

Gedanken zur Nachhaltigkeit beim Umgang mit iodhaltigen Kontrastmitteln in der CT: eine Praxis-orientierte Übersicht am Beispiel von Klinik und Niederlassung

Thoughts on sustainability in the use of iodinated contrast media in CT: a practice-oriented review based on the example of a hospital and a private practice



Autorinnen/Autoren

Fabian Rengier^{1,2}, Mike Notohamiprodjo³, Marc-André Weber⁴

Institute

- 1 Pharmaceuticals Medizin, Radiology, Bayer Vital GmbH, Leverkusen, Germany
- 2 Clinic for Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Heidelberg, Germany
- 3 Radiological and Nuclear Medicine Partnership Munich (PR 1432), DIE RADIOLOGIE, Sonnenstraße 17, 80331 München, Germany
- 4 Institute of Diagnostic and Interventional Radiology, Pediatric Radiology and Neuroradiology, Rostock University Medical Center, Rostock, Germany

Keywords

sustainability, CT, contrast agents

eingereicht 26.7.2023

akzeptiert 13.11.2023

Artikel online veröffentlicht 26.2.2024

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2024; 196: 819–827

DOI 10.1055/a-2246-6697

ISSN 1438-9029

© 2024. The Author(s).

The Author(s). This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution License, permitting unrestricted use, distribution, and reproduction so long as the original work is properly cited. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Dr. Fabian Rengier

Pharmaceuticals Medizin, Radiology, Bayer Vital GmbH, Building K56, 51366 Leverkusen, Germany

Tel.: +49/21 43 01

fabian.rengier@web.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Iodhaltige Kontrastmittel (KM) sind aus der Computertomografie (CT), der Angiografie und dem Herzkatheter sowie weiteren Röntgen-basierten Verfahren z. B. in der Urologie nicht mehr wegzudenken. In diesem Kontext werden iodhaltige KM insbesondere über Patientenausscheidungen neben anderen Spurenstoffen in die Umwelt eingetragen. Gleichzeitig fallen beim Gebrauch iodhaltiger KM auch KM-Reste sowie Verpackungen und Verbrauchsmaterialien an.

Methode Um die Einbringung von iodhaltigen KM in die Umwelt zu reduzieren und einen effizienten Umgang mit den Ressourcen zu fördern, ist daher ein Bewusstsein für den nachhaltigen und verantwortungsvollen Umgang mit iodhaltigen KM und zugehörigen Materialien unerlässlich. Dabei kann durch eine Reihe wirkungsvoller Maßnahmen ein Beitrag geleistet werden. Anhand der Literatur und einer quantitativen Erhebung aus der eigenen Routine werden in dieser Übersichtsarbeit Aspekte der Nachhaltigkeit beim Umgang mit iodhaltigen KM in der CT am Beispiel von Klinik und Niederlassung diskutiert.

Schlussfolgerung Bei der Planung und Durchführung kontrastverstärkter CT-Untersuchungen kann durch personalisierte KM-Protokolle die KM-Nutzung effizienter gestaltet werden. Für die Weiterverwendung von KM-Resten bietet ein Teil der KM-Hersteller Rücknahmeprogramme an. Das Auffangen von KM-Ausscheidungen nach KM-Injektionen mittels Urinbeutel könnte einen großen Einfluss auf die Reduktion des Umwelteintrags haben. Und nicht zuletzt kann durch einen verantwortungsvollen Umgang mit Verbrauchs- und Verpackungsmaterial, insbesondere die Nutzung von Multi-Patienten-Systemen, ein wertvoller Beitrag zur Abfallvermeidung und Ressourcenschonung geleistet werden. Alle diese Maßnahmen können ihre Wirksamkeit im Hinblick auf die Schonung von Umwelt und Ressourcen letztlich dann voll entfalten, wenn deren Umsetzung in der Breite realisiert werden kann. Hierfür ist ein noch größeres Augenmerk auf das Thema Nachhaltigkeit unter allen beteiligten Akteuren erstrebenswert.

Kernaussagen

- Ein nachhaltiger und verantwortungsvoller Umgang mit iodhaltigen KM ist erstrebenswert.
- Durch heute umsetzbare Maßnahmen können der Umwelteintrag reduziert und Ressourcen geschont werden.
- Die KM-Nutzung kann durch Optimierung kontrastverstärkter CT-Untersuchungen effizienter gestaltet werden.
- Rücknahmeprogramme für KM-Reste ermöglichen deren Weiterverwendung.
- Urinbeutel könnten einen großen Einfluss auf die Reduktion des Umwelteintrags haben.

Zitierweise

- Rengier F, Notohamiprodjo M, Weber MA et al. Thoughts on sustainability in the use of iodinated contrast media in CT: a practice-oriented review based on the example of a hospital and a private practice. *Fortschr Röntgenstr* 2024; 196: 819–827

ABSTRACT

Background Iodinated contrast media (CM) have become indispensable in computed tomography (CT), angiography, and cardiac cathlab as well as in other X-ray-based procedures, for example in urology. In this context, iodinated CM are released into the environment in particular via patient excretions along with other trace substances. At the same time, the use of iodinated CM also involves CM leftovers as well as packaging and consumables.

Method In order to reduce the discharge of iodinated CM into the environment and to promote efficient use of resources, awareness of the sustainable and responsible use of iodinated CM and associated consumables is essential. A number of effective measures can contribute to this in the short,

medium, and long term. Based on the literature and quantitative data from our own routine, aspects of sustainability when dealing with CM in computed tomography are discussed in this review using the example of a hospital and a private practice.

Conclusion When planning and performing contrast-enhanced CT examinations, personalized CM protocols can make CM use more efficient. Some CM manufacturers offer recycling programs for CM leftovers. The collection of CM excretions after CM injections using urine bags might have a major impact on reducing the discharge of iodinated CM into the environment. In addition, responsible use of consumables and packaging material, in particular the use of multi-patient systems, can make a valuable contribution to waste avoidance and resource conservation. All of these measures can ultimately be fully effective in terms of protecting the environment and resources if they can be implemented on a broad basis. For this purpose, an even greater focus on the topic of sustainability among all parties involved is desirable.

Key Points

- Sustainable and responsible use of iodinated contrast media is desirable.
- Various measures can be taken today to reduce the environmental impact and conserve resources.
- CM use can be made more efficient by optimizing contrast-enhanced CT examinations.
- Recycling programs for CM leftovers enable their further use.
- Urine bags might have a major impact on reducing the environmental impact.

