Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

http://www.ssk.de

Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei der diagnostischen Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 321. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 22./23. September 2022

Vorwort

In den letzten Jahren wurde der Einsatz von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei der diagnostischen Anwendung von Röntgenstrahlung zunehmend in Frage gestellt. Bereits in ihrer Empfehlung „Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei der diagnostischen Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen“ aus dem Jahr 2018 hat die SSK den Verzicht auf Patienten-Strahlenschutzmittel bei fast allen Projektionsaufnahmen empfohlen. Die Veröffentlichung zahlreicher internationaler Empfehlungen, bei der Anwendung diagnostischer Röntgenstrahlung weitestgehend auf den Einsatz von Patienten-Strahlenschutzmitteln zu verzichten, veranlasste eine kritische Prüfung und anschließend eine Aktualisierung der Empfehlung aus dem Jahr 2018.

An dieser Aktualisierung der Empfehlung durch eine Arbeitsgruppe des Ausschusses „Strahlenschutz in der Medizin“ mit Expertise aus der Radiologie, Medizinphysik, Kinderradiologie und der Strahlenschutztechnik haben mitgewirkt:

- Prof. Dr. Martin Fiebich, Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz, Technische Hochschule Mittelhessen
- Prof. Dr. Dr. Reinhard Loose, Institut für Medizinische Physik, Klinikum Nürnberg Nord (i.R.)
- Dr. Josefin Ammon, Institut für Medizinische Physik, Klinikum Nürnberg
- Prof. Dr. Hans-Joachim Mentzel, Sektion Kinderradiologie, Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Jena
- Prof. Dr. Björn Poppe, Universitätsklinik für Medizinische Strahlenphysik, Medizinischer Campus Pius-Hospital, Institut für Physik, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
- Dr. Markus Borowski, Institut für Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin, Städtisches Klinikum Braunschweig
- Dr. Hugo de las Heras Gala, Bundesamt für Strahlenschutz

Prof. Dr. Martin Fiebich	*Prof. Dr. Günter Layer*	*Prof. Dr. Werner Rühm*
Vorsitzender der Arbeitsgruppe „Patienten-Strahlenschutzmittel“	Vorsitzender des Ausschusses „Strahlenschutz in der Medizin“	Vorsitzender der Strahlenschutzkommission

Inhalt

1 Einleitung 4

2 Empfehlungen 4

3 Fachliche Grundlagen 10

4 Mögliche Fehlerquellen bei der Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln 11

5 Begründung zur Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei häufig durchgeführten CT-Untersuchungsarten 12

5.1 CT-Untersuchung des Hirnschädels (CCT) 12

5.2 CT- und DVT-Untersuchungen der Nasennebenhöhlen (NNH) und des Gesichtsschädels 13

5.3 CT-Untersuchung des Thorax und der Brustwirbelsäule 14

5.4 CT-Untersuchung des Beckens/Abdomens und der Lendenwirbelsäule 14

5.5 CT- und DVT-Untersuchungen der Extremitäten 14

6 Begründung zur Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei häufiger durchgeführten Projektionsaufnahmen 14

6.1 Röntgenaufnahme des Kopfes 15

6.2 Röntgenaufnahmen der Schulter oder der Clavicula 15

6.3 Röntgenaufnahme des Thorax 15

6.4 Röntgenaufnahme der Brust- oder Lendenwirbelsäule 15

6.5 Röntgenaufnahmen des Beckens oder des Hüftgelenks 16

6.6 Röntgenaufnahme des Abdomens 16

6.7 Röntgenaufnahme der Extremitäten 16

6.8 Mammografie 16

6.9 Röntgenaufnahmen in der Zahnmedizin 16

7 Literatur 17

8 Abkürzungsverzeichnis (häufig verwendete Begriffe) 21

1 Einleitung

Der mit Abstand größte Teil der zivilisatorischen Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung wird durch Untersuchungen mittels diagnostisch angewandter Röntgenstrahlung verursacht (> 92 %, BMUV 2019). Der Einsatz von Patienten-Strahlenschutzmitteln kann bei ausgewählten Untersuchungen eine sinnvolle Komponente beim Schutz von Patient*innen darstellen.

Art und Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln (contact shielding) sind international allerdings umstritten:

- Eine nicht sachgemäße Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln kann die Patientenexposition erhöhen.
- Der Anteil möglicher Dosisreduktion durch die Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln ist im Verhältnis zu wesentlich wichtigeren Punkten wie exakte Positionierung und Einstellung der Aufnahme sowie Einblendung auf das Objekt in der konventionellen Röntgendiagnostik eher gering.
- Ein unnötiger Einsatz von Patienten-Strahlenschutzmitteln oder deren falsche Anwendung kann die Akzeptanz sowohl bei dem an der Anwendung beteiligten medizinischen Personal als auch bei den Patient*innen verringern.
- Hygieneprobleme, erhöhter Arbeitsaufwand und ökonomische Gründe können der Nutzung entgegensprechen.

In der Folge wurden von internationalen Fachgesellschaften und Behörden/Gremien entsprechend Empfehlungen zum Einsatz der Strahlenschutzmitel in letzter Zeit modifiziert (BIR 2020, Hiles et al. 2021, KSR 2021, The Nordic Radiation Protection co-operation 2015).

Daher hat das Bundesumweltministerium mit Schreiben vom 26. Januar 2022 die Strahlenschutzkommission (SSK) um Beratung gebeten, die bestehende Empfehlung der SSK zum Einsatz von Patienten-Strahlenschutzmitteln aus dem Jahr 2018 zu überarbeiten und dabei aktuelle Erkenntnisse über Konsequenzen aus dem Einsatz von Schutzmitteln einfließen zu lassen. Dabei sollte der Maßstab für den sinnvollen Einsatz sein, ob es unter Berücksichtigung des Standes der Technik mit angemessenem Aufwand möglich ist, die Strahlenexposition außerhalb des diagnostisch relevanten Bereichs signifikant zu reduzieren. Insbesondere sollten in der Empfehlung die Besonderheiten der verschiedenen Untersuchungstechniken unter Einsatz von Röntgenstrahlung (wie z. B. Computertomografie (CT), zahnmedizinische Röntgenverfahren, radiologische Interventionen) einbezogen werden, ebenso die Untersuchung verschiedener Körperteile sowie die besonderen Schutzerfordernisse bestimmter Patientengruppen, z. B. Patient*innen mit erhöhter Strahlensensibilität, Kinder oder Schwangere.

Bei der Bewertung der Patienten-Strahlenschutzmittel sollen auch der jeweilige Aufwand beim Anlegen, Hygienekonzepte sowie die Patientencompliance (z. B. beim Anlegen einer Hodenkapsel) bei der Verwendung berücksichtigt werden, ebenso die Möglichkeit des Einsatzes – so ist es z. B. bei Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern aufgrund des kurzen Halses nicht möglich, einen Schilddrüsenrundumschutz anzulegen.

2 Empfehlungen

Eine Anpassung an das Konsensuspapier der EU (Hiles et al. 2021) wird als sinnvoll angesehen, allerdings wird ein genereller Verzicht auf Patienten-Strahlenschutzmittel nicht empfohlen. Zudem wird ein Konzept mit drei Empfehlungskategorien eingeführt, welches dem

Anwendenden die Entscheidung hinsichtlich der Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln erleichtert. Die Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln wird demnach für die verschiedenen Untersuchungen gemäß der folgenden drei Symbole klassifiziert:



Die Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln wird hier empfohlen. Dies bedeutet, dass eine Begründung für jede Untersuchung individuell gegeben werden sollte, wenn keine Patienten-Strahlenschutzmittel verwendet werden.



