

Anne-Kathrin Cassier-Woidasky, Jörg Woidasky, Imke Woidasky,
Jutta Niederste-Hollenberg

Herausforderungen umweltgerechter Entsorgung von Arzneistoffen im Krankenhaus.

Handlungsmöglichkeiten an der Quelle aus pflegerischer Sicht

Challenges of environmentally sound disposal of pharmaceuticals in hospital. Possibilities for action at the source from a nursing perspective

Based on the environmental relevance of X-ray contrast agents (XCA) and technical limits of wastewater treatment, this article deals with possibilities to reduce the input of pharmaceuticals already at the source. A simple way is the correct disposal by the user. For this purpose, a student project empirically investigated disposal routes for medicine to be discarded among hospital users in a survey of 167 nurses. It was shown that out of those asked on XCA disposal 64% disposed of XCA residues via the wastewater route, while 26% out of those asked on medicine in general disposed of liquid medications requiring disposal via wastewater. By raising awareness of an ecologically relevant topic, the work provides indications of the need for qualification on the user side in nursing.

Keywords

Ecology, water protection, nursing organization, research based learning, multi-disciplinarity, drug, disposal

Im Beitrag werden ausgehend von der Umweltrelevanz von Arzneimitteln allgemein und von Röntgenkontrastmitteln (RKM) speziell Möglichkeiten untersucht, den Eintrag von Arzneimittelstoffen in die Umwelt bereits an der Quelle zu reduzieren. Ein wirkungsvoller Weg ist die korrekte Entsorgung der Substanzen durch die Anwender. Hierzu wurden im Rahmen eines studentischen Projekts bei den Anwendern im Krankenhaus Entsorgungswege für zu verwerfende Medikamente durch eine Befragung von insgesamt 167 Pflegefachpersonen empirisch untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass von den zur RKM-Entsorgung Befragten 64% für RKM-Reste den Abwasserweg wählen und andere flüssige Medikamente von 26% der zu Arzneimitteln allgemein Befragten über das Abwasser entsorgt werden. Die Arbeit gibt Hinweise auf Qualifizierungsbedarf auf der Anwenderseite zur Sensibilisierung für ein ökologisch relevantes Thema in der Pflege.

Schlüsselwörter

Ökologie, Gewässerschutz, Pflegeorganisation, Forschendes Lernen, Multidisziplinarität, Arzneimittel, Entsorgung

Einführung

Der Eintrag von Arzneistoffen aus der Humanmedizin in den Wasserpfad steht im Kontext steigender anthropogener Gewässerbelastung, z. B. durch Landwirtschaft, Haushaltschemikalien oder Industrieabwässer. Krankenhäuser sind relevante Indirekteinleiter für problematische Noxen wie Arzneistoffe allgemein und speziell großen Mengen von Röntgenkontrastmitteln (RKM)¹, die oft über das Abwasser entsorgt werden. Da diese Schadstoffe in Kläranlagen nur teilweise und mit hohem Aufwand eliminierbar sind, muss ihr Eintrag in das Abwasser vermieden werden. Das entspricht dem Vorsorgeprinzip als grundsätzlichem Prinzip der Umweltpolitik und erfordert Strukturen zur Emissionsminderung und Bewusstsein auf der Anwenderseite beim Umgang mit Arzneimitteln bezüglich der Umweltrelevanz.

Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung sind erfolgreich umsetzbar, wenn sie von Nutzerinnen und Nutzern² akzeptiert und unterstützende Strukturen vorhanden sind. Im Sinne des Vorsorgeprinzips sollte dabei die Emissionsminderung von Medikamenten über den Wasserpfad primär an der Nutzerseite ansetzen. Hierzu findet sich jedoch kaum wissenschaftliche (meist graue) Literatur vorrangig zur Abwasserproblematik im Krankenhaus aus technischer oder ökologischer Sicht (z. B. Schulte-Oehlmann et al. 2007; Ahting et al., 2017). Die Rolle der Pflegenden als wesentliche Akteure im Umgang mit Medikamenten und potenzielle Experten für Prävention und Gesundheitsförderung blieb hier bisher unberücksichtigt. Auch finden sich wenig Hinweise auf ärztliches Problembewusstsein, ebensowenig ausgeprägt ist dies in der Pflegepraxis. Sehr plastisch zeigt das der Praxisbericht einer Studentin unabhängig von diesem Projekt: Sie hatte eine Antibiotika-Infusion zu entsorgen und ihre Praxisanleiterin nach dem „wie“ gefragt. Zur Antwort bekam sie, die könne sie ganz einfach ins Waschbecken entleeren. Ihren Einwand, diesen Wirkstoff in das Abwasser zu entsorgen, sei unter Umweltaspekten vielleicht keine gute Idee, beantwortete die anleitende Pflegekraft mit dem Hinweis, dann solle sie das in die Toilette entsorgen.

Basis des vorliegenden Beitrages ist ein studentisches Pflegeforschungsprojekt zum Umgang mit Arzneistoffen im Krankenhaus generell sowie speziell zur Entsorgung von RKM. Den Anlass dazu lieferte eine Kooperation im Rahmen des MindER-Projektes (Niederste-Hollenberg et al. 2020). In diesem Projekt zur Minderung des Eintrags von RKM in die aquatische Umwelt bearbeitete das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI im Auftrag des baden-württembergischen Umweltministeriums die Frage, wie sich der Eintrag von RKM an der Quelle reduzieren lässt. Ausgangspunkt der studentischen Forschungsaktivitäten war die Frage, wie sich RKM-belasteter Patientenerin aus Sicht der Pflegepraxis am besten getrennt erfassen lässt. Im Laufe der Kooperation zeigte sich jedoch, dass neben den Ausscheidungen auch die Entsorgung nicht vollständig restentleerter RKM-Gebinde problematisch sein kann (Niederste-Hollenberg et al. 2018).

1 Laut §2 Arzneimittelgesetz sind Arzneimittel Stoffe oder Zubereitungen aus Stoffen zur Heilung, Linderung oder Verhütung von Krankheiten oder Erstellung einer medizinischen Diagnose. Dazu zählen RKM ebenso wie therapeutisch eingesetzte Medikamente.