Einleitung

Kontrastmittel (KM) sind aus der Medizin nicht mehr wegzudenken. Iodhaltige KM werden dabei insbesondere für die Computertomografie (CT), die Angiografie und den Herzkatheter, aber auch bei weiteren Röntgen-basierten Verfahren z. B. in der Urologie eingesetzt. Die Nutzung iodhaltiger KM nimmt aufgrund des wachsenden Bedarfs an Kontrastmittelgestützten Verfahren weltweit stetig zu. In der Folge werden iodhaltige KM neben anderen Spurenstoffen auch in Gewässern gefunden [1]. Daneben fallen beim Gebrauch iodhaltiger KM auch Verpackungen und Verbrauchsmaterialien an.

Um die Einbringung von iodhaltigen KM in die Umwelt zu reduzieren und einen effizienten Umgang mit den Ressourcen zu fördern, ist daher ein Bewusstsein für den nachhaltigen und verantwortungsvollen Umgang mit iodhaltigen KM und zugehörigen Materialien unerlässlich. Zu den Bereichen, in denen hierzu ein Beitrag geleistet werden kann, zählen:

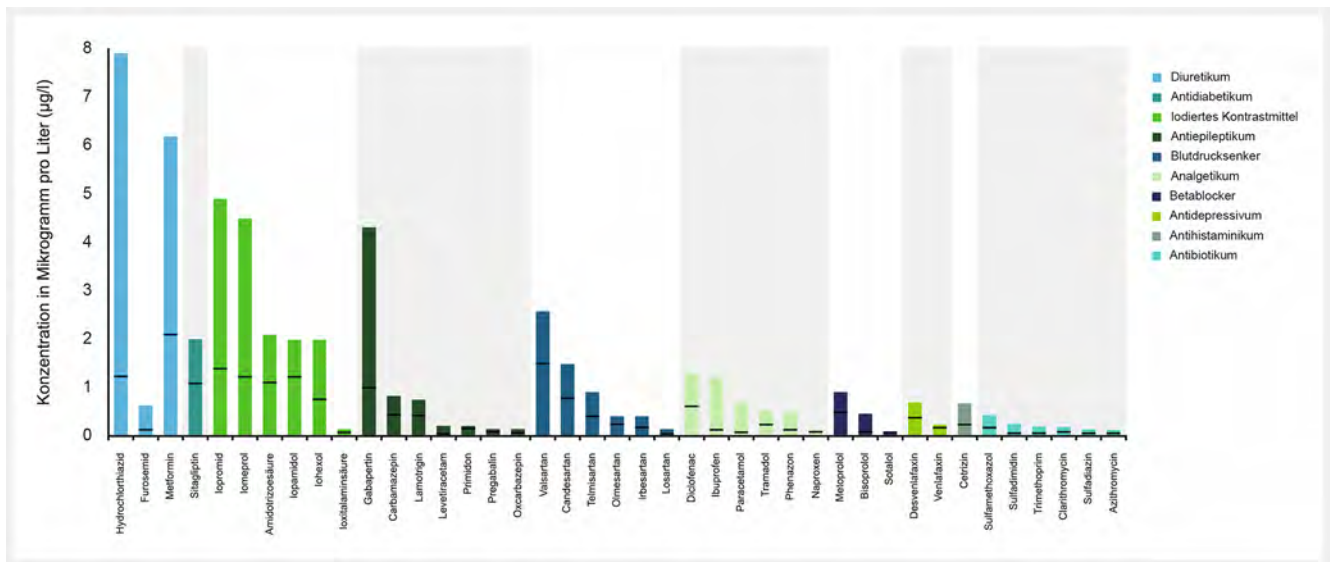
- Planung und Durchführung kontrastverstärkter CT-Untersuchungen
- Entsorgung und Weiterverwendung von Kontrastmittelresten

- Auffangen von und Umgang mit Kontrastmittelausscheidungen
- Umgang mit Verbrauchs- und Verpackungsmaterial

Diese Aspekte werden in der vorliegenden Übersichtsarbeit für die CT in praxisorientierter Weise am Beispiel von Klinik und Niederlassung diskutiert.

Überblick über Umweltaspekte und die Spurenstoffstrategie in Deutschland

Die weltweite Versorgung mit dem Rohstoff Iod stammt zu einem großen Teil aus drei Gebieten: den Wüstennitratminen in Chile, den Öl- und Gasfeldern in Japan, sowie den iodreichen Solequellen in den USA [2]. Die weltweiten Ressourcen am Rohstoff Iod betragen 2019 etwa 6300 000 Tonnen, die weltweite Produktion des Rohstoffs Iod über 30 000 Tonnen [2]. Weltweit werden Iod und seine Verbindungen am häufigsten in iodhaltigen KM, Pharmazeutika, Flüssigkristallanzeigen (LCDs) und Iodophoren verwendet, in absteigender Reihenfolge der verbrauchten Menge [2]. In Deutschland waren die Verkaufsmengen bei rund 600–630 Ton-



► **Abb. 1** Arzneimittelwirkstoffe, die 2019 in Konzentrationen von über 0,1 µg/l in Oberflächengewässern gefunden wurden (Daten aus [43]). Die Säulen stellen die maximal gemessene Konzentration dar, die Striche illustrieren den höchsten Jahresmittelwert aller Messstellen.

nen iodhaltigen KM entsprechend rund 295–310 Tonnen Iod in den Jahren 2017–2019 relativ konstant [3].

Iodhaltige KM sind ein Vertreter einer Reihe von Spurenstoffen, die in Gewässern in geringen Konzentrationen gemessen werden können. Neben anderen Arzneimittelrückständen sind dies auch beispielsweise Körperpflegemittel, Industriechemikalien oder Haushaltschemikalien. Im Vergleich zu anderen Arzneimittelrückständen gehören iodhaltige KM neben Diuretika, Antidiabetika, Antiepileptika und Antihypertensiva zu den Arzneimittelrückständen in Oberflächengewässern mit höheren Konzentrationen als andere Arzneimittelrückstände (► **Abb. 1**).