Patienten-Strahlenschutzmittel können hier eingesetzt werden, wenn unter Abwägung aller Aspekte (Strahlenschutz, Strahlenempfindlichkeit, technische Gegebenheiten) keine praktischen Gründe dagegensprechen.



Der Einsatz von Patienten-Strahlenschutzmitteln wird hier nicht empfohlen. Sie können jedoch, die richtige Anwendung vorausgesetzt, nach individueller Abwägung eingesetzt werden.

Die Strahlenschutzkommission empfiehlt

- Patienten-Strahlenschutzmittel gemäß Tabelle 1 nach der oben genannten Kategorisierung anzuwenden und Abweichungen von den Empfehlungen zu dokumentieren,
- für oberflächennahe Organe wie Augenlinse oder Schilddrüse, sofern vorhanden, eine sektorielle Röhrenstromabsenkung[1] in der CT zu verwenden,
- bei der Fluoroskopie keine Patienten-Strahlenschutzmittel im oder nahe am möglichen Strahlengang anzuwenden,
- die Anwendung der Patienten-Strahlenschutzmittel in Arbeitsanweisungen in Abstimmung mit einem Medizinphysik-Experten (MPE) festzulegen,
- bei Kindern, Jugendlichen und Schwangeren hinsichtlich der Entscheidung zum Einsatz von Patienten-Strahlenschutzmitteln das mit einer Strahlenexposition verbundene höhere Risiko zu berücksichtigen,
- bei Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln in der CT, die Empfehlungen der jeweiligen Hersteller oder des zuständigen MPE unbedingt zu beachten, da es bei fehlerhafter Anwendung zu einer Überexposition bzw. zu einer Minderung der Bildqualität kommen kann,
- zur Minimierung des Fehlerpotenzials eine ausreichende und regelmäßige Fortbildung des Personals im Hinblick auf die fortschreitende Geräteentwicklung und deren Einfluss auf die Dosisreduktion im Allgemeinen und die Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln im Besonderen zu gewährleisten,
- Patienten-Strahlenschutzmittel auf Wunsch des/der Patient*in einzusetzen, falls dies klinisch praktikabel und nicht mit Nachteilen für die Untersuchung verbunden ist.

[1] Bei der Rotation der Röntgenröhre um die/den Patient*in wird der die Röntgenstrahlung erzeugende Strom und damit die Strahlung in der Röntgenröhre immer dann abgesenkt, wenn die Röhre in einem bestimmten Winkelbereich der Rotation ist. Bei einer Röhrenstrommodulation wird der Strom entsprechend der erwarteten Schwächung durch den Patienten variiert, um eine ähnliche Dosis am Bildempfänger zu erreichen.

Tab. 1: Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei verschiedenen Untersuchungsarten und die erzielbare Reduktion von Organ-Äquivalentdosen.[2]

Untersuchungsart	**Patienten-Strahlenschutzmittel**	**Empfehlung**	**Bemerkung**	**Mögliche Dosisreduktion (Organ-Äquivalentdosis)**
Computertomografie				
CT Hirnschädel (CCT [a)])	Schutz der Augenlinse		Priorisierung: 1. Ventrale Flexion des Kopfes oder Gantrykippung (effektivster Strahlenschutz), oder 2. Protektoren, oder 3. sektorielle Röhrenstrom-Absenkung	Augenlinse: 1. bis 40 mSv (SSK 2011) 2. bis 20 mSv (Kim et al. 2017) 3. bis 12 mSv (Kim et al. 2017)
	Schilddrüsenschutz bei jüngeren Patient*innen bis ca. 40 Jahren		Protektor oder sektorielle Röhrenstrom-Absenkung; Schilddrüse liegt nah am Scanfeld	Schilddrüse: bis 1 mSv (Abuzaid et al. 2017, Liebmann et al. 2014)
	Schilddrüsenschutz bei älteren Patient*innen ab ca. 40 Jahren		Protektor oder sektorielle Röhrenstrom-Absenkung; Schilddrüse liegt nah am Scanfeld	Schilddrüse: bis 1 mSv (Abuzaid et al. 2017, Liebmann et al. 2014)
	Brustschutz bei Frauen		Brust liegt nicht im Strahlenfeld, signifikante, aber nicht relevante Dosiseinsparung möglich; kann verwendet werden (s. Kapitel 2)	Brust: bis 0,19 mSv (Liebmann et al. 2014)
CT, NNH [b)]	Schilddrüsenschutz		Schilddrüse könnte im Strahlengang liegen; kann angewandt werden, wenn nicht im Scanbereich und es nicht technisch bedingt zu Dosisüberhöhung kommt	Schilddrüse: bis 1 mSv (Pauwels et al. 2019)
	Augenlinsenschutz		bei hinreichendem Abstand zur Augenlinse möglich; sektorielle Röhrenstrom-Absenkung oder Protektoren	Augenlinse: bis 3 mSv (abgeschätzt nach DRW)

[2] Da die Dosisreduktion stark vom Untersuchungsgerät, der Untersuchungstechnik und der Situation abhängt, sollte vor Ort die Anwendung der Patienten-Strahlenschutzmittel mit einem Medizinphysik-Experten abgeklärt werden.

Unter-suchungsart	**Patienten-Strahlenschutz-mittel**	**Empfehlung**	**Bemerkung**	**Mögliche Dosisreduktion (Organ-Äqui-valentdosis)**
DVT[c)], NNH und Zahnmedizin	Schilddrüsenschutz		Dorsaler Strahlen-gang; hohes Fehler-potenzial bei geringer möglicher Einspa-rung	Schilddrüse: bis 0,1 mSv (Schulze et al. 2017a)
	Augenlinsenschutz		Dorsaler Strahlen-gang; hohes Fehler-potenzial bei geringer möglicher Einsparung	
CT Gesichts-schädel	Schilddrüsenschutz		hohes Fehlerpoten-zial bei geringer möglicher Einspa-rung; liegt häufig im Strahlengang des Topogramms und auch des Scanbe-reichs	Schilddrüse: bis 1 mSv (Pauwels et al. 2019)
	Augenlinsenschutz		Cave: zusätzliche Artefakte durch Pro-tektoren; sektorielle Röhrenstrom-Absen-kung erzielt geringe Dosisreduktion	Augenlinse: bis 8 mSv (abgeschätzt nach DRW)
CT Thorax	Schilddrüsenschutz		Fehlerpotenzial höher als potenzieller Nutzen; der untere Schilddrüsenpol liegt meist im Scanbereich	Schilddrüse: bis 2,5 mSv (Buchgeister et al. 2012)
	Bleiabdeckung um das Abdomen		Unter Abwägung aller Aspekte nicht sinnvoll	Uterus: bis 0,02 mSv (Danova et al. 2010, Iball und Brettle 2011, Samara et al. 2022)

