CT wie auch auf die Bildqualität unerlässlich. In jedem Fall sollten die lokalen DRW und typischen Werte in das DMS als Aktionsschwellen integriert werden.

Umfassende Analysen mit Hilfe von DMS werden vorrangig von MPE durchgeführt. Da MPE nach Strahlenschutzrecht nur für Hochdosisverfahren wie CT und Intervention zur Mitarbeit hinzugezogen werden müssen, werden Dosisanalysen von einfachen Röntgenuntersuchungen üblicherweise nur von in einer Klinik fest angestellten MPE durchgeführt. Externe MPE, die

⁶ <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nar/nationale-gremien/wdc-grem:din21:342940726>

⁷ University of Crete, Medical Physics Tools: <http://ctdose-iqurad.med.uoc.gr>

für kleine Kliniken und Praxen arbeiten, haben zwar einen Zugang zum DMS, sind aber vertraglich nicht unbedingt für den Bereich Projektionsradiografie zuständig. Gerade bei projektionsradiografischen Aufnahmen werden jedoch freie Aufnahmen ohne Belichtungsautomatik durchgeführt, wobei den digitalen Röntgenbildern eine Überexposition nicht anzusehen ist. Umso wichtiger ist hier eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit dem vor Ort tätigen medizinischen Assistenzpersonal und fachkundigen Ärztinnen und Ärzten, um die Optimierung des Strahlenschutzes zu gewährleisten und Dosisdaten für lokale DRW und typische Werte zu generieren.

Eine Implementierung von lokalen DRW und typischen Werten in einer Institution ist nur ein erster Schritt zur Optimierung des Strahlenschutzes für Untersuchungen ohne nationale DRW. Der nächste Schritt ist ein Vergleich mit Dosiswerten aus anderen Institutionen. Dazu müssten die Dosiswerte für Untersuchungen mit lokalen DRW oder typischen Werten von verschiedenen Institutionen gesammelt, ausgewertet und veröffentlicht werden. Dies kann z. B. über die ärztlichen Stellen erfolgen, über eine Fachgesellschaft, eine wissenschaftliche Studie oder über ein Dosisregister. Die ärztlichen Stellen könnten die Dosiswerte bei der regelmäßigen Überprüfung abfragen, erfassen und an das BfS weiterleiten. Der Mehraufwand könnte kompensiert werden, wenn für Institutionen, in denen keine Mängel festgestellt wurden und in denen lokale DRW und typische Werte genutzt werden, der Prüfumfang und die Prüfintervalle reduziert werden. Eine Auswertung der lokalen DRW könnte dann über das BfS erfolgen. Fachgesellschaften könnten auch lokale DRW oder typische Werte sammeln und in aufgearbeiteter Form als Orientierungswerte zur Verfügung stellen. Die Einspeisung von Dosiswerten verschiedener Institutionen in eine Datenbank würde nicht nur die Auswertung großer Datens Mengen ermöglichen, sondern auch als Dosisregister mit weitreichenderer Analysemöglichkeit dienen, siehe BfS-Vorhaben „Machbarkeitsstudie zur Einrichtung eines repräsentativen Registers für medizinische Strahlenanwendungen“ (Forschungskennzahl 3624S42481⁸). Datenschutzaspekte und die Qualitätssicherung ungefilterter verschickter Daten müssten hierbei besonders beachtet werden. In jedem Fall kann durch die Sammlung und Analyse der lokalen DRW und typischen Werte auch die Grundlage für neue nationale DRW geschaffen werden. Der Optimierung des Strahlenschutzes dienen sie damit sowohl auf lokaler, nationaler als auch auf globaler Ebene.

4 Literatur

AWMF 2018

Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e. V. (AWMF). S3(+) Leitlinie Kindesmisshandlung, - missbrauch, -vernachlässigung unter Einbindung der Jugendhilfe und Pädagogik (Kinderschutzleitlinie). AWMF-Register-Nr. 027 - 069. <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/027-069>, zuletzt aufgerufen am 22.01.2025

AWMF 2019

Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e. V. (AWMF). S1-Leitlinie Trauma des musculoskelettalen Systems im Kindes- und Jugendalter – Bildgebende Diagnostik. Version 1.0, Stand: 01.06.2019, in Überarbeitung, gültig bis 31.05.2024. <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/064-019>, zuletzt aufgerufen am 22.01.2025

⁸ Zum Zeitpunkt der Verabschiedung dieser Empfehlung ist der Abschlussbericht noch nicht veröffentlicht.

