

Herausforderung Eintrag jodhaltiger Röntgenkontrastmitteln in die Umwelt – Problemanalyse sowie Umsetzung erster Maßnahmen zur Reduktion des Eintrags mittels Trenntoiletten – Erfahrungen aus einem Pilotprojekt

Discharge of iodine-containing contrast media into the environment – problem analysis and implementation of measures to reduce discharge by means of separation toilets – experience from a pilot project

Autorinnen/Autoren

Meinrad Beer¹, Johannes Schuler², Elena Kraus¹, Shaoxia Zhou³, Stefan Stanzel⁴, Stefanie Lorenz¹, Alexander Rygula¹, Stefan Andreas Schmidt¹, Jutta Niederste-Hollenberg²

Institute

- 1 Department for Diagnostic and Interventional Radiology, Ulm University Hospital, Ulm, Germany
- 2 ISI, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Karlsruhe, Germany
- 3 Central Facility Clinical Chemistry, Ulm University Hospital, Ulm, Germany
- 4 Construction and Facility management, Ulm University Hospital, Ulm, Germany

Key words

economics, CT, contrast agents, equipment, health policy and practice, occupational/environmental hazards

eingereicht 06.05.2023

akzeptiert 19.08.2023

Artikel online veröffentlicht 04.10.2023

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2023; 195: 1122–1128

DOI 10.1055/a-2168-8346

ISSN 1438-9029

© 2023, Thieme. All rights reserved.

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

Korrespondenzadresse

Herr Prof. Meinrad Beer

Department for Diagnostic and Interventional Radiology, Ulm University Hospital, Albert-Einstein-Allee 23, 89070 Ulm, Germany

Tel.: +49/07 31/50 06 10 01

Fax: +49/07 31/50 06 10 02

meinrad.beer@uniklinik-ulm.de



Zusätzliches Material finden Sie unter
<https://doi.org/10.1055/a-2168-8346>

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel Umweltaspekte und Nachhaltigkeit spielen eine zunehmend größere Rolle. Neben dem Energieverbrauch stellt der Verbrauch und der damit verbundene Umwelteintrag von Kontrastmitteln eine besondere Herausforderung dar. Röntgenkontrastmittel (RKM) reichern sich angesichts ihrer gewünschten Stabilität mit bis zu 400 Tonnen pro Jahr vor allem im Oberflächenwasser an.

Material und Methoden In einem Pilotprojekt wurde ein Maßnahmenbündel (Einbau von spezifischen Trenntoiletten, die Einrichtung von Feedback-Systemen, Interviews, Fragebögen und Beobachtungen) zur Sensibilisierung von Patient:innen und Personal bei ambulanten CT-Untersuchungen für die RKM-Problematik evaluiert sowie ein Rückhalte- und Gewinnungssystem für RKM implementiert.

Ergebnisse In einer Basisphase wurde ein Trenntoiletten-system mit einem zusätzlichen Auffangsystem eingebaut. Das eingebaute Feedback-System zeigte an, dass die Trenntoiletten ohne Maßnahmen von ca. 16% der Patient:innen genutzt wurde. In zwei darauffolgenden Interventionsphasen konnte mit flankierenden Maßnahmen die Verwendung dieser Trenntoiletten signifikant ($p < 0.01$) auf 21% bzw. 25% gesteigert werden. Die Maßnahmen zur Reduktion des Eintrags von RKM wurden sowohl von Personal als auch Patienten positiv beurteilt.

Schlussfolgerung Maßnahmen zur Reduktion des Eintrags von RKM in die Umwelt haben bei Personal und PatientInnen eine hohe Akzeptanz. Der nachträgliche Einbau von Trenntoiletten ist eine Möglichkeit, ein Zurückhalten der RKM vor Ort zu erreichen. Allerdings zeigt diese Maßnahme voraussichtlich nur bei entsprechend langer Verweildauer der PatientInnen vor Ort einen relevanten Effekt, wie dies z. B. in der Kardiologie gegeben ist.

Kernaussagen:

- der Eintrag von Röntgenkontrastmitteln (RKM) in die Umwelt ist im Hinblick auf die Menge relevant
- Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrags von RKM wurden und werden in Pilotprojekten untersucht
- der (nachträgliche) Einbau von Trenntoiletten ist möglich und erlaubt eine Rückhaltung von RKM
- diese Maßnahme wird von Patient:innen und Personal als sinnvoll erachtet
- die Finanzierung dieser Maßnahme ist zu klären

Zitierweise

- Beer M, Schuler J, Kraus E et al. Discharge of iodine-containing contrast media into the environment – problem analysis and implementation of measures to reduce discharge by means of separation toilets – experience from a pilot project. *Fortschr Röntgenstr* 2023; 195: 1122–1128

ABSTRACT

Purpose Environmental aspects and sustainability are becoming increasingly important. In addition to energy consumption, the consumption and environmental discharge of contrast agents pose a particular challenge. Because of their

desired stability, X-ray contrast agents (XCAs) are deposited in surface water at a rate of up to 400 tons per year.

Materials and Methods In a pilot project, a set of measures (installation of specific separation toilets, the establishment of feedback systems, interviews, questionnaires, and observation) was implemented to sensitize patients and staff to the problem of XCAs during outpatient CT examinations and a retention and recovery system for XCAs was evaluated.