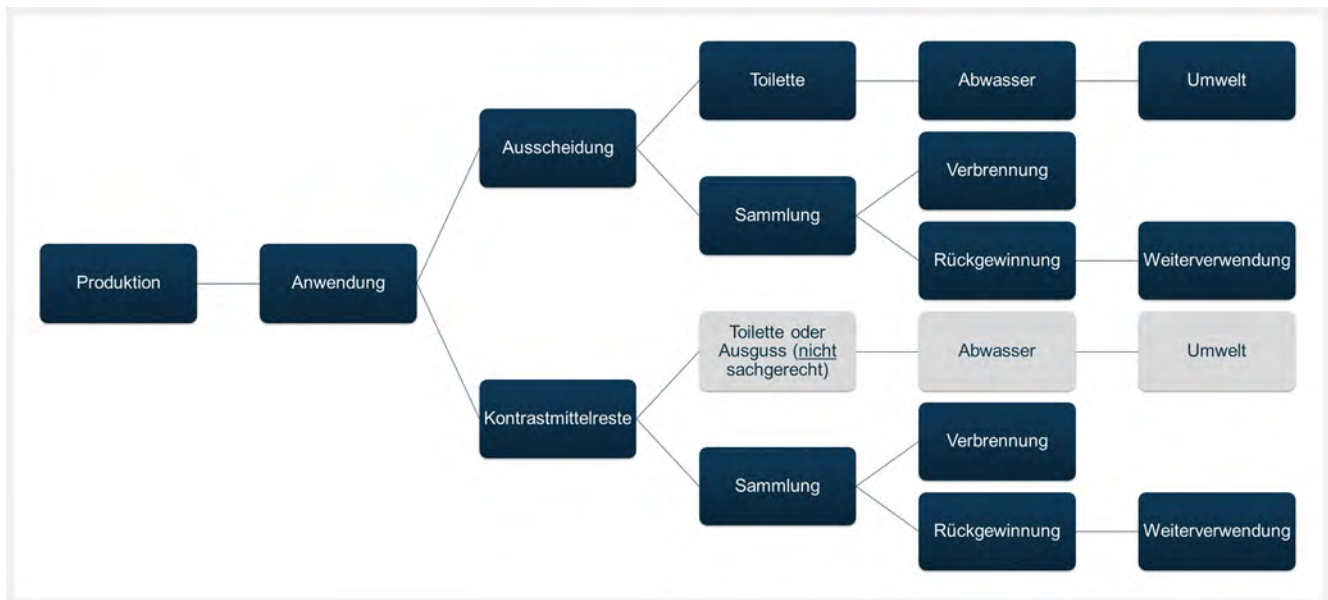
Die Ausscheidung iodhaltiger KM erfolgt nach intravaskulärer Verabreichung bei Patienten mit normaler Nierenfunktion über glomeruläre Filtration und den Harntrakt, innerhalb von etwa 2 Stunden sind bereits 50% des KM ausgeschieden [4–7]. Durch die nahezu unveränderte Ausscheidung über den Urin gelangen die KM in der Regel in die Umwelt und die Gewässer. Daten aus dem Jahr 2020 zeigen im Rhein bei Lobith (Grenzübergang zwischen Deutschland und den Niederlanden) zwischen 10,3 und 175 kg/Tag für einzelne KM [8]. Die Gesamtmenge an iodhaltigen KM, die im Jahr 2020 über den Rhein die Grenze von Deutschland in die Niederlande überquerte, betrug dabei etwa 70 Tonnen [8, 9].

Iodhaltige KM sind im Unterschied zu therapeutischen Arzneimitteln biologisch inaktive Substanzen, ihre Ökotoxizität wird daher als gering eingeschätzt [10]. Unter bestimmten Bedingungen können in der Umwelt, bei der Abwasserbehandlung oder bei der Trinkwasseraufbereitung Umwandlungsprozesse stattfinden und dabei Nebenprodukte entstehen, die für die Umwelt und potenziell auch für unser Trinkwasser ein Risiko darstellen könnten [9].

Vor diesem Hintergrund wurde in Deutschland 2016 durch das Bundesumweltministerium und das Umweltbundesamt ein Dialogprozess begonnen, um Inhalte einer Spurenstoffstrategie des Bundes zu erarbeiten. Dieser Prozess wurde vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI geleitet sowie von

der IKU GmbH moderiert. Ziel war es, Handlungsempfehlungen für Maßnahmen an verschiedenen Punkten des Lebenswegs ausgewählter Stoffgruppen zu identifizieren bzw. zu erarbeiten. Es wurden dabei Verbände und Akteure entlang des Lebenswegs der Produktion, der Anwendung, der Abwasserbehandlung sowie der Entsorgung beteiligt (► **Abb. 2**) [11]. In diesem Prozess wurde der *Runde Tisch Röntgenkontrastmittel* veranlasst, in dessen Rahmen folgende Vermeidungs- und Reduzierungsmaßnahmen identifiziert, diskutiert, bewertet und 2021 veröffentlicht wurden: [10]

- Eine Substitution kontrastmittelverstärkter Untersuchungen durch Untersuchungen ohne iodhaltiges KM erscheint nur äußerst eingeschränkt möglich. Eine Sensibilisierung des medizinischen Personals für Umweltaspekte, insbesondere für eine sachgerechte Entsorgung von KM-Resten, auf Veranstaltungen und anderen Wegen wird angestrebt.
- Aus Umweltgesichtspunkten gebe es keine bevorzugte Empfehlung bestimmter iodhaltiger KM.
- Für die Umsetzung von Urinauffangsystemen zur Verringerung des Eintrags iodhaltiger Kontrastmittel in das Abwasser wurde eine Konzeptionsstudie für eine „Ausweitung der Pilotversuche mit Auffangsystemen in Krankenhäusern/Praxen“ entsprechend des Ergebnispapiers des Spurenstoff-Dialogprozesses [10] beauftragt.
- In Kläranlagen kann kommunal mithilfe von Aktivkohle oder Ozon eine Verringerung der KM-Ablaufkonzentrationen erreicht werden. Die Wirksamkeit der Verfahren sei jedoch begrenzt und ein flächendeckender Ausbau der Kläranlagen mit diesen speziellen Verfahren nicht vorgesehen. Eine solche Maßnahme könne daher einen lokalen, aber keinen flächendeckenden Beitrag zur Verringerung von iodhaltigen KM in Gewässern leisten.
- Bei Herstellung und Verarbeitung werden Abwassereinleitungen durch eine Kombination verschiedener Verfahren bereits auf ein minimales Maß reduziert.



► **Abb. 2** Lebensweg von Iod in Kontrastmitteln, vereinfachtes Schema, Erläuterung siehe Text.

- Prinzipiell könnte die Rückgewinnung des Iods sowohl zur Rohstoffsicherheit als auch zur Reduzierung des Eintrags in die Umwelt beitragen. Eine Rückgewinnung wäre technisch aus Separationsurin und Urinbeuteln möglich. Eine Rückgewinnung aus Kommunalabwasser werde aufgrund des hohen Material- und Energieaufwands als nicht wirtschaftlich angesehen.

Planung und Durchführung kontrastverstärkter CT-Untersuchungen

Nach fundierten Schätzungen wird von einer Gesamtzahl von etwa 300 Millionen CT-Untersuchungen pro Jahr weltweit ausgegangen [12], davon 40 % kontrastverstärkte CT-Untersuchungen mit durchschnittlich circa 100 ml iodhaltigem KM pro Untersuchung.