- AWMF 2021 Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e. V. (AWMF). S2K-Leitlinie „Polytraumaversorgung im Kindesalter“ AWMF-Reg.-Nr. 006-120. https://register.awmf.org/assets/guidelines/006-120l_S2k_-Polytraumaversorgung-im-Kindesalter_2021-02.pdf, zuletzt aufgerufen am 29.01.2025
- BAG 2018a Bundesamt für Gesundheit, Schweiz (BAG). Diagnostische Referenzwerte in der Projektionsradiologie. Wegleitung R-06-04. <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/stristrwegleitungen/drw/2018-06-15-r-06-04.pdf>, zuletzt aufgerufen am 22.01.2025
- BAG 2018b Bundesamt für Gesundheit, Schweiz (BAG). Diagnostische Referenzwerte in der Computertomografie. Wegleitung R-06-06. <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/stristrwegleitungen/drw/2018-06-15-r-06-06.pdf> zuletzt aufgerufen am 22.01.2025
- BÄK 2022 Bundesärztekammer (BÄK). Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik. Gemäß des Beschlusses des Vorstands der Bundesärztekammer in seiner Sitzung am 15.09.2022. https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/BAEK/Themen/Qualitaetssicherung/Leitlinie_Roentgendiagnostik_Bekanntgabe.pdf, zuletzt aufgerufen am 06.08.2025
- BfS 2022 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen. Vom 17. November 2022. https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion/drw-roentgen.pdf?__blob=publicationFile&v=13, zuletzt aufgerufen am 22.01.2025
- BGBLA 2020 BUNDESGESETZBLATT FÜR DIE REPUBLIK ÖSTERREICH (BGBLA). 353. Verordnung des Bundesministers für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, mit der die Medizinische Strahlenschutzverordnung geändert wird (BGBl II 353/2020). Ausgegeben am 31.07.2020, Teil II, Anlage. https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2020_II_353/COO_2026_100_2_1778269.pdfsig
- Bonett 2006 Bonett DG. Confidence interval for a coefficient of quartile variation. Computational Statistics & Data Analysis. 2006;50(11):2953-7, doi: 10.1016/j.csda.2005.05.007
- Bos et al. 2022 Bos D, Yu S, Luong J, Chu P, Wang Y, Einstein AJ, Starkey J, Delman BN, Duong PT, Das M, Schindera S, Goode AR, MacLeod F, Wetter A, Neill R, Lee RK, Roehm J, Seibert JA, Cervantes LF, Kasraie N, Pike P, Pahwa A, Jeukens C, Smith-Bindman R. Diagnostic reference levels and median doses for common clinical indications of CT: findings from an international registry. Eur Radiol. 2022 Mar;32(3):1971-82, doi: 10.1007/s00330-021-08266-1, Epub 2021/10/14