Results In the initial baseline phase, a separation toilet with an additional collection system and a feedback/button system was installed. The built-in feedback system indicated that the separation toilets were used by approx. 16% of patients without measures. In two subsequent intervention phases, accompanying measures significantly ($p < 0.01$) increased the use of these separation toilets to 21% and 25%, respectively. The measures to reduce the discharge of XCAs were positively assessed by both staff and patients.

Conclusion Measures to reduce the discharge of XCAs into the environment have a high acceptance among staff and patients. The subsequent installation of separation toilets is one possibility to achieve on-site retention of XCAs. However, this measure is likely to be of high value only if patients stay on site for a correspondingly long time, as is the case in cardiology, for example.

Einleitung

Aspekte der Nachhaltigkeit spielen eine zunehmende Rolle innerhalb der Radiologie. So wurde kürzlich die Kommission Nachhaltigkeit innerhalb der Deutschen Röntgengesellschaft gegründet. Im März 2021 wurde dort ein 10-Punkte-Plan für Nachhaltigkeitsaspekte innerhalb der Radiologie vorgestellt [1]. Angesichts der aktuellen Lage ist insbesondere der Energieverbrauch radiologischer Großgeräte in den Fokus gerückt. Zahlreiche Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs werden derzeit diskutiert und teils auch schon umgesetzt [2, 3].

Neben dem Energieverbrauch stellt der Verbrauch von Kontrastmitteln in der Radiologie sowie deren Eintrag in die Umwelt eine zweite wichtige Säule innerhalb der Agenda für Nachhaltigkeit dar. Kontrastmittel, sei es für die MRT oder die CT, dienen der Steigerung von Sensitivität und Spezifität radiologischer Untersuchungen. Sie sind unverzichtbar für viele Fragestellungen, insbesondere im onkologischen, neurologischen und kardiologischen Setting [4–6].

Gerade Röntgenkontrastmittel (RKM) auf Jodbasis sind von besonderer Bedeutung für die Umwelt [7]. Pro Jahr werden mehr als 400 Tonnen RKM in das Abwasser und von dort zu etwa 40–50% in die Umwelt eingetragen [8]. Diese erhebliche Belastung relativiert sich auch nicht, wenn man den Gesamteintrag von Arzneistoffen berücksichtigt, welcher pro Jahr ca. 30 000 Tonnen beträgt. Knapp die Hälfte der eingetragenen Wirkstoffe sind ungefährlich, so etwa Elektrolyte oder Vitamine [9, 10]. Die größten Einträge erfolgen durch die sogenannten Big „4“: Schmerzmittel, Antiepileptika, Hormone und Antibiotika. Auch diese größten Wirkstoffgruppen weisen einen maximalen Eintrag pro Substanzgruppe von unter hun-

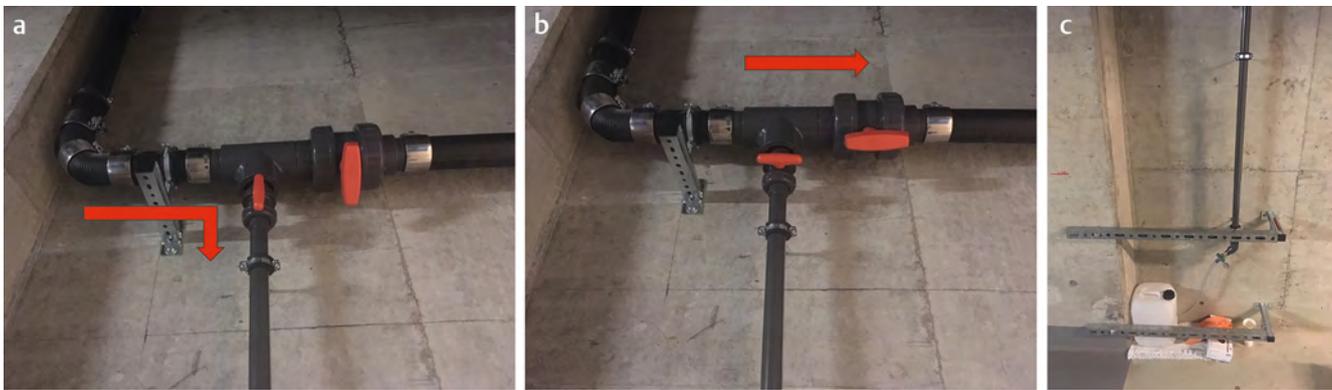
dert Tonnen pro Jahr auf und damit signifikant weniger als die Menge an RKM, durch die unsere Umwelt belastet wird. Erschwerend kommt hinzu, dass RKM sehr stabile Stoffe sind, die nur schwer abgebaut werden und somit lange in der Umwelt akkumulieren.

Untersuchungen zeigen einen zunehmenden Nachweis von RKM in Oberflächengewässern [11, 12]. Die Bemühungen, RKM innerhalb von Kläranlagen zu eliminieren, sind nur in geringem Maße erfolgreich, da selbst bei modernsten 4-stufigen Kläranlagen mit Kohlefilterung nur ein relativ geringer Anteil aufgefangen wird [13].