Unter-suchungsart	**Patienten-Strahlenschutz-mittel**	**Empfehlung**	**Bemerkung**	**Mögliche Dosisreduktion (Organ-Äqui-valentdosis)**
CT Abdomen/ Becken /Lendenwirbel-säule	Mann: umschließender Hodenschutz		Nur wenn außerhalb des Scanbereichs	Gonaden: bis 1 mSv (Dauer et al. 2007, Hohl et al. 2005)
	Frau: Ovarialschutz		Nicht sinnvoll auf-grund zentraler Lage der Ovarien, die aus allen Strahlrichtun-gen exponiert wer-den.	
CT/DVT Extremitäten	Kein Schutz notwendig		Aufgrund niedriger Dosis und großer Entfernung zu strah-lenempfindlichen Organen nicht sinnvoll, da geringes Einsparpotenzial	
Projektionsradiografie				
Kopf	Kein Schutz notwendig		Unter Abwägung aller Aspekte nicht sinnvoll	effektive Dosis: bis 0,002 mSv (Samara et al. 2022)
Schulter	Kein Schutz notwendig		Unter Abwägung aller Aspekte nicht sinnvoll	keine verlässlichen Daten verfügbar
Thorax a.p./p.a. [d)] und seitlich	Kein Schutz notwendig		Unter Abwägung aller Aspekte nicht sinnvoll	Gonadendosis: bis 0,000035 mSv (Samara et al. 2022)
Brust- und Lendenwirbel-säule	Kein Schutz notwendig		Unter Abwägung aller Aspekte nicht sinnvoll, insbeson-dere nicht bei enger Einblendung	Brust: ca. 0,3 mSv (Mekis et al. 2013) bei Lie-gendaufnahmen

Unter-suchungsart	**Patienten-Strahlenschutz-mittel**	**Empfehlung**	**Bemerkung**	**Mögliche Dosisreduktion (Organ-Äqui-valentdosis)**
Becken und Hüftgelenk	Mann: Hodenschutz		bei Verwendung darf das Zielvolumen nicht überlagert wer-den und es dürfen keine Interferenzen mit einer Belich-tungsautomatik auftreten	Testes: bis 0,8 mSv (im Direktstrahl, sonst ca. 0,08 mSv)
	Frau: Ovarialschutz		möglicher diagnos-tischer Informations-verlust und häufige fehlerhafte Positio-nierung des Ovarial-schutzes	Ovarien: bis 0,150 mSv (Clancy et al. 2010, Doolan et al. 2004, Frantzen et al. 2012, ICRP 2013, Liu et al. 2008)
Abdomen	Mann: Hodenschutz		Unter Abwägung aller Aspekte nicht sinnvoll	Testes: bis 0,08 mSv (Njeh et al. 1997, Roth et al. 2001)
	Frau: Ovarialschutz		Positionierung des Ovarialschutzes sehr fehleranfällig	
Extremitäten	Kein Schutz notwendig		Unter Abwägung aller Aspekte nicht sinnvoll	
Mammografie	Kein Schutz notwendig		Unter Abwägung aller Aspekte nicht sinnvoll	Schilddrüse: ca. 0,001 mSv (Sechopoulos et al. 2008, Sechopoulos und Hendrick 2012)
Zahnmedizin	Kein Schutz notwendig		Unter Abwägung aller Aspekte nicht sinnvoll	Schilddrüse: Bis 0,01 mSv bei Orthopantomo-gramm (Rottke et al. 2013a, Rottke et al. 2013b), Intraoralaufnah-men deutlich niedriger

a) craniale Computertomografie (CCT)
b) Nasennebenhöhlen (NNH)
c) Digitale Volumentomografie (DVT)
d) anterior posterior (a.p.) / posterior anterior (p.a.)

3 Fachliche Grundlagen

Im Strahlenschutz wird gefordert, dass die durch eine Röntgenuntersuchung bedingte Strahlenexposition so weit einzuschränken ist, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft vereint werden kann. Körperbereiche, die bei der vorgesehenen Anwendung von Röntgenstrahlung nicht von der Nutzstrahlung erfasst werden müssen, sind vor einer Strahlenexposition so weit wie sinnvoll zu schützen. Ein angepasster Einsatz von Patienten-Strahlenschutzmitteln kann diesen Prozess unterstützen, ist in vielen Fällen aber nur als ergänzend zu anderen Verfahren anzusehen, wie z. B. einer strengen Einblendung bei Aufnahmen oder fluoroskopischen Verfahren oder der Begrenzung der Scanlänge bei computertomografischen Untersuchungen. Werden Patienten-Strahlenschutzmittel im Direktstrahl eingesetzt, so ist es in besonderem Maß erforderlich, vor dem Einsatz die Auswirkungen der Schutzmittel auf eine Belichtungsautomatik abzuschätzen, sofern diese eingesetzt wird.

Neben einer guten Lagerung, die auch die Wahl der Patienten-Strahlenschutzmittel beeinflussen kann, sowie einer ggf. erforderlichen Immobilisierung und der Einstellung optimierter Aufnahmeparameter, ist eine korrekte objekt- und fragestellungsbezogene Einblendung in der Projektionsradiografie von überragender Bedeutung. Dies gilt insbesondere für Kinder oder Jugendliche, da der prozentuale Feldgrößenzuwachs sich umgekehrt proportional zum Ausgangsformat verhält, und damit vor allem für Neugeborene, Säuglinge und Kleinkinder. Die Einblendung muss auf dem Bild erkennbar sein und darf nicht durch digitale Kollimation[3] überdeckt werden. Bei männlichen Patienten kann nach erfolgtem Descensus testis ein umschließender Hodenschutz angewandt werden, sofern es aufgrund der zu erwartenden Dosisreduktion sinnvoll erscheint und es nicht zu störenden Artefakten, einer Dosiserhöhung oder Überdeckung der Belichtungsmesskammer führt.

Bei Neugeborenen, Säuglingen, Klein- und Schulkindern kann aufgrund der höheren Strahlensensibilität und wenn keine Gefahr besteht, dass eine Beeinflussung der Belichtungsautomatik oder negative Einflüsse auf die Bildqualität auftreten können, in Abstimmung mit den Sorgeberechtigten zugunsten des Einsatzes von Patienten-Strahlenschutzmitteln von der Empfehlungskategorie abgewichen werden. Dies gilt unter Berücksichtigung o. g. Punkte vor allem, je unreifer das Kind und/oder je häufiger die Untersuchung durchgeführt werden muss (z. B. Röntgenthorax- und Abdomenaufnahmen bei extrem Frühgeborenen). Individuell können Expert*innen der Kinderradiologie konsultiert werden. Die Häufigkeit der Untersuchungen ist auch bei anderen Patientengruppen zu berücksichtigen.

Bei Patientinnen soll – wenn immer möglich – bei Aufnahmen des Thoraxbereiches und des Abdomens in Linksseitenlage wegen der Strahlenempfindlichkeit der ventral lokalisierten Mammae und Schilddrüse der dorsoventrale Strahlengang (p. a.) gewählt werden.

Bei Schwangeren ist das für das ungeborene Kind mit einer Strahlenexposition verbundene Risiko zu berücksichtigen, z. B. durch die Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei der CT-Untersuchung des Thorax, da hier die Uterusdosis der Schwangeren als Körperdosis des ungeborenen Kindes angenommen wird.

Bei der Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln ist die Patientenposition (z. B. stehend oder liegend) und damit verbunden die Praktikabilität beim Anlegen der Schutzmittel zu berücksichtigen.

---

[3] Bei der digitalen Kollimation werden schwarze Felder über das digitale Röntgenbild gelegt, um hellere Bereiche, die das Auge bei der Befundung der Bilder stören würden, abzudecken.