- Damilakis et al. 2023 Damilakis J, Frija G, Brkljacic B, Vano E, Loose R, Paulo G, Brat H, Tsapaki V. How to establish and use local diagnostic reference levels: an ESR EuroSafe Imaging expert statement. *Insights Imaging.* 2023 Feb 6;14(1):27, doi: 10.1186/s13244-023-01369-x, Epub 2023/02/07
- DICOM 2024 Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). DICOM PS3.16 2024b - Content Mapping Resource. https://dicom.nema.org/medical/dicom/current/output/chtml/part16/sect_CID_29.html, zuletzt aufgerufen am 24.04.2024
- European Commission 2018 European Commission. European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Paediatric Imaging. Radiation Protection 185. Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-89876-1
- European Commission 2021 European Commission. European Study on Clinical Diagnostic Reference Levels for X-ray Medical Imaging. Radiation Protection 195. Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-28565-6
- Gilley et al. 2023 Gilley R, David LR, Leamy B, Moloney D, Moore N, England A, Waldron M, Maher M, McEntee MF. Establishing weight-based diagnostic reference levels for neonatal chest X-rays. *Radiography (Lond).* 2023 Jul;29(4):812-7, doi: 10.1016/j.radi.2023.05.012, Epub 20230603
- Greffier et al. 2015 Greffier J, Macri F, Larbi A, Fernandez A, Khasanova E, Pereira F, Mekkaoui C, Beregi JP. Dose reduction with iterative reconstruction: Optimization of CT protocols in clinical practice. *Diagn Interv Imaging.* 2015 May;96(5):477-86, doi: 10.1016/j.diii.2015.02.007, Epub 20150319
- Hartmann et al. 2020 Hartmann J, Singer J, Fiebich M, Renger B, Simmler R, Stamm G. Leitfaden zum Einsatz von Dosismanagementsystemen zur Optimierung von Röntgenanwendungen und Einhaltung von Referenzwerten - Vorhaben 3616S42432. BfS-RESFOR-175/20, 2020. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz. 2020
- IAEA 2023 International Atomic Energy Agency (IAEA). Patient Radiation Exposure Monitoring in Medical Imaging. Safety Reports Series No. 112. Wien, 2023, ISBN 978-92-0-149222-7
- Ichikawa et al. 2023 Ichikawa S, Itadani H, Sugimori H. Deep learning-based body weight from scout images can be an alternative to actual body weight in CT radiation dose management. *J Appl Clin Med Phys.* 2023 Aug;24(8):e14080, doi: 10.1002/acm2.14080, Epub 2023/06/20
- ICRP 2017 International Commission on Radiological Protection (ICRP). Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. ICRP Publication 135. Ann ICRP 46(1):1-144, Sage Publishing, London, 2017, ISBN 9781526434982, doi: 10.1177/0146645317717209
- Kammer et al. 2024 Kammer B, Stahl R, Seidenbusch MC, Schneider KO. Miktionsszysturethrographie. *Die Radiologie.* 2024 2024/01/01; 64(1):54-64, doi: 10.1007/s00117-023-01256-y

- Klink et al. 2014 Klink T, Obmann V, Heverhagen J, Stork A, Adam G, Begemann P. Reducing CT radiation dose with iterative reconstruction algorithms: the influence of scan and reconstruction parameters on image quality and CTDIvol. *Eur J Radiol.* 2014 Sep;83(9): 1645-54, doi: 10.1016/j.ejrad.2014.05.033, Epub 20140605
- Lackay et al. 2022 Lackay O, Horn-Lodewyk J, Muller H. A practical guide for paediatric diagnostic reference levels (PiDRLs). *J Med Imaging Radiat Sci.* 2022 Mar;53(1):123-37, doi: 10.1016/j.jmir.2021.12.005, Epub 2022/01/25
- Layer et al. 2023 Layer YC, Kravchenko D, Dell T, Kutting D. CT technology: photon-counting detector computed tomography. *Radiologie (Heidelb).* 2023 Jul;63(7):497-506, doi: 10.1007/s00117-023-01166-z, Epub 20230608
- Loose et al. 2024 Loose R, Vaño E, Ammon J, Andersson J, Brat H, Brkljacic B, Caikovska K, Corridori R, Damilakis J, De Bondt T, Frija G, Granata C, Hoeschen C, Kotter E, Kralik I, McNulty J, Paulo G, Tsapaki V. The use of Dose Management Systems in Europe: Results of an ESR EuroSafe Imaging Questionnaire. *Insights Imaging.* 2024 Aug 9;15(1):201, doi: 10.1186/s13244-024-01765-x, Epub 20240809
- Mileto et al. 2024 Mileto A, Yu L, Revels JW, Kamel S, Shehata MA, Ibarra-Rovira JJ, Wong VK, Roman-Colon AM, Lee JM, Elsayes KM, Jensen CT. State-of-the-Art Deep Learning CT Reconstruction Algorithms in Abdominal Imaging. *Radiographics.* 2024 Dec;44(12): e240095, doi: 10.1148/rg.240095
- Neitzel 2005 Neitzel U. Status and prospects of digital detector technology for CR and DR. *Radiat Prot Dosimetry.* 2005;114(1-3):32-8, doi: 10.1093/rpd/nch532
- Pace et al. 2024 Pace E, Caruana CJ, Bosmans H, Cortis K, D'Anastasi M, Valentino G. An inventory of patient-image based risk/dose, image quality and body habitus/size metrics for adult abdominopelvic CT protocol optimisation. *Phys Med.* 2024 Sep;125: 103434, doi: 10.1016/j.ejmp.2024.103434, Epub 20240802
- Schegerer et al. 2019 Schegerer A, Loose R, Heuser LJ, Brix G. Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling. *Rofo.* 2019 Aug;191(8):739-51, doi: 10.1055/a-0824-7603, Epub 2019/01/22
- Schegerer et al. 2021 Schegerer AA, Frija G, Paulo G, Jaschke W, Tsapaki V, Repussard J, Damilakis J. Radiation dose and diagnostic reference levels for four interventional radiology procedures: results of the prospective European multicenter survey EUCLID. *Eur Radiol.* 2021 Dec;31(12):9346-60, doi: 10.1007/s00330-021-08029-y, Epub 2021/05/16