Ein bewussterer Umgang bei der Anwendung, insbesondere bei der Planung und Durchführung kontrastverstärkter CT-Untersuchungen, könnte dazu beitragen, den Verbrauch iodhaltiger KM zu reduzieren und damit letztlich auch die Iodeinbringung in die nachfolgenden Systeme zu verringern (► **Abb. 2**). Natürlich soll dabei die diagnostische Aussagekraft der Bilder nicht beeinträchtigt werden. Im Folgenden werden mögliche Maßnahmen diskutiert.

Personalisierte Kontrastmittelprotokolle

Die neugefasste Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der CT aus dem Jahre 2022 fordert für viele Kontrastmittelprotokolle eine Anpassung nach dem Körpergewicht [13]. Beispielsweise gibt die Leitlinie für eine Abdomen-CT mit KM eine gewichtsadaptierte Ioddosis von 0,3–0,6 g Iod/kg Körpergewicht vor, oder für eine CT-Angiografie der Aorta eine gewichtsadaptierte Ioddosis von 0,2–0,4 g Iod/kg Körpergewicht

(► **Tab. 1**). Darüber hinaus empfiehlt die Leitlinie, für CT-Angiografien besonders den Parameter Röhrenspannung zu berücksichtigen.

Durch die Personalisierung von Kontrastmittelprotokollen nach Körpergewicht und Röhrenspannung kann nicht nur eine konsistente Bildqualität erreicht, sondern auch bis zu 56 % KM eingespart werden, für unterschiedliche Untersuchungen wie Koronar-CT-Angiografien, CT-Angiografien der Aorta oder Abdomen-CT [14–22]. In Bezug auf die Adaptation nach der Röhrenspannung bei monoenergetischen CT-Untersuchungen ist es eine etablierte Größe, dass im Vergleich zu einer Referenz bei 120 kVp mit jeder Reduktion der Röhrenspannung um 10 kVp die KM-Dosis um jeweils 10 % gesenkt werden kann mit erhaltenem Bildkontrast [23]. Bei Nutzung einer Röhrenspannung von 70 kVp – sofern der vorhandene Scanner und der Patientenhabitus dies ermöglichen – bedeutet dies also eine KM-Dosiseinsparung von etwa 50 % allein durch die Berücksichtigung der Röhrenspannung. Mit Einführung der Dual-Energy-Scanner 2005 und der Photon-Counting-Scanner 2022 wurden zudem virtuelle monoenergetische Rekonstruktionen möglich, die ebenfalls das Potenzial von KM-Dosiseinsparungen aufweisen [23].

Mit diesen Maßnahmen können folglich nicht nur Iodeinträge aus Urinausscheidungen in die Umwelt reduziert, sondern auch Kosten eingespart werden. Zur praktischen Umsetzung solcher personalisierter Kontrastmittelprotokolle gibt es bereits Software-Lösungen unterschiedlicher Hersteller, die eine automatisierte Berechnung patientenindividueller KM-Protokollparameter ermöglichen [24, 25]. Darüber hinaus bieten verschiedene Hersteller einen klinischen Applikationsservice an, der vor Ort als kompetenter Ansprechpartner für Optimierungen zur Seite stehen kann [26, 27].

► **Tab. 1** Zwei ausgewählte Beispiele zur personalisierten Untersuchungstechnik gemäß der Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomografie [13].

| | CTA Aorta | Abdomen-CT |
|---|---|---|
| Zielanreicherung | Blutpool ≥ 250 HE Bei TAVI ≥ 150 HE ausreichend | Nicht definiert |
| Kontrastmittel-Timing | Bolustrack oder Testbolus | Bolustrack bei mehrphasigen Protokollen |
| Lage und Größe der ROI zur Verfolgung des Kontrastmittelbolus | Aorta ascendens ROI ≥ 1 cm ² , ca. halber Innendurchmesser des Gefäßes | Aorta descendens ROI ≥ 1 cm ² , ca. halber Innendurchmesser des Gefäßes |
| Verzögerung/Schwellenwert | 120–180 HE, Scanverzögerung ca. 5 s | Standardabdomen: 70–85 s Mehrphasige Protokolle: ≥ 100 HE, Scanverzögerung ca. 10 s |
| Gewichtsadaptation | 0,2–0,4 g Iod/kg Körpergewicht ≤ 45 g Iod Gesamtmenge | 0,3–0,6 g Iod/kg Körpergewicht ≤ 45 g Iod Gesamtmenge |
| Berücksichtigung der Röhrenspannung | Empfohlen | Optional |
| Iod-Einbringrate* | 1,1–1,9 g Iod/s | 1,1–1,9 g Iod/s |
| Beispiel für Kontrastmittel mit 300 mg Iod/ml | Ca. 50–100 ml mit 3,7–6,3 ml/s | Ca. 50–100 ml mit 3,7–6,3 ml/s |
| NaCl-Spülbolus | ca. 30–50 ml mit identischer Flussrate | ca. 30–50 ml mit identischer Flussrate |

* Die Iod-Einbringrate ist definiert als Produkt aus der Iod-Konzentration des Kontrastmittels und der Injektionsgeschwindigkeit.

Kochsalzbolus

Ein Kochsalzbolus, das heißt die Injektion von Kochsalzlösung unmittelbar nach der KM-Injektion, gehört zum Standard jedes KM-Protokolls [13]. Der primäre Zweck des Kochsalzbolus ist es, das KM aus dem Injektionsschlauch und den Armvenen in die zentralen Venen zu treiben. Hierdurch kann, je nach Viskosität des KM, die Gesamtheit oder der Großteil des KM-Bolus in die Zielregion der CT-Untersuchung gelangen und somit zur Kontrastierung beitragen. Gleichzeitig führt der Kochsalzbolus zu einem kompakteren KM-Bolus, was durch den entsprechend geringeren Verdünnungseffekt mit dem Blut zu einem schnelleren Anstieg der Kontrastierung in der Zielregion sowie einer stärkeren Kontrastierung führt. Damit stellt der Kochsalzbolus einen entscheidenden Aspekt bei der effizienten Nutzung des KM dar.

Typischerweise werden sowohl KM- als auch Kochsalzinjektion bei CT-Untersuchungen mithilfe automatischer Powerinjektoren ausgeführt [28]. In der Regel werden 30–50 ml Kochsalzlösung mit identischer Injektionsgeschwindigkeit wie die vorherige KM-Injektion gegeben [13].

Entsorgung und Weiterverwendung von Kontrastmittelresten

Mit der sachgerechten Entsorgung, Sammlung und Weiterverwendung von KM-Resten in der CT kann ein wertvoller Beitrag geleistet werden, auch wenn in den Interventionsbereichen der verschiedenen Fachdisziplinen wie Gefäßmedizin, Kardiologie oder Radiologie typischerweise größere Mengen an KM-Resten anfallen als in der CT und in Bezug auf die CT die Urinausscheidung

nach KM-Injektion insgesamt wesentlich größere KM-Mengen enthält als KM-Reste anfallen [13].