Einige Computertomografen verwenden ein oder zwei Übersichtsaufnahmen (je nach Hersteller des CT-Systems unterschiedlich bezeichnet, z. B. Scout, Topogramm, Scanogramm), um die Schwächung durch den/die Patient*in zu ermitteln und darüber eine Dosismodulation vorzunehmen und um den Bereich für die Untersuchung auszuwählen. Bei einer Übersichtsaufnahme mit Patienten-Strahlenschutzmittel im relevanten Bereich kann dies bei einigen Geräten zu höheren Expositionen führen. Dies ist vor allem in der pädiatrischen Radiologie kritisch zu betrachten. Hieraus resultierende Nachteile müssen gegenüber dem Nutzen durch das Anlegen des Patienten-Strahlenschutzmittels abgewogen werden. Ggf. ist eine Abdeckug erst nach der Übersichtsaufnahme vorzunehmen (Bsp. Abdeckung der Augenlinse bei CCT).

Bei radiologischen Interventionen ist die Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln selten möglich, da sich diese zum einen aufgrund möglicher Angulationen im Strahlengang befinden können und die automatische Dosisleistungsregelung eine Dosiserhöhung beim/bei der Patient*in verursachen kann. Zum anderen befinden sich oberflächennahe Risikoorgane wie Augen, Schilddrüse und Brust aufgrund der üblicherweise verwendeten p.a.-Projektion ohnehin im geschwächten Nutzstrahl, so dass eine Abschirmung nur eine geringfügige zusätzliche Dosisreduktion bewirkt.

Für die Anforderungen an Patienten-Strahlenschutzmittel finden sich Hinweise in den Normen. So müssen qualifizierte Patienten-Strahlenschutzmittel den Anforderungen nach DIN EN 61331-1:2016-09 (Bestimmung von Schwächungseigenschaften von Materialien) und DIN EN 61331-3:2016-09 (Schutzkleidung, Augenschutz und Abschirmungen für Patienten) genügen. In den vorgenannten Normen wird der Einsatz von bleireduzierter oder bleifreier Schutzkleidung berücksichtigt. Patienten-Strahlenschutzmittel werden mit Bleigleichwerten [4] zwischen 0,25 mm und 1,0 mm hergestellt. Bei Gonadenschürzen, anzusehen als Abdeckung außerhalb des Nutzstrahlfeldes, ist ein Bleigleichwert von mindestens 0,5 mm gefordert, bei Hodenkapseln, anzusehen als Abdeckung im Nutzstrahlfeld, ein Bleigleichwert von mindestens 1 mm.

Neben der Schutzwirkung der Patienten-Strahlenschutzmittel ist zu berücksichtigen, wie sich deren Anwendung auf den Workflow auswirkt, und welche hygienischen Anforderungen dabei zu beachten sind.

Anwendung und Lokalisation von Patienten-Strahlenschutzmitteln sollten mit einem Medizinphysik-Experten abgestimmt werden.

Diese Empfehlung erstreckt sich nur auf die Anwendung von Röntgenstrahlen in der radiologischen Diagnostik und Intervention. Zur Dosisreduktion bei der Anwendung von Röntgenstrahlung im Rahmen der bildgestützten Strahlentherapie wird auf die Empfehlung der SSK zu strahlenhygienischen Anforderungen an bildgeführte Strahlentherapie (image guided radiotherapy, IGRT) (SSK 2010) verwiesen.

4 Mögliche Fehlerquellen bei der Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln

Die SSK identifiziert folgende Fehlerquellen bei der Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln:

[4] Der Bleigleichwert beschreibt die Schutzwirkung eines Materials im Vergleich zur Schutzwirkung des Bleis.

- Falsch angelegte Patienten-Strahlenschutzmittel können ihre Schutzwirkung verfehlen und/oder die darzustellenden Organregionen verdecken.
- Aufgrund variierender anatomischer Gegebenheiten (z. B. Ovarien) kann die Abschirmung durch die Patienten-Strahlenschutzmittel unzureichend sein.
- Interferenz des Materials der Patienten-Strahlenschutzmittel mit der automatischen Dosisregelung (Dosismodulation im CT oder Messkammern in Radiografie und Fluoroskopie) kann unerwünscht zu einer Erhöhung der Patientendosis führen.
- Artefakte durch die verwendeten Patienten-Strahlenschutzmittel können die Bildqualität vermindern und eine Wiederholung der Aufnahme erforderlich machen.

In mehreren Empfehlungen (Hiles et al. 2021, KSR 2021, The Nordic Radiation Protection cooperation 2015, BIR 2020) wurde in den letzten Jahren die Schlussfolgerung gezogen, dass die Dosiseinsparungen durch die Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln niedrig sind im Vergleich zu den zusätzlichen Expositionen, die bei einer unsachgemäßen Verwendung auftreten. Darüber hinaus seien Probleme bei der Verwendung der Hilfsmittel hinsichtlich Hygiene, Kosten und Arbeitsablauf zu beachten. Prinzipiell stimmt die SSK dieser Einschätzung zu, sieht jedoch bei Beachtung und Identifikation dieser Fehlerquellen für einzelne, insbesondere CT-Untersuchungen dennoch eine Indikation zum Einsatz von Strahlenschutzmitteln.

5 Begründung zur Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei häufig durchgeführten CT-Untersuchungsarten

5.1 CT-Untersuchung des Hirnschädels (CCT)

Die CT des Hirnschädels ist in den meisten Kliniken und Praxen die am häufigsten durchgeführte Schnittbilddiagnostik und geht, verglichen mit CT-Untersuchungen anderer Körperabschnitte, mit den höchsten lokalen Dosen einher. Durch die Verwendung von Multizeilen-Spiral-CT-Scannern mit breiten Detektorarrays liegt die Augenlinse durch Overbeaming und bei Verwendung des Spiralmodus durch Overranging häufig im Bereich des direkten Strahlenganges. Ohne Schutzmaßnahmen und bei Positionierung der Augenlinse im Scanbereich tritt eine Dosis der Augenlinse von oftmals mehr als 50 mSv auf. Gemäß der Neubewertung der Strahlenempfindlichkeit der Augenlinsen in Hinblick auf Kataraktbildung ist dies eine hohe Dosis, so dass Maßnahmen getroffen werden sollten, diese zu reduzieren. So sollten durch Gantrykippung (falls möglich) oder durch leichte Hochlagerung mit einem eingeschobenen Schaumstoffkeil und Beugung des Kopfes (Anteklination) die Augenlinsen außerhalb des primären Strahlenganges positioniert werden (SSK 2011). Insbesondere bei kleinen Objekten (z. B. Kinderschädel) ist ein Spiral-CT mit enger Kollimation oder ein sequenzielles CT zu verwenden (sollte vor Ort mit dem MPE besprochen werden).

Generell kann ein Augenlinsenschutz verwendet werden. Falls hierdurch Artefakte auftreten, schränkt die Abschirmung die diagnostische Aussagekraft nicht ein, vorausgesetzt, ihr Abstand zum Hirnschädel ist hinreichend (Raissaki et al. 2010). Alternativ kann auch eine Röhrenstrommodulation eingesetzt werden, bei der keine direkte oder nur sehr wenig Strahlung auf die Augenlinse fällt. Der Augenlinsenschutz reduziert die Augenlinsendosis um ca. 50 %. Eine Röhrenstrommodulation mit sektorieller Röhrenstromabsenkung des oberen Winkelbereichs erreicht eine Verringerung der Augenlinsendosis in gleicher Größenordnung (Bulla et al. 2012, Keil et al. 2008, May et al. 2012, Kim et al. 2017). Der Augenlinsenschutz muss ggf. erst nach der Übersichtsaufnahme angelegt werden.