2 Im Folgenden verwenden wir eine Form und schließen damit alle Geschlechter ein.

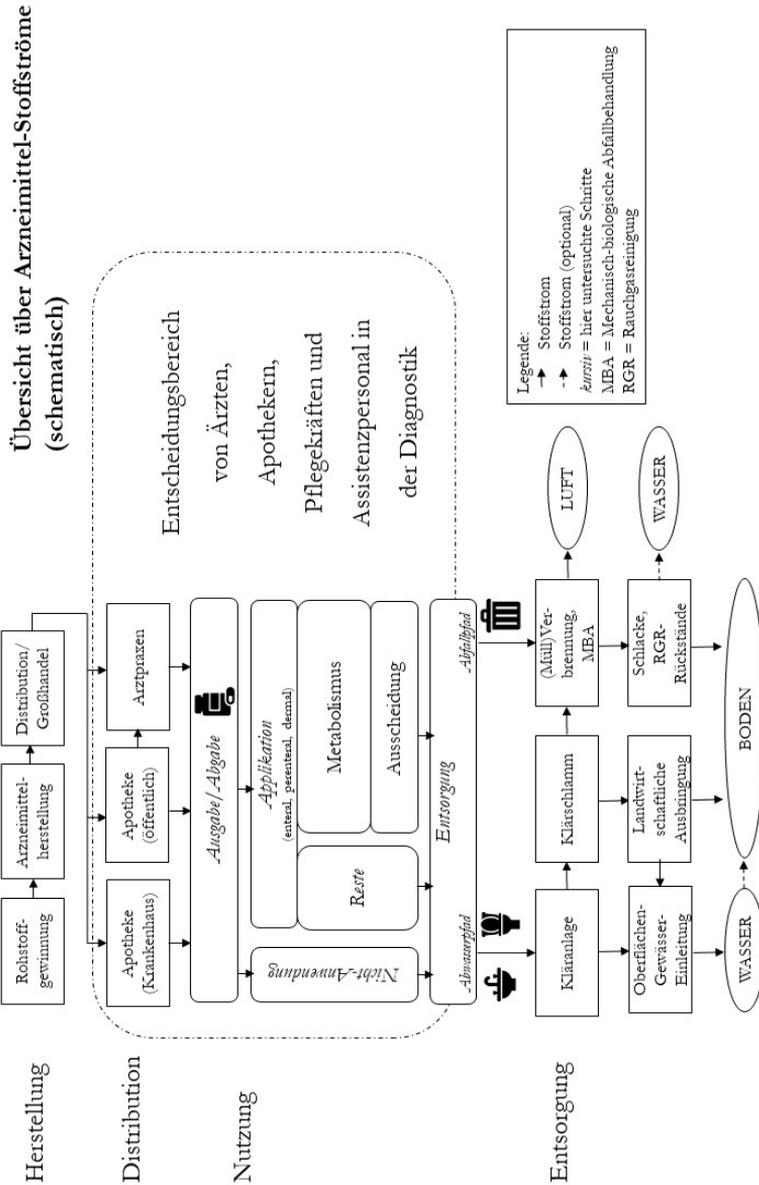


Abb. 1: Arzneimittel-Stoffströme. Eigene Darstellung unter Nutzung von Emara et al. (2018), Siebert et al. (2020), Ebert et al. (2014)

Daher lautet die Forschungsfrage des hier vorgestellten Pflegeforschungsprojekts, wie in der Krankenhauspraxis mit flüssigen Arzneimittelresten im Entscheidungsbereich von Pflegefachkräften umgegangen wird. Pflegefachkräfte sind im Krankenhaus diejenigen, die nach der ärztlichen Verordnung von Medikamenten und Lieferung durch die Apotheke die Handhabung auf der Station übernehmen. Sie haben damit eine Schlüsselstellung beim Medikamentenhandling im Krankenhaus (Abbildung 1), die mit dem vorliegenden Beitrag herausgearbeitet wird.

Arzneimittel in der Umwelt

Nach Klauer et al. (2019) sind derzeit ca. 2.300 Wirkstoffe auf dem deutschen Arzneimittelmarkt, von denen die Hälfte als umweltrelevant eingestuft wird. 2012 lag die absolute Arzneimittel-Menge in Deutschland bei 8.120 t (Ebert et al. 2014). Diese Substanzen werden unverändert oder metabolisiert ausgeschieden bzw. über die (unsachgemäße) Entsorgung in das Abwasser eingetragen. Da sie zum großen Teil weder zurückgehalten noch eliminiert werden, sind Medikamentenrückstände nahezu flächendeckend und ganzjährig im Bereich von Kläranlagenabläufen und in Bächen, Flüssen, Seen sowie im Grund- und vereinzelt im Trinkwasser nachweisbar. Daneben können sie über Klärschlamm auf landwirtschaftliche Böden gelangen (UBA 2020), wenn dieser unbehandelt genutzt wird. In Kläranlagen wird ein Teil der Substanzen durch die Abwasserbehandlung abgebaut, ein Teil adsorbiert an den Klärschlamm, der in Deutschland stofflich bzw. thermisch verwertet wird. Der verbleibende Rest gelangt ebenfalls in die Gewässer und über das Grundwasser bis in das Trinkwasser. Hier werden sowohl die Wirkstoffe als auch ihre Metabolite gefunden (Abbildung 2).

Daneben besteht ein Emissionsrisiko durch Deponie-Sickerwasser aus Mülldeponien mit nicht vorbehandelten Siedlungsabfällen (Schulte-Oehlmann et al. 2007). Deren Ablagerung ist seit 2005 in Deutschland laut Deponieverordnung nicht mehr zulässig. Sie werden i.d.R. in Müllverbrennungsanlagen mit dem Ziel der Inertisierung behandelt.³ Von den Verbrennungsrückständen geht bei regelkonformer Entsorgung kein Risiko mehr aus.

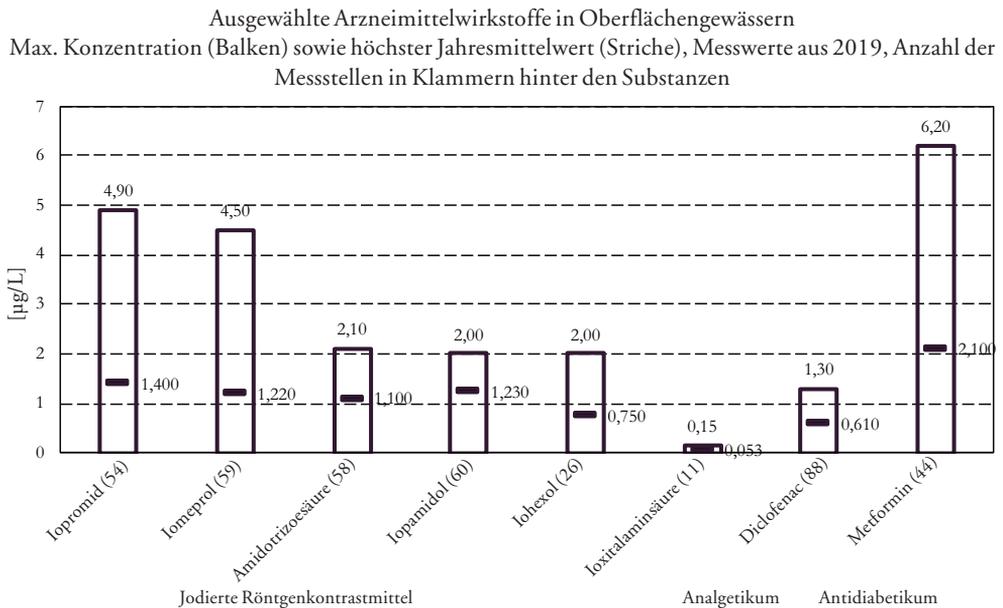


Abb. 2: Arzneistoffkonzentrationen im Oberflächenwasser (UBA 2020).

³ Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen (17. BImSchV).

Arzneimittelwirkstoffe mit Umweltrelevanz sind z. B. Antibiotika, Antiepileptika, Lipidsenker, Zytostatika, Analgetika (Schulte-Oehlmann et al. 2007). Von zahlreichen Wirkstoffen sind Auswirkungen auf das Ökosystem nachgewiesen, die bekannteste dürfte die Entwicklung multiresistenter Keime durch Antibiotika sein (Adler et al. 2018). Andere sind weniger bekannt: Barsche verändern durch Benzodiazepine ihr Sozialverhalten und werden eher Opfer von Fressfeinden (Klaminder et al. 2014), Diclofenac aus der Tierhaltung führte über die Aufnahme kontaminierter Kadaver zum Aussterben indischer Geierpopulationen durch Nierenversagen (Swan et al. 2006), Östrogene beeinflussen die Geschlechtsentwicklung von Fischen (Nash et al. 2004). Metformin als eines der am häufigsten verwendeten Antidiabetika wurde bereits im Trinkwasser nachgewiesen (Trautwein et al. 2014) und hat ebenfalls endokrine Wirkungen. Nachdem sich in Wassereinzugsgebieten weltweit intersexuelle Fische finden, konnte gezeigt werden, dass männliche Elritzen, die über ein Jahr lang einer Dosis Metformin ausgesetzt waren, deren Höhe der in Abwässern vorkommenden Dosis entspricht, genetische Veränderungen in den Gonaden entwickelten, die mit dem Grad an Intersexualität korrelierten (Niemuth et al. 2018). In der Pharmazie als für die Medikamentenversorgung primär zuständige Profession führen diese Erkenntnisse mittlerweile zu Überlegungen zu einer nachhaltigeren Medikamentenversorgung (Müller et al. 2019).