Serviceprogramme wie z. B. die der Bayer AG und von GE HealthCare zur Rücknahme von KM-Resten und Rückgewinnung von Iod ermöglichen eine Weiterverwendung des Iods und somit eine Verlängerung des Iod-Lebenswegs [29, 30]. Zur Sammlung der KM-Reste wird ein für den Nutzer kostenloser Behälter zur Verfügung gestellt, der schließlich eingesammelt und an den Produktionsstandorten der Bayer AG in Deutschland bzw. von GE HealthCare in Norwegen verarbeitet wird. Durch solche Programme kann nicht nur der Eintrag von Iod in die Umwelt und Gewässer reduziert, sondern auch die Ressource der Iod-Rohstoffquelle geschont werden.

Eine direkte Weiterverwendung von KM-Resten vor Ort ist beispielsweise durch die Nutzung für ex vivo oder tierexperimentelle Studien möglich. An der Universitätsmedizin Rostock werden Teile der KM-Reste aus der Radiologie beispielsweise an zentrale Einrichtungen für die Kleintierbildung und Versuchstierhaltung abgegeben. Sollen KM-Reste entsorgt werden, existieren hierfür detaillierte Entsorgungsvorschriften und Empfehlungen, insbesondere die Mitteilung der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft (LAGA) 18 Vollzugshilfe zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes [31]: „Arzneimittel einschließlich unverbrauchter Röntgenkontrastmittel sind getrennt zu erfassen. Eine gemeinsame Entsorgung dieser Abfälle mit Abfällen nach AS 18 01 04 [Anmerkung: Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden] oder mit gemischten Siedlungsabfällen ist möglich. Wichtig dabei ist, dass ein missbräuchlicher Zugriff durch Dritte und eine damit verbundene Gefährdung ausgeschlossen ist sowie folgend eine thermische Behandlung sichergestellt wird.“ [vgl. AS 18 01 09

aus [31]]. Die thermische Behandlung (Verbrennung) zerstört die chemische Zusammensetzung des KM und es entstehen molekulares Iod (I_2) und Iodsalze, die auch natürlicherweise in der Umwelt vorhanden sind [32]. Eine Entsorgung von KM-Resten über den Ausguss oder die Toilette in das Abwasser ist somit nicht sachgerecht.

Auffangen von und Umgang mit Kontrastmittelausscheidungen

Bei Patienten mit normaler Nierenfunktion werden iodhaltige KM nach intravaskulärer Injektion schnell überwiegend über den Harntrakt ausgeschieden, innerhalb von etwa 2 Stunden bereits etwa 50% [4–7]. Dementsprechend sind insbesondere die ersten Urinausscheidungen nach einer KM-Injektion für ein Auffangen von Interesse, um KM-Ausscheidungen im Abwasser und somit den Eintrag in die Umwelt zu reduzieren. Urinausscheidungen können entweder über Urinsammelbehälter oder über separate Toiletten mit einem eigenen Rohrsystem gesammelt werden. Ambulanten Patienten können geeignete Urinsammelbehälter beispielsweise in Form von Urinbeuteln mit einem absorbierenden Material, welches den Urin fixiert, auch mitgegeben werden.

Dieses Konzept wurde in Pilotstudien in Deutschland und den Niederlanden mit mehreren Tausend Patienten untersucht, bei denen Patienten jeweils vier Urinbeutel erhielten und auf freiwilliger Basis dazu aufgefordert wurden, diese Beutel für die ersten vier Urinausscheidungen nach einer Kontrastmittelverstärkten CT zu verwenden [9, 33]. Die überwiegende Mehrheit der Patienten gab an, dass sie die Urinbeutel benutzten. Es konnte dabei eine Reduktion der KM-Konzentration im Abwasser um 45% gezeigt werden [9, 33].

Während eine Rückgewinnung des Iods aus dem Kommunalabwasser zwar technisch prinzipiell möglich, aber aufgrund des hohen Material- und Energieaufwands nicht wirtschaftlich wäre, könnte die Rückgewinnung des Iods aus Urinsammelbehältern oder Separationsurin technisch möglich und abhängig vom Iodpreis potenziell auch wirtschaftlich sein [13]. Eine Rückgewinnung des Iods könnte auch hier sowohl zur Rohstoffsicherheit, als auch zur Reduzierung des Eintrags in die Umwelt beitragen. Daneben ist eine sachgerechte Entsorgung von benutzten Urinsammelbehältern über die Krankenhausabfälle oder den privaten Hausmüll analog der Entsorgung von Kontrastmittelresten (s. o.) mit nachfolgender Verbrennung möglich.

Eine breite, idealerweise bundesweite Implementierung von Urinauffangsystemen hängt nicht nur mit der praktischen Umsetzung, sondern auch den Kosten bzw. deren Finanzierung zusammen. Mehrere Studien untersuchten in diesem Kontext die Kosten für Urinsammelbehälter-Maßnahmen. Analysiert bzw. geschätzt wurden dabei je nach Studie Kosten für Material, Personal und/oder Entsorgung. Die Materialkosten variierten zwischen 1,90 Euro bis 6,69 Euro pro PatientIn [34–37]. Der zeitliche Mehraufwand des Personals wurde auf etwa 16 Minuten pro PatientIn im stationären Setting und etwa 6 Minuten im ambulanten Setting geschätzt [34, 37]. Die Entsorgungskosten beliefen sich auf 0,15 Euro bis 0,39 Euro pro PatientIn im stationären Setting und 0,05 Euro im ambulanten Setting [34, 37, 38]. Die Berlin-Studie

2004–2006 führte eine vollständige Kostenschätzung für eine zukünftige Anwendung im stationären Setting durch und kam zu Kosten in Höhe von 10,03 Euro pro PatientIn, entsprechend circa 380 Euro pro kg Iod [34]. Eine darauf basierende Hochrechnung für alle Berliner Krankenhäuser ergab jährliche Kosten von über 1,3 Mio. Euro [34]. Eine lineare Hochrechnung dieser Kostenschätzung aus dem Jahre 2006 auf die Gesamtbevölkerung Deutschlands ergäbe allein für den stationären Bereich Kosten von über 30 Mio. Euro pro Jahr. Wie solche Summen refinanziert werden könnten, ist bislang weiterhin völlig offen [3].

Ein anderer, umfassender Ansatz zu pharmazeutischen Rückständen im Krankenhausabwasser könnte in einer dezidierten medizinischen Abfallbehandlung vor Ort liegen. Ein Beispiel hierfür ist das Pharmafilter-Konzept, das darauf abzielt, sowohl Feststoffe als auch flüssige Abfallstoffe in speziellen Fermentierungsanlagen in der Nähe des Krankenhauses zu behandeln. Solche Systeme produzieren zugleich Biogas und entfernen ein breites Spektrum von Arzneimitteln, einschließlich Antibiotika, aus dem Abwasser des Krankenhauses. Eine Pilotstudie in den Niederlanden zeigte eine vollständige Entfernung von iodhaltigen KM aus dem Krankenhausabwasser mittels dieser Filtersysteme [39].