Schädliche Effekte von iodhaltigen RKM im Sinne zyto- oder genotoxischer Effekte sind nicht belegt. Auch konnten bisher keine Verhaltensänderungen bei Tieren nachgewiesen werden, wie etwa durch Rückstände des Arzneimittels Oxazepam [14]. Jedoch ist angesichts von Transformationsprodukten bei der Ablagerung von RKM in der Umwelt mit potenziell negativen Effekten [13] eine Reduzierung des Eintrags essenziell.

In der Vergangenheit wurden bereits einzelne Studien durchgeführt, welche das Ziel hatten, den Eintrag von RKM in die Umwelt zu reduzieren [15, 16]. Für die klinische Bereiche betraf dies unterschiedliche Modellversuche mit Windsystemen oder speziellen Toiletten [16]. Parallel dazu wurde in den letzten 5 Jahren ein Stakeholder-Prozess etabliert. Dies führte zur Gründung des Runden Tisches RKM Ende 2019. Dieser Prozess ist mittlerweile abgeschlossen [17]. In der Folge sollen anhand von Leuchtturmprojekten unterschiedliche Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrags von RKM in die Umwelt evaluiert werden.

An unserer Klinik wurde ein Modellprojekt bezüglich Nachrüstung von Trenntoiletten zur Rückhaltung von RKM durchgeführt. Dieses wurde wissenschaftlich begleitet und hatte die folgenden Ziele: 1. Ist der nachträgliche Einbau von Trenntoiletten innerhalb



► **Abb. 1** **a** Ableitungssystem „Probenentnahme“. Ableitendes Rohrsystem im Modus „Probenentnahme“, der Pfeil zeigt die Flussrichtung bei Blockierung der Ableitung des Urins in das Abwassersystem an. **b** Ableitungssystem „Abwasser“. Ableitendes Rohrsystem im Modus „Ableitung in das Abwassersystem“, der Pfeil zeigt die Flussrichtung bei Ableitung des Urins in das Abwassersystem an. **c** Rohrsystem an der Probenentnahmestelle. Die Weichen sind im Modus „Probenentnahme“ gestellt. Im unteren Anteil der Abbildung ist der Sammelkanister mit ableitendem Schlauch abgebildet.

eines bestehenden medizinischen Großversorgers (Universitätsklinikum) möglich? 2. Inwieweit werden diese Trenntoiletten von den betroffenen Patient:innen im ambulanten Setting angenommen? 3. Inwieweit lässt sich die Akzeptanz für die Maßnahme steigern und die Nutzungsintensität der Toiletten maximieren? 4. Wie hoch ist die Effektivität bei Nutzung solcher Art Trenntoiletten in einem ambulanten Setting?

Methoden

Teilnehmer:innen, Studienaufbau und Maßnahmen

Alle Daten wurden in einem Zeitraum von 6 Monaten prospektiv erhoben (Zustimmung der lokalen Ethikkommission vorliegend). Die Patient:innen, welche an den Interviews teilnahmen, gaben ihr Einverständnis hierzu, ebenso wie das beteiligte medizinisch-technische Personal. Zunächst wurde eine Trenntoilette sowie ein Sammelsystem mit Ableitung zur Analysemöglichkeit des Urins installiert. Erfasst wurde, wie viele Patient:innen bereits ohne Hinweise diese spezifische Kontrastmittel-Toilette nutzten. Diese befand sich in einem geringen Abstand zum Ort der CT-Untersuchungen. Es schloss sich eine Interventionsphase an. Hier wurden Maßnahmen zur Steigerung des Bewusstseins für die Umwelteinflüsse der RKM (mittels Flyer) sowie flankierende Maßnahmen (Mitgabe von Urinbeuteln, Verfügungstellung von Wasser und verbesserte Ausschilderung des Wegs zum Trenntoiletten-system) eingeleitet. Die Datenerhebung erfolgte mit Pushbuttons als Feedback-System (ein Gerät mit 3 Knöpfen: ein negativ, neutraler und positiver Smiley), angebracht in den Räumlichkeiten der Trenntoilette, mit Beobachtungen sowie anhand der Analyse von Urinproben. Als Vergleichsgrößen dienten die Anzahl der ambulanten CT-Patient:innen (welche Kontrastmittel erhielten), sowie die täglich bei CT-Untersuchungen verbrauchte Kontrastmittelmenge.

Realisierung eines nachträglichen Einbaus von Trenntoiletten

Für eine effiziente Sammlung sind Toiletten erforderlich, die ohne Spülwasser auskommen. Bereits bestehende Toiletten nahe der CT-Untersuchungsräume wurden mittels eines Urinal-System (Urimat ceramic; Urimat; Hundsanger, Deutschland) nachinstalliert. Ein Urinal kostet je nach Hersteller zwischen 1000 und 1500 EUR. Da zum Zeitpunkt der Studie ein entsprechendes Urinal für Frauen noch fehlte, wurden in den Damentoiletten normale Toiletten für die Studienteilnahme ausgewiesen. Auf diese Weise konnten Frauen ohne für sie sichtbare Einbußen an der Studie teilnehmen und ihre Einschätzungen abgeben. Einziger Unterschied war, dass der Urin nicht gesammelt werden konnte.