Arzneimittel im Krankenhaus

Die Durchführung und Überwachung der ärztlich verordneten Arzneimitteltherapie ebenso wie das Verwerfen von Medikamenten bei Anordnungsänderungen oder Einnahmeverweigerung ist als fester Bestandteil des Alltags in Gesundheitseinrichtungen Aufgabe von Pflegefachkräften. Vor diesem Hintergrund stellte sich die Frage, inwieweit bei Pflegenden ein Umweltbewusstsein in Bezug auf Entsorgungsfragen dieser Substanzen besteht.

Arzneimittelkunde und Ökologie sind lt. Ausbildungs- und Prüfungsverordnung in der Gesundheits- und Krankenpflegeausbildung zu lehren (z. B. Rahmenlehrplan Brandenburg, MASGF Brandenburg 2008). Ob Entsorgungsfragen und ökologische Aspekte von Arzneimitteln in der notwendigen Konkretion bisher berücksichtigt wurden, ist fraglich und wäre Gegenstand einer separaten Untersuchung. Eine kursorische Sichtprüfung von im Internet zugänglichem Lehrmaterial zur Krankenpflegeausbildung im Vorfeld des Projekts zeigte, dass Entsorgungsfragen kaum thematisiert werden. Einschlägige Publikationen des Umweltbundesamtes und des Bundesumweltministeriums adressieren als Fachpersonal lediglich Ärzte und Apotheker und vernachlässigen systematisch die Rolle der Pflegefachkräfte (z. B. Ebert et al. 2014; Hillenbrand et al. 2014).

Auch die Verfügbarkeit von Daten zur Medikamentenentsorgung in Krankenhäusern ist schlecht. Einen ersten Anhaltspunkt zur Quantifizierung der Problematik geben Lauterbach et al., die Stellfehler in Pflegeheimen untersucht haben und eine Quote

von 1,3% Stellfehlern bei 48.512 überprüften Medikamenten bzw. 7,3% der überprüften Tagesdosen fanden (Lauterbach et al. 2007). Allerdings sind Medikationsbedingungen im Pflegeheim nur eingeschränkt mit denen im Krankenhaus vergleichbar. Insgesamt kann also Handlungsbedarf vermutet und die Frage gestellt werden, wie die Entsorgung von Medikamenten in der Pflegepraxis gehandhabt wird.

RKM in der Umwelt

RKM als spezielle Gruppe von Arzneimitteln werden ausschließlich in medizinischen Einrichtungen zur Gefäß- und Organdarstellung verwendet. Ihre Wirkung beruht auf der Absorption von Röntgenstrahlung. In Deutschland werden ca. 500 t/a RKM eingesetzt (Ahting et al. 2017), etwa die Hälfte davon in Krankenhäusern (Stieber 2011). RKM werden nicht verstoffwechselt und innerhalb von bis zu 24 Stunden nach Anwendung über Darm oder Niere unverändert ausgeschieden. Ihre Stabilität als medizinisch erwünschte Eigenschaft wird in der Abwasseraufbereitung zum Problem, da in Kläranlagen viele RKM nur schwer eliminiert werden können und so in größeren Mengen fast unverändert in die Gewässer gelangen.

RKM (Tabelle 1) sollten grundsätzlich nicht in das Abwasser gelangen, da selbst mit der vierten Reinigungsstufe in Kläranlagen nur wenige Verbindungen eliminiert werden können (Ahting et al. 2017). Die hohe Polarität und Persistenz der RKM führt zur Gewässerbelastung durch Krankenhäuser und Arztpraxen (Jekel 2006; Schuster 2006). In die Umwelt gelangen sie durch Lecks im Kanalnetz und durch Einleitung in Gewässer nach Kläranlagenbehandlung (Schulte-Oehlmann et al. 2007).

Einzelne RKM werden im Zulauf von Kläranlagen nur unter der Woche gefunden. Zulaufkonzentrationen der RKM liegen im Mittel über 10 µg/L (Vogel 2014). Experimentell wurde eine RKM-Eliminationsleistung von Kläranlagen von 8% bezogen auf adsorbierbares organisches Iod (AOI) bestimmt, während andere Quellen von 75% bis zu 90% Elimination von RKM angeben (Püttmann et al. 2008). Insbesondere Amido-trizoesäure ist in Kläranlagen schlecht adsorbierbar (Vogel 2014). Die Entfernraten einiger RKM durch biologische Abwasserreinigung liegen zwischen 10% für Iopamidol mit biologischer Reinigung und bis zu 95% für Iopromid durch biologische Reinigung mit Pulveraktivkohle (Rößler 2019). Aktivkohlefiltration und Ozonierung kommen nicht nur bei der weitergehenden Abwasserreinigung (Schulte-Oehlmann et al. 2007), sondern auch zur Trinkwasseraufbereitung zum Einsatz. Wegen der geringen Adsorptionsneigung von RKM stellt deren vollständige Entfernung auch hier eine Herausforderung dar (Püttmann et al. 2008).

Im Rahmen eines Messprogramms einer kommunalen Kläranlage in Halle/Westfalen wurden RKM im Kläranlagenablauf analysiert. Verglichen mit den Ablaufwerten anderer dreistufiger Kläranlagen waren die Konzentrationen von Iomeprol und Amido-trizoesäure auffällig hoch. Der Wert für Iomeprol sei „12mal höher als der Referenzwert der Vergleichskläranlagen“. Untersuchungen an einem Trockenwettertag und einem Regentag ergaben weitere starke Überschreitungen des Orientierungswertes

(Ökologisches Qualitätskriterium) um das acht- bis 74-fache (Dahlem 2016; Püttmann et al. 2008). Im Gegensatz dazu stellt ein Monitoringbericht für Spurenstoffe aus Kläranlagen in Baden-Württemberg bei „Kläranlagen mit starker Prägung des Abwassers durch Gesundheitseinrichtungen [...] keine besonderen Belastungen durch [...] Röntgenkontrastmittel“ fest (Rau et al. 2017). Untersuchungen in deutschen Fließgewässern zeigen, dass Rückstände von Iopamidol, Iopromid und Iomeprol als ubiquitär verbreitet gelten können. Zu den in Baden-Württemberg am häufigsten im Grund- und Oberflächenwasser nachgewiesenen RKM zählen Iopamidol, Iomeprol und Amiodotrizoesäure (Schulte-Oehlmann et al. 2007). Diese in höchsten Konzentrationen auftretenden iodhaltigen RKM werden oft als Indikatorsubstanzen für den Nachweis der Gewässerbelastung verwendet. Im Rhein steigen die Konzentrationen entlang des Fließweges bis maximal 1,3 µg/L an (IKSR 2010).

Die Ökotoxizität von RKM ist umstritten (Schuster 2006). RKM werden oft als „harmlos“ bezeichnet (Stieber 2011)⁴. Sie sind persistent, hydrophil und mobil, jedoch für aquatische Organismen bis zu Konzentrationen im Bereich von g/L nicht toxisch. Allerdings können toxische Chlorungsprodukte entstehen, was insbesondere für die Trinkwassergewinnung problematisch ist (Ahting et al. 2017). Organische Spurenstoffe gelten bei der Trinkwasseraufbereitung als Gefährdung für die Rohwasserqualität (Koester et al. 2012) und können zu einem deutlich erhöhten Aufwand bei der Trinkwassergewinnung führen. Bei Iopamidol erfolgt eine Minderung lediglich um etwa 50% durch die Bodenpassage (Brauch et al. 2007); Iopamidol und auch Diatrizoat sind daher bereits in Trinkwasserproben nachweisbar (Schulte-Oehlmann et al. 2007). Zwar liegen noch keine verbindlichen Umweltqualitätsnormen für RKM vor, die Leitwerte für Oberflächengewässer der europäischen Trinkwasserversorger werden jedoch von Substanzen wie Iopamidol und Iomeprol bereits überschritten (Ahting et al. 2017). Weitergehende rechtlich bindende Anforderungen sind auf Basis der EU-Anforderungen für die Wiederverwendung von Abwässern zu erwarten (Europäische Union 2020).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass RKM nur unter hohem Aufwand mit bestenfalls mäßigem Erfolg aus dem Abwasser entfernbar sind, während gleichzeitig ihr Eintrag zeitlich und örtlich gut eingegrenzt werden kann. Daher werden gerade für RKM „Maßnahmen im Bereich des Gebrauchs- und Entsorgungsverhaltens“ empfohlen (Pinnekamp et al. 2009, S. vi).