Umgang mit Verbrauchs- und Verpackungsmaterial

Mengen an Verbrauchsmaterial und Entsorgung

Verbrauchs- und Verpackungsmaterialien umfassen Patientenunterlagen, Patientenschläuche, periphere Venenverweilkanülen, Spritzen für Kochsalz, Einmalhandschuhe, Nierenschalen, Desinfektionsmittel für Haut und Flächen, Tupfer, Pflaster und deren Verpackungen. In Bezug auf Kohlenstoffdioxidemissionen wirken sich Verbrauchsmaterialien unter Betrachtung des gesamten Zyklus von der Produktion über Lieferketten bis zum Verbrauch und der Entsorgung additiv zu den Emissionen aus der Produktion, den Lieferketten, dem Stromverbrauch und der Entsorgung der Großgeräte aus [40, 41]. Vor diesem Hintergrund bestehen an den verschiedenen Stellen dieses Zyklus Ansatzpunkte zur Optimierung.

Multi-Patienten-Systeme

Bei der Verwendung von Einmal-Systemen können bei jeder KM-Anwendung Reste entstehen, die dann verworfen werden müssen. Gleichzeitig müssen dabei nach jeder KM-Anwendung die Einmalspritzen entsorgt werden.

Multi-Patienten-Systeme verhindern den Rückfluss von Kontrastmittel, Kochsalz und Blut und somit eine Kreuzkontamination zwischen Patienten. Sie sind für die Nutzung bei mehreren Patienten über einen definierten Zeitraum zugelassen. Durch die Verwendung von Multi-Patienten-Systemen können nicht nur KM-Reste reduziert, sondern auch die Mengen an Verbrauchsmaterialien reduziert werden. Multi-Patienten-Systeme ermöglichen den flexiblen und situationsabhängigen Einsatz von Flaschengrößen von 50 bis 500 ml. Typischerweise kann am Tagesanfang mit Flaschengrößen von 500 ml begonnen werden und dann im weiteren Tagesverlauf die Flaschengröße gegen Tagesende an den noch er-

warteten Bedarf angepasst werden [42]. Hierbei sind die maximal zugelassenen Nutzungszeiten des Multi-Patienten-Systems und der Kontrastmittelflasche zu beachten. Diese Zeit variiert zwischen zehn und 24 Stunden und ist aus hygienischen Gründen begrenzt, da eine Gefahr inter-individueller Kontaminationen unbedingt vermieden werden muss.

Reflektion der eigenen Routine in der Klinik bzw. Niederlassung

Abschließend sollen oben genannte Aspekte der Nachhaltigkeit beim Umgang mit iodhaltigen KM in der CT anhand einer quantitativen Erhebung aus der eigenen Routine in unserer Klinik (Universitätsmedizin Rostock) bzw. unserer Niederlassung (DIE RADIOLOGIE München) diskutiert werden. Als Erhebungszeitraum dienten in der Klinik 24 Stunden eines Wochentags an zwei Geräten und in der Niederlassung 15 aufeinanderfolgende Wochentage an einem Gerät. Der Anteil kontrastverstärkter CT-Untersuchungen in Höhe von circa 40% und das hierfür durchschnittlich eingesetzte KM-Volumen in Höhe von circa 100 ml gemäß der oben angeführten weltweiten Schätzungen [12] reflektierte dabei sehr gut die Realität unserer eigenen Routine.

Planung und Durchführung kontrastverstärkter CT-Untersuchungen

In der klinischen Routine unserer Klinik bzw. Niederlassung wurden Kontrastmittelprotokolle bis 2022 mit der Ausnahme von adipösen PatientInnen nicht an das Körpergewicht angepasst. Im Zuge der neugefassten Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der CT aus dem Jahre 2022 werden die dortigen Vorgaben zur Personalisierung von Kontrastmittelprotokollen 2023 sukzessive in die Routine unserer Klinik bzw. Niederlassung übernommen.

Entsorgung und Weiterverwendung von Kontrastmittelresten

In der klinischen Routine unserer Klinik bzw. Niederlassung betragen die KM-Reste durchschnittlich 12 ml bzw. 9,3 ml pro durchgeführte KM-verstärkte CT im Vergleich zu 70–150 ml injizierter KM-Menge. Das Verhältnis von KM-Resten zu KM-Mengen in Urinausscheidungen belief sich demnach auf etwa 1:10. Zum Zeitpunkt der Manuskriptverfassung im Juni 2023 werden alle KM-Reste – mit Ausnahme eines Anteils zur Weiterverwendung in ex vivo und tiereperimentellen Studien der Universitätsmedizin Rostock – innerhalb der KM-Flasche in den Klinikmüll bzw. den Restmüll entsorgt. Die Teilnahme an einem Serviceprogramm zur Rücknahme von KM-Resten zur Rückgewinnung von Iod soll nun in beiden Einrichtungen geprüft werden.

Umgang mit Verbrauchs- und Verpackungsmaterial

In der klinischen Routine unserer Klinik bzw. Niederlassung entstand Abfall im Umfang von durchschnittlich einem 120-Liter-Abfallsack für alle 12–18 Patienten. In einer beispielhaften Zählung fielen dabei für 100 Patienten durchschnittlich 44 periphere Venenverweilkanülen, 59 Tupfer, 60 Pflaster, 74 Einmalhandschuhe,

24 Nierenschalen, 37 Kochsalzspritzen und deren Verpackungen an. Dabei landeten in der Klinik bis auf die größeren Verpackungskartons alle Verbrauchs- und Verpackungsmaterialien in dem gleichen Abfallsack. Die Einführung einer Abfalltrennung für Verpackungsmaterialien wäre in diesem Kontext erstrebenswert. In der Niederlassung bestand bereits eine Abfalltrennung für Kartons und Verpackungsmaterialien jeweils getrennt von den übrigen Abfällen.

Fazit

Nachhaltigkeit findet im Gesundheitswesen zunehmend Beachtung. Sowohl Kliniken als auch Niederlassungen versuchen, ihren ökologischen Fußabdruck zu verringern, nachhaltiger zu handeln und dadurch auch Kosten zu sparen.

In der CT tragen iodhaltige KM und Verbrauchsmaterialien neben dem Stromverbrauch der Großgeräte zu Kohlenstoffdioxidemissionen bei. Ein nachhaltiger und verantwortungsvoller Umgang mit iodhaltigen KM ist darüber hinaus aus Aspekten des Eintrags von KM in die Umwelt und Ressourcenschonung erstrebenswert. Hierfür kann durch eine Reihe wirkungsvoller Maßnahmen kurz-, mittel- und langfristig ein Beitrag geleistet werden.