Das Anlegen eines Schilddrüsenschutzes senkt die Dosis der Schilddrüse (ca. 1 mSv) um 45 %, ohne dass negative Auswirkungen auf die Bildgebung anzunehmen sind. Dieses Schutzmittel ist daher bei Patient*innen unter 40 Jahren sinnvoll (Brenner und Hall 2007, HPA 2011, Iglesias et al. 2017). Die Verwendung eines Brustschutzes reduziert bei Frauen die Dosis der Brust (ca. 0,3 mSv) um bis zu 75 % (Liebmann et al. 2014, Ngaile et al. 2008). Die Verwendung eines Brustschutzes ist bei Frauen in Abhängigkeit ihres Alters sowie bei Kindern als sinnvoll anzusehen.

5.2 CT- und DVT-Untersuchungen der Nasennebenhöhlen (NNH) und des Gesichtsschädels

Der Scanbereich von NNH-Untersuchungen bis zu den Zähnen des Oberkiefers kann deutlich kürzer sein als der einer Untersuchung des Gesichtsschädels einschließlich Unterkiefer. Zusätzlich ist der $CTDI_{vol}$[5] bei NNH-Untersuchungen ca. dreimal geringer als beim Gesichtsschädel (siehe Diagnostische Referenzwerte (DRW) des Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), (Schegerer et al. 2019)).

Bei den meisten Untersuchungen wird die Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln als nicht erforderlich angesehen.

Bei Verwendung von CT-Systemen kann ein Augenlinsenschutz angewendet werden, solange die diagnostische Bildqualität hierdurch nicht eingeschränkt wird. Alternativ kann eine Röhrenstrommodulation eingesetzt werden, bei der keine direkte Strahlung auf die Augenlinse trifft. Die Reduktion durch den Augenlinsenschutz liegt bei ca. 50 % (Keil et al. 2008). Auch durch sektorielle Röhrenstromabsenkung des oberen Winkelbereichs bei der Aufnahme kann die Dosis um bis zu 50 % gesenkt werden (Bulla et al. 2012). Bei Verwendung eines Augenlinsenschutzes ist auf einen ausreichend großen Zwischenraum zwischen dem schwächenden Protektor und dem Gesichtsschädel zu achten. Anderenfalls sind relevante Artefakte in der Abbildung des Gesichtsschädels zu erwarten. Sollten die Aufnahmen zur OP-Planung vorgesehen sein, ist zu prüfen, ob die Aufnahmen mit Protektor von einem Navigationssystem akzeptiert werden.

Bei DVT-Systemen sollte eine 180°-Rotation über den Hinterkopf verwendet werden, sodass die Augenlinsen nicht dem ungeschwächten Nutzstrahl ausgesetzt sind (Güldner et al. 2013).

Die Anwendung eines Schilddrüsenschutzes kann bei der CT-Untersuchung der NNH sinnvoll sein, da hier durch den Abstand zwischen Schilddrüse und Strahlenfeld eine Beeinflussung der automatischen Dosisregelung auszuschließen ist.

Ein Schilddrüsenschutz bei DVT-Untersuchungen kann die Schilddrüsendosis von 1,6 mSv auf 0,9 mSv senken (Goren et al. 2013, Liebmann et al. 2014). Bei CT-Untersuchungen des Gesichtsschädels sowie entsprechenden DVT-Untersuchungen können aber Patienten-Strahlenschutzmittel im Halsbereich im Direktstrahl exponiert werden und somit über die automatische Dosisregulation zu einer Erhöhung des Röhrenstroms führen, mit negativen Auswirkungen für sowohl die Strahlendosis als auch die Bildqualität. Es wird aus diesem Grund empfohlen, bei Untersuchungen des Gesichtsschädels keinen Strahlenschutz im Halsbereich zu verwenden.

[5] Volume Computed Tomogaphy Dose Index

5.3 CT-Untersuchung des Thorax und der Brustwirbelsäule

Bei der CT-Untersuchung des Thorax besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die angrenzenden Bereiche Schilddrüse und Oberbauchorgane zu schützen.

Es zeigt sich jedoch seit etlichen Jahren, dass bei computertomografischen Untersuchungen, die unter Verwendung einer Dosismodulation durchgeführt werden, die vom CT modulierten Expositionsparameter durch Strahlenschutzmaterialien beeinträchtigt werden können, die sich in der Nähe des Untersuchungsbereichs befinden. Zudem kann durch Patienten-Strahlenschutzmittel nur eine geringe Dosisreduktion (23 µSv) erzielt werden. Aufgrund dessen, und auch in Anbetracht von Arbeitsaufwand, Kosten und hygienischen Bedenken, sollte bei der Thorax-CT auf Patienten-Strahlenschutzmittel verzichtet werden (Danova et al. 2010, Iball und Brettle 2011).

Durch einen Schilddrüsenschutz kann die Organdosis um 31 % von 8,4 mSv auf 5,8 mSv reduziert werden (Buchgeister et al. 2012). Nachdem Erfahrungen der letzten Jahre gezeigt haben, dass bei Verwendung eines Schilddrüsenschutzes dieser in vielen Fällen in den oberen Lungenbereich hineinragt, wird allgemein empfohlen, von einem Schilddrüsenschutz abzusehen.

5.4 CT-Untersuchung des Beckens/Abdomens und der Lendenwirbelsäule

Ein umschließender Schutz der männlichen Gonaden bzw. eine Hodenkapsel reduziert die Strahlenexposition der Gonaden um bis zu 1 mSv, sofern sie außerhalb des Strahlengangs gelegen sind (Dauer et al. 2007, Hohl et al. 2005). Aufgrund auftretender Artefakte und einer möglichen Dosiserhöhung sollten Patienten-Strahlenschutzmittel nicht im Strahlengang liegen, insbesondere bei der Beurteilung des Beckens (Dauer et al. 2007). Bei eingeschalteter Röhrenstrommodulation würde dies zudem zu einer Erhöhung der Gonadendosis führen. Ist die Exposition der Gonaden zur Beurteilung des Beckens unvermeidlich, sollte die Röhrenstrommodulation verwendet werden, bei der die Strahlenexposition um bis zu 40 % reduziert wird (May et al. 2012).

Die Verwendung eines umschließenden Hodenschutzes beim Mann kann sinnvoll sein, solange sich die Hoden nicht im Abbildungsbereich befinden. Bei Jungen kann abhängig vom individuellen Entwicklungsstand ein umschließender Hodenschutz außerhalb des Strahlengangs angewendet werden.

5.5 CT- und DVT-Untersuchungen der Extremitäten

Zu CT- und DVT-Untersuchungen der Extremitäten sind keine Studien zur Reduktion der Strahlenexposition durch Patienten-Strahlenschutzmittel zu finden. Aufgrund der niedrigen verwendeten Dosis und der großen Entfernung zum Körperstamm, in dem sich die meisten strahlenempfindlichen Organe befinden, erscheint die Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln nicht sinnvoll, da nur ein sehr geringes Einsparpotenzial vorliegt.