Einsatz von RKM

RKM werden intravaskulär, oral oder rektal appliziert. Bevorzugt werden nicht-ioni-sche RKM wegen des geringeren Gehaltes an freiem Iod und damit einer geringeren Schilddrüsenbelastung eingesetzt (Metzger et al. 2012). Etwa 30 Präparate mit gleicher

⁴ Für im MRT verwendete RKM auf Gadolinium (Gd)-Basis wird das deutlich kritischer gesehen, da Gd in der Abwasserbehandlung kaum entfernbar ist, ins Trinkwasser gelangt, sich im Gewebe anreichert und im Verdacht steht, an der nephrogenen systemischen Fibrose beteiligt zu sein (Niederste-Hollenberg et al. 2018).

Wirkstoff	Handelsname	Anwendungsgebiete (Auswahl)	Entsorgungshinweise des Herstellers lt. Fachinformation, Stand
Amidotrizoesäure, Amidotrizoat	Gastrolux, Gastrogrofin	Bildgebung in Bauchraum, Gallenwegen und Gelenken	keine Jan. 2019, April 2019
Iomeprol	Imeron	i.v. Urographie, Phlebographie, Computertomographie (CT), Angiographie, endoskopische retrograde Cholangio-Pankreatikographie (ERCP), retrograde Urethrographie	Nicht verwendetes Arzneimittel oder Abfallmaterial ist entsprechend den nationalen Anforderungen zu entsorgen. Aug 20
ethiodiertes Öl	Lipiodol-Ultra-Fluid	Darstellung des Lymphsystems, Darstellung und Lokalisierung des hepatozellulären Karzinoms	Entsprechend den nationalen Anforderungen zu entsorgen. Dez 17
Iodixanol	Visipaque	Angiographie, Urographie, Venographie, Kontrastverstärkung bei CT, Myelographie, ERCP	Die in einem Untersuchungsgang nicht verbrauchte Kontrastmittellösung ist zu verwerfen. Dez 17
Iohexol	Accupaque	Angiographie, CT, i.v. Urographie, intrathekale Anwendungen	Alle nicht verwendeten Reste sind zu verwerfen. Apr 15

Tab. 1: Häufig verwendete RKM auf Iodbasis (Fachinformation der Hersteller)

Grundstruktur (iodsubstituierter Benzolring) kommen in der Bildgebung zum Einsatz, meist in Radiologie und Kardiologie. Handelsnamen sind Gastrolux, Imeron, Lipiodol-Ultra-Fluid, Visipaque, Accupaque (Tabelle 1) mit Iod-Konzentrationen zwischen 180 und 400 mg/mL.

Die Menge iodorganischer RKM beträgt durchschnittlich 27g Iod/Anwendung und kann bis zu 300g Iod/Anwendung erreichen. Im Urin liegt die Konzentration bei etwa 20 bis 70g Iod/L, wovon in den ersten vier Stunden nach der Untersuchung ca. 60% ins Abwasser gelangen (Schuster 2006). Die Bestimmung täglicher RKM-Verbrauchsmengen im Krankenhaus stößt auf organisatorische Schwierigkeiten, weshalb in der Regel mit Jahreswerten gearbeitet wird (Hoffmann 2019). Eine Erhebung in der Charité ergab 883kg Iod bei ca. 8.000 Patienten jährlich, in einem kleineren Krankenhaus 41 kg/a bei 780 Patienten (Heinzmann 2006).

Iodhaltige RKM sind eine relevante Ursache adsorbierbarer organischer Halogenverbindungen (AOX) im Krankenhausabwasser (Schuster 2006). Messungen und Berechnungen erbrachten Werte von bis zu 0,94mg/L AOX im Abwasser, womit die Einleitwerte von Krankenhäusern für AOX überschritten werden können (Erbe et al. 1998). Messungen in einer Universitätsklinik im Jahr 2011 ergaben einen Anteil von 78Gew.-% durch iodorganische RKM an der Gesamt-AOX-Konzentration im Ablauf des Krankenhauses. Halogeneinträge erfolgen daneben auch durch halogenhaltige Reinigungs- und Desinfektionsmittel wie Natriumhypochlorit, Laborchemikalien oder andere Arzneimittel (Hoffmann 2019). Grundsätzlich sind diese Abwässer stark

von Krankenhausstrukturen wie Leistungsspektrum, Bettenzahl und Versorgungsprozessen abhängig, so dass z. B. klare Tages- und Wochengänge bei der Emission von RKM gefunden werden können, die auch im Zulauf der Kläranlagen sichtbar sind. Man nimmt an, dass ca. 2/3 der insgesamt applizierten Iodmenge im Krankenhaus in den Abwasserpfad gelangt, dies entspricht grob dem Verhältnis der stationären zu ambulanten Untersuchungen (Hoffmann 2019).

Neben den durch Ausscheidung anfallenden RKM, die hier nicht weiter betrachtet werden sollen, fallen Restmengen aus angebrochenen Infusionsflaschen an, die sofort oder spätestens am Ende des Arbeitstages zu verwerfen sind. Dabei sind Entsorgungshinweise der Hersteller meist sehr unspezifisch (Tabelle 1). Fraglich ist daher, ob für flüssige RKM-Reste gesonderte Entsorgungswege existieren oder ob die Entsorgung im Zuge der Glas-Getrennterfassung erfolgt, die die vollständige Restentleerung der Gebinde erfordert. Eine Befragung radiologischer Praxen im Vorfeld des Projektes ergab hierzu ein durchschnittlich verworfenes RKM-Volumen von 40ml/Tag und Einrichtung (Niederste-Hollenberg et al. 2018). Erfolgt dies über das Waschbecken, was naheliegend ist, liegt hier eine weitere eliminierbare Quelle für den Eintrag von RKM in das Abwasser vor.

Ziel und Fragestellung

In dem studentischen Projekt sollte von Studierenden der Gesundheits- und Krankenpflege als Schnittstelle zur Anwenderseite die Entsorgungssituation von Arzneimitteln im Krankenhaus näher untersucht werden. Ziel war eine Exploration der Lage, um aus Sicht der Pflegefachkräfte Ansätze für ökologisch korrekte und praktikable Handlungsempfehlungen zu gewinnen bzw. Fortbildungsbedarf zu identifizieren. Dazu wurden die folgenden Themen von jeweils einer Studierendengruppe unter der Forschungsfrage, wie in der Krankenhauspraxis mit flüssigen Arzneimittelresten im Entscheidungsbereich von Pflegefachkräften umgegangen wird, bearbeitet.

Thema 1: Umgang mit Medikamenten

In Krankenhäusern fallen Stoffe mit spezifischen Entsorgungserfordernissen an. Zentrale Fragen sind: Wo bzw. warum werden Arzneistoffe über das Abwasser (Toilette, Handwaschbecken) entsorgt? Die Aufgabenstellung umfasste die Konzeption und Durchführung einer Befragung von Pflegekräften im Krankenhaus zum Umgang mit zu entsorgenden flüssigen und festen Medikamenten.

Thema 2: Umgang mit RKM

Die Aufgabenstellung zu RKM umfasste die Konzeption und Durchführung einer Befragung von Pflegekräften im Krankenhaus zum Umgang mit entsorgungspflichtigen RKM-Resten: Wie oft fallen diese an und wie werden diese entsorgt?