Für die Versuchsanstallation konnte im Keller unter dem Sanitärbereich eine Weiche mit Auslass in die Ablaufleitung des Urinals gebaut werden, sodass Proben bedarfsweise in einem Kanister gesammelt werden konnten. Der Urin wurde zur Analyse in Probenröhrchen umgefüllt (► **Abb. 1a–c**).

Bei einer realen Umsetzung entstünden zusätzliche Investitionskosten durch die Installation separater Leitungen und eines Speicherbehälters. Diese Kosten sind abhängig von den Randbedingungen. Betriebskosten werden im Wesentlichen dadurch verursacht, dass der gesammelte Urin abgeholt und einer geordneten Entsorgung oder einem Recycling zugeführt werden muss.

Akzeptanz seitens Patient:innen und Personal im ambulanten Setting

Die Akzeptanz und Mitarbeit seitens der Patient:innen wurde dreifach evaluiert. Erstens mittels der genannten Pushbuttons, zweitens mittels Fragebögen und Interviews, drittens mittels verdeckter Beobachtungen. Die Akzeptanz seitens des Personals wurde durch Interviews evaluiert. Pushbuttons wurden in den Räumlichkeiten der RKM-Toiletten installiert, um die Anzahl der Toilettegänge der Patient:innen direkt messen zu können. Hierzu wurde jede Rückmeldung über das System (unabhängig ob positiv, neutral oder negativ) als ein Toilettengang gezählt. Eine 2-sekündige Sperre nach jeder Rückmeldung sollte technisch Doppelzählun-

gen einzelner Patienten vermeiden. Die Bewertungen wurden digital direkt in die Auswertungssoftware übertragen. Die Auswertung erfolgte rein quantitativ, getrennt nach Rückmeldungen der Männer- und Damentoilette. Zu sechs zufällig ausgewählten Zeitpunkten, in der Interventionsphase, im Zeitraum vom 10.4.2019 bis 4.6.2019 von jeweils 1,5 Stunden erfolgte eine verdeckte Beobachtung durch eine Forschungsmitarbeiterin, die sich zur Reduzierung sozial erwünschten Verhaltens seitens der Patient:innen nicht zu erkennen gab. Für alle während dieser Zeit anwesenden ambulanten CT-Patient:innen (welche Kontrastmittel erhielten) wurde protokolliert, ob sie das Informationsmaterial lasen, wie empfohlen während der Wartezeit tranken und wie instruiert auf die RKM-Toilette gingen. Aus diesen Beobachtungen ließ sich unter anderem berechnen, welcher Anteil der Toiletten-gänger tatsächlich das Pushbutton-System nutzte, wenn die Toilette genutzt wurde. Hierdurch konnten die rückgemeldeten Zahlen der Toilettengänge entsprechend durch einen Korrekturfaktor angepasst werden.

Evaluierung und Grenzen dessen mittels Fragebögen, Interviews und Beobachtung

Während der gesamten Interventionsphase wurde an die teilnehmenden Patient:innen Fragebögen verteilt. Innerhalb der Fragebögen war ein separater Abschnitt für Freitext enthalten. Dieser wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit qualitativ ausgewertet, um die möglichen Motivationen der Patienten zu identifizieren (siehe **Anhang**).

Zusätzlich zu den Fragebögen wurden in beiden Phasen 20 Einzelinterviews mit zufällig ausgewählten Patient:innen und medizinisch-technischem Personal geführt. Während der Baseline-Phase erfolgten Interviews mit zehn Patient:innen sowie drei Mitarbeiter:innen, in der Interventionsphase erfolgten weitere Interviews mit vier ambulanten CT-Patient:innen sowie drei am Prozess beteiligten Mitarbeiter:innen. Dabei wurde Zeitpunkt und Art der Untersuchung, eventuelle Toilettengänge und auch der Weg zur RKM-Toilette abgefragt. Das Personal wurde zur Einschätzung des Anteils der Patient:innen befragt, welche zur RKM-Toilette gingen.

Effektivität einer Nutzung von Trenntoiletten im ambulanten Setting

Ziel der Urinanalysen war die Feststellung, wieviel Jod sich in einem definierten (4 Wochen) Sammelzeitraum separieren und damit potenziell auch wiederaufarbeiten lässt. Dazu wurden die Proben mit Hilfe des beschriebenen Leitungssystems in einem Kanister mit 10 Litern Fassungsvermögen abgefüllt. Es stellte sich heraus, dass eine Verdünnung von jeweils 10 µl Urin mit 10 ml destilliertem Wasser (Ampuwa Spüllösung Plastipur, Fresenius Kabi, Bad Homburg, Deutschland) notwendig war, um über das verwendete Analyseverfahren aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Insgesamt wurden verwertbare Proben an 5 Analysetagen verteilt über einen Zeitraum von 2 Wochen entnommen und analysiert. Die Bestimmung von Jod wurde mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) im MVZ Labor Dr. Limbach in Heidelberg durchgeführt.