6 Begründung zur Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei häufiger durchgeführten Projektionsaufnahmen

Neben einer korrekten Lagerung und ggf. erforderlichen Immobilisierung ist eine korrekte objekt- und fragestellungsbezogene Einblendung in der Projektionsradiografie die erste und eine der effektivsten Maßnahmen zur Minderung der Strahlendosis. Dies ist besonders bei

Kindern zu beachten, da der prozentuale Feldgrößenzuwachs mit kleinerem Ausgangsformat korreliert, also insbesondere in der neonatalen Radiologie (Seidenbusch und Schneider 2015). Die Einblendung muss auf dem Bild erkennbar sein. Eine zusätzliche Bleiabdeckung (z. B. Gonadenschutzmittel, Bleigummimatten oder Strahlenschutzkleidung) der an den Rand des Strahlenfeldes angrenzenden Abschnitte des Körperstamms kann bei Kindern und jüngeren Patient*innen sinnvoll sein.

6.1 Röntgenaufnahme des Kopfes

Für diese Untersuchung gibt es wenige Indikationen (SSK 2019). Falls sie tatsächlich erforderlich ist, sind Patienten-Strahlenschutzmittel nicht notwendig (effektive Dosiseinsparung: < 0,002 mSv (Samara et al. 2022)).

6.2 Röntgenaufnahmen der Schulter oder der Clavicula

Zu Untersuchungen der Schulter oder der Clavicula sind keine Studien zur Reduktion der Strahlenexposition durch Patienten-Strahlenschutzmittel zu finden. Eine grobe Abschätzung unter Verwendung ähnlicher Untersuchungsbereiche wie Thorax und Brustwirbelsäule zeigt, dass die durch Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln eingesparte Dosis vernachlässigbar ist.

6.3 Röntgenaufnahme des Thorax

Studien zeigen, dass bei der p. a.-Aufnahme die Gonadendosis bei ca. 0,0002 mSv liegt, also sehr niedrig ist. Bei Erwachsenen kann bei Standard-Thoraxaufnahmen p. a. am Vertikalstativ durch eine Gonadenschürze auf der dem Detektor zugewandten Seite die Hodendosis um 75 % (ca. 0,0002 mSv), die Ovariendosis um 10 % (0,00002 mSv) vermindert werden. Die Gonadenschürze auf der der Röhre zugewandten Seite würde die Hodendosis nur um 12 % und die Dosis der Ovarien nur um 5 % reduzieren (Roth et al. 2001, Samara et al. 2022). Auf Grund der geringen Dosis außerhalb des Zielvolumens ist die Verwendung eines Patienten-Strahlenschutzmittels nicht notwendig.

Wenn in der neonatalen Radiografie Patienten-Strahlenschutzmittel verwendet werden, soll die Bleigummiabdeckung auf dem Inkubator aufgelegt werden. Gegen die Anwendung im Inkubator sprechen hygienische Bedenken (nosokomiale Infektionen) und die Kompression des Abdomens mit Beeinträchtigung der Atmung.

Da bis zum Schulkindalter der Thorax meist a.p. geröntgt wird (Seidenbusch und Schneider 2015), können eventuell verwendete Patienten-Strahlenschutzmittel (Bleischurz, Gonadenschutz) ventral angebracht werden.

6.4 Röntgenaufnahme der Brust- oder Lendenwirbelsäule

Bei Aufnahmen der Brust- oder Lendenwirbelsäule liegt die Dosis des Uterus bei < 0,5 mSv, die der Hoden bei < 0,04 mSv. Durch Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln an der unteren Strahlenfeldgrenze können die Dosen nur wenig reduziert werden (Clancy et al. 2010, Liu et al. 2008). Bei weit aufgeblendeten Aufnahmen reduziert eine Abdeckung der Brust die Dosis der Brust von ca. 0,4 mSv auf ca. 0,08 mSv (Mekis et al. 2013) bei Liegendaufnahmen. Eine korrekte Einblendung hat hingegen eine deutlich bessere Schutzwirkung.

6.5 Röntgenaufnahmen des Beckens oder des Hüftgelenks

Eine Patientenabdeckung der Gonaden im direkten Strahlengang reduziert die Gonadendosis des Mannes (0,8 mSv) um ca. 95 %, und die der Frau (0,2 mSv) um über 50 %. Außerhalb des Nutzstrahls beträgt die Gonadendosis weniger als 0,1 mSv, kann jedoch beim Mann mit einem Hodenschutz reduziert werden (Clancy et al. 2010, Liu et al. 2008).

Der Ovarienschutz wird häufig falsch positioniert, was zu Fehl- und Wiederholungsaufnahmen führen kann (Warlow et al. 2014). Deshalb sollte darauf verzichtet werden.

Ein Hodenschutz kann die bei dieser Untersuchung auftretende geringe bis mittlere Dosis der Hoden beim Mann reduzieren und kann verwendet werden, wenn keine Gründe dagegen sprechen, wie z. B. die Lage der Hoden im Aufnahmebereich oder die Abdeckung relevanter Bildanteile.

6.6 Röntgenaufnahme des Abdomens

Die Reduzierung der Gonadendosis durch Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln ist vergleichbar mit der bei der Beckenaufnahme. Die Hoden liegen hier nicht im Direktstrahl (< 0,1 mSv). Die Ovarien liegen im diagnostisch relevanten Bereich, sodass sie nicht abgedeckt werden können. Eine Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln ist daher nicht zu empfehlen.

6.7 Röntgenaufnahme der Extremitäten

Zu Untersuchungen der Extremitäten sind keine Studien zur Reduktion der Strahlenexposition durch Patienten-Strahlenschutzmittel zu finden. Eine grobe Abschätzung zeigt, dass die durch Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln eingesparte Gonadendosis vernachlässigbar ist. Durch Optimierung der Positionierung des Patienten und der Einblendung sind Risikoorgane so weit wie möglich zu schützen.

6.8 Mammografie

Studien zeigen, dass keine signifikante Zunahme von Schilddrüsenkrebs mit der Anzahl von Mammografien besteht (Sechopoulos und Hendrick 2012). Die Schilddrüsendosis wird mit durchschnittlich 0,002 mSv angegeben (Sechopoulos et al. 2008). Der Einsatz eines Schilddrüsenschutzes ist somit nicht notwendig. Die Organdosis für das Auge wird mit durchschnittlich 0,002 mSv, die der kontralateralen Brust mit ca. 0,02 mSv und die Organdosis des Uterus mit < 0,00003 mSv angegeben. Patienten-Strahlenschutzmittel sind somit bei der Mammografie nicht notwendig (Sechopoulos et al. 2008).

6.9 Röntgenaufnahmen in der Zahnmedizin

Die in der Zahnmedizin verwendeten Strahlenenergien und Feldgrößen erzeugen nur Streustrahlenfelder mit geringen Dosen. Patienten-Strahlenschutzmittel werden deshalb nicht benötigt.

Selbst bei Untersuchungen mit Panorama-Aufnahmen und dentalen DVT zeigten sich keine signifikanten Dosiseinsparungen durch das Tragen einer Patientenschürze (Rottke et al. 2013a, Rottke et al. 2013b, Schulze et al. 2017b) und in einer Studie (Qu et al. 2012) Einsparungen von 0,015 mSv bei der Organ-Äquivalentdosis der Schilddrüse aufgrund der dorsalen 180°-Rotation. Ein Schilddrüsenschutz kann bei spezieller Begründung und extraoralen Aufnahmen (z. B. Fernröntgen-Seitbild) verwendet werden.