Methoden und Durchführung

Im Juli 2018 wurden die Studierenden im Sinne des „Forschenden Lernens“ (Huber 2009) in das Projekt eingeführt und unter Verwendung von Standardwerken der (Pflege-)forschung (z. B. Mayer 2007; Atteslander 2010) und Projektinformationen (Niederste-Hollenberg et al. 2018) ein Untersuchungsplan erarbeitet. Aspekte von Forschungsethik, Datenschutz, Anonymität und Freiwilligkeit wurden berücksichtigt, der verantwortliche Umgang mit Forschungsdaten vermittelt. Von der Dozentin wurden die Pflegedirektoren der Projektkrankenhäuser in Bezug auf Teilnahmebereitschaft und notwendige Genehmigungen kontaktiert. Projektkrankenhäuser waren drei Häuser unterschiedlicher Versorgungsstufen in Süddeutschland mit insgesamt ca. 2300 Betten, die ausgewählt wurden, da die Studierenden hier den fachschulischen und praktischen Teil des Studiums absolvieren. Auf Basis weiterer Literaturarbeit wurden von Studierendengruppen unter Anleitung mittels einfacher deskriptiver Statistik auswertbare Fragebögen erstellt und einem Prätest unterzogen. Der Fragebogen bestand aus geschlossenen Fragen zum Ankreuzen und Freitextfeldern zur Spezifizierung für „sonstiges“. Die Studierenden leisteten die Koordination und Information der Beteiligten weitgehend selbstständig und führten die Befragung auf den in Abstimmung mit den Pflegedienstleitungen ausgewählten Stationen der Inneren Medizin und der Psychiatrie durch. Im August 2018 lag die Ergebnisdokumentation der Studierenden vor.

Ergebnisse

Thema 1: Umgang mit Medikamenten

Von 230 verteilten Fragebögen wurden 127 von Pflegekräften der Examensjahre 1978 bis 2017 (Mittelwert Berufserfahrung 15,4 Jahre (SD±11,2) Median 11,5) ausgefüllt (Rücklauf 55,2%).

Die Kenntnis zur Umweltproblematik wurde mit der Frage „Ist Ihnen eine Umweltproblematik in Bezug auf die Entsorgung von Arzneistoffen bekannt?“ von 74% (n=94) bejaht. Zur ergänzenden offenen Frage, welche Umweltproblematiken bekannt seien, wurden 102 Angaben gemacht, davon 68 zur Gewässerbelastung (Grund-/Trink-/Abwasser), 14 zu Antibiotikaresistenzen sowie Gefährdungen durch Hormone oder Zytostatika und zehn zu Umweltgefährdungen allgemein durch Rückstände/Abbauprodukte. 26% der Befragten gaben an, eine Schulung zum Thema bekommen zu haben.

Die Gründe für die Entsorgung („Aus welchem Grund werden diese Medikamente Ihrer Einschätzung nach am häufigsten verworfen?“) zeigt Tabelle 2. Mit 26% der häufigste Grund für die Entsorgung von Medikamenten war die Einnahmeverweigerung, gefolgt von „abgesetzt“ mit 23% und mit 18% „Patient entlassen“.

Von besonderem Interesse waren die Entsorgungswege. („Wenn sich beim Richten oder Kontrollieren von Medikamenten Änderungen oder Verunreinigungen ergeben,

Entsorgungsgründe (n=234)	n	%
Einnahmeverweigerung	60	25,6
abgesetzt	54	23,1
Patient entlassen	42	17,9
Kontamination	33	14,1
falsche Dosierung	18	7,7
falsches Medikament gerichtet	18	7,7
doppelt gerichtet/sonstiges	9	3,8

Tab. 2: Entsorgungsgründe für Medikamente (Mehrfachangaben, Abweichung zu 100% durch Rundungsungenauigkeit)

wie entsorgen Sie in der Regel folgende Medikamente?“ Hier wurde zwischen Applikationsarten bzw. nach pharmakologischen Eigenschaften (mit/ohne Wirkstoff) unterschieden (Tabelle 3), da angenommen wurde, dass flüssige und feste Medikamente unterschiedlich entsorgt werden. Interessant ist daher vor allem der Umgang mit Flüssigkeiten sowie dem Betäubungsmittelgesetz unterliegende Medikamente (BTM), die speziell kontrollbedürftig sind. Da die Ansicht, dass Apotheken Medikamente zurücknehmen, immer noch recht weit verbreitet ist, wurde diese Option als weitere Antwortmöglichkeit angeboten.

	Restmüll		Waschb/WC		Kanülenabwurf		Rücks. an Apotheke		sonst./k.A		
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Tabletten	106	57,5	61	0	0	15,1	16	23,6	25	3,8	4
Tropfen	118	41,5	49	43,2	51	1,7	2	11,9	14	1,7	2
Infusion mit Wirkstoff	122	41	50	30,3	37	3,3	4	22,1	27	3,3	4
Infusion ohne Wirkstoff	122	31,1	38	50,8	62	3,3	4	13,1	16	1,6	2
Injektionslösung	119	33,6	40	16,8	20	29,4	35	18,5	22	1,7	2
BTM Tabletten	117	17,9	21	12	14	23,1	27	41,9	49	5,1	6
BTM Tropfen/Injektionslösung	119	13,4	16	25,2	30	22,7	27	36,1	43	2,5	3
Summe	823	33,4	275	26	214	14	115	23,8	196	2,8	23

Tab. 3: Entsorgungswege bezogen auf Applikationsart (Zeilensumme=100%)

Die Verteilung der Entsorgungswege nach Applikationsart zeigt ebenfalls Tabelle 3. Die Mehrfachnennungen mit insgesamt 823 Angaben ergeben ein differenziertes Bild der Entsorgungswege: Medikamente werden in einem Drittel (33,4%) über den Restmüll entsorgt, in 26 % wird der Abwasserweg und in 14% der Kanülenabwurf gewählt, in 23,8% wird Rücksendung an die Apotheke abgegeben.

Feststoffe (Tabletten) werden mit 57,5% der Fälle überwiegend über den Restmüll entsorgt (Tabelle 3), während Infusionslösungen ohne Wirkstoff zu 50,8% in das Abwasser gelangen. Die Mehrheit der Infusionslösungen mit Wirkstoff kommt in den Rest-

müll, mit 30,3% wird zu einem Drittel der Fälle über das Abwasser entsorgt. BTM werden vermehrt an die Apotheke zurückgeschickt. Aus den Antworten geht hervor, dass hier auch das WC zur Entsorgung gewählt wird (handschriftlich ergänzt „unter Aufsicht“). Die Abwasserwege werden also vor allem für flüssige Medikamente (Tropfen/Infusionen) genutzt, und bei BTM entsorgt man aus Sicherheitsgründen zur Vermeidung von Missbrauch über das Waschbecken bzw. WC (handschriftlich ergänzt „BTM-Tabletten gemörsert ins Klo“).

Neben den Wegen hat vor allem die Entsorgungshäufigkeit Einfluss auf potenzielle Umweltschäden. („Wie oft werden diese Medikamente Ihrer Einschätzung nach durchschnittlich verworfen?“) Üblicherweise wird nach der Visite die Medikamentenanordnung vom Pflegedienst bearbeitet und ggf. umgestellt. Dort, wo Medikamente vom Spät- oder Nachtdienst für den folgenden Tag gestellt und morgens verteilt werden, bedeutet das, dass bei jeder am Vormittag erfolgten Verordnungsänderung die gestellten Medikamente entfernt, ergänzt, ausgetauscht und ggf. entsorgt werden müssen. Für Infusionen gilt dasselbe, hier kommt als weiterer Entsorgungsgrund die begrenzte Haltbarkeit von gerichteten Infusionen hinzu, die u. U. zu verwerfen sind, wenn sie nicht sofort verabreicht werden konnten.