Bei der Planung und Durchführung kontrastverstärkter CT-Untersuchungen kann durch personalisierte KM-Protokolle und die Nutzung eines Kochsalzbolus für alle KM-Protokolle die KM-Nutzung effizienter gestaltet werden. Für die Weiterverwendung von Kontrastmittelresten bieten KM-Hersteller Rücknahmeprogramme an. Das Auffangen von KM-Ausscheidungen nach KM-Injektionen mittels Urinbeuteln oder separaten Toiletten könnte zukünftig einen großen Einfluss auf die Reduktion des Umwelteintrags haben. Und nicht zuletzt kann durch einen verantwortungsvollen Umgang mit Verbrauchs- und Verpackungsmaterial, insbesondere durch die Nutzung von Multi-Patienten-Systemen, ein wertvoller Beitrag zur Abfallvermeidung und Ressourcenschonung geleistet werden.

Interessenkonflikt

Fabian Rengier ist Angestellter der Bayer Vital GmbH und hält Aktien der Bayer AG. Die anderen Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Katy Priebe, leitende MTR am Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Kinder- und Neuroradiologie an der Universitätsmedizin Rostock und bei Alexandra Klang, leitende MTR am Standort Starnberg von DIE RADIOLOGIE für die Unterstützung bei der Datenerhebung. Wir danken zudem Dr. Martin Rohrer und Dr. Alexander Boreham (co.medical, Berlin) für die Unterstützung beim Medical Writing.

Literatur

- [1] Sengar A, Vijayanandan A. Comprehensive review on iodinated X-ray contrast media: Complete fate, occurrence, and formation of disinfection

- byproducts. *Sci Total Environ* 2021; 769: 144846. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144846
- [2] U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries (Januar 2020). Im Internet (Stand: 06.07.2023): <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-iodine.pdf>
- [3] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.). Studie zur Prüfung der Praxistauglichkeit von Urinauffangsystemen zur Verringerung des Röntgenkontrastmittel-Eintrags in das Abwasser – Sammlung von RKM-haltigem Urin von Patient:innen (Juni 2021). Im Internet (Stand: 06.07.2023): <https://www.isi.fraunhofer.de/de/competence-center/nachhaltigkeit-infrastruktursysteme/projekte/rkm-studie.html>
- [4] Bayer Vital GmbH. Fachinformation Ultravist®-240, -300, -370 (Februar 2023). Im Internet (Stand: 25.05.2023): <https://www.fachinfo.de/pdf/002744>
- [5] GE Healthcare Buchler GmbH & Co. KG. Fachinformation VISIPAQUETM 270/- 320 (April 2021). Im Internet (Stand: 25.05.2023): https://www.gehealthcare.de/-/jssmedia/global/dach/files/pdx/contrast-media/fachinformation_visipaque-270-320_stand-april-2021.pdf?rev=-1&hash=85B7C954DD0FBFAD2638879AFC42072B
- [6] Guerbet GmbH. Fachinformation Xenetix® 300 (Mai 2017). Im Internet (Stand: 25.05.2023): https://www.guerbet.com/media/y3opbwai/fi_xenetix-300_1705.pdf
- [7] Lorusso V, Taroni P, Alvino S et al. Pharmacokinetics and safety of iomeprol in healthy volunteers and in patients with renal impairment or end-stage renal disease requiring hemodialysis. *Invest Radiol* 2001; 36: 309–316. doi:10.1097/00004424-200106000-00002
- [8] Neefjes REM, de Jonge JA, Bannink A. Die Qualität des Rheinwassers im Jahr 2020. In: Jahresbericht 2020 – Der Rhein (21.09.2021). Im Internet (Stand: 30.05.2023): www.riwa-rijn.org
- [9] Dekker HM, Stroomberg GJ, Prokop M. Tackling the increasing contamination of the water supply by iodinated contrast media. *Insights Imaging* 2022; 13: 30. doi:10.1186/s13244-022-01175-x
- [10] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.). Ergebnisse des Runden Tisches Röntgenkontrastmittel zum Ende der Pilotphase zur Spurenstoffstrategie des Bundes (September 2021). Im Internet (Stand: 30.05.2023): https://www.dialog-spurenstoffstrategie.de/spurenstoffe-wAssets/docs/Ergebnisbericht_Runder-Tisch-RKM_Okt2021.pdf
- [11] BMU/UBA (Hrsg.). Ergebnisrapport – Ergebnisse der Phase 2 des Stakeholder-Dialogs „Spurenstoffstrategie des Bundes“ zur Umsetzung von Maßnahmen für die Reduktion von Spurenstoffeinträgen in die Gewässer. (März 2019). Im Internet (Stand: 29.05.2023): https://www.dialog-spurenstoffstrategie.de/spurenstoffe/aktuelles/meldungen/abschluss_Phase2.php
- [12] Schockel L, Jost G, Seidensticker P et al. Developments in X-Ray Contrast Media and the Potential Impact on Computed Tomography. *Invest Radiol* 2020; 55: 592–597. doi:10.1097/RLI.0000000000000696
- [13] Bundesärztekammer. Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie. Deutsches Ärzteblatt 2022. doi:10.3238/arztebl.2022.LL_Qualitätssicherung_Computertomographie
- [14] Muhl C, Kok M, Altintas S et al. Evaluation of individually body weight adapted contrast media injection in coronary CT-angiography. *Eur J Radiol* 2016; 85: 830–836. doi:10.1016/j.ejrad.2015.12.031
- [15] Martens B, Hendriks BMF, Eijvoogel NG et al. Individually Body Weight-Adapted Contrast Media Application in Computed Tomography Imaging of the Liver at 90 kVp. *Invest Radiol* 2019; 54: 177–182. doi:10.1097/RLI.0000000000000525
- [16] Hendriks BM, Kok M, Muhl C et al. Individually tailored contrast enhancement in CT pulmonary angiography. *Br J Radiol* 2016; 89: 20150850. doi:10.1259/bjr.20150850
- [17] Seifarth H, Puesken M, Kalafut JF et al. Introduction of an individually optimized protocol for the injection of contrast medium for coronary CT angiography. *Eur Radiol* 2009; 19: 2373–2382. doi:10.1007/s00330-009-1421-7
- [18] Hendriks BMF, Eijvoogel NG, Kok M et al. Optimizing Pulmonary Embolism Computed Tomography in the Age of Individualized Medicine: A Prospective Clinical Study. *Invest Radiol* 2018; 53: 306–312. doi:10.1097/RLI.0000000000000443
- [19] Martens B, Wildberger JE, Hendriks BMF et al. A Solution for Homogeneous Liver Enhancement in Computed Tomography: Results From the COMpLex Trial. *Invest Radiol* 2020; 55: 666–672. doi:10.1097/RLI.0000000000000693
- [20] van den Boogert TPW, Lopes RR, Lobe NHJ et al. Patient-tailored Contrast Delivery Protocols for Computed Tomography Coronary Angiography: Lower Contrast Dose and Better Image Quality. *J Thorac Imaging* 2021; 36: 353–359. doi:10.1097/RTI.0000000000000593
- [21] Martin SS, Giovagnoli DA, Abadia AF et al. Evaluation of a Tube Voltage-Tailored Contrast Medium Injection Protocol for Coronary CT Angiography: Results From the Prospective VOLCANIC Study. *Am J Roentgenol* 2020; 215: 1049–1056. doi:10.2214/Am J Roentgenol.20.22777
- [22] Kok M, Muhl C, Hendriks BM et al. Optimizing contrast media application in coronary CT angiography at lower tube voltage: Evaluation in a circulation phantom and sixty patients. *Eur J Radiol* 2016; 85: 1068–1074. doi:10.1016/j.ejrad.2016.03.022
- [23] Canstein C, Korpelaar JG. White paper – Reduction of contrast agent dose at low kV settings. (Juni 2022). Im Internet (Stand: 30.05.2023): https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/b7c69e50dd4c5097/c522f03d3634/CT_Reduction-of-Contrast-Agent-Dose-at-low-kV_Whitepaper_USA_2022.pdf
- [24] Bayer Vital GmbH. Smart Protocols. So individuell wie Ihre Patienten (Mai 2023). Im Internet (Stand 30.05.2023): <https://www.radiologie.bayer.de/ct/medrad-r-centargo/smart-protocol>
- [25] Guerbet GmbH. Contrast&Care®. Im Internet (Stand: 30.05.2023): <https://www.guerbet.com/de-de/produkte-und-losungen/digitale-losungen/contrast-care>
- [26] Bayer Vital GmbH. Applikationsservice – Anwendungsorientierte Lösungen für Sie und Ihre Patienten (Mai 2023). Im Internet (Stand: 30.05.2023): <https://www.radiologie.bayer.de/service/applikationsservice>
- [27] Guerbet GmbH. OptiProtect™ – Service und Support zur Aufrechterhaltung der Injektorenleistung. Im Internet (Stand 23.05.2023): <https://www.guerbet.com/de-de/produkte-und-losungen/service-support/optiprotect>
- [28] Bae KT. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches. *Radiology* 2010; 256: 32–61. doi:10.1148/radiol.10090908
- [29] Bayer Vital GmbH. re:contrast – Zum Wohle Ihrer Patienten. Zum Wohle der Umwelt (Mai 2023). Im Internet (Stand: 30.05.2023): <https://www.radiologie.bayer.de/ct/roentgenkontrastmittel/re-contrast>
- [30] GE Healthcare Buchler GmbH & Co. KG. Ihr Umwelt Service von GE Healthcare (Juni 2021). Im Internet (Stand: 30.05.2023): https://www.gehealthcare.de/-/jssmedia/global/dach/files/pdx/contrast-media/ec_abholungsflyer_jb01429de.pdf?rev=-1&hash=8E025DD63E1FDD68036B53C52EE1767F
- [31] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Vollzugshilfe zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes (Juni 2021). Im Internet (Stand: 30.05.2023): https://www.laga-online.de/documents/laga-m-18_stand_2021-06-23_1626849905.pdf
- [32] Ooms J, Steketeer J, Kupferragel J. Milieu-impactstudie afvoeren contrastmiddelen via riool of plaszak (30.11.2016). Im Internet (Stand: 30.05.2023): <https://www.tauw.nl/static/default/files/documents/pdf/Nieuws/milieuinactstudie.pdf>