7 Literatur

Abuzaid et al. 2017 — Abuzaid M, Elshami W, Haneef C, Alyafei S. Thyroid shield during brain CT scan: dose reduction and image quality evaluation. Imaging in Medicine. 2017;8(3):45-8

BIR 2020 — Radiology TBIo. Guidance on using shielding on patients for diagnostic radiology applications

BMUV 2019 — Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2019

Brenner und Hall 2007 — Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. N Engl J Med. 2007 Nov 29;357(22):2277-84, doi: 10.1056/NEJMra072149, Epub 2007/11/30

Buchgeister et al. 2012 — Buchgeister M, Sieburg S, Roll M, Math F, Wagner HJ. Dosisreduktion der Augen- und Schilddrüsenexposition durch Abschirmung in der klinischen Thorax Computertomgraphie. RöFo. 2012;184(S 01), doi: 10.1055/s-0032-1311469

Bulla et al. 2012 — Bulla S, Pache G, Hassepass F, Blanke P, Langer M. Strahlendosisreduktion in der Niedrigdosis-CT der Nasennebenhöhlen durch Verwendung einer organspezifischen Dosisreduktion (X-Care) anstelle eines Bismut-Augenlinsenschutzes. RöFo. 2012;184(S 01), doi: 10.1055/s-0032-1311106

Clancy et al. 2010 — Clancy CL, O'Reilly G, Brennan PC, McEntee MF. The effect of patient shield position on gonad dose during lumbar spine radiography. Radiography. 2010;16(2):131-5, doi: 10.1016/j.radi.2009.10.004

Danova et al. 2010 — Danova D, Keil B, Kastner B, Wulff J, Fiebich M, Zink K, Klose KJ, Heverhagen JT. Reduction of uterus dose in clinical thoracic computed tomography. Röfo. 2010 Dec;182(12):1091-6, doi: 10.1055/s-0029-1245809, Epub 2010/10/26

Dauer et al. 2007 — Dauer LT, Casciotta KA, Erdi YE, Rothenberg LN. Radiation dose reduction at a price: the effectiveness of a male gonadal shield during helical CT scans. BMC Med Imaging. 2007 Mar 16;7:5, doi: 10.1186/1471-2342-7-5, Epub 2007/03/21

DIN EN 61331-1:2016-09 — Deutsches Institut für Normung (DIN). DIN EN 61331-1:2016-09. Strahlenschutz in der medizinischen Röntgendiagnostik – Teil 1: Bestimmung von Schwächungseigenschaften von Materialien (IEC 61331-1:2014); Deutsche Fassung EN 61331-1:2014.

DIN EN 61331-3:2016-09 — Deutsches Institut für Normung (DIN). DIN EN 61331-3:2016-09. Strahlenschutz in der medizinischen Röntgendiagnostik – Teil 3: Schutzkleidung, Augenschutz und Abschirmungen für Patienten (IEC 61331-3:2014); Deutsche Fassung EN 61331-3:2014.

Doolan et al. 2004 — Doolan A, Brennan PC, Rainford LA, Healy J. Gonad protection for the antero-posterior projection of the pelvis in diagnostic radiography in Dublin hospitals. Radiography. 2004;10(1):15-21, doi: 10.1016/j.radi.2003.12.002

Frantzen et al. 2012 — Frantzen MJ, Robben S, Postma AA, Zoetelief J, Wildberger JE, Kemerink GJ. Gonad shielding in paediatric pelvic radiography: disadvantages prevail over benefit. Insights Imaging. 2012

Feb;3(1):23-32, doi: 10.1007/s13244-011-0130-3, Epub 2012/06/15

Goren et al. 2013 — Goren AD, Prins RD, Dauer LT, Quinn B, Al-Najjar A, Faber RD, Patchell G, Branets I, Colosi DC. Effect of leaded glasses and thyroid shielding on cone beam CT radiation dose in an adult female phantom. Dentomaxillofac Radiol. 2013;42(6):20120260, doi: 10.1259/dmfr.20120260, Epub 2013/02/16

Güldner et al. 2013 — Güldner C, Ningo A, Voigt J, Diogo I, Heinrichs J, Weber R, Wilhelm T, Fiebich M. Potential of dosage reduction in cone-beam-computed tomography (CBCT) for radiological diagnostics of the paranasal sinuses. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2013 Mar;270(4):1307-15, doi: 10.1007/s00405-012-2177-2, Epub 2012/09/19

Hiles et al. 2021 — Hiles P, Gilligan P, Damilakis J, Briers E, Candela-Juan C, Faj D, Foley S, Frija G, Granata C, de las Heras Gala H, Pauwels R, Merce MS, Simantirakis G, Vano E. European consensus on patient contact shielding. Radiography. 2021 Dec 23;12(1), doi: 10.1186/s13244-021-01085-4

Hohl et al. 2005 — Hohl C, Mahnken AH, Klotz E, Das M, Stargardt A, Muhlenbruch G, Schmidt T, Gunther RW, Wildberger JE. Radiation dose reduction to the male gonads during MDCT: the effectiveness of a lead shield. AJR Am J Roentgenol. 2005 Jan;184(1):128-30, doi: 10.2214/ajr.184.1.01840128, Epub 2004/12/24

HPA 2011 — Health Protection Agency (HPA). Radiation Risks from Medical X-ray Examinations as a Function of the Age and Sex of the Patient. 2011, ISBN 978-0-85951-709-6

Iball und Brettle 2011 — Iball GR, Brettle DS. Organ and effective dose reduction in adult chest CT using abdominal lead shielding. Br J Radiol. 2011 Nov;84(1007):1020-6, doi: 10.1259/bjr/53865832, Epub 2011/10/21

ICRP 2013 — International Commission on Radiological Protection (ICRP). Radiological Protection in Paediatric Diagnostic and Interventional Radiology. ICRP Publication 121. Ann ICRP 42(2):1-63, 2013, ISBN 9780702054396

Iglesias et al. 2017 — Iglesias ML, Schmidt A, Ghuzlan AA, Lacroix L, Vathaire F, Chevillard S, Schlumberger M. Radiation exposure and thyroid cancer: a review. Arch Endocrinol Metab. 2017 Mar-Apr;61(2):180-7, doi: 10.1590/2359-3997000000257, Epub 2017/02/23

Keil et al. 2008 — Keil B, Wulff J, Schmitt R, Auvanis D, Danova D, Heverhagen JT, Fiebich M, Madsack B, Leppek R, Klose KJ, Zink K. Schutz der Augenlinse in der Computertomografie--Dosisevaluation an einem antropomorphen Phantom mittels Thermolumineszenzdosimetrie und Monte-Carlo-Simulationen. Röfo. 2008 Dec;180(12):1047-53, doi: 10.1055/s-2008-1027814, Epub 2009/02/25

Kim et al. 2017 — Kim JS, Kwon SM, Kim JM, Yoon SW. New organ-based tube current modulation method to reduce the radiation dose during computed tomography of the head: evaluation of image quality and radiation dose to the eyes in the phantom study. Radiol Med. Aug;122(8):601-8, doi: 10.1007/s11547-017-0755-5, Epub 2017/03/28

KSR 2021 Eidgenössische Kommission für Strahlenschutz (KSR). Empfehlung der KSR: Verzicht auf die Anwendung von Patientenschutzmitteln in der medizinischen Bildgebung, verabschiedet durch die KSR am 1. Juni 2021

Liebmann et al. 2014 Liebmann M, Lullau T, Kluge A, Poppe B, von Boetticher H. Patient radiation protection covers for head CT scans - a clinical evaluation of their effectiveness. Röfo. 2014 Nov;186(11):1022-7, doi: 10.1055/s-0034-1366279, Epub 2014/04/03