In 43,1% der Fälle werden Medikamente mehrmals täglich bis 1 mal wöchentlich verworfen (Tabelle 4). Bei Vernachlässigung der nur unter strenger Indikationsstellung verabreichten BTM läge der Wert bei 55,6%. Das Verwerfen von Tabletten ist mit 84,6% (mehrmals täglich bis 2-3x/Wo) an der Tagesordnung, gefolgt von Tropfen (58,9%) und Infusionen (mit Wirkstoff 26%, ohne Wirkstoff 24,6%) und Injektionslösungen (20,3%). Auch hier fallen die BTM nicht besonders ins Gewicht.

Thema 2: Umgang mit RKM

Diese Studierendengruppe hatte auf die Erhebung demografischer Daten verzichtet und die Fragen nach Entsorgungswegen und -gründen sowie Kenntnissen zur Umwelt-

Entsorgungshäufigkeit	mehrmals tägl.		tägl.		2-3x/Wo.		1x/Wo.		2x/ Monat		seltener/ k.A.		
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Tabletten	124	17,7	22	28,2	35	38,7	48	8,1	10	3,2	4	4	5
Tropfen	124	7,3	9	25	31	26,6	33	13,7	17	5,6	7	21,8	27
Infusion mit Wirkst	123	2,4	3	7,3	9	16,3	20	11,4	14	7,3	9	55,3	68
Infusion ohne Wirkst	126	3,2	4	7,9	10	13,5	17	14,3	18	6,3	8	54,8	69
Injektionslösung	123	0,8	1	6,5	8	13	16	16,3	20	5,7	7	57,7	71
BTM Tabl.	124	0	0	1,6	2	0,8	1	8,1	10	7,3	9	82,3	102
BTM Tropfen/ Injektionslg.	124	0	0	1,6	2	4,8	6	6,5	8	4	5	83,1	103
Summe	868	4,5	39	11,2	97	16,2	141	11,2	97	5,6	49	51,3	445

Tab. 4: Entsorgungshäufigkeit, bezogen auf Applikationsarten (Prozentang. bez. auf Applikationsart, Zeilensumme=100%)

belastung relativ knapp gehalten. Durch die direkte Ansprache von Pflegefachkräften in radiologischen Abteilungen bzw. Stationen der Nuklearmedizin zweier Krankenhäuser wurden 40 ausgefüllte Fragebögen gewonnen, wobei durch die direkte Ansprache Stichprobe und Rücklauf identisch waren.

Häufigkeit von Untersuchungen mit RKM (n=26)	n	%
mind. 1x/Schicht	5	19,2
mind. 1x/Tag	4	15,4
mind. 1x/Woche	1 3	50
seltener	4	15,4

Tab. 5: Häufigkeit der RKM-Verwendung

26 der 40 Befragten gaben an, auf ihrer Station mit RKM zu arbeiten. („Werden auf Ihrer Station/Abteilung Röntgenkontrastmittel (RKM) verabreicht?“) Die Häufigkeit, mit der Untersuchungen unter Verwendung von RKM auf der Station stattfinden, wurde angegeben mit mindestens einmal pro Schicht bis hin zu mindestens einmal wöchentlich, so dass auch hier von einer quantitativen Relevanz ausgegangen werden kann (Tabelle 5).

Abwasserbelastung durch RKM (n=26)	n	%
ja, habe mich bereits damit beschäftigt	0	0
ja, habe schon davon gehört	8	31
Nein	18	69

Tab. 6: Kenntnis der RKM-Abwasserproblematik

Die Frage: „Haben Sie sich schon einmal über Abwasserbelastung durch Röntgenkontrastmittel Gedanken gemacht?“ beantworteten 69% (n=18) der Befragten mit nein (Tabelle 6).

Die einzige im Freitext notierte Aussage zeigt Interesse an der Problematik: „Habe ich mir leider noch nie Gedanken gemacht, eine Schulung diesbezüglich von Mitarbeitern wäre von Vorteil. Da viele nicht wissen was RKM überhaupt ist und was es mit der Umwelt macht“.

Entsorgungsweg (n=33)	n	%
Waschbecken	17	52
Toilette	4	12
Restmüll	3	9
Glasmüll	4	12
Sondermüll	0	0
keine Reste	5	15

Tab. 7: Entsorgungswege von RKM-Resten (Mehrfachangaben)

Die Frage nach den Entsorgungswegen („Wie entsorgen Sie in der Regel RKM-Reste?“) zeigt, dass die Problematik der Wasserbelastung hier tatsächlich nicht präsent zu sein scheint, denn RKM-Reste werden von 64% der Befragten über den Abwasserpfad entsorgt (Tabelle 7).

Diskussion

Diese nach unserer Kenntnis erste explorative Studie zur Arzneimittelentsorgung aus Sicht der Pflege zeigt klaren Handlungsbedarf: Pflegefachkräfte sind sich der Abwasserbelastung zwar bewusst und haben Vorstellungen über die Wirkungen. Auch wird eher über den Restmüll entsorgt, wo Kenntnisse zur Abwasserbelastung vorhanden sind. Trotzdem werden von 26% der Befragten Medikamente über das Abwasser entsorgt. Während wirkstofffreie Infusionen wie z. B. NaCl oder Ringerlösung aufgrund ihrer physiologischen Zusammensetzung eher unkritisch sind, besteht Handlungsbedarf bei wirkstoffhaltigen Applikationen: 26% der zu Arzneimittel allgemein Befragten geben an, Infusionen mit Wirkstoff mehrmals täglich bis 2-3x/Woche zu verwerfen. Die meist flüssigen RKM-Reste werden von zwei Drittel der zu RKM Befragten über das Abwasser entsorgt.

Die Befragung zeigt auch, dass Medikamentenentsorgung zu einem relevanten Anteil vermeidbar ist. Wenn mit 26% der häufigste Grund für die Entsorgung Einnahmeverweigerung ist, verweist das auf Compliance-Fragen und Beratungsbedarf. Das ist nicht nur unter Umweltaspekten, sondern auch für die Pflege- und Versorgungsqualität relevant. Das Absetzen von Medikamenten (23%) als eher medizinische Frage dürfte seltener vermeidbar sein und verweist auf das Potenzial interprofessioneller Kooperation. Dass trotz bereits festgesetzter Entlassung (18%) noch Medikamente gestellt werden, zeigt Optimierungspotenzial in der Stationsorganisation. So könnte mehr als die Hälfte der Entsorgungsfälle vermieden werden, während unvermeidbare Medikamentenabfälle durch die Müllverbrennung von Restabfall schadlos beseitigt werden (Siegert et al. 2020).

Limitationen

Bei den Befragten handelte es sich um eine Gelegenheitsstichprobe aus Pflegefachkräften in Krankenhäusern, zu denen ein guter Zugang bestand. Damit gibt die Studie erste Hinweise auf Handlungsbedarf, ohne Anspruch auf Repräsentativität zu erheben. Ihre Relevanz konnte jedoch durch mehrere Fachgespräche mit Ärztinnen und Pflegefachkräften im Nachgang erhärtet werden und ist durch die Messungen der Umweltanalytik gedeckt.

Die Ergebnisse entstanden in einem Prozess des forschenden Lernens an einer Hochschule und spiegeln den Prozess der Erkenntnisentstehung der Studierenden wider. Ziel war eine orientierende quantitative Einschätzung der Medikamentenentsorgung im Krankenhaus. Zu den Limitationen zählt der Bias durch subjektive Einschätzungen, die von objektiv messbaren Sachverhalten abweichen können. Eine präzisere Erfassung war mit den vorgegebenen Ressourcen nicht realisierbar. Von Vorteil kann sein, dass möglicherweise nicht auf soziale Erwünschtheit hin geantwortet wurde, da die Befragung vom Berufsnachwuchs durchgeführt wurde. Mit einem Rücklauf von insgesamt 62% wurde ein gutes Ergebnis erreicht, obwohl Instrumententwicklung und Stichprobengröße durch die Limitation auf eine Veranstaltung mit 2 SWS begrenzt waren.