Statistik

Alle personenbezogenen Daten wurden anonymisiert gespeichert. Alle Analysen erfolgten mittels Excel 2019 (Microsoft, Redmond/WA, USA) bzw. SPSS-Version 28 (IBM, Armonk/NY, USA). Die Auswertungen beschränkten sich auf deskriptive Analysen sowie t-Tests zur Signifikanzprüfung. In allen Fällen wurde ein Signifikanzniveau von 5 % (signifikant) bzw. 1 % (hoch signifikant) verwendet.

Ergebnisse

Realisierung eines nachträglichen Einbaus von Trenntoiletten

Da der Markt bezüglich wasserlosen Trenntoiletten relativ klein ist, benötigte die Auswahl eines geeigneten Trennsystems nur kurze Zeit. Die Auswahl erfolgte in Zusammenarbeit mit der Verwaltung der medizinischen Einrichtung. Der Einbau erfolgte innerhalb weniger Tage, ebenso die Installation des Auffangsystems in den Kellerräumen unmittelbar unterhalb des Toilettensystems.

Ergebnisse der verdeckten Beobachtung

Insgesamt wurden 36 ambulante CT-Patient:innen beobachtet, von denen 69 % den Flyer lasen (25), 53 % (19) während der Wartezeit tranken und 42 % (15) die RKM-Toilette nutzten. Von den 15 RKM-Toilettennutzer:innen gaben 7 Rückmeldungen über das Pushbuttonsystem. Hieraus ergibt sich ein Korrekturkoeffizient von 46,7 % für die Rückmeldungen über das Pushbuttonsystem.

Akzeptanz seitens Patient:innen und Personal im ambulanten Setting

Pushbuttons, Fragebögen, Interviews

In der Baseline-Phase wurden zwischen 9 und 23 Feedbacks pro Woche ausgewertet. Im Durchschnitt benutzten 15,6 % der vorgeesehenen Patient:innen die RKM-Toiletten und bewerteten die Toiletten über das Feedbacksystem, bereinigt um den Fehlerquotienten an Toilettengängern, die keinen Knopf drückten, sind es 33,4 % (d. h. 358 von 1072 Patient:innen). In der Interventionsphase schwankten die Feedbacks zwischen 6 und 26 pro Woche. Dies entspricht einem Anteil von 21,7 % und 46,5 % fehlerbereinigt (585 von 1258 Patient:innen). Dieser Anstieg von ca. 13 Prozentpunkten ist bereits statistisch signifikant ($\chi^2(1, N = 2330) = 41,3, p < 0,01$). Zudem konnten nicht alle Patientinnen in der Interventionsphase mit Hilfe des Informationsmaterials versorgt werden, die Quote betrug ca. 72%. Berücksichtigt man nur Patient:innen, die in der Interventionsphase auch das Informationsmaterial erhalten hatten, kann sogar von einer fehlerbereinigten Nutzungsquote von 65 % ausgegangen werden (585 von 901). Dies entspricht einer hoch signifikanten ($\chi^2(1, N = 1973) = 195,1, p < 0,01$) Nutzungssteigerung um ca. 31 Prozentpunkte.

Evaluierung mittels Fragebögen und Interviews

Die Patienteninterviews ergaben, dass in der Baseline-Phase sechs von zehn Patient:innen in der Wartezeit von 30 Minuten bis zum

Ziehen der i. v.-Nadel gar nicht auf Toilette mussten. Dies entsprach den Beobachtungen des Personals während der Baselinephase, denen zufolge etwa die Hälfte der Patient:innen die RKM-Trenntoiletten nutzten. Während der Interventionsphase gaben vier von vier befragten Patient:innen an, die Toilette genutzt zu haben und es wurde der Wunsch nach Wasserspendern im Wartebereich ausgedrückt. Die Fragebögen ergaben eine Nutzungsquote der RKM-Toiletten während der Interventionsphase von 76 %. Die verhältnismäßig niedrige Quote an Nutzer:innen der RKM-Toilette während der Baselinephase illustriert die Notwendigkeit, Informationen und Getränke bereitzustellen und Patient:innen zum Trinken zu motivieren um bereits den ersten Toilettengang noch vor Ort anzutreten.

Vom Personal wurde die Interventionsphase insgesamt positiv bewertet. Hier zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Interviews und den Beobachtungen hinsichtlich der Anzahl an Patient:innen, welche den Flyer lasen. Seitens der Patient:innen ergab sich, dass der Zweck der Kontrastmittel in der Bildgebung überwiegend bekannt war, etwaige Umwelteinflüsse durch RKM jedoch weitgehend nicht.

Effektivität einer Nutzung von Trenntoiletten im ambulanten Setting

Entsprechend der angegebenen Mengen an verbrauchtem Kontrastmittel und den vorliegenden Urinproben konnte die Menge des potenziell rückgewinnbaren Jodes berechnet werden. Aufgrund zu starker Konzentrierung konnten nur von 5 Proben (nach Einführung der 1:1000 Verdünnung und Verfügbarkeit von EDV-Daten) quantitativ ausgewertet werden. Hier war eine starke Variation der gemessenen Jod-Konzentrationen nachzuweisen, welche von 780 µg/L bis 10 055 µg/L reichte.

Die Auswertung des Freitextes der Patienteninterviews ergab, dass sich die Mehrzahl der Patient:innen mehr verfügbares Wasser und einen ruhigen, angenehmen Wartebereich wünschten. Insgesamt wurden die getroffenen Maßnahmen als gut und sinnvoll eingeschätzt.