- [33] IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH, Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA). Minderung des Eintrags von Röntgenkontrastmitteln im Einzugsgebiet der Ruhr – Phase 1 Abschlussbericht (Juli 2018). Im Internet (Stand: 30.05.2023): <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-33333-01.pdf>
- [34] Schuster P, Heinzmann B, Schwarz R-J et al. Getrennte Erfassung von jodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern – Phase 2: Praktische Durchführung (Mai 2006). Im Internet (Stand: 21.08.2023): <https://publications.kompetenz-wasser.de/pdf/Schuster-2006-1148.pdf>
- [35] Niederste-Hollenberg J, Eckartz K, Peters A. Pilotprojekt zur Minderung des Eintrags von RKM in die Umwelt (MindER1), Endbericht, UMBaWü (2017).
- [36] Niederste-Hollenberg J, Schuler J. Pilotprojekt zur Minderung des Eintrags von Röntgenkontrastmitteln in die Umwelt – Maßnahmenkombinationen. (MindER2) Endbericht, UMBaWü (August 2020). Im Internet (Stand: 21.08.2023): https://minder-rkm.de/minder-wAssets/docs/2020_MindER-2_Abschlussbericht_v2.pdf
- [37] Thöne V, aus der Beek T, Hein A et al. Minderung des Eintrags von RKM im Einzugsgebiet der Ruhr, DBU, Abschlussbericht (Juli 2018). Im Internet (Stand: 21.08.2023): <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-33333-01.pdf>
- [38] AG; HB. Kantonsspital Liestal; Abwasserkonzept bezüglich organischer Spurenstoffe, Schlussbericht (2009).
- [39] Stichting toegepast onderzoek Waterbeheer (Hrsg.). Evaluation Report Pharmafilter – Full Scale Demonstration in The Reinier De Graaf Gasthuis (Hospital) Delft (2013). Im Internet (Stand: 30.05.2023): <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202013/STOWA%202013-16.pdf>
- [40] McAlister S, McGain F, Petersen M et al. The carbon footprint of hospital diagnostic imaging in Australia. *Lancet Reg Health West Pac* 2022; 24: 100459. doi:10.1016/j.lanwpc.2022.100459
- [41] Heye T, Knoerl R, Wehrle T et al. The Energy Consumption of Radiology: Energy- and Cost-saving Opportunities for CT and MRI Operation. *Radiology* 2020; 295: 593–605. doi:10.1148/radiol.2020192084
- [42] Struik F, Futterer JJ, Prokop WM. Performance of single-use syringe versus multi-use MR contrast injectors: a prospective comparative study. *Sci Rep* 2020; 10: 3946. doi:10.1038/s41598-020-60697-w
- [43] Zusammenstellung des Umweltbundesamtes (UBA) 2020 nach Daten der Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Im Internet (Stand: 30.05.2023): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/chemikalien/arzneimittelrueckstaende-in-der-umwelt>