Schlussfolgerungen

Grundsätzlich sollte in der Pflegeaus- und Fortbildung die Relevanz des umweltgerechten Umgangs mit Medikamenten vermittelt werden. Auch sind Pflegefachkräfte herausgefordert, sich an der Entwicklung von Handlungsabläufen zur Medikamentenentsorgung aktiv zu beteiligen. Daneben zeigt die Arbeit Schulungs- und Beratungsbedarf sowohl zum korrekten Umgang mit Medikamenten als auch zur Prävention, um den Medikamentenverbrauch grundsätzlich zu reduzieren. Exemplarisch sei das bei Diabetes Typ 2 eingesetzte Metformin genannt, dessen Reste und Metabolite weltweit im Abwasser zu finden sind und endokrine, bisher nicht vollständig verstandene Wirkungen auf das Ökosystem haben (Niemuth et al. 2018). Bei einer Lebenszeitprävalenz von bis zu zehn Prozent der Bevölkerung und Zunahme des Risikofaktors Adipositas (BÄK et al. 2021) besteht hier interprofessionell zu adressierender Präventionsbedarf, um Diabetes gar nicht erst entstehen zu lassen und damit auch den Medikamentenbedarf und -eintrag in das Abwasser zu reduzieren.

Fazit

Die Verringerung umweltrelevanter Schadstoffemissionen wird in Deutschland bereits seit einigen Jahren, u. a. im Rahmen der „Spurenstoffstrategie des Bundes“ (BMUB/UBA 2017) verfolgt. Während sich die Abwassertechnik bereits seit Jahren intensiv mit der Entsorgung von Medikamenten befasst, wird die Thematik von den Anwendern im Krankenhaus bisher relativ wenig wahrgenommen. Einträge lassen sich nutzerseitig mit wenig Aufwand durch Bewusstseinsbildung und adaptierte Entsorgungsroutinen verringern. So stellen Maßnahmen zur Emissionsminderung von Medikamenten aus Krankenhäusern über den Wasserpfad ein wichtiges Beispiel für diesen anwendungsorientierten Ansatz dar. Nur mit der multidisziplinären Kombination aus Vermeidung, Verminderung und Beseitigung kann eine nennenswerte Umweltentlastung erreicht werden.

Daher war das Ziel dieses Beitrags die orientierende Darstellung, wie im Krankenhausalltag von Pflegefachkräften mit flüssigen Arzneimittelresten umgegangen wird. Die Arbeit konnte zeigen, dass Pflegenden über grundsätzliches Problembewusstsein bezüglich der Umweltrelevanz flüssiger Arzneimittel verfügen. Allerdings mangelt es bei der Umsetzung umweltgerechten Verhaltens, wenn bis zu zwei Drittel der Befragten angeben, Medikamente über das Abwasser zu entsorgen. Eine Änderung erfordert hier sowohl Schulungen als auch Abläufe und Strukturen, die eine vom Abwasserpfad separate Entsorgung von Arzneimitteln durch die innerbetriebliche Logistik sicherstellen (Hoffmann 2019). Maßnahmen für die Flüssig-Medikamentenentsorgung wären z. B. Absorber-gefüllte Sammelbehälter am Pflegearbeitsplatz zur Getrenntfassung und deren Integration in Handlungsleitlinien.

Literatur

- Adler, N./Balzer, F./Blondzik, K./Brauer, F./Chorus, I./Ebert, I./Fiedler, T./Grummt, T./Heidemeier, J./Hein, A./Helmecke, M./Hilliges, F./Kirst, I./Klasen, J./Konradi, S./Krause, B./Küster, A./Otto, C./Pirntke, U./Roskosch, A./Schönfeld, J./Selinka, H.-C./Szewzyk, R./Westphal-Settele, K./Straff, W. (2018): Antibiotika und Antibiotikaresistenzen in der Umwelt. Hintergrund, Herausforderungen und Handlungsoptionen. Dessau-Roßlau: www.umweltbundesamt.de/publikationen [Stand: 2021-08-17]
- Ahting, M./Brauer, F./Duffek, A./Ebert, I./Eckhardt, A./Hassold, E./Helmecke, M./Kirst, I./Krause, B./Lepom, P./Leuthold, S./Mathan, C./Mohaupt, V./Moltmann, J.F./Müller, A./Nöh, I./Pickl, C./Pirntke, U./Pohl, K./Rechenberg, J./Suhr, M./Thierbach, C./Tietjen, L./Von der Ohe, P./Winde, C. (2017): Empfehlung zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Dessau-Roßlau: www.umweltbundesamt.de/publikationen [Stand: 2020-01-03]
- Atteslander, P. (2010): Methoden der empirischen Sozialforschung. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) (2021): Nationale Versorgungsleitlinie Typ-2-Diabetes, 2. Aufl. Version 1. 2021 [Stand: 2021-08-17]. DOI: 10.6101/AZQ/000475 www.leitlinien.de/diabetes
- BMUB/UBA (2017): Policy-Paper Empfehlungen des Stakeholder-Dialogs »Spurenstoffstrategie des Bundes« an die Politik zur Reduktion von Spurenstoffeinträgen in die Gewässer. Hillenbrand, T.; Tettenborn, F.; Bloser, M. (Hg.). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit/Dessau: Umweltbundesamt
- Brauch, H.-J./Sacher, F. (2007): Arzneimittelrückstände und andere Mikroverunreinigungen. Quellen, Eintragspfade und Vorkommen im Rhein. Vortrag IKS-R-Workshop 23./24.05. 2007 [Stand: 2020-09-24]
- Dahlem (2016): Studie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Brandheide. Kurzbericht Brandheide LANUW. https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/tx_mmkresearchprojects/Kurzbericht_Brandheide.pdf
- Ebert, I./Amato, R./Hein, A./Konradi, S. (2014): Arzneimittel in der Umwelt – vermeiden, reduzieren, überwachen. UBA, Fachgebiet IV 2.2 Arzneimittel, Wasch- und Reinigungsmittel, Dessau-Roßlau, www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/01.08.2014_hintergrundpapier_arzneimittel_final_.pdf [Stand: 2019-09-15]
- Emara, Y./Lehmann, A./Siegert, M.W./Finkbeiner, M. (2018): Modeling pharmaceutical emissions and their toxicity-related effects in life cycle assessment (LCA): A review. Integrated Environmental Assessment and Management. doi.org/10.1002/ieam.4100
- Erbe, T./Kümmerer, K./Gartiser, S./Brinker, L. (1998): Röntgenkontrastmittel, Quelle für die AOX-Belastung des Abwassers durch Krankenhäuser. RoFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin 169, 420–423
- Europäische Union (2020): Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung.
- Heinzmann, B. (2006): Getrennte Erfassung von jodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Berliner Krankenhäusern - Phase 1: Machbarkeitsstudie. RKM-Workshop am 27. März 2006 Kompetenzzentrum Wasser Berlin
- Hillenbrand, T./Tettenborn, F./Menger-Krug, E./Marscheider-Weidemann, F./Fuchs, S./Toshovski, S./Kittlaus, S./Metzger, S./Tjoeng, I./Wermter, P./Kersting, M./Abegglen, C. (2014): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/massnahmen-zur-verminderung-des-eintrages-von>. Texte 85/2014. Hg. UBA, UBA-FB 002037
- Hoffmann, M. (2019): Untersuchungen von AOX- und CSB-Emissionen im Abwasser des Universitätsklinikums Jena am Standort Lobeda. gwf - Wasser, Abwasser. Das Gas- und Wasserfach 160, 63–71.
- Huber, L. (2009): Warum Forschendes Lernen nötig und möglich ist. In: Huber, L./Hellmer, J./Schneider, F. (Hrsg.): Forschendes Lernen im Studium. Bielefeld: Universitätsverlag Weblar, 9–35