Diskussion

Zusammenfassend ist der Einbau von Trenntoiletten auch im medizinischen Versorgungskontext eines Maximalversorgers nachträglich möglich. Die dabei entstehenden Kosten sind überschaubar. Die Maßnahme wird von den Patient:innen sehr gut angenommen, die tatsächliche Nutzung liegt jedoch entsprechend eigener interne Evaluierungen weit unter der angegebenen Nutzung. Insofern besteht ein erhöhter Informationsbedarf bezüglich der Nachhaltigkeit zur Akzeptanz dieser Maßnahmen. Die Effektivität im ambulanten Setting ist überschaubar. Dies war angesichts der Kinetik der Kontrastmittelausscheidung nicht anders zu erwarten. Somit ergibt sich sicherlich ein höherer Stellenwert dieser Maßnahme, wenn die Verweildauer der Patient:innen nach der Untersuchung höher ist, etwa im Setting z. B. der Kardiologie nach Herzkatheteruntersuchungen. Es ist zu überlegen, ob solche Maßnahmen nicht dezentral außerhalb der Radiologie innerhalb von medizinischen Einrichtungen angesiedelt sein sollten.

Historischer Prozess der Entstehung runder Tische

Wie eingangs beschrieben wurden Ende 2019 der erste Runde Tisch eingerichtet. Ein Runder Tisch RKM war dabei einer von mehreren, weitere befassen sich etwa mit Diclophenac und Benzotriazol. Eingebunden wurden dabei alle relevanten Stakeholder, von den Herstellern über die Anwender:innen bis hin zur Wasserwirtschaft und Krankenhausgesellschaften. Unterschiedliche Aspekte wurden hierbei diskutiert. Diese reichten von Notwendigkeit und Umfang der RKM-Gabe, der Entsorgung bis hin zur Sensibilisierung der Anwender:innen. Es erfolgten dabei über die deutsche Röntzengesellschaft (DRG) sowie den Berufsverband deutscher Radiolog:innen (BDR) zahlreiche Informationsveranstaltungen, u. a. beim Röntgenkongress. Offen blieb jedoch die Finanzierung des gesamten Prozesses. Bezüglich der Machbarkeit wurden im Wesentlichen 2 Maßnahmen betrachtet. Zum einen die Ausgabe von Windelsystemen, welche den untersuchten Patienten und Patientinnen unmittelbar nach der Untersuchung mitgegeben werden [8]. Angesichts der Ausscheidungskinetik liegt der Peak der RKM-Ausscheidung ca. 4–8 Stunden nach Applikation. Dementsprechend erscheint die Ausgabe von 2–3 Windelsystemen zielführend. Diese werden dann im Anschluss über den Hausmüll entsorgt. Jedoch ist angesichts der schieren Menge der verwendeten Windelsysteme (angesichts von 365 Tonnen RKM pro Jahr) bei dieser Maßnahme die hohe Umweltbelastung im Sinne von zusätzlichem Abfall zu berücksichtigen. Ferner fehlen gänzlich Maßnahmen zur Finanzierung, welche Kosten durch die zusätzliche Arbeitsbelastung des Personals sowie durch die zusätzliche Müllmenge für die einzelnen Gesundheitseinrichtungen entstehen. Hier sind sowohl die Politik als auch die Krankenversicherungen und RKM-Hersteller primäre Ansprechpartner.

Trenntoiletten als alternative vor-Ort Maßnahme ohne ökologische nachfolgende Probleme

Eine der Alternativen zur Windelversorgung, welche wie beschrieben zu weiteren neuen Problemen führt, ist der Einbau bzw. die spätere Nachrüstung von sogenannten Trenntoiletten. Diese sollen im Prinzip vor Ort ein direktes Auffangen von Kontrastmittel und deren Bestandteile erlauben und somit auch die Möglichkeit eröffnen, diese im Sinne einer Kreislaufwirtschaft nach entsprechender Aufbereitung der erneuten Verwendung zuzuführen. Analog zum etablierten System von Trenntoiletten in der Nuklearmedizin entstand die Überlegung, Trenntoiletten auch für die Rückhaltung von Röntgenkontrastmittel zu nutzen. In der Nuklearmedizin fußten diese Überlegungen jedoch auf einer ganz unterschiedlichen Notwendigkeit, nämlich der Problematik radioaktiver Stoffe. Bei Trenntoiletten handelt es sich um sogenannte Trockensysteme, welche mit einer geringen Füllung und einem Überstand ausgestattet sind. Herausfordernd ist dabei die unmittelbare Implementierung im Workflow, möglichst nah an den existierenden Patient:innenbewegungen. Ferner ist der Einbau von Tanks und entsprechen Ableitungssystemen notwendig. Unseren eigenen Erfahrungen nach ist dies jedoch mit einem überschaubaren und rasch umzusetzen Aufwand möglich.