- Schegerer et al. 2024 Schegerer AA, Stamm G, Aberle C, Ammon J, Bazrafshan B, Borowski M, Eßeling R, Madsack B, Menz R, Müller C, Oberhofer N, Renger B, Singer J, Verius M, Walz M, Jungnickel K. International survey on diagnostic reference levels based on clinical indications in plain radiography. *Eur Radiol.* 2024 Dec 4, doi: 10.1007/s00330-024-11224-2, Epub 20241204
- SSK 2015 Strahlenschutzkommision. Cone Beam-Computertomografie (CBCT) und Mammatomosynthese. Empfehlung der Strahlenschutzkommision, verabschiedet in der 277. Sitzung der Strahlenschutzkommision am 02./03. Juli 2015. urn:nbn:de:101:1-20160523399.
https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2015/2015-07-03_Empf_CBCT_und_Mammatomosynthese.html
- SSK 2016 Strahlenschutzkommision. Dosisdokumentation und Archivierung digitaler Bild- und Untersuchungsdaten in Radiologie und Nuklearmedizin, verabschiedet in der 282. Sitzung der Strahlenschutzkommision am 23./24. Juni 2016. urn:nbn:de:101:1-201703087447. Bekanntmachung im Bundesanzeiger AT 20.03.2017 B3.
https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2016/2016-06-23_Dosisdokumentation_KT.html
- SSK 2019 Strahlenschutzkommision (SSK). Orientierungshilfe für bildgebende Verfahren. Empfehlung der Strahlenschutzkommision, verabschiedet in der 300. Sitzung der SSK am 27./28. Juni 2019. Berichte der Strahlenschutzkommision, Heft 51, Schnelle-Verlag, Berlin, 2019, ISBN 978-3-943422-51-1
- StrlSchG 2017 Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch die Bekanntmachung vom 3. Januar 2022 (BGBl. I S. 15) geändert worden ist
- StrlSchV 2018 Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 29. November 2018. BGBl. I S. 2034, 2036, die durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 748) geändert worden ist
- Triantopoulou et al. 2020 Triantopoulou S, Hernandez AC, Tsapaki V. A literature review of paediatric diagnostic reference levels in diagnostic and interventional radiology and cardiology. *Hellenic Journal of Radiology.* 2020;5, doi: 10.36162/HJR.V514.339
- Wang et al. 2017 Wang KC, Patel JB, Vyas B, Toland M, Collins B, Vreeman DJ, Abhyankar S, Siegel EL, Rubin DL, Langlotz CP. Use of Radiology Procedure Codes in Health Care: The Need for Standardization and Structure. *Radiographics.* 2017 Jul-Aug;37(4):1099-110, doi: 10.1148/radiographics.2017160188