- IKSR (2010): Auswertungsbericht Röntgenkontrastmittel. IKSR-Bericht Nr. 187. www.iksr.org, Kolblenz [Stand: 2020-09-24]
- Jekel, M. (2006): Vorkommen und Verhalten der Röntgenkontrastmittel im Berliner Wasserkreislauf. RKM-Workshop am 27. März 2006 Kompetenzzentrum Wasser Berlin
- Klaminder, J./Jonsson, M./Fick, J./Sundelin, A./Brodin, T. (2014): The conceptual imperfection of aquatic risk assessment tests: highlighting the need for tests designed to detect therapeutic effects of pharmaceutical contaminants. *Environ. Res. Lett* 9
- Klauer et al. (2019): Arzneimittelrückstände in Trinkwasser und Gewässern; TAB-Arbeitsbericht Nr. 183; Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag; ISSN-Print:2364-2599 | ISSN-Internet: 2364-2602
- Koester, S./Beier, S./Zhao, F.F./Sui, Q./Yu, G./Pinnekamp, J. (2012): Organic trace pollutants in the aquatic environment—regulatory and technical problem-solving approaches in Germany and China. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research* 66, 942–952
- Lauterbach, K. W./Lüngen, M./Gerber, A./Kohaupt, I./Büscher, G. (2007): Quantifizierung der Fehlwurfrate beim Stellen fester oraler Darreichungsformen in drei Pflegeheimen. Institut für Gesundheitsökonomie und Klinische Epidemiologie, Universität zu Köln, Köln
- MASGF Brandenburg (2008): Rahmenlehrplan für den theoretischen Unterricht und die praktische Ausbildung zur Gesundheits- und Krankenpflegerin (...) im Land Brandenburg http://mlul.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/rp_krankenpflege.pdf [Stand: 2018-08-14].
- Mayer, H. (2007): Pflegeforschung anwenden. Elemente und Basiswissen für Studium und Weiterbildung. Wien: facultas. wuv
- Metzger, S./Rößler, A./Kapp, H. (2012): Spurenstoffbericht. Erweiterung des Klärwerks Mannheim um eine Adsorptionsstufe zur Verbesserung der Abwasserreinigung. Biberach [Stand: 2020-01-02].
- Müller, M./Witte, K. (2019): Arzneistoffe im Abwasser. *Pharmazeutische Zeitung*. <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/arzneistoffe-im-abwasser/> [Stand: 2021-08-16]
- Nash, J. P./Kime, D. E./van der Ven, L. T.M./Wester, P. W./Brion, F./Maack, G./Stahlschmidt-Allner, P./Tyler, C. R. (2004): Long-Term Exposure to Environmental Concentrations of the Pharmaceutical Ethynylestradiol Causes Reproductive Failure in Fish. *Environ Health Perspect* 112, 1725–1733.
- Niederste-Hollenberg, J./Eckartz, K./Peters, A./Hillenbrand, T./Maier, U./Beer, M./Reszt, A. (2018): Reducing the Emission of X-Ray Contrast Agents to the Environment. Decentralized Collection of Urine Bags and Its Acceptance. *GAIA* 27, 147–155
- Niederste-Hollenberg, J./Schuler, J. (2020): Pilotprojekt zur Minderung des Eintrags von Röntgenkontrastmitteln in die Umwelt – Maßnahmenkombinationen (MindER2). Endbericht. https://www.minder-rkm.de/minder-wAssets/docs/2020_MindER-2_Abschlussbericht_v2.pdf.
- Niemuth, N. J./Klaper, R. D. (2018): Low-dose metformin exposure causes changes in expression of endocrine disruption-associated genes. *Aquat. Toxicol.* 195 (2018) 33–40
- Pinnekamp, J./Beier, S./Cramer, C./Schröder, H. / Mauer, C./ Selke, D. (2009): Eliminierung von Spurenstoffen aus Krankenhausabwässern mit Membrantechnik und weitergehenden Behandlungsverfahren – Pilotprojekt Kreiskrankenhaus Waldbröl. Abschlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Förderkennz IV – 9 – 042 1B4 0020 [Stand: 2020-01-03]
- Püttmann, W./Keil, F./Oehlmann, J./Schulte-Oehlmann, U. (2008): Wassertechnische Strategien zur Reduzierung der Trinkwasserbelastung durch Arzneimittelwirkstoffe. *Environmental Sciences Europe* 20, 209–226
- Rau, W./Metzger, S. (2017): Bestandsaufnahme der Spurenstoffsituation von Kläranlagen in Baden-Württemberg. Untersuchungsbericht. UM-Vorhaben Nr. 367/2014 [Stand: 2020-01-03]
- Rößler, A. (2019): Durchführung von Vergleichsmessungen zur Spurenstoffelimination beim Ausbau von Kläranlagen um eine 4. Reinigungsstufe. Abschlussbericht. UM-Vorhaben Nr. 367-2014. Stuttgart [Stand: 2020-01-03]

- Schulte-Oehlmann, U./Oehlmann, J./Püttmann, W. (2007): Humanpharmakawirkstoffe in der Umwelt: Einträge, Vorkommen und der Versuch einer Bestandsaufnahme. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 19, 168–179
- Schuster, P. (2006): Getrennte Erfassung von jodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern. Phase 2: Praktische Durchführung. Abschlussbericht [Stand: 2019-11-10]
- Siegert, M.W./Lehmann, A./Emara, Y./Finkbeiner, M. (2020): Addressing the use and end-of-life phase of pharmaceutical products in life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* (2020) 25:1436–1454. doi.org/10.1007/s11367-019-01722-7
- Stieber, M. (2011): Treatment of urine with zero-valent iron to minimize the aquatic pollution with compounds emitted by hospitals. *Pharma Treat.* Berlin [Stand: 2020-01-02]
- Swan, G./Naidoo, V./Cuthbert, R./Green, R./Pain, D./Swarup, D./Prakash, V./Taggart, M./Bekker, L./Das, D./Diekmann, J./Diekmann, M./Kilian, E./Meharg, A./Chandra Patra, R./Saini, M./Wolter, K. (2006): Removing the Threat of Diclofenac to Critically Endangered Asian Vultures. *PLOS Biology* January 31, 2006
- Trautwein, C./Berset, J.D./Wolschke, H./Kümmerer, K. (2014): Occurrence of the antidiabetic drug Metformin and its ultimate transformation product Guanylurea in several compartments of the aquatic cycle. *Environ. Int.* 70 203-212
- UBA (2020): Arzneimittelrückstände in der Umwelt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/chemikalien/arzneimittelrueckstaende-in-der-umwelt#zahl-der-wirkstoffe-in-human-und-tierarzneimitteln> [Stand: 2021-08-16]
- Vogel, H.-J. (2014): Die Kläranlage Albstadt-Ebingen: 20 Jahre Pulveraktivkohleeinsatz im Vollstrom. Abwassertechnische Besonderheiten und Effizienz für die Elimination von Spurenstoffen. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 61, 902–907

Danksagung

Der ausdrückliche Dank für ihr Engagement und die Unterstützung gilt den Studierenden und den teilnehmenden Krankenhäusern, die wegen der Anonymitätssicherung nicht namentlich genannt werden können.

Prof. Dr. Anne-Kathrin Cassier-Woidasky (Korrespondenzadresse)

Professur für Pflegewissenschaft, Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlands
Malstatter Str. 17, 66117 Saarbrücken, a.cassier-woidasky@htwsaar.de

Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky

Professur für Nachhaltige Produktentwicklung, Hochschule Pforzheim
Tiefenbronner Str. 65, 75175 Pforzheim, joerg.woidasky@hs-pforzheim.de

Imke Woidasky

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Pharmazeutisches Institut, Abteilung Pharmazeutische Technologie und Biopharmazie, Gutenbergstr. 76, 24118 Kiel,
iwoidasky@pharmazie.uni-kiel.de

Dr.-Ing. Jutta Niederste-Hollenberg

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe, jutta.niederste-hollenberg@isi.fraunhofer.de