Der in unserer Studie festgestellte Rückhaltewert von 5 % entspricht den Erwartungen, da aufgrund der örtlichen Begebenheiten der Zeitpunkt des Auffangens auf ein Fenster von ca. 30 Minu-

ten nach Kontrastmittelgabe limitiert war. Bezüglich der Ausscheidungsmenge untersuchten Asberg et al [18] die Iohexol-Clearance im Vergleich zur glomerulären Filtrationsrate (GFR). Dabei zeigte sich eine Halbwertszeit von 2 bis maximal 2,5 h. Im direkten Übertrag einer angenommenen Halbwertszeit von 2 Stunden auf die in unserer Studie relevanten Zeiträume 15 min und 30 min lassen sich eine Exkretion von 6,25 % bzw. 12,5 % extrapolieren. Allerdings stellt sich in den Subpopulationen dieser Studie mit Daten zu den frühen Exkretionszeitpunkten (n = 42/176 zum Zeitpunkt 10 min sowie n = 35/176 zum Zeitpunkt 30 min; keine Daten zum Zeitpunkt 15 min) eine deutlich stärkere Exkretion zu den früheren Zeitpunkten dar (► **Abb. 1** ebenda). Allerdings liegen weder in dieser Publikation noch in anderen (Larusso et al [19]) zur Thematik Einzelwerte (siehe Seite 2 **supplementary material**) zu den frühen Stadien der Exkretion vor. Weitere Forschung ist für eine abschließende Bewertung dieses wichtigen Aspekts nötig.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Abhängigkeit der Ausscheidungsrate von Iomeprol von der GFR, wie von Larusso et al. untersucht [19]. Dabei zeigte sich eine wesentlich reduzierte Ausscheidungsrate mit abnehmender Nierenfunktion. Waren bei Nierengesunden 50 % nach 2 Stunden ausgeschieden, so zeigten Patient:innen mit schwerer Nierenfunktionsstörung eine langsamere Elimination, etwa 50 % verblieben noch 16 bis 84 Stunden nach der Injektion im Urin. Damit handelt es sich hier um einen relevanten Faktor.

Weit effektiver wäre demnach der Einbau beziehungsweise die Nachrüstung von Trenntoiletten an Punkten, an denen sich die Patient:innen nach der Röntgenuntersuchung länger aufhalten.

Dies ist unterschiedlich und abhängig von den Patient:innenströmen zu konzipieren. Für die Kardiologie bietet sich ein Setting unmittelbar in der kardiologischen Abteilung an, da deren Patient:innen z. B. nach Herzkatheteruntersuchung in diesem Bereich bis zu 4 Stunden verweilen. Für radiologische Untersuchungen bieten sich dagegen dezentrale Sammelorte und Servicesysteme an, da sich ambulante Patient:innen, etwa nach einem Staging-CT in der Radiologie, im Anschluss mehrere Stunden innerhalb verschiedener onkologischer Fachabteilungen aufhalten. Ein optimaler Installationsort wird also von Einrichtung zu Einrichtung variieren.

Derartige Trenntoiletten in den Abteilungen könnten darüber hinaus aber auch andere Medikamentenausscheidungen von Patient:innen zurückhalten.

Potenzial einer möglichen Wiederaufbereitung und Wiederverwendung des ausgeschiedenen Kontrastmittels

Bezüglich der Wiederaufbereitung und Wiederverwendung des ausgeschiedenen Kontrastmittels laufen derzeit Modellversuche. Niederste-Hollenberg et al erstellten eine Übersicht [16] zu derzeit laufenden Aktivitäten (Seite 33/126 ebenda). Mehrere Kontrastmittelhersteller haben in den letzten 4 Jahren Initiativen zur Rücknahme nicht genutzter Kontrastmittelreste gestartet. Ziel ist gleichermaßen eine Wiederaufbereitung mit anschließender Verwendung im medizinischen (1 Hersteller) und nicht-medizinischen Bereich (2 Hersteller). Die Autor:innen gehen davon aus,

dass sich pro Institution/Gesundheitseinrichtung die RKM-Menge einer halben Patient:innendosis im CT erreichen lässt (Voraussetzung eine 100 % Recyclingquote). In Realität wird die Quote geringer sein, exakte Daten sind hierzu in den nächsten Jahren zu erwarten.

Zusätzliche Belastungen und Re-Finanzierung

Die von uns festgestellte zusätzliche Arbeitszeit, insbesondere des medizinisch-technischen Personals, entspricht der im Rahmen früherer Studien gemessenen Belastungen [15]. Die gemessenen Zeiten von 5–7 Minuten erscheinen zunächst nicht sehr relevant. Multipliziert mit der Anzahl der Patient:innen sowie der Anzahl des eingebundenen Personals, nicht nur aus dem medizinisch-technischen, sondern etwa auch aus dem Verwaltungsbereich, ist in der Gesamtschau jedoch von erheblichen Kosten und letztlich von zusätzlich notwendigem Personal auszugehen. Für den Großraum Berlin wurde [15] von einem Zusatzaufwand von 1,3 Mio € pro Jahr ausgegangen. Dies stellt eine erhebliche zusätzliche Belastung dar. Völlig offen ist dabei, wer diese Zusatzkosten tragen wird. Hierzu werden sicherlich die geplanten Leuchtturmsstudien im zweiten Prozess des runden Tisches RKM beitragen.