Liu et al. 2008 Liu H, Zhuo W, Chen B, Yi Y, Li D. Patient doses in different projections of conventional diagnostic X-ray examinations. Radiat Prot Dosimetry. 2008;132(3):334-8, doi: 10.1093/rpd/ncn284, Epub 2008/11/04

May et al. 2012 May MS, Wuest W, Lell MM, Uder M, Kalender WA, Schmidt B. Aktuelle Strategien zur Dosisreduktion in der Computertomographie. Radiologe. 2012 Oct;52(10):905-13, doi: 10.1007/s00117-012-2338-8, Epub 2012/08/24

Mekis et al. 2013 Mekis N, Zontar D, Skrk D. The effect of breast shielding during lumbar spine radiography. Radiol Oncol. 2013 Mar;47(1):26-31, doi: 10.2478/raon-2013-0004, Epub 2013/03/02

Ngaile et al. 2008 Ngaile JE, Uiso CB, Msaki P, Kazema R. Use of lead shields for radiation protection of superficial organs in patients undergoing head CT examinations. Radiat Prot Dosimetry. 2008;130(4):490-8, doi: 10.1093/rpd/ncn095, Epub 2008/04/01

Njeh et al. 1997 Njeh CF, Wade JP, Goldstone KE. The use of lead aprons in chest radiography. Radiography. 1997;3(2):143-7, doi: 10.1016/s1078-8174(97)90019-5

Pauwels et al. 2019 Pauwels R, Horner K, Vassileva J, Rehani MM. Thyroid shielding in cone beam computed tomography: recommendations towards appropriate use. Dentomaxillofac Radiol. Oct;48(7):20190014, doi: 10.1259/dmfr.20190014, Epub 2019/06/27

Qu et al. 2012 Qu XM, Li G, Sanderink GC, Zhang ZY, Ma XC. Dose reduction of cone beam CT scanning for the entire oral and maxillofacial regions with thyroid collars. Dentomaxillofac Radiol. 2012 Jul;41(5):373-8, doi: 10.1259/dmfr/30200901, Epub 2012/06/19

Raissaki et al. 2010 Raissaki M, Perisinakis K, Damilakis J, Gourtsoyiannis N. Eye-lens bismuth shielding in paediatric head CT: artefact evaluation and reduction. Pediatr Radiol. 2010 Nov;40(11):1748-54, doi: 10.1007/s00247-010-1715-6, Epub 2010/06/17

Roth et al. 2001 Roth J, Nemec H, Sander R. Bleigummi-Abdeckungen bei Patienten während Röntgenuntersuchungen: Strahlenschutz oder Feigenblatt? Radiologie Aktuell. 2001;2:2-4

Rottke et al. 2013a Rottke D, Patzelt S, Poxleitner P, Schulze D. Effective dose span of ten different cone beam CT devices. Dentomaxillofac Radiol. 2013;42(7):20120417, doi: 10.1259/dmfr.20120417, Epub 2013/04/16

Rottke et al. 2013b Rottke D, Grossekettler L, Sawada K, Poxleitner P, Schulze D. Influence of lead apron shielding on absorbed doses from panoramic radiography. Dentomaxillofac Radiol. 2013;42(10):20130302, doi: 10.1259/dmfr.20130302, Epub 2013/11/01

Samara et al. 2022 Samara ET, Saltybaeva N, Sans Merce M, Gianolini S, Ith M. Systematic literature review on the benefit of patient protection shielding during medical X-ray imaging: Towards a discontinuation of the current practice. Phys Med. 2022 Feb;94:102-9, doi: 10.1016/j.ejmp.2021.12.016, Epub 2022/01/15

Schegerer et al. 2019 Schegerer A, Loose R, Heuser LJ, Brix G. Diagnostische Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgen-anwendungen in Deutschland: Aktualisierung und Handhabung. Röfo. 2019 Aug;191(8):739-51, doi: 10.1055/a-0824-7603, Epub 2019/01/22

Schulze et al. 2017a Schulze RKW, Sazgar M, Karle H, de Las Heras Gala H. Influence of a Commercial Lead Apron on Patient Skin Dose Delivered During Oral and Maxillofacial Examinations under Cone Beam Computed Tomography (CBCT). Health Phys. 2017 Aug;113(2):129-34, doi: 10.1097/HP.0000000000000676

Schulze et al. 2017b Schulze RKW, Cremers C, Karle H, de Las Heras Gala H. Skin entrance dose with and without lead apron in digital panoramic radiography for selected sensitive body regions. Clin Oral Investig. 2017 May;21(4):1327-33, doi: 10.1007/s00784-016-1886-0, Epub 2016/06/22

Sechopoulos et al. 2008 Sechopoulos I, Suryanarayanan S, Vedantham S, D'Orsi CJ, Karellas A. Radiation dose to organs and tissues from mammography: Monte Carlo and phantom study. Radiology. 2008 Feb;246(2):434-43, doi: 10.1148/radiol.2462070256, Epub 2007/12/07

Sechopoulos und Hendrick 2012 Sechopoulos I, Hendrick RE. Mammography and the risk of thyroid cancer. AJR Am J Roentgenol. 2012 Mar;198(3):705-7, doi: 10.2214/AJR.11.7225, Epub 2012/02/24

Seidenbusch und Schneider 2015 Seidenbusch MC, Schneider K. Strahlenhygienische Aspekte bei der Rontgenuntersuchung des Thorax. Radiologe. Jul;55(7):580-7, doi: 10.1007/s00117-014-2776-6, Epub 2015/07/22

SSK 2010 Strahlenschutzkommission (SSK). Strahlenhygienische Anforderungen an IGRT (image guided radiotherapy/ bildgeführte Strahlentherapie). Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 242. Sitzung der SSK am 01./02. Juli 2010. Bekanntmachung im BAnz Nr. 68 vom 04.05.2011 S. 1599

SSK 2011 Strahlenschutzkommission (SSK). Strahlenschutz des Patienten bei CT-Untersuchungen des Schädels (Gantrykippung). Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 248. Sitzung der SSK am 14./15.04.2011. urn:nbn:de:101:1-2013111816647. Bekanntmachung im BAnz Nr. 168 vom 09.11.2011

SSK 2019 Strahlenschutzkomission (SSK). Orientierungshilfe für bildgebende Verfahren. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 300. Sitzung der SSK am 27./28. Juni 2019. Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 51, Schnelle-Verlag, Berlin, 2019, ISBN 978-3-943422-51-1

The Nordic Radiation Protection co-operation 2015 The Nordic Radiation Protection co-operation. Nordic position statement on the use of bismuth shielding for the purpose of dose reduction in CT scanning. Based

on the position statement from the American Association of Physicists in Medicine. https://www.sst.dk/da/Udgivelser/2015/Nordic-position-statement-on-the-use-of-bismuth-shielding, zuletzt aufgerufen am 23.05.2022

Warlow et al. 2014 Warlow T, Walker-Birch P, Cosson P. Gonad shielding in paediatric pelvic radiography: Effectiveness and practice. Radiography. 2014;20(3):178-82, doi: 10.1016/j.radi.2014.01.002

8 Abkürzungsverzeichnis (häufig verwendete Begriffe)

a.p.	Anterior-posterior
CCT	Craniale Computertomografie
CT	Computertomografie
DRW	Diagnostische Referenzwerte
DVT	Digitale Volumentomografie
MPE	Medizinphysik-Experte
NNH	Nasennebenhöhlen
p.a.	Posterior-anterior