Klinische Relevanz

Themen der Nachhaltigkeit spielen eine zunehmende Rolle für die Radiologie. Die Radiologie ist federführend an Pilotprojekten beteiligt, welche sich zur Aufgabe gemacht haben, den Eintrag von RKM in die Umwelt zu analysieren und Maßnahmen zu entwickeln, diesen Eintrag zu reduzieren. Die Nachrüstung bzw. der Einbau von sogenannten Trenntoiletten zum Rückhalt von RKM am Ort ihrer Verwendung erscheint als eine mögliche und sehr attraktive Maßnahme. Der Nutzen hängt sicherlich von Ort und Zeitpunkt der Sammlung ab und mag zwischen den Fachdisziplinen, welche außerhalb der Radiologie RKM verwenden, variieren.

Fördermittel

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Deutsche Röntgengesellschaft. Vorstellung der Kommission DRG Nachhaltigkeit. *Fortschr Röntgenstr* 2021; 193: 1342
- [2] 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
- [3] Klein HM. A New Approach to the Improvement of Energy Efficiency in Radiology Practices. *Fortschr Röntgenstr* 2023; 195: 416–425
- [4] Jochelson MS, Lobbes MBI. Contrast-enhanced Mammography: State of the Art. *Radiology* 2021; 299: 36–48

- [5] Uhrig M, Simons D, Bonekamp D et al. Improved detection of melanoma metastases by iodine maps from dual energy CT. *Eur J Radiol* 2017; 90: 27–33
- [6] Muenzel D, Fingerle AA, Zahel T et al. CT Angiography: Post-processed Contrast Enhancement for Improved Detection of Pulmonary Embolism. *Acad Radiol* 2017; 24: 131–136
- [7] Dekker HM, Stroomberg GJ, Prokop M. Tackling the increasing contamination of the water supply by iodinated contrast media. *Insights Imaging* 2022; 13: 30
- [8] Niederste-Hollenberg J, Eckartz K, Peters A et al. Reducing the Emission of X-Ray Contrast Agents to the Environment: Decentralized Collection of Urine Bags and Its Acceptance. *GAlA – Ecological Perspectives on Science and Society* 2018; 27: 147–155
- [9] Zylka-Menhorn V. Arzneimittelrückstände im Wasser: Vermeidung und Elimination. *Dtsch Arztebl* 2018; 115: A-1054/B-886/C-882
- [10] Ollenschläger P. Arzneimittelentsorgung: Spurenstoffe im Wasser. *Dtsch Arztebl* 2014; 111: A-889/B-760/C-722
- [11] Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB). Anthropogene Spurenstoffe im Bodensee und seinen Zuflüssen (Mai 2020). Im Internet (Stand: 28.04.2023): www.igkb.org/fileadmin/user_upload/dokumente/publikationen/wissenschaftliche_berichte/anthropogene_spurenstoffe_im_bodensee.pdf
- [12] Umweltbundesamt. Zahl der Wirkstoffe in Human- und Tierarzneimitteln (Juni 2022). Im Internet (Stand: 28.04.2023): www.umweltbundesamt.de/daten/chemikalien/arzneimittelrueckstaende-in-der-umwelt#zahl-der-wirkstoffe-in-human-und-tierarzneimitteln
- [13] Hausmann C. Arzneimittelrückstände in der Umwelt (Österreichisches Umweltbundesamt REP-0573 2016). Im Internet (Stand: 28.04.2023): www.umweltbundesamt.de/daten/chemikalien/arzneimittelrueckstaende-in-der-umwelt#zahl-der-wirkstoffe-in-human-und-tierarzneimitteln
- [14] Brodin T, Fick J, Jonsson M et al. Dilute concentrations of a psychiatric drug alter behavior of fish from natural populations. *Science* 2013; 339: 814–815
- [15] Kompetenzzentrum Wasser Berlin. Getrennte Erfassung von iodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern (April 2005). Im Internet (Stand: 28.04.2023): <https://publications.kompetenz-wasser.de/pdf/Pineau-2005-3.pdf>
- [16] Niederste-Hollenberg J, Schuler J, Bratan T et al. Studie zur Prüfung der Praxistauglichkeit von Urinauffangsystemen zur Verringerung des Röntgenkontrastmittel-Eintrags in das Abwasser. Studie im Rahmen des Runden Tisches RKM beim Spurenstoffdialog des Bundes (Juni 2021). Im Internet (Stand: 28.04.2023): www.dialog-spurenstoffstrategie.de/spurenstoffe-wAssets/docs/Konzeptionsstudie_RT-RKM.pdf
- [17] Pilotphase zur Spurenstoffstrategie des Bundes. Ergebnisse des Runden Tisches Röntgenkontrastmittel zum Ende der Pilotphase zur Spurenstoffstrategie des Bundes (September 2021). Im Internet (Stand: 28.04.2023): https://www.dialog-spurenstoffstrategie.de/spurenstoffe-wAssets/docs/Ergebnisbericht_Runder-Tisch-RKM-Okt2021.pdf
- [18] Åsberg A, Anna Bjerre A, Almaas R et al. Measured GFR by utilizing population pharmacokinetic methods to determine Iohexol clearance. *Kidney International Reports* 2020; 5: 189–198
- [19] Larusso 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. *Investigative Radiology* 2001; 36: